



PRÉVENTION DES MOUVEMENTS DE VERSANTS ET DES INSTABILITÉS DE FALAISES

**Confrontation des méthodes d'étude des éboulements
rocheux dans l'arc alpin**

PREVENZIONE DEI FENOMENI DI INSTABILITÀ DELLE PARETI ROCCIOSE

Confronto dei metodi di studio dei crolli nell'arco alpino

PROGRAMME INTERREG II C - "FALAISES"
Méditerranée Occidentale et Alpes Latines

PROGRAMMA INTERREG II C - "FALAISES"
Mediterraneo Occidentale e Alpi Latine

Coordination de cette publication :

Coordinamento editoriale:

CARERE Ketty

RATTO Sara

ZANOLINI Françoise

Traduction des textes :

Traduzione dei testi:

MAZOLLIER Rollande

Dessin de couverture :

Disegno di copertina:

LAFFI Roberto

Nous remercions tous ceux qui ont participé à
ce projet et à la réalisation de cette publication.

Si ringraziano tutte le persone che hanno collaborato
sia allo svolgimento delle attività del progetto
che alla realizzazione di questa pubblicazione.

Ce travail a été réalisé par les Régions et les Organismes ci-dessous:
Questo lavoro è stato realizzato dalle Regioni e dagli Istituti di Ricerca sotto elencati:



Préfecture de la Région Rhône-Alpes – SGAR

Pierre Burdet
31, rue Mazenod – 69426 Lyon Cedex 03 – France
sgaretud@asi.fr



Pôle Grenoblois d'Études et de Recherches pour la Prévention des Risques Naturels – Grenoble

François Gillet, Françoise Zanolini
Maison des Géosciences – BP 53 – 38041 Grenoble Cedex 9 – France
risknat@ujf-grenoble.fr



Regione Lombardia
Territorio e Urbanistica

Regione Lombardia – Direzione Generale Territorio e Urbanistica – U.O. Attività generali e di conoscenza del territorio – Struttura Rischi Idrogeologici

Daria Mazzoccola, Dario Fossati, Enrico Sciesa, Raffaella Ratti, Giovanni Cantone
Piazza Duca d'Aosta, 4 – 20124 Milano – Italia
daria.mazzoccola@regione.lombardia.it



Regione Piemonte – Direzione Servizi Tecnici di Prevenzione – Settore Studi e Ricerche – Sistema Informativo Prevenzione Rischi

Manlio Ramasco, Alberto Giglia
Via Tripoli, 33 – 13900 Biella – Italia
manlio.ramasco@regione.piemonte.it



Regione Autonoma Valle d'Aosta
Région Autonome Vallée d'Aoste

Regione Autonoma Valle d'Aosta – Assessorato Territorio, Ambiente e Opere Pubbliche – Servizio Cartografia e Assetto Idrogeologico

Franco Bonetto, Sara Ratto
Via Promis, 2 – 11100 Aosta – Italia
u-cartografia@regione.vda.it



Canton du Valais – Département des Transports, de l'Équipement et de l'Environnement (Confédération Helvétique)

Jean-Daniel Rouiller, géologue cantonal
Place des Cèdres – 1951 Sion – Suisse
jean-daniel.rouiller@admin.vs.ch



Centre d'Études Techniques de l'Équipement (CETE) Groupe Mécanique des Roches – Lyon

Laurent Effendiantz, Pierre Guillemin, Michel Viktorovitch
25, avenue François Mitterrand – Case n°1 – 69674 Bron Cedex – France
laurent.effendiantz@equipement.gouv.fr



Association pour le Développement des Recherches sur les Glissements de Terrain (ADRGT) – Grenoble

Pierre Desvarreux
BP 17 – 38610 Gieres – France
sage.ingenierie@wanadoo.fr



Université Joseph Fourier (UJF) – Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche impliquant la Géologie et la Mécanique (LIRIGM) – Grenoble

Didier Hantz, Bernard Couturier, Carine Dussauge, Jean-Marc Vengeon, André Giraud, Pierre Desvarreux
Maison des Géosciences – 1381, rue de la Piscine – Domaine Universitaire
38400 Saint-Martin d'Hères – France
dhantz@ujf-grenoble.fr



Centre de Recherche sur l'Environnement Alpin (CREALP) – Sion

Jean-Daniel Rouiller, Michel Jaboyedoff, François Baillifard, Dario Tosoni
45, rue de l'Industrie – 1950 Sion – Suisse
jean-daniel.rouiller@admin.vs.ch



École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)

Vincent Labiouse, Barbara Heidenreich
LMR – EPFL – 1015 Lausanne – Suisse
vincent.labiouse@epfl.ch



Politecnico di Torino – Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica

Claudio Scavia, Valeria Saetta, Marta Castelli
Corso Duca degli Abruzzi, 24 – 10129 Torino – Italia
scavia@polito.it



Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) – Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (IRPI) nell'Italia Centrale di Perugia

Fausto Guzzetti
Via della Madonna Alta, 126 – 06128 Perugia – Italia
F.Guzzetti@irpi.pg.cnr.it



Università di Milano Bicocca – Dipartimento Scienze Geologiche e Geotecnologie

Giovanni Crosta, Federico Agliardi
Piazza della Scienza, 1 – 20100 Milano – Italia
giovannibattista.crosta@unimib.it

SOMMAIRE / INDICE

INTRODUCTION	13
INTRODUZIONE	
I. AMPLEUR DU PHÉNOMÈNE ET ASPECTS RÉGLEMENTAIRES	15
DIMENSIONE DEI FENOMENI E ASPETTI LEGISLATIVI	
I.1. DONNÉES GÉNÉRALES SUR LES ÉBOULEMENTS EN RÉGION ALPINE	15
DATI GENERALI SULLE FRANE DI CROLLO NELLA REGIONE ALPINA	
<i>I.1.1. Région Piémont (M. RAMASCO, A. GIGLIA)</i>	15
<i>Regione Piemonte</i>	
<i>I.1.2. Suisse et Canton du Valais</i>	16
<i>Svizzera e Cantone Vallese</i>	
<i>I.1.3. Région Lombardie (E. SCIESA)</i>	17
<i>Regione Lombardia</i>	
<i>I.1.4. France et département de l'Isère (F. GILLET)</i>	18
<i>Francia e dipartimento dell'Isère</i>	
<i>I.1.5. Région Vallée d'Aoste (F. BONETTO)</i>	20
<i>Regione Valle d'Aosta</i>	
I.2. L'ANALISI DEI DATI STORICI: L'ESEMPIO DELLA BANCA DATI DELLA REGIONE PIEMONTE (M. RAMASCO, A. GIGLIA)	21
I.3. CONTEXTE JURIDIQUE ET RÉGLEMENTAIRE	26
CONTESTO GIURIDICO E LEGISLATIVO	
<i>I.3.1. En Italie (D. FOSSATI, M. RAMASCO, A. GIGLIA, S. RATTO)</i>	16
<i>In Italia</i>	
<i>I.3.1.1. Normes nationales et régionales en matière de risque hydrogéologique</i>	26
<i>Normativa nazionale e regionale in materia di rischio idrogeologico</i>	
<i>I.3.1.2. Normes nationales</i>	27
<i>Norme nazionali</i>	
<i>I.3.1.3. Normes régionales</i>	29
<i>Norme regionali</i>	
<i>I.3.2. En France (F. GILLET)</i>	42
<i>In Francia</i>	
<i>I.3.3. En Suisse (J.D. ROUILLER)</i>	46
<i>In Svizzera</i>	
<i>I.3.3.1. Législation fédérale et cantonale</i>	46
<i>Ordinamento federale cantonale</i>	
<i>I.3.3.2. Subventions fédérales et cantonales</i>	47
<i>Contributi federali e cantonali</i>	
<i>I.3.3.3. Réglementation communale</i>	47
<i>Regolamento comunale</i>	
II. TERMINOLOGIE (M. JABOYEDOFF, F. BAILLIFARD, D. HANTZ, B. HEIDENREICH, D. MAZZOCOLA)	48
TERMINOLOGIA	
II.1. INTRODUCTION	48
INTRODUZIONE	

II.2.	NIVEAUX D'INFORMATION LIVELLI DI INFORMAZIONE	48
II.3.	CLASSIFICATION DES INSTABILITÉS EN FONCTION DES INFORMATIONS CLASSIFICAZIONE DELLE INSTABILITÀ IN FUNZIONE DELLE INFORMAZIONI	51
II.4.	DÉFINITIONS DES TERMES PRINCIPAUX DEFINIZIONE DEI TERMINI PRINCIPALI	52
II.5.	MOUVEMENTS DE PENTES ET TYPE D'INSTABILITÉ MOVIMENTI DI VERSANTE E TIPO DI INSTABILITÀ	55
	BIBLIOGRAPHIE – BIBLIOGRAFIA	57
III.	MÉTHODES D'ÉTUDE DES INSTABILITÉS DE FALAISE METODI DI STUDIO DELLE INSTABILITÀ DI PARETE	58
III.1.	MÉTHODOLOGIES D'ÉTUDE (M. JABOYEDOFF, F. BAILLIFARD, C. DUSSAUGE, D. MAZZOCOLA) METODOLOGIE DI STUDIO	58
III.1.1.	<i>Introduction</i> <i>Introduzione</i>	58
III.1.2.	<i>Problématiques</i> <i>Problematiche</i>	58
III.1.3.	<i>Démarche idéale</i> <i>Procedimento ideale</i>	59
III.1.4.	<i>Contingences pratiques</i> <i>Contingenze pratiche</i>	60
III.1.5.	<i>Caractéristiques générales des méthodes du paragraphe III.2</i> <i>Caratteristiche generali dei metodi del paragrafo III.2</i>	62
III.1.6.	<i>Autres méthodes</i> <i>Altri metodi</i>	68
	BIBLIOGRAPHIE – BIBLIOGRAFIA	69
III.2.	PRÉSENTATION DES MÉTHODES D'ÉTUDES	70
III.2.1.	<i>Matterock</i> (F. BAILLIFARD, M. JABOYEDOFF, J.-D. ROUILLER, D. TOSONI)	70
III.2.1.1.	<i>Introduction</i>	70
III.2.1.2.	<i>La méthodologie Matterock</i>	70
III.2.1.3.	<i>L'exemple de Cogne</i>	71
III.2.1.4.	<i>Caractérisation du massif rocheux</i>	72
III.2.1.5.	<i>Détection des secteurs potentiellement instables</i>	74
III.2.1.6.	<i>Caractérisation des instabilités</i>	75
III.2.1.7.	<i>Élaboration de la carte de "danger"</i>	76
III.2.1.8.	<i>Conclusions</i>	78
	BIBLIOGRAPHIE	79
	ANNEXE: L'APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA MATTEROCK ALLA PARETE SUD DEL MONTE SAN MARTINO (LECCO)	79
III.2.2.	<i>La metodologia RHAP (Rockfall Hazard Assessment Procedure)</i> (D. MAZZOCOLA, E. SCIESA)	84
III.2.2.1.	<i>Introduzione</i>	84

III.2.2.2.	Fasi di applicazione della metodologia	85
III.2.2.3.	L'applicazione della metodologia alla parete Sud del Monte San Martino	86
FICHE D'IDENTITÉ: SITO DEL MONTE SAN MARTINO (LECCO)		90
BIBLIOGRAFIA		95
III.2.3.	<i>La metodologia RES (D. MAZZOCOLA)</i>	96
III.2.3.1.	Introduzione	96
III.2.3.2.	Fasi di applicazione della metodologia RES	96
III.2.3.3.	Valutazione della pericolosità e del rischio	100
III.2.3.4.	Applicazione della metodologia: il sito Monte San Martino (Lecco)	101
III.2.3.5.	Metodo speditivo per la valutazione della suscettività ai crolli	103
BIBLIOGRAFIA		107
III.2.4.	<i>La méthodologie LPC (réseau des Laboratoires des Ponts et Chaussées) (L. EFFENDIANTZ)</i>	108
III.2.4.1.	Définition de la notion d'étude spécifique	108
III.2.4.2.	Définition du cahier des charges d'une étude spécifique	108
III.2.4.3.	Analyse d'ensemble	109
III.2.4.4.	Identification et caractérisation des instabilités potentielles	109
III.2.4.5.	Qualification de l'aléa	111
III.2.4.6.	Estimation de la trajectoire	113
III.2.4.7.	Synthèse	114
III.2.4.8.	Risques résultants (recensement exhaustif)	114
III.3.	LES PROPOSITIONS UNIVERSITAIRES POUR AMÉLIORER L'ÉVALUATION DE LA PROBABILITÉ D'ÉBOULEMENT D'UNE INSTABILITÉ LOCALISÉE	115
LE PROPOSTE UNIVERSITAIRE PER MIGLIORARE LA VALUTAZIONE DELLA PROBABILITÀ DI CROLLO DI UNA INSTABILITÀ LOCALIZZATA		
III.3.1.	<i>Metodo meccanico-probabilistico per l'analisi della stabilità dei pendii in roccia (Politecnico di Torino, Regione Piemonte, Regione Autonoma Valle d'Aosta)</i> (C. SCAVIA, V. SAETTA)	116
III.3.1.1.	Procedimento ideale	116
III.3.1.2.	Modellazione attuale	116
III.3.1.3.	Applicazione del metodo meccanico-probabilistico: caso di Monte Torru (Alagna Valsesia, Piemonte)	121
III.3.1.4.	Applicazione del metodo meccanico-probabilistico: caso di Buisson (Valtournenche, Valle d'Aosta)	126
BIBLIOGRAFIA		132
III.3.2.	<i>Méthode Historique, Géomécanique, Probabiliste : approche probabiliste par combinaison d'études Géomécanique et Statistique d'éboulements (LIRIGM)</i> (D. HANTZ, C. DUSSAUGE, J.M. VENGEON)	132
III.3.2.1.	Présentation générale de la méthode HGP (Historique, Géomécanique et Probabiliste)	132
III.3.2.2.	Étude historique	133
III.3.2.3.	Étude géomécanique	136
III.3.2.4.	Détermination des probabilités d'éboulement en fonction du temps	138
III.3.2.5.	Conclusion	143
BIBLIOGRAPHIE		144
ANNEXE : FICHE DE CARACTÉRISATION DES INSTABILITÉS ROCHEUSES		145

IV.	ÉTUDES TRAJECTOGRAPHIQUES	155
	STUDI TRAIETTOGRAFICI	
	(V. LABIOUSE, B. HEIDENREICH (EPFL), P. DESVARREUX (ADRGT), M. VIKTOROVITCH ET P. GUILLEMIN (CETE LYON))	
IV.1.	INTRODUCTION	155
	INTRODUZIONE	
IV.2.	DESCRIPTION DES PROGRAMMES	156
<i>IV.2.1.</i>	<i>CETE Lyon</i>	<i>156</i>
<i>IV.2.1.1.</i>	<i>Introduction</i>	<i>156</i>
<i>IV.2.1.2.</i>	<i>Modélisation de l'impact</i>	<i>156</i>
<i>IV.2.1.3.</i>	<i>Paramètres pris en compte</i>	<i>157</i>
<i>IV.2.1.4.</i>	<i>Informations complémentaires</i>	<i>157</i>
<i>IV.2.2.</i>	<i>ADRGT Grenoble</i>	<i>158</i>
<i>IV.2.2.1.</i>	<i>Introduction</i>	<i>158</i>
<i>IV.2.2.2.</i>	<i>Modélisation de l'impact</i>	<i>158</i>
<i>IV.2.2.3.</i>	<i>Paramètres pris en compte</i>	<i>160</i>
<i>IV.2.2.4.</i>	<i>Informations complémentaires</i>	<i>160</i>
<i>IV.2.3.</i>	<i>LMR - EPF Lausanne</i>	<i>160</i>
<i>IV.2.3.1.</i>	<i>Introduction</i>	<i>160</i>
<i>IV.2.3.2.</i>	<i>Modélisation de l'impact</i>	<i>161</i>
<i>IV.2.3.3.</i>	<i>Paramètres pris en compte</i>	<i>163</i>
<i>IV.2.3.4.</i>	<i>Informations complémentaires</i>	<i>163</i>
<i>IV.2.4.</i>	<i>Synthèse</i>	<i>163</i>
<i>IV.2.4.1.</i>	<i>Tableaux comparatif des 3 logiciels utilisés</i>	<i>163</i>
<i>IV.2.4.2.</i>	<i>Description succincte d'autres programmes de calcul</i>	<i>164</i>
IV.3.	APPLICATION ET COMPARAISON SUR SIX ÉBOULEMENTS RÉELS	164
<i>IV.3.1.</i>	<i>Méthodologie de comparaison</i>	<i>164</i>
<i>IV.3.2.</i>	<i>Recueil des données</i>	<i>164</i>
<i>IV.3.3.</i>	<i>Site de comboire</i>	<i>165</i>
<i>IV.3.3.1.</i>	<i>Description</i>	<i>165</i>
<i>IV.3.3.2.</i>	<i>Trajectographies</i>	<i>165</i>
<i>IV.3.3.3.</i>	<i>Synthèse</i>	<i>166</i>
	<i>Sintesi</i>	
<i>IV.3.4.</i>	<i>Site de Champrond</i>	<i>167</i>
<i>IV.3.4.1.</i>	<i>Description</i>	<i>167</i>
<i>IV.3.4.2.</i>	<i>Trajectographies</i>	<i>168</i>
<i>IV.3.4.3.</i>	<i>Synthèse</i>	<i>169</i>
	<i>Sintesi</i>	
<i>IV.3.5.</i>	<i>Site de Saint-Marcel</i>	<i>170</i>
<i>IV.3.5.1.</i>	<i>Description</i>	<i>170</i>
<i>IV.3.5.2.</i>	<i>Trajectographies</i>	<i>170</i>
<i>IV.3.5.3.</i>	<i>Synthèse</i>	<i>171</i>
	<i>Sintesi</i>	
<i>IV.3.6.</i>	<i>Site de Barjac</i>	<i>172</i>

IV.3.6.1.	Description	172
IV.3.6.2.	Trajectographies	173
IV.3.6.3.	Synthèse	174
	Sintesi	
IV.3.7.	<i>Site de Bieudron</i>	175
IV.3.7.1.	Description	175
IV.3.7.2.	Trajectographies	175
IV.3.7.3.	Synthèse	177
	Sintesi	
IV.3.8.	<i>Site des Crétaux</i>	180
IV.3.8.1.	Description	180
IV.3.8.2.	Trajectographies	180
IV.3.8.3.	Synthèse	181
	Sintesi	
IV.4.	CONCLUSIONS	184
	CONCLUSIONI	
IV.4.1.	<i>Cadre du volet trajectographique de la recherche</i>	184
	<i>Quadro dell'aspetto traiettografico della ricerca</i>	
IV.4.2.	<i>Particularités des codes</i>	185
	<i>Particolarità dei codici</i>	
IV.4.3.	<i>Confrontation à des cas réels d'éboulements</i>	186
	<i>Confronto con eventi franosi reali</i>	
IV.4.4.	<i>Recommandations</i>	187
	<i>Raccomandazioni</i>	
IV.4.5.	<i>Perspectives</i>	189
	<i>Prospettive</i>	
IV.4.5.1.	Utilisation des données trajectographiques	189
	Utilizzo dei dati traiettografici	
IV.4.5.2.	Meilleure connaissance du phénomène de rebond	190
	Migliore conoscenza del fenomeno di rimbalzo	
IV.5.	LOGICIEL STONE (F. GUZZETTI, G. CROSTA)	206
	PROGRAMMA STONE	
IV.5.1.	<i>Introduction</i>	206
	<i>Introduzione</i>	
IV.5.2.	<i>Dati di ingresso al programma</i>	206
IV.5.3.	<i>Modellazione cinematica</i>	207
IV.5.4.	<i>Prodotti</i>	208
IV.5.5.	<i>Definizione delle condizioni di pericolosità</i>	208
IV.5.6.	<i>Conclusions</i>	210
	<i>Conclusioni</i>	
	BIBLIOGRAPHIE – BIBLIOGRAFIA	211
V.	CONFRONTATION DES MÉTHODES (D. HANTZ)	212
	CONFRONTO DEI METODI	

V.1.	DÉFINITION DU CAHIER DES CHARGES	212
	DEFINIZIONE DELLO SCHEMA DI LAVORO	
V.2.	DONNÉES NÉCESSAIRES POUR L'ÉVALUATION DE LA PROBABILITÉ DE RUPTURE	213
	DATI NECESSARI PER LA VALUTAZIONE DELLA PROBABILITÀ DI ROTTURA	
V.3.	DÉTECTION DES INSTABILITÉS POTENTIELLES ET ÉVALUATION DE LA PROBABILITÉ DE RUPTURE	213
	INDIVIDUAZIONE DELLE INSTABILITÀ POTENZIALI E VALUTAZIONE DELLA PROBABILITÀ DI ROTTURA	
V.3.1.	<i>Sectorisation</i>	213
	<i>Settorializzazione</i>	
V.3.2.	<i>Détection</i>	215
	<i>Individuazione</i>	
V.3.3.	<i>Évaluation de la probabilité de rupture</i>	215
	<i>Valutazione della probabilità di rottura</i>	
V.3.3.1.	Principes généraux	215
	Principi generali	
V.3.3.2.	Confrontation des méthodes	219
	Confronto dei metodi	
V.3.3.3.	Comparaison des résultats obtenus sur le site du Monte San Martino	219
	Confronto dei risultati ottenuti sul sito del monte San Martino	
V.3.3.4.	Conclusions	222
	Conclusioni	
V.4.	ÉTUDE DE LA PROPAGATION	222
	STUDIO DELLA PROPAGAZIONE	
V.4.1.	<i>Chutes de blocs</i>	223
	<i>Caduta di blocchi</i>	
V.4.2.	<i>Éboulements en masse</i>	223
	<i>Valanghe di roccia</i>	
V.5.	CARACTÉRISATION DU DANGER	224
	CARATTERIZZAZIONE DEL PERICOLO	
V.5.1.	<i>Objectif</i>	224
	<i>Obiettivo</i>	
V.5.2.	<i>Résultats fournis par les différentes méthodes</i>	224
	<i>Risultati forniti dai diversi metodi</i>	
V.6.	BILAN ET PERSPECTIVES	225
	BILANCIO E PROSPETTIVE	
V.6.1.	<i>Validation des méthodes</i>	225
	<i>Convalida dei metodi</i>	
V.6.2.	<i>Amélioration des méthodes</i>	226
	<i>Miglioramento dei metodi</i>	
	CONCLUSIONS (F. GILLET)	228
	CONCLUSIONI	
	BIBLIOGRAPHIE (D. MAZZOCCOLA, C. DUSSAUGE)	231
	BIBLIOGRAFIA	

INTRODUCTION

La zone de la Méditerranée occidentale et des Alpes latines est constituée en grande partie de régions sujettes aux mêmes risques hydrogéologiques liés essentiellement aux phénomènes d'instabilité des versants et des falaises, et aux débordements des cours d'eau. La présence de chaînes de montagne ayant un fort relief favorise une dynamique géomorphologique toujours très active et rapide avec des processus intenses d'érosion et de dégradation des reliefs. Les phénomènes qui s'ensuivent sont souvent violents et lourds de conséquences, mettant en danger le territoire et les activités humaines. De tels risques sont accentués par la forte colonisation humaine et, dans certaines zones, par le développement croissant des activités touristiques implantées dans des environnements naturels fragiles et vulnérables. En effet, les catastrophes naturelles, induites également par les changements climatiques et notamment l'intensification des phénomènes météorologiques, provoquent de plus en plus de dégâts au tissu socio-économique de ces régions et constituent une grave menace pour les populations locales.

Depuis plusieurs années, certaines Régions ont engagé leurs services techniques pour résoudre le problème du risque hydrogéologique. Les particularités géographiques, géologiques et météorologiques qui les caractérisent entraînent effectivement des formations d'éboulements répétés qui peuvent intéresser aussi bien des zones habitées que d'importantes infrastructures.

Parmi tous les phénomènes générateurs de risque et de danger, les éboulements sont communs à tout le territoire alpin et s'étendent sur de vastes zones. Même quand il s'agit de phénomènes de petites dimensions, souvent les éboulements rocheux endommagent gravement les routes, les voies ferrées, les infrastructures à réseau interrompant les communications entre les sites habités ou l'activité des services essentiels. Ces phénomènes sont parmi les plus dangereux du vaste panorama de l'instabilité hydrogéologique étant donnée la difficulté de prévoir le moment où ils vont se produire, leur vitesse, leur puissance.

Les méthodologies employées pour étudier les éboulements sont très différentes suivant les pays et les régions, aussi bien du point de vue du recueil et du traitement des données que des critères de zonage du territoire en termes de probabilité d'atteinte et de risque. Les cadres normatifs et législatifs des divers pays et régions varient également.

Dans ce contexte, la coopération transnationale a comme objectif primordial la connaissance des réalités des diverses régions partenaires en termes de probabilité d'atteinte et de risque d'éboulement,

INTRODUZIONE

L'area del Mediterraneo occidentale e delle Alpi latine è costituita in buona parte da regioni soggette ai medesimi rischi di carattere idrogeologico, legati essenzialmente ai fenomeni di instabilità dei versanti e delle falesie ed alle esondazioni dei corsi d'acqua. La presenza di catene montuose con forti energie di rilievo favorisce una dinamica geomorfologica sempre molto attiva e rapida, con intensi processi di erosione e degradazione dei rilievi. I fenomeni che ne conseguono sono spesso violenti ed incidono pesantemente mettendo a rischio il territorio e le attività umane.

Tali rischi sono accentuati dalla forte antropizzazione ed, in alcune aree, dallo sviluppo crescente di attività turistiche in ambiti naturali fragili e vulnerabili. I disastri naturali infatti, anche a causa dei mutamenti ed in particolare dell'intensificarsi dei fenomeni meteo-climatici intensi ai quali sovente si associano, arrecano sempre maggior danno al tessuto socio-economico di queste zone e costituiscono una grave minaccia per le popolazioni locali.

Da diversi anni alcune Regioni sono impegnate con i loro Servizi tecnici per affrontare il problema del rischio idrogeologico. Le caratteristiche fisiografiche, geologiche e meteo-climatiche che le contraddistinguono determinano infatti ricorrenti eventi franosi che possono interessare sia centri abitati che importanti infrastrutture.

Tra tutti i fenomeni generatori di rischio e pericolo, le frane di crollo sono comuni a tutto il territorio alpino e sono diffusi su ampie aree. Anche quando si tratta di fenomeni di piccole dimensioni, i crolli spesso causano gravi danni a strade, ferrovie, infrastrutture a rete interrompendo le comunicazioni tra centri abitati o l'erogazione di servizi essenziali. La difficoltà della previsione temporale e la velocità/energia elevata con cui avvengono i crolli, rendono tali fenomeni tra i più pericolosi nell'ambito del vasto panorama del dissesto idrogeologico.

Le metodologie di studio delle frane di crollo sono diversificate nei diversi paesi e nelle diverse regioni sia per quanto riguarda la raccolta e il trattamento dei dati, sia per quanto riguarda i criteri di zonazione del territorio in termini di pericolosità e rischio. Anche i quadri normativi e legislativi dei diversi paesi e regioni sono differenziati.

In questo contesto, una cooperazione transnazionale si pone come primo obiettivo la conoscenza delle realtà nelle diverse regioni partner in termini di pericolosità e rischio da crollo, delle metodologie utilizzate per lo studio di questi fenomeni e della legislazione adottata. Il secondo pas-

des méthodologies utilisées pour l'étude de ces phénomènes et de la législation adoptée. Le deuxième objectif est de comparer et de parfaire les outils utilisés par les spécialistes des différentes régions pour l'étude, la prévision et la prévention de ces phénomènes, au travers de leur application dans les divers contextes géographiques, afin de développer des critères plus rapides et plus efficaces pour affronter ces problèmes. L'objectif final est de parvenir à une approche réciproque et harmonieuse du problème du risque d'éboulement, de façon à fournir à tous les gestionnaires de ces risques non seulement des instruments de plus en plus sophistiqués s'adaptant aux particularités spécifiques des situations géographiques étudiées, mais aussi une série de critères d'étude généraux qui puisse favoriser une approche complète et exhaustive du sujet. Tout aussi importante est la possibilité de doter les décideurs et les administrateurs publics d'informations techniques nécessaires à établir les normes auxquelles soumettre les zones à risque.

La comparaison des différentes normes en vigueur dans les pays partenaires en matière de prévision et de prévention du risque ainsi que de planification du territoire favorisera une harmonisation des indications de caractère général pour une utilisation correcte du territoire et, d'une façon plus générale, pour atténuer les risques dans les zones particulièrement sensibles.

so è quello di operare un confronto ed un affinamento degli strumenti utilizzati per lo studio, la previsione e la prevenzione di questi fenomeni dagli specialisti delle varie regioni, tramite la loro applicazione a diversi contesti fisio-geografici, per sviluppare criteri più rapidi ed efficaci per affrontare queste problematiche. L'obiettivo finale è quello di arrivare ad un approccio condiviso ed armonizzato al problema del rischio da crollo, onde fornire a tutti gli operatori del settore strumenti sempre meglio testati ed adattabili alle specifiche peculiarità delle situazioni fisiografiche investigate e una serie di criteri generali di studio che favoriscano un approccio completo ed esaustivo della materia. Non meno importante è inoltre la possibilità di dotare i decisori e gli amministratori pubblici delle informazioni tecniche necessarie alla definizione delle normative cui sottoporre le aree esposte al rischio di frane di crollo.

La comparazione di normative diverse vigenti nei paesi partners in materia di previsione e prevenzione del rischio nonché di pianificazione del territorio, favorirà la concertazione delle indicazioni di carattere generale per un corretto uso del territorio e, più in generale, per la mitigazione del rischio in aree particolarmente vulnerabili.

I. AMPLEUR DU PHÉNOMÈNE ET ASPECTS RÉGLEMENTAIRES

I.1. DONNÉES GÉNÉRALES SUR LES ÉBOULEMENTS EN RÉGION ALPINE

I.1.1. Région Piémont

Dans le cadre géographique de l'Europe méridionale, le territoire de la région Piémont se distingue de par ses caractéristiques morphologiques particulières. Couvrant plus de 25.000 km², c'est la région la plus étendue de l'Italie continentale située à l'extrémité de la plaine du Po, limitée sur trois côtés par des chaînes de montagne qui occupent 49% du territoire et dont les sommets sont les plus élevés du continent.

Cette simple image détermine bien les contradictions d'une zone densément peuplée, économiquement active et siège d'importantes infrastructures et réseaux de communication mais extrêmement fragile de par son exposition aux risques naturels. L'occupation humaine de l'aire alpine est fortement conditionnée par l'orographie et se développe surtout dans les fonds de vallées étroites et sur les versants les moins escarpés ; l'habitat, la viabilité et les infrastructures entrent souvent en conflit avec l'évolution des processus morphodynamiques et il en résulte un risque géologique élevé pour cette région.

Dans la zone alpine, les processus d'instabilité géologique intéressent aussi bien les versants à cause de la formation de mouvements de terrain de types divers que les cours d'eau qui engendrent des phénomènes d'érosion et de transport solide.

En ce qui concerne la typologie des phénomènes d'instabilité, surtout dans le cadre des éboulements, un paramètre fondamental, permettant de classer la probabilité d'atteinte en fonction de son intensité, est défini par les caractéristiques cinématiques des phénomènes mêmes. En effet, le danger majeur est lié à la rapidité des processus : outre les effets produits, celle-ci est en relation également avec les possibilités de mettre en action des systèmes de prévision répondant aux exigences de préalarme dans des temps opérationnellement utiles.

Dans une typologie fondée sur de tels critères, on trouve au premier rang les éboulements par effondrement. Ces phénomènes se produisent souvent sans indices prémonitoires par des détachements de masses de rochers des parois ou des versants à forte pente ; les conditions qui prédisposent à la chute de matériaux plus ou moins abondants sont surtout fonction du degré de fracturation des roches, de la disposition géométrique des fractures et des autres discontinuités et de leurs rapports d'intersection réciproques.

I. DIMENSIONE DEI FENOMENI E ASPETTI LEGISLATIVI

I.1. DATI GENERALI SULLE FRANE DI CROLLO NELLA REGIONE ALPINA

I.1.1. Regione Piemonte

Nel quadro geografico dell'Europa meridionale il territorio della regione Piemonte spicca per le sue particolari caratteristiche morfologiche. Con oltre 25.000 kmq di superficie è la regione più estesa dell'Italia continentale, situata alla testata della pianura padana, limitata su tre lati da catene montuose che ne occupano il 49% del territorio con le vette più elevate del continente.

Questo semplice quadro delinea bene la contraddizione di un'area densamente popolata, economicamente attiva e sede di importanti infrastrutture e reti di comunicazione, ma estremamente fragile nella sua esposizione ai rischi naturali. L'occupazione antropica nell'area alpina è fortemente condizionata dall'orografia e si sviluppa principalmente sugli stretti fondovalle e sui versanti meno acclivi: gli insediamenti, la viabilità e le infrastrutture entrano molto sovente in conflitto con lo sviluppo dei processi morfodinamici e ne conseguono un elevato rischio geologico per questa regione.

Nell'area alpina i processi d'instabilità geologica interessano sia i versanti, con l'attivazione di frane di vario tipo, che i corsi d'acqua, attraverso fenomeni di erosione e trasporto solido.

Per quanto riguarda la tipologia dei fenomeni di instabilità, soprattutto nell'ambito delle frane, un parametro fondamentale per ricavare una graduatoria secondo diversi livelli di pericolosità è definito dalle caratteristiche cinematiche dei fenomeni stessi. Il pericolo maggiore è connesso infatti alla rapidità dei processi, oltre che per l'influenza sugli effetti producibili, anche in relazione alla possibilità di attivare sistemi di previsione che rispondano ad esigenze di preallarme in tempi operativamente utili.

In una classifica tipologica fondata su tali criteri si collocano al primo posto le frane per crollo. Questi fenomeni si generano spesso senza indizi premonitori per distacchi di volumi di roccia da pareti o da pendii ad elevatissima inclinazione; le condizioni predisponenti alla caduta di materiali più o meno abbondanti si rendono manifeste soprattutto in base ad osservazioni sul grado di fratturazione delle rocce, sulla disposizione geometrica delle fratture e delle altre discontinuità e sui loro reciproci rapporti di intersezione.

I fenomeni si innescano oltre che sotto l'azione prolungata di agenti climatici anche per effetto

Outre l'action prolongée d'agents climatiques les phénomènes surviennent aussi à la suite de secousses telluriques ; quand les masses impliquées sont considérables, il se produit des éboulements en masse à mobilité extrême. Dans chaque cas, les temps varient de quelques dizaines de secondes pour de simples éboulements à quelques jours pour des phénomènes de plus grandes dimensions qui se manifestent souvent avec plusieurs phases d'écroulement.

Les éboulements sont des phénomènes très communs dans les zones alpines ; ils interrompent et endommagent fréquemment les routes et les voies ferrées qui traversent les versants exposés. Les dégâts causés aux constructions sont beaucoup moins fréquents mais ont des conséquences beaucoup plus dramatiques, voire tragiques.

Au Piémont, les cas anciens et récents dont nous avons connaissance sont nombreux ; en 1391, un énorme éboulement (environ 60 millions de mètres cubes) détruisit le hameau d'Eusebio près de Casteldelfino ; en 1628, l'ancien centre habité de Locana fut dévasté par la chute soudaine de masses de roches considérables ; une chute de blocs du Mont Pozzuoli dans la vallée Antrona investit une grande partie du centre habité d'Antronapiana en 1642. Des phénomènes analogues ont produit de graves dégâts et ont fait d'innombrables victimes au hameau Villa di Acceglio en 1810 et à Rosone dans la vallée de l'Orco où ils ont eu lieu à plusieurs reprises entre 1940 et 1964. Parmi les épisodes les plus récents, citons l'éboulement du val Formazza (loc. Frua) survenu le 29 août 1985 (3 morts) et celui qui s'est produit le 11 novembre 1993 à Ponte Ribellasca dans la commune de Re où la chute d'un seul bloc a provoqué la mort de 3 personnes.

Le dernier en date est l'éboulement qui s'est produit à la suite de la réactivation d'un phénomène gravitaire étendu et a intéressé la route nationale de la vallée Anzasca près de Ceppo Morelli, interrompant la viabilité ; heureusement, il n'a pas fait de victimes, mais a isolé Macugnaga (important centre touristique situé au pied du Mont Rose) pendant quelques mois.

La localisation et, par voie de conséquence, l'étude des zones sujettes aux éboulements est donc extrêmement importante, quel que soit le volume de roche impliqué, si l'on considère que les trajectoires de chute coupent souvent les installations et les infrastructures humaines et que même des petits blocs peuvent causer de gros dégâts étant donné la force de l'impact qu'ils acquièrent au cours de leur chute.

1.1.2. Suisse et Canton du Valais

Les zones affectées par des instabilités de terrain occupent 6 à 8% du territoire helvétique

di scosse sismiche; quando i volumi coinvolti sono ingenti, si generano "valanghe di roccia" ad elevatissima mobilità. I tempi di sviluppo, in ogni caso, variano da poche decine di secondi, per i crolli singoli, ad alcuni giorni, per i fenomeni di maggiori dimensioni, che spesso si manifestano con più fasi di collasso.

I crolli sono fenomeni molto comuni nelle zone alpine; essi causano frequentemente interruzioni e danni alle strade e alle ferrovie che attraversano pendii esposti. I danni alle costruzioni sono molto meno frequenti, ma hanno conseguenze drammatiche e spesso tragiche.

Numerosi sono i casi noti antichi e recenti in Piemonte a partire dal 1391 quando un enorme crollo (circa 60 milioni di mc coinvolti) distrusse la frazione di Eusebio presso Casteldelfino. Nel 1628 l'antico centro abitato di Locana venne devastato per l'improvvisa caduta di notevoli volumi di roccia; un crollo di rocce dal M. Pozzuoli in valle Antrona nel 1642 investì buona parte dell'abitato di Antronapiana. Fenomeni analoghi hanno prodotto gravi danni e vittime nella frazione Villa di Acceglio nel 1810, ed a Rosone, nella valle dell'Orco, dove si sono più volte manifestati tra il 1940 ed il 1964. Tra gli episodi più recenti il crollo in val Formazza (loc. Frua) avvenuto il 29 agosto 1985 (3 morti) e quello verificatosi il giorno 11 novembre 1993 presso Ponte Ribellasca, in comune di Re, dove un crollo di un singolo masso ha provocato la morte di 3 persone.

Ultimo in ordine di tempo il crollo (avvenuto in seguito alla riattivazione di un esteso fenomeno gravitativo) che ha interessato la strada statale della valle Anzasca presso Ceppo Morelli interrompendo la viabilità; fortunatamente non ha provocato vittime, ma ha isolato il paese di Macugnaga (un importante centro turistico situato ai piedi del Monte Rosa) per alcuni mesi.

L'individuazione e conseguentemente lo studio delle aree soggette a crollo è dunque estremamente importante, qualunque sia il volume di roccia coinvolta, considerando che le traiettorie di caduta intersecano spesso gli insediamenti e le infrastrutture umane e che anche piccoli blocchi possono causare notevole danno stante la forza di impatto che acquistano durante la caduta.

1.1.2. Svizzera e Cantone Vallese

Le aree soggette a fenomeni di instabilità di terreno interessano il 6-8% del territorio elvetico

(OFEFP, 1997). De par sa situation géographique au cœur des Alpes et de la forte pénétrabilité démographique de ses vallées latérales, le Valais est l'un des 3 cantons les plus exposés aux risques naturels. Rappelons pour mémoire les catastrophes les plus importantes qui ont affecté son territoire au cours des quinze dernières années, à savoir l'éboulement de Randa (30 millions m³, 1991), les avalanches de Lourtier/Evolène (1999) et les crues de Münster (1987), Brig/Simplon/Saastal (1993) ainsi que celle récente de Gondo/Simplon (2000) qui a d'ailleurs touché à des degrés divers l'ensemble du canton.

Pour une superficie de 5'225 Km² et une population d'environ 275'000 habitants, plus de 250 sites instables affectaient les zones d'activité humaine et les voies de communication à la fin 2000, dont plus de 60% de cas d'éboulements et de chutes de pierres. Depuis 1985, on a enregistré une moyenne annuelle d'un éboulement (≥ 100 m³) et d'une vingtaine de cas de chutes de pierres/blocs. On recense une dizaine d'événements de volume supérieur à 1000 m³. Ces événements se produisent pour la plupart le long des voies de communications et en général au printemps. Le délai de réouverture des routes coupées par ce type d'événement varie de 12 heures à 6 semaines.

Les frais de suivi et d'intervention en matière d'éboulements et chutes de pierres (étude expéditive et assainissement de falaise) se montent à EUROS 300'000 – par an. Le coût des investissements en matière de prévention (digues, filets, galeries, tunnel) est de l'ordre de plusieurs millions d'EUROS par an.

Tous les sites d'éboulement et de chutes de blocs d'une certaine importance font systématiquement l'objet d'auscultation par la méthode MATTEROCK. Une vingtaine de sites fait l'objet d'une surveillance dont cinq en continu avec télétransmission.

1.1.3. Région Lombardie

Les processus morphodynamiques en action sur le territoire montagneux de la Région Lombardie sont ceux typiques de l'arc alpin et concernent essentiellement les versants et les cuvettes des torrents et rivières. En ce qui concerne les versants, les typologies d'instabilité sont variables, elles vont des grands éboulements à des phénomènes superficiels de *soil-slip*; sur les versants caractérisés par des falaises rocheuses priment de beaucoup les phénomènes de chute de blocs et secondairement les éboulements en masse.

Les données provenant de l'inventaire des phénomènes de mouvements de terrain survenus en Lombardie au cours des dernières vingt années, placent les éboulements parmi les instabilités les plus fréquentes et localement parmi les plus dangereuses

(OFEFP, 1997). Considerando la sua posizione geografica nel cuore delle Alpi e la forte antropizzazione delle valli laterali, il Vallese è uno dei cantoni maggiormente esposti ai rischi naturali. Ricordiamo le catastrofi più importanti che hanno colpito il suo territorio negli ultimi quindici anni, come il crollo di Randa (30 milioni di metri cubi nel 1991), le valanghe di Lourtier/Evolène nel 1999 e le alluvioni di Münster nel 1987, Brig/Sempione/Saastal nel 1993, oltre quella recente di Gondo/Sempione nel 2000 che, peraltro, ha coinvolto l'intero cantone a livelli diversi.

Con una superficie di 5.225 km² ed una popolazione di circa 275.000 abitanti, esistono oltre 250 siti instabili che coinvolgono le zone di attività umana e le vie di comunicazione alla fine del 2000, di questi più del 60 % dei casi erano frane di crollo e caduta blocchi. Dal 1985 è stata registrata una media annua di una frana di crollo (≥ 100 m³) e di una ventina di casi di caduta massi/blocchi. Sono stati censiti una decina di eventi con un volume superiore ai 1.000 m³. Tali eventi si verificano per lo più lungo le vie di comunicazione ed in genere nella primavera. Il tempo necessario per ripristinare le strade interrotte da questo tipo di fenomeno varia da 12 ore a 6 settimane.

Le spese sostenute per controllare e intervenire sulle frane e sui crolli di roccia (studio speditivo e bonifica di parete) ammontano a 300.000 EURO all'anno. Il costo degli investimenti nell'ambito della prevenzione (dighe, reti, gallerie, trafori) è dell'ordine di diversi milioni di EURO all'anno.

Ogni sito franoso e interessato da caduta di blocchi di una certa importanza è sistematicamente sottoposto ad una indagine tramite il metodo MATTEROCK. Una ventina di siti sono stati sottoposti ad un monitoraggio, di cui cinque in continuo mediante teletrasmissione.

1.1.3. Regione Lombardia

I processi morfodinamici in atto nel territorio montuoso della Regione Lombardia sono quelli tipici dell'area alpina, e riguardano essenzialmente i versanti e le aste torrentizie e fluviali. Per quanto riguarda i versanti si hanno tipologie di dissesto differenti, che vanno dalle grandi frane a fenomeni superficiali di *soil-slip*; nei versanti caratterizzati da pareti rocciose prevalgono di gran lunga i fenomeni di crollo e, subordinatamente, i crolli in massa.

I dati provenienti dall'inventario dei fenomeni franosi avvenuti in Lombardia negli ultimi vent'anni, pone i crolli tra i dissesti più frequenti e, localmente, tra i più pericolosi per l'incolumità delle persone. Anche i dati storici sottolineano la particolare propensione ad alcune tipologie di dissesto sul

pour la sécurité des personnes. Les données historiques soulignent également la propension particulière de certaines typologies d'instabilité sur le territoire lombard ; parmi celles-ci, les éboulements représentent une part prépondérante dans divers secteurs du territoire.

Les raisons d'une telle prédisposition sont à rechercher dans une série de facteurs parmi lesquels il faut citer : le fort relief lié aux caractéristiques géographiques du territoire, les conditions géologiques locales particulières, essentiellement de caractère structural et lithologique, le régime pluviométrique et le climat, avec de longues périodes marquées par des cycles alternés de gel et de dégel. Ces facteurs, qui peuvent agir séparément ou de façon combinée aussi bien dans le temps que dans l'espace, déterminent en bonne partie les phénomènes d'instabilité présents sur les versants en particulier les éboulements, qui peuvent impliquer de simples blocs jusqu'à l'éboulement en masse.

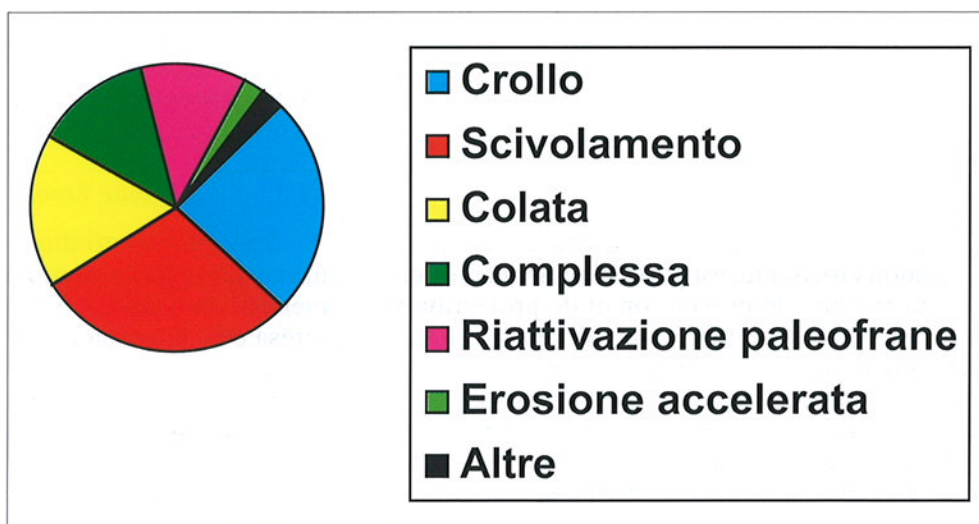
En Région Lombardie, les éboulements de masses rocheuses ou de simples blocs intéressent fréquemment certains versants rocheux de la province de Sondrio (Val Chiavenna, Val Masino, haute Valtellina) du Lecchese, du Lac de Garde. Dans la province de Lecco notamment, où se situe la zone d'étude du projet "Falaises", les phénomènes recensés s'élèvent à 849 sur un total de 2.987 éboulements connus, soit 28,4% des mouvements de terrain sont des éboulements. De façon analogue, dans la province de Sondrio, les éboulements représentent 30% des mouvements de terrain recensés (Fig. I.1).

territorio lombardo; tra queste i crolli rappresentano una parte preponderante in diversi settori del territorio.

Le ragioni di tale predisposizione sono da ricercare in una serie di fattori, tra i quali: l'elevata energia di rilievo, connessa alle caratteristiche fisiografiche del territorio, le particolari condizioni geologiche locali, essenzialmente di carattere strutturale e litologico, il regime pluviometrico e il clima, con ampi periodi caratterizzati da cicli di gelo/disgelo. Questi fattori, che possono agire separatamente o in modo combinato sia nel tempo che nello spazio, determinano la maggior parte dei fenomeni di instabilità presenti sui versanti, in particolare i crolli, da singoli blocchi sino a crolli in massa.

In Regione Lombardia i crolli di porzioni dell'ammasso roccioso o di singoli blocchi interessano frequentemente alcuni versanti rocciosi della Provincia di Sondrio (Val Chiavenna, Val Masino, alta Valtellina), del Lecchese, del Lago di Garda. In particolare nella Provincia di Lecco, in cui è situata l'area di studio del progetto Falaises, i fenomeni censiti sono 849 su un totale di 2987 frane conosciute, quindi il 28,4% delle frane sono crolli. Analogamente in Provincia di Sondrio i crolli rappresentano il 30% delle frane censite (Fig I.1)

Fig. I.1. Mouvements de terrain recensés dans la province de Sondrio.
Frane censite nella provincia di Sondrio.



I.1.4. France et département de l'Isère

En France, les départements les plus touchés par les risques naturels (glissements de terrains,

I.1.4. Francia e dipartimento dell'Isère

In Francia, i dipartimenti più colpiti dai rischi naturali (frane di scivolamento, crolli e cadute di

éboulements et chutes de pierres, avalanches, débordements torrentiels, inondations, séismes) sont majoritairement les départements de montagne – Alpes et Pyrénées. Dans ces départements, existent depuis plus d'un siècle des services de Restauration des Terrains de Montagne, qui gèrent, entre autres, ces problèmes. Pour le R.T.M., les phénomènes naturels qui ont le plus fréquemment des conséquences sur les collectivités sont les débordements torrentiels (crues, laves torrentielles) et les avalanches de neige. Les instabilités rocheuses (éboulements et chutes de pierres) représentent annuellement environ 30% des mouvements de terrains survenus, jusqu'à 50% en 1998. Les travaux réalisés contre ce type de risque occupent une part de plus en plus importante des budgets consacrés aux risques naturels : de quelques pour cents il y a quinze ans, elle représente actuellement environ 10 à 15% du budget total (Tab. I.1).

blocchi, valanghe, esondazioni torrentizie, alluvioni, scosse sismiche) sono soprattutto quelli di montagna - Alpi e Pirenei. In questi dipartimenti esistono da più di un secolo dei servizi di *Restauration des Terrains de Montagne* (Ripristino dei Terreni di Montagna) che gestiscono, tra l'altro, tali problematiche. Per il R.T.M., i fenomeni naturali che hanno più spesso conseguenze sulle collettività sono le esondazioni torrentizie (piene, lave torrentizie) e le valanghe di neve. Le instabilità rocciose (crolli in roccia e caduta blocchi) rappresentano circa il 30% dei movimenti di terreno annui avvenuti fino al 50% nel 1998. I lavori realizzati per mitigare questo tipo di rischio determinano l'utilizzo di una quota sempre più rilevante dei budgets dedicati ai rischi naturali: si è passato dalle poche unità percentuali di 15 anni fa all'attuale 10% - 15% del budget complessivo (Tab. I.1).

Année	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992	1991	1990	1989
Budget total (Millions de francs)	86,5	99,68	83,72	123	129	113	127	133,9	107,4	102,3
% Chutes de pierres	17	11	12	9	10	8	8	5	7	7
% Glissements / érosion superficielle	17	0	0	20	14	16	14	10	15	15
% Avalanches	9	10	11	6	11	11	19	28	20	17
% Correction torrentielles	55	57	52	63	62	62	57	56	57	59
% du budget national risque affecté en Isère	28	25	27	30	35	31	30	25	30	26

Travaux neufs réalisés dans l'année en France, en domanial et hors domanial, toutes sources de financements confondues

Tab. I.1 : Travaux réalisés dans l'année par le R.T.M. dans les 11 départements de montagne français (nouveau et entretien, gestion patrimoniale et travaux des communes).

Source : rapports d'activités annuels du R.T.M., O.N.F. (Ministère de l'Agriculture et de la Pêche), archives Délégation Nationale.

Lavori realizzati all'anno dal R.T.M negli 11 dipartimenti di montagna francesi (nuovi e di manutenzione, gestione del patrimonio e lavori dei comuni).

Fonte: relazioni di attività annuali del R.T.M., O.N.F. (Ministero dell'Agricoltura e della Pesca), archivio Délégation Nationale.

Dans ce tableau général, le département de l'Isère, avec sa topographie accidentée et son urbanisation croissante, est particulièrement concerné. Les travaux de prévention et de protection y représentent une dépense annuelle particulièrement importante : 20% du budget national des travaux R.T.M. est attribué à ce seul département. Sur ces sommes, dédiées aux collectivités et à la gestion patrimoniale, la part des travaux concernant les problèmes d'éboulements et chutes de blocs reste faible (5 à 10% du budget affecté aux mouvements de terrain y compris les débordements torrentiels), la majorité des fonds étant affectée aux débordements torrentiels. Par contre, au niveau du réseau routier, la Direction Départementale de l'Équipement engage plus de 55% de son budget "risque naturel" dans les pro-

In questo quadro generale, il dipartimento dell'Isère, con la sua topografia accidentata e la sua urbanizzazione in continua crescita è particolarmente interessato. I lavori per la prevenzione e la difesa dai rischi naturali rappresentano una spesa annua particolarmente importante: il 20% del budget nazionale dei lavori R.T.M è attribuito a questo solo dipartimento. Su queste somme, assegnate alle collettività ed alla gestione del patrimonio, la parte dei lavori riguardante i crolli in roccia e la caduta di blocchi rimane minima (da 5% a 10% del budget complessivo dedicato ai movimenti di terreno, incluse le esondazioni torrentizie); da tali dati si evince che la maggioranza dei fondi disponibili per i lavori R.T.M. sono dedicati alle esondazioni torrentizie. Al contrario per quanto riguarda la rete stradale, la *Direction Départementale de l'Équipement*

blèmes d'éboulements et chutes de blocs. Une opération sur deux réalisées en 1999 et 2000 pour la protection des routes iséroises est liée au risque rocheux.

Les chutes de pierres de petit volume sont quotidiennes, essentiellement dans la vallée de la Romanche et sur les routes du Vercors et de la Chartreuse. Pour les plus gros volumes, le seul secteur du "Y grenoblois" (agglomération grenobloise, partie est du Grésivaudan, cluse de l'Isère) a connu au cours du siècle passé une moyenne d'un éboulement par an ($>100\text{m}^3$), avec un éboulement de l'ordre de $10\,000\text{m}^3$ tous les vingt ans, un de l'ordre de $100\,000\text{m}^3$ tous les 80 ans. On connaît aussi dans le département 4 éboulements de plus d'un million de m^3 , le plus conséquent étant celui du Mt Granier, en 1248, avec 500 millions de m^3 (éboulement de la falaise + glissement du versant sous-jacent).

I.1.5. Région Autonome Vallée d'Aoste

L'analyse des typologies d'instabilité présentes dans la région Vallée d'Aoste se ressent de la carence "historique" d'une banque de données géologiques complète en mesure de décrire les phénomènes et d'organiser les informations de manière facilement accessible ; cette situation s'est modifiée seulement dans les dernières années avec la création et le développement du Système d'Information Géologique.

Dans le passé, l'analyse des typologies des instabilités était conduite de manière occasionnelle et improvisée en ayant recours à des recensements rapides effectués par les structures régionales compétentes en matière d'interventions de protection ou bien à de simples estimations sur les pourcentages d'affleurement d'une lithologie déterminée considérée comme un facteur prédisposant aux situations d'instabilité conjointement liée à morphologie de la région.

Avec ces raisonnements, on était arrivé à déterminer la typologie des glissements de terrain, au détriment principalement des dépôts morainiques comme c'est le cas de loin le plus fréquent en Vallée d'Aoste. L'importance des phénomènes d'éboulements a été récemment ré-évaluée grâce à la création d'une première ébauche de cadastre informatisé des instabilités et par la croissante exposition au risque liée à l'expansion des centres habités et des infrastructures routières.

Sur un échantillon suffisamment représentatif de quelques centaines de phénomènes de glissements de terrain recensés, tous documentés dans le Système d'Information Géologique ci-dessus mentionné, on a pu ainsi voir que le pourcentage des éboulements, entendu aussi comme renversements ou glissements

(D.D.E.) impegna più del 55% del suo budget "rischio naturale" nei fenomeni franosi e cadute blocchi. Un'opera su due realizzate nel 1999 e nel 2000 per la protezione delle strade nel dipartimento dell'Isère è connessa al rischio roccioso.

I crolli di roccia di volume minore sono quotidiani, essenzialmente nella valle della Romanche e sulle strade del Vercors e della Chartreuse. Per quanto riguarda volumi maggiori, solo il settore del "Y grenoblois" (centro abitato di Grenoble, parte est del Grésivaudan, chiusa dell'Isère) ha conosciuto nel secolo scorso in media una frana di crollo, di volume dell'ordine di 100m^3 all'anno, di volume di 10.000m^3 ogni 20 anni, di volume di 100.000m^3 ogni 80 anni. Sono state altresì censite nel dipartimento 4 frane di oltre un milione di m^3 , tra le quali la maggiore quella del Monte Granier nel 1248 con 500 milioni m^3 (crollo della parete rocciosa + scioglimento del versante sottostante).

I.1.5. Regione Autonoma Valle d'Aosta

L'analisi delle tipologie di dissesto presenti nella regione Valle d'Aosta risente della carenza "storica" di una esauriente banca-dati geologica, in grado di descrivere i fenomeni ed organizzare le informazioni in modo facilmente accessibile; tale situazione si sta modificando solo negli ultimi anni con la creazione e lo sviluppo del Sistema Informativo Geologico.

Nel passato l'analisi delle tipologie dei dissesti veniva condotta per finalità del tutto occasionali ed estemporanee, facendo ricorso a censimenti speditivi effettuati dalle strutture regionali competenti in materia di interventi di protezione oppure a semplici stime sulle percentuali di affioramento di un determinato litotipo, visto come fattore predisponente alle situazioni di instabilità unitamente all'assetto morfologico della regione.

Con questi presupposti si era arrivati a determinare la tipologia delle frane per scioglimento, a danno principalmente dei depositi morenici, come quella di gran lunga più frequente in Valle d'Aosta. L'importanza dei fenomeni di crollo è stata recentemente rivalutata grazie alla creazione di un primo abbozzo di catasto informatizzato dei dissesti e dalla crescente esposizione al rischio connessa all'espansione dei centri abitati e delle infrastrutture stradali.

Su un campione sufficientemente rappresentativo di alcune centinaia di fenomeni franosi censiti, tutti documentati nel Sistema Informativo Geologico sopra accennato, si è così visto che la percentuale dei crolli, intesa anche come ribaltamenti o scioglimenti di porzioni rocciose, è prossima al 29% del totale. Tale percentuale sale al 47% se si

de pans rocheux, est de l'ordre approximativement de 29% du total. Ce pourcentage s'élève à 47% si l'on tient compte aussi des typologies assimilables aux éboulements qui ne rentrent pas dans les classifications normales, telles que les remobilisations détritiques par déchaussement ou érosion.

S'il apparaît que parmi les causes des éboulements il y a une prépondérance de l'appareil structural sur l'effet du gel et du dégel et sur la présence d'eaux d'infiltration, la statistique des dégâts provoqués par ces phénomènes, bien connus à cause de leur probabilité d'atteinte, a davantage d'intérêt. Sur l'ensemble des phénomènes d'éboulements recensés à ce jour en région, à côté de l'implication naturelle des zones forestières et des lits de torrents (40%), on enregistre une augmentation croissante des centres habités (15%), des voies de communications (32%), des réseaux technologiques (3%) et des personnes (3%), confirmant l'interaction des infrastructures existantes. La nécessité de mieux cerner le danger de ces phénomènes et de mettre en évidence les zones sujettes à leurs effets semble à ce point encore plus évidente.

considerano anche le tipologie assimilabili ai crolli che non rientrano nelle normali classificazioni, quali le rimobilizzazioni di detrito per scalzamento od erosione.

Se appare scontato il dato relativo alle cause dei crolli, con una prevalenza dell'assetto strutturale sull'effetto del gelo e del disgelo e sulla presenza di acque di infiltrazione, più di interesse risulta la casistica dei danni indotti da questi fenomeni, ben noti per la loro pericolosità. Sul totale dei fenomeni di crollo noti al momento in regione, accanto al naturale coinvolgimento di aree boscate e di alvei torrentizi (40%), si registra un crescente interessamento di nuclei abitati (15%) di vie di comunicazione (32%) di reti tecnologiche (3%) e di persone (3%), a conferma dell'interazione con le infrastrutture esistenti. Appare a questo punto ancor più evidente la necessità di meglio caratterizzare la pericolosità di questi fenomeni e di evidenziare le aree soggette ai loro effetti.

I.2. L'ANALISI DEI DATI STORICI: L'ESEMPIO DELLA BANCA DATI DELLA REGIONE PIEMONTE

La presente nota propone un'analisi, operata su base statistica, dei fenomeni di crollo e degli effetti indotti da questi processi sul territorio della regione Piemonte, al fine di giustificarne e motivarne lo studio e di approfondirne alcuni aspetti importanti, legati soprattutto alle cause scatenanti.

Esperienze recenti pongono chiaramente in evidenza che la difesa da questi processi, la tutela della pubblica incolumità e delle risorse ambientali si devono fondare su un quadro di conoscenza che ponga in evidenza non solo i fenomeni avvenuti, ma fornisca anche gli elementi necessari ad una previsione di quelli potenziali, onde prevenirli adottando opportune strategie d'intervento che, secondo le diverse situazioni saranno finalizzate a:

- rimuovere le cause che generano il pericolo ed impedire quindi che un determinato fenomeno si verifichi;
- realizzare sistemi difensivi capaci di controllare lo sviluppo dei fenomeni annullandone od attenuandone gli effetti più gravi;
- imporre vincoli o limitazioni d'uso del territorio onde evitare la proliferazione di nuove situazioni di potenziale pericolo.

Questo lavoro si basa sull'analisi delle informazioni residenti nell'archivio del Sistema Informativo Geologico Regionale relative ai processi di versante che interessano o hanno interessato il territorio piemontese, in termini tipologici e di effetti e danni indotti. I dati sono tratti sia da fonti specialistiche e non (pubblicazioni, perizie tecniche in senso lato, articoli di giornale, ecc.), sia da rilevamento ed osservazioni dirette dei processi di instabilità naturali in atto.

Questi dati hanno permesso di delineare un quadro molto chiaro dei processi di instabilità di versante che hanno interessato la regione ed hanno altresì permesso di analizzare alcuni aspetti inerenti i fenomeni stessi.

In Fig. I.2 sono rappresentati tutti i fenomeni gravitativi, conosciuti ad oggi, che hanno interessato il territorio piemontese. Le frane sono state distinte in 4 categorie per tipologia di movimento prevalente. Come si può vedere dal diagramma le frane per scivolamento sono il 42% del totale, le frane superfi-

ciali e le colate di detrito il 26%, le frane con meccanismo di movimento di vario tipo il 19%, mentre i fenomeni di crollo sono il 13%. A scala regionale i problemi legati alla caduta di masse rocciose appaiono quindi di secondaria importanza. Se questo tipo di analisi viene circoscritta ai territori di montagna, risulta subito chiara una netta inversione di tendenza. Lo studio e l'analisi degli effetti indotti dai fenomeni gravitativi nelle zone alpine mostrano palesemente che la determinazione dell'intensità, della pericolosità e del rischio di crolli sia uno dei più importanti problemi di pianificazione territoriale da risolvere.

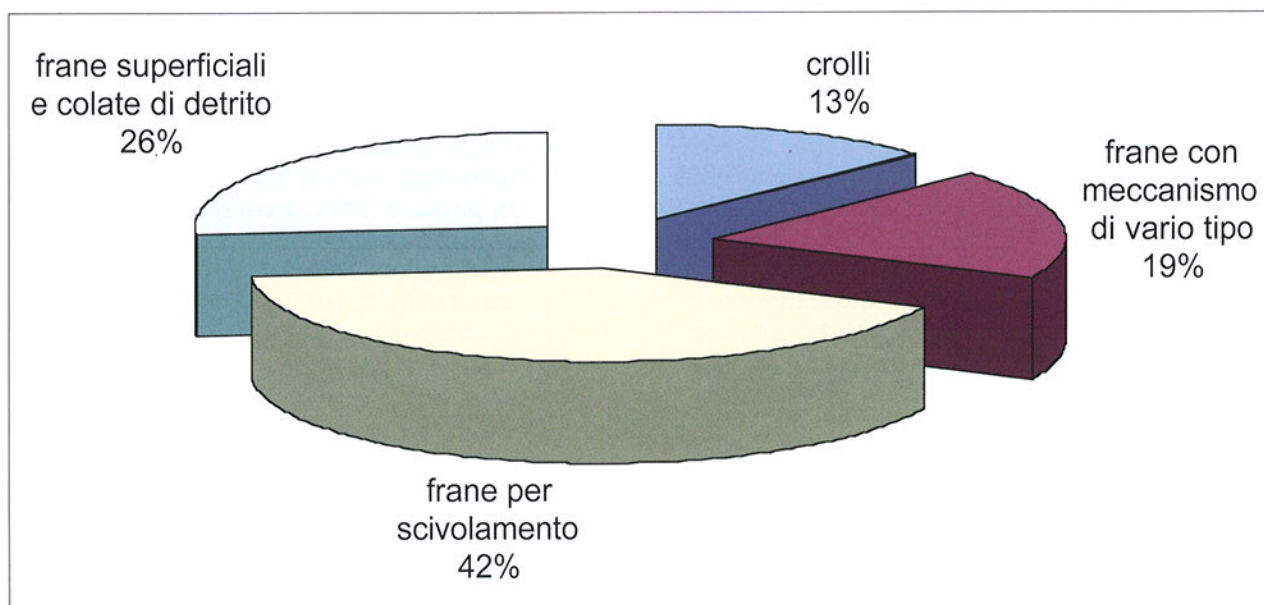


Fig. I.2. Rapporto tra le diverse tipologie di frana.

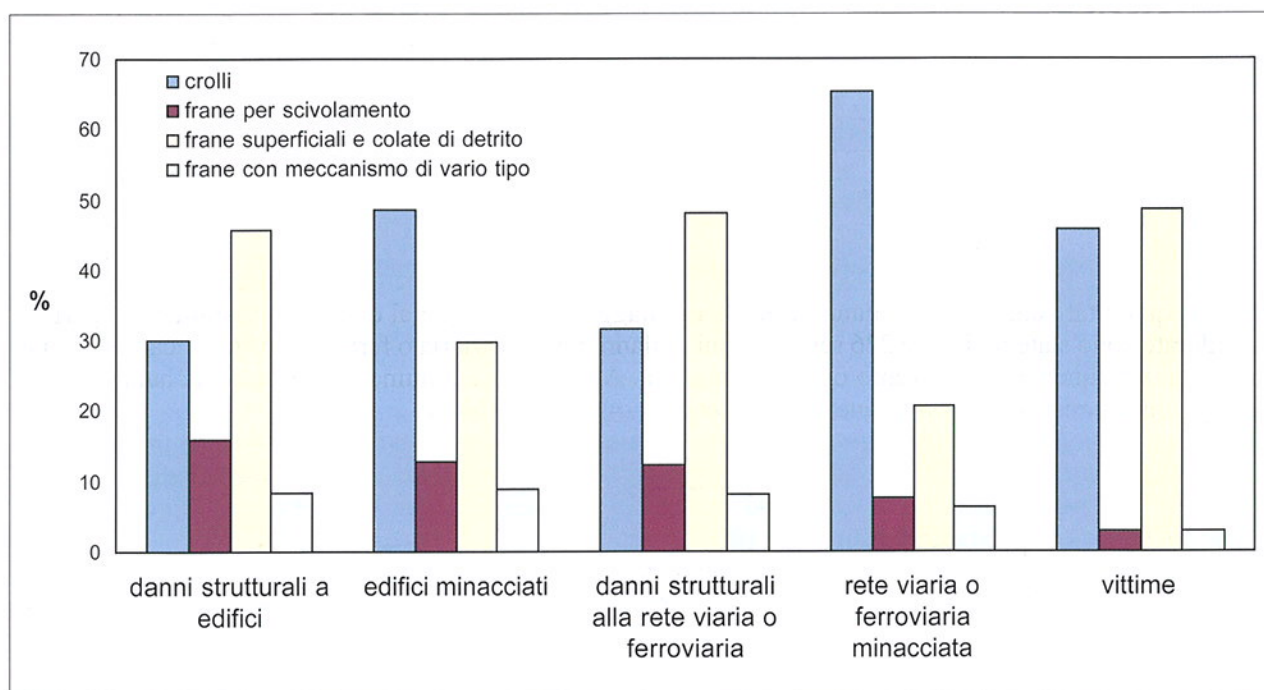


Fig. I.3. Effetti indotti dalle frane nella regione alpina.

Nella Fig. I.3 sono rappresentati, in percentuale, gli effetti indotti dai fenomeni franosi nel periodo 1850-1998 soltanto nella regione alpina. Sono state distinte le seguenti tipologie di effetti: danni strutturali ad edifici, danni strutturali alla rete viaria o ferroviaria, situazioni di minaccia per gli edifici e per la rete viaria o ferroviaria; è inoltre indicato il numero di eventi che hanno provocato vittime. Il diagramma mostra come i crolli siano uno dei principali fattori di rischio non solo per le attività umane ma soprattutto per l'incolumità stessa delle persone. Infatti, mentre il costo economico, in termini di danni indotti, è inferiore a quello causato dalle altre frane, il costo umano, in termini di eventi che hanno provocato vittime, tende ad essere dello stesso ordine di grandezza. Significativo in questo senso la elevata percentuale di eventi che hanno minacciato edifici, strade e ferrovie.

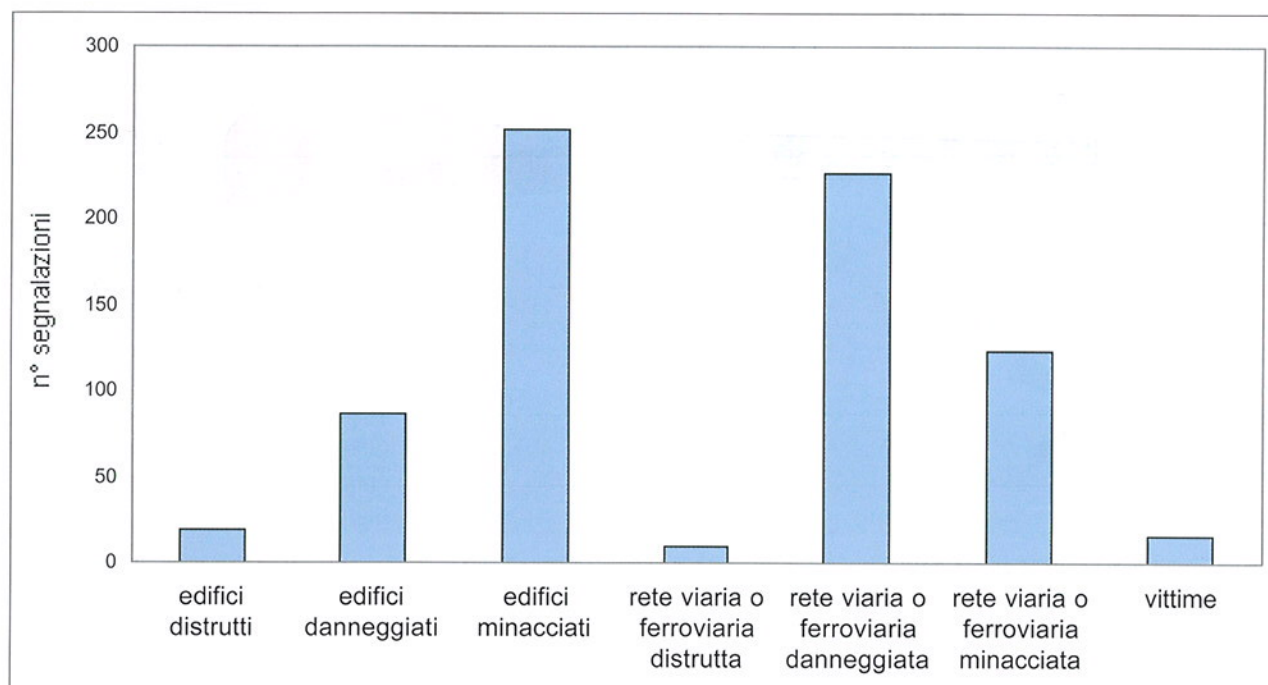


Fig. I.4. Effetti indotti dai fenomeni di crollo nel periodo 1850-1998.

La Fig. I.4 mostra nel dettaglio gli effetti sugli insediamenti e la viabilità indotti dai fenomeni di crollo. Il grafico indica il numero di segnalazioni di eventi che hanno provocato effetti sulle attività antropiche e non descrive quantitativamente tutti i danni. I problemi maggiori sono legati ai danni alla viabilità: nel periodo considerato sono state registrate 226 segnalazioni di danni alla rete viaria o ferroviaria; statisticamente equivale ad una frequenza di un evento ogni 8 mesi circa. Allarmante è il numero di eventi che hanno minacciato gli insediamenti con una frequenza di un evento ogni 6 mesi circa.

Un dato interessante viene dall'analisi della distribuzione spaziale dei crolli nei principali bacini idrografici piemontesi (Fig. I.5).

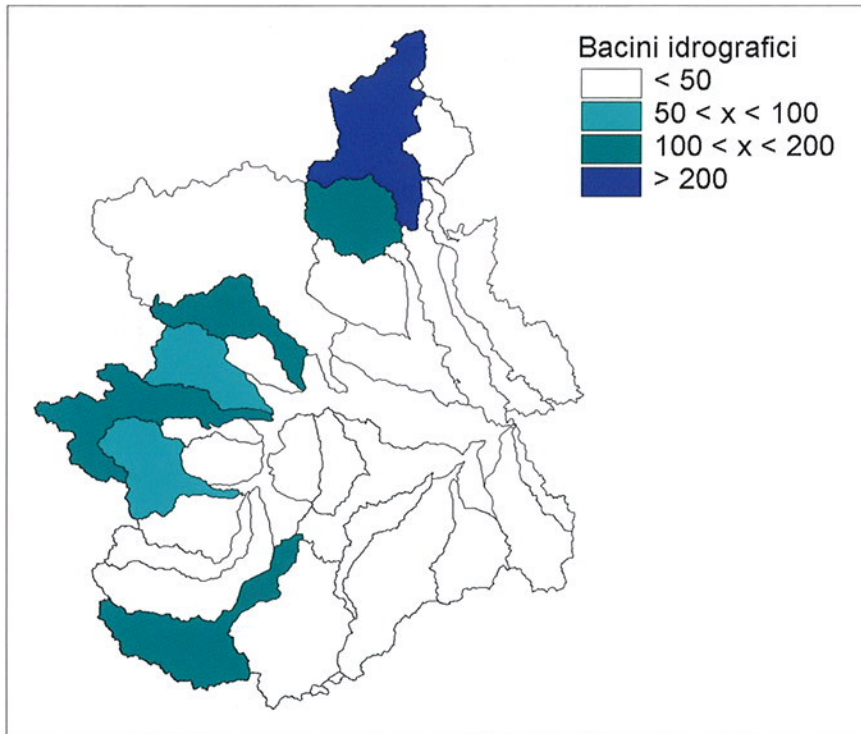


Fig. I.5. Distribuzione dei fenomeni di crollo nei principali bacini idrografici.

Su un totale di 1197 crolli censiti nel Sistema Informativo Geologico Regionale, 246 si sono verificati nella Val d'Ossola, 136 nell'alta Valle Susa, 126 in alta Valsesia, 110 nella Valle Stura di Demonte e 106 in Valle Orco; quindi più del 60% degli eventi occorsi è concentrato in questi cinque grandi bacini.

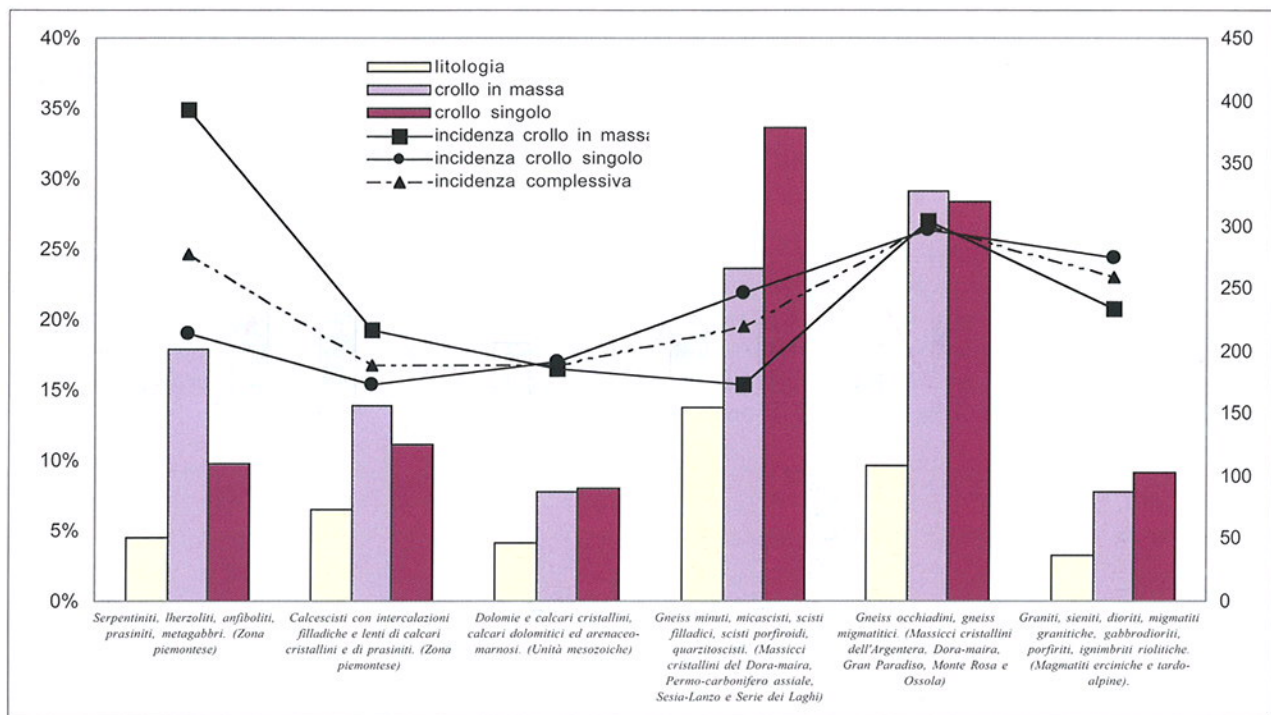


Fig. I.6. Incidenza dei fenomeni di crollo.

L'analisi della distribuzione spaziale dei fenomeni di crollo ha consentito inoltre alcune singolari correlazioni tra le caratteristiche lito-strutturali del substrato e la tipologia dei processi. Si può in sostanza parlare di una diversa incidenza dei crolli sulle varie unità strutturali che costituiscono l'ossatura delle Alpi Piemontesi. La Fig. I.6 fornisce un quadro attendibile dell'instabilità pregressa delle diverse aree lito-strutturali e conseguentemente offre un'idea della loro instabilità potenziale. Nel diagramma la litologia è espressa come percentuale areale sul totale del territorio piemontese, i crolli sono distinti tra crolli singoli e crolli in massa e calcolati in percentuale sul totale dei fenomeni avvenuti, l'incidenza è calcolata come rapporto tra le due percentuali e quindi moltiplicata $\times 100$. L'analisi del grafico permette le seguenti sintetiche conclusioni:

- L'incidenza più alta interessa le serie ortoderivate dei massicci cristallini dell'Argentera, Dora-Maira, Gran Paradiso, Monte Rosa e Ossola;
- Valori poco più bassi sono mostrati dal complesso basico delle pietre verdi (Zona Piemontese) e dalle magmatiti erciniche e tardo-alpine;
- I valori di incidenza più bassi sono presentati dalle Unità Mesozoiche e dai calcescisti della Zona Piemontese;
- La maggior incidenza di fenomeni di crollo in massa interessa il complesso basico delle Pietre Verdi (Zona Piemontese);
- Le rocce paraderivate del Sesia-Lanzo e della Serie dei Laghi, così come le magmatiti erciniche e tardo-alpine, presentano una più alta incidenza di fenomeni di crollo singolo;
- Le serie ortoderivate dei Massicci Cristallini Interni e le Unità Mesozoiche mostrano valori equivalenti di incidenza per le due tipologie di fenomeni.

Infine si è cercato di tradurre, in termini semi-quantitativi, la correlazione tra frequenza dei processi e le principali cause di innesco degli stessi. Un'indagine di questo tipo, condotta a scala regionale, ha l'indubbio vantaggio di fondarsi sulla elaborazione di una notevole quantità di dati, i quali, essendo ben distribuiti, si sono vicendevolmente integrati ed hanno permesso estrapolazioni sufficientemente affidabili. La frequenza dei crolli nei diversi mesi dell'anno è posta in relazione con il valore medio delle altezze di precipitazione mensile registrate nell'ultimo cinquantennio in stazioni significative dell'arco alpino occidentale (Fig. I.7). Il ruolo della temperatura è valutabile in base al diagramma che esprime in percentuale per ciascun mese il numero medio di giorni di disgelo (temperature minime superiori allo zero) e di permanenza della neve al suolo (Fig. I.8). L'istogramma di frequenza dei crolli segue quasi fedelmente l'andamento della curva pluviometrica, tranne che nei mesi di marzo e novembre, dove descrive i due massimi di frequenza. Questi valori estremi sono d'altro lato correlabili con le variazioni di temperatura e con il repentino aumento dei cicli di gelo e disgelo che si registrano in questi periodi dell'anno.

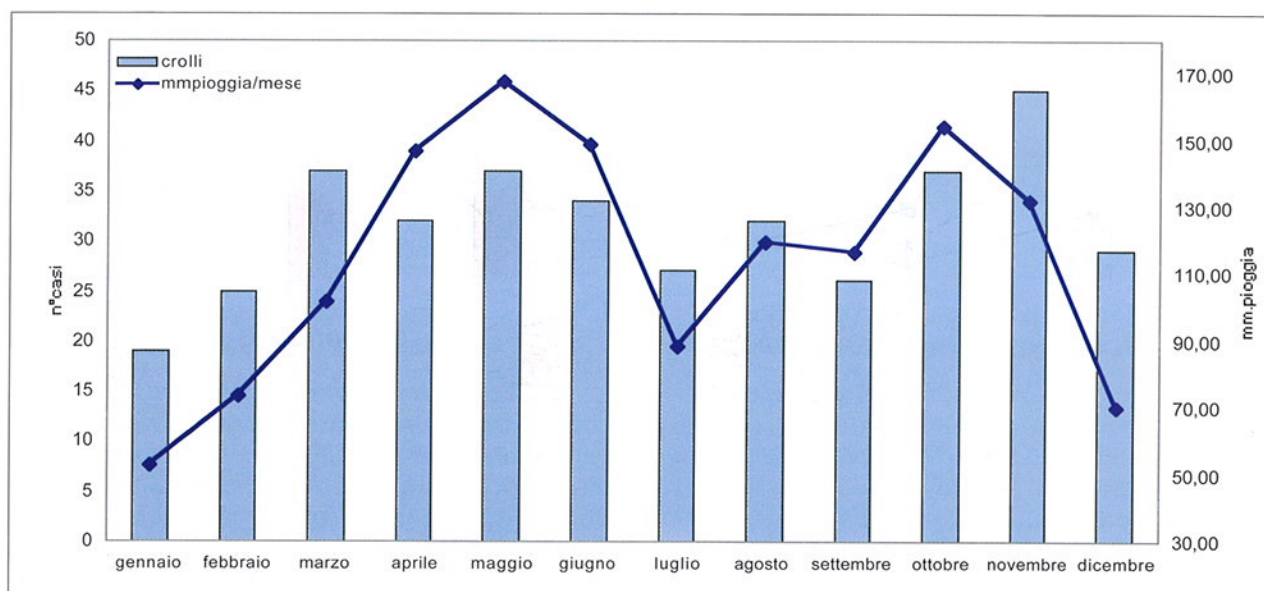


Fig. I.7. Istogramma di frequenza dei fenomeni di crollo.

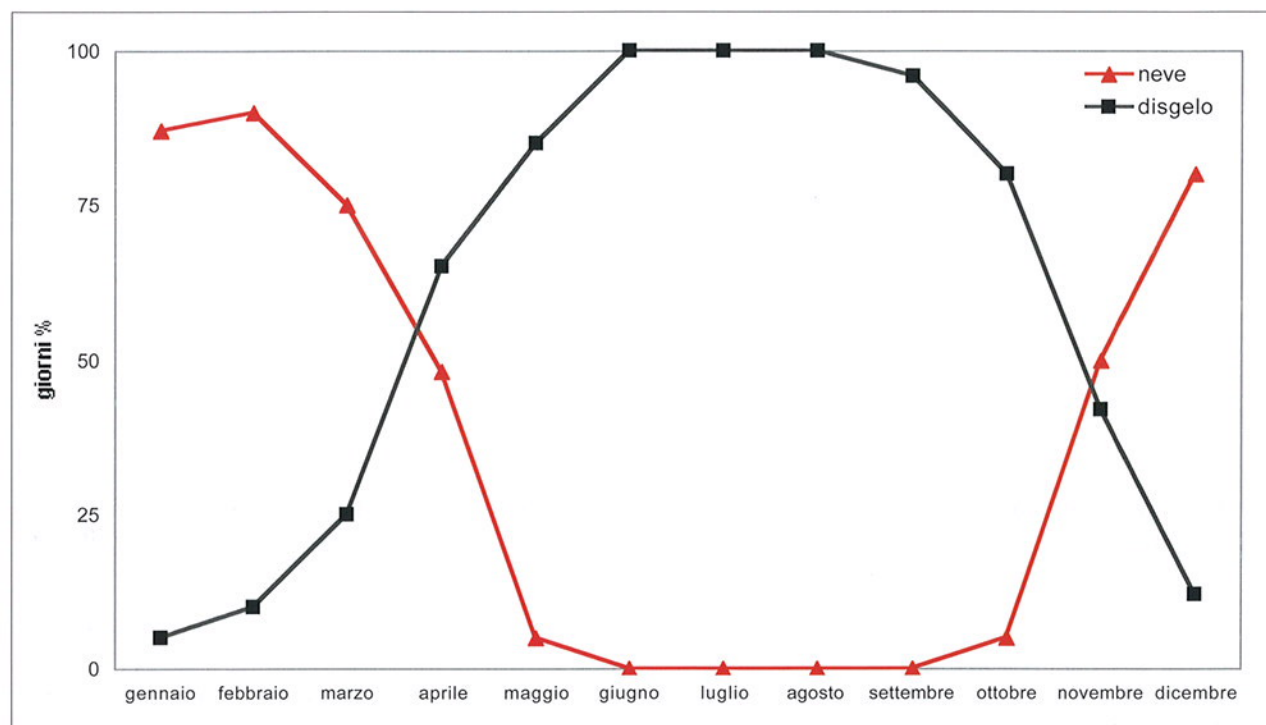


Fig. I.8 Diagramma giorni di disgelo e di permanenza della neve al suolo.

Dalla breve analisi condotta si è reso evidente che i limiti ad una zonizzazione integrale ed omogenea del territorio in funzione della pericolosità dei crolli e quindi anche del rischio, sono riconducibili alle caratteristiche peculiari di questi processi, che se esaminati solo nel loro contesto litologico, strutturale e morfologico, risultano difficilmente prevedibili e valutabili in termini di frequenza.

Dal momento che i motivi che più spesso provocano direttamente l'instabilità (precipitazioni, cicli di gelo e disgelo, sismicità di base, ecc.) sono quantificabili sia nei loro valori critici che nella distribuzione di frequenza, il problema potrebbe forse trovare una soluzione accettabile analizzando sistematicamente le principali cause di innesco di questi fenomeni ed utilizzandole quali parametri di riferimento per la determinazione del grado di pericolosità.

I.3. CONTEXTE JURIDIQUE ET RÉGLEMENTAIRE

I.3.1. En Italie

I.3.1.1 Normes nationales et régionales en matière de risque hydrogéologique

En Italie, le risque hydrogéologique est fréquent et fait souvent la une de la chronique compte tenu des nombreux événements catastrophiques qui frappent le territoire. Malgré la liste incroyable des calamités, ce n'est que dans ces dernières années que le parlement a légiféré à ce sujet en proposant une loi cadre pour la protection des sols. En effet, après l'institution des Régions au début des années soixante-dix, la législation nationale s'est orientée

I.3. CONTESTO GIURIDICO E LEGISLATIVO

I.3.1. In Italia

I.3.1.1 Normativa nazionale e regionale in materia di rischio idrogeologico

In Italia, il tema del rischio idrogeologico è ricorrente ed assume spesso gli onori della cronaca per i numerosi eventi calamitosi che colpiscono il territorio. Nonostante l'incredibile elenco di calamità, solo negli ultimi anni il parlamento ha legiferato sulla materia, proponendo una legge quadro sulla difesa del suolo. Infatti, dopo l'istituzione delle Regioni all'inizio degli anni settanta, la legislazione nazionale si è orientata a produrre delle

vers la promulgation de lois "cadres" qui constituèrent une référence essentielle pour tous les niveaux institutionnels (Régions, Provinces, et Communes), en définissant les lignes et les principes généraux dont il fallait s'inspirer, les fonctions, les activités et les compétences spécifiques. Il appartenait ensuite à la législation régionale d'appliquer, de détailler et définir les modalités opérationnelles avec lesquelles doivent s'effectuer les fonctions attribuées. Dans de nombreux cas, cependant, la législation régionale a précédé ou intégré la législation nationale surtout là où il y avait des lacunes et des carences législatives pour certaines matières spécifiques.

I.3.1.2 Normes nationales

Sur le plan national, la législation en matière de risque hydrogéologique et de protection des sols est très vaste et complexe. Au cours de ces quinze dernières années notamment, de nouvelles normes ont été promulguées pour combler un vide législatif significatif qui durait depuis le début du XX^e siècle.

En effet, les lois principales qui réglementaient la protection des sols le long des cours d'eau (**R.D. 523/1904**) et dans les zones de montagne (**L. 445/1908**) datent du début du siècle dernier. Toujours dans les zones de montagne, était et est encore en vigueur aujourd'hui la norme sur le *vincolo idrogeologico* (limitation à l'utilisation des sols liée aux problèmes hydrogéologiques) aux termes du **R.D. n. 3267 de 1923**. La loi sur le *vincolo idrogeologico* dont la gestion est aujourd'hui transférée aux régions, apparaît obsolète et pas toujours efficace en ce qui concerne la prévention. La limitation est appliquée de façon indifférenciée sur une grande partie du territoire de montagne et semble complètement dépassée dans sa délimitation qui remonte précisément au début du siècle. De même, la gestion administrative du défens ainsi que la norme afférente subissent souvent des interprétations contrastées qui portent à des choix d'autorisation différents au sujet de l'action de protection hydrogéologique des bassins hydrographiques et du patrimoine forestier à entreprendre.

Maintes lois nationales relatives à la gestion et à la réduction du risque géologique ont été rédigées à la suite d'événements catastrophiques graves ayant presque toujours pour objectif spécifique de remédier aux dégâts provoqués et de débloquer les financements nécessaires à rétablir les conditions minimum permettant de rendre viable les lieux endommagés. Ainsi, c'est avec la loi n. **185/1952** que fut affrontée la plus grave crue du Po qui frappa le Polesine et diverses zones du nord de l'Italie en 1951.

Ce n'est qu'après un autre événement catastrophique qui frappa la ville de Florence en 1966 et eut des répercussions dans toute l'Europe que le

leggi "quadro" che costituissero il riferimento essenziale per tutti i diversi livelli istituzionali (Regioni, Province e Comuni), definendo le linee ed i principi generali cui ispirarsi, le funzioni, le attività e le competenze specifiche. Spetta successivamente alla legislazione regionale applicare, dettagliare e definire le modalità operative con cui svolgere le funzioni attribuite. In molti casi, tuttavia, la legislazione regionale ha preceduto o integrato quella statale soprattutto laddove vi erano vuoti o carenze legislative per alcune materie specifiche.

I.3.1.2 Norme nazionali

A livello nazionale la legislazione in materia di rischio idrogeologico e difesa del suolo è molto ampia e complessa. Soprattutto in questi ultimi quindici anni sono state emanate nuove norme che vanno a colmare un significativo vuoto legislativo che durava dall'inizio del 1900.

Sono infatti dell'inizio del secolo scorso le leggi principali che regolamentavano la difesa del suolo lungo i corsi d'acqua (**R.D. 523/1904**) e nelle zone montane (**L. 445/1908**). Sempre nelle zone montane era ed è ancor oggi vigente la normativa riferita al vincolo idrogeologico, ai sensi del **R.D. 3267 del 1923**. La legge sul vincolo idrogeologico, la cui gestione è oggi trasferita alle Regioni, appare obsoleta e non sempre efficace nei suoi effetti di prevenzione. Il vincolo è apposto in modo indifferenziato su gran parte del territorio montano e appare completamente superato nella sua perimetrazione che risale appunto all'inizio del secolo. Anche la gestione amministrativa del vincolo, nonché la normativa ad esso collegata, subiscono spesso interpretazioni contrastanti che portano a scelte autorizzative differenti nel merito dell'azione di protezione idrogeologica dei bacini idrografici e del patrimonio forestale.

Molte delle leggi nazionali riguardanti la gestione e la mitigazione del rischio geologico sono state emanate in conseguenza di eventi calamitosi gravi e quasi sempre con lo specifico obiettivo di risanare i guasti prodotti e per stanziare finanziamenti necessari a ripristinare le condizioni minime di vivibilità dei luoghi danneggiati. Così, con legge n. **185/1952** venne affrontata la più gravosa piena del Fiume Po che colpì il Polesine e diverse aree del nord Italia nel 1951.

Solo dopo l'ulteriore evento calamitoso che ebbe eco in tutta l'Europa e che colpì la città di Firenze nel 1966, il Ministero dei Lavori Pubblici affidò ad una apposita Commissione, presieduta dall'Ing. G. De Marchi, il compito di procedere alla verifica del "Piano Operativo per la sistema-

Ministère des Travaux Publics confia à une commission spéciale présidée par l'Ingénieur G. De Marchi la tâche de procéder à la vérification du "*Piano Operativo per la sistematica regolazione dei corsi d'acqua naturali*" (Plan Opérationnel pour la régulation systématique des cours d'eau naturels) rédigé par le Ministère même et à l'étude d'un programme de travaux à réaliser pour une restructuration hydraulique générale des cours d'eau. Les travaux de la Commission relancèrent la nécessité de créer une loi cadre sur la protection des sols qui fut promulguée seulement en 1989 après un long et laborieux travail parlementaire. On est ainsi arrivé à la loi n. **183/1989** et modifications successives. Cette loi introduit la planification de la protection des sols à l'échelle de bassin hydrographique avec valeur de plan territorial de secteur, avec une importance supérieure aux autres outils de planification territoriale à l'échelle locale (régionale, provinciale et communale). Les *Piani di Bacino* ou les *Piani Stralcio* qui lui sont connexes ont donc la possibilité d'introduire une série de mesures, de critères et de normes pour orienter et limiter l'utilisation des sols dans les zones considérées à risque hydrogéologique à cause de différents types de phénomènes d'instabilité.

La loi institue les *Autorità di Bacino* (Autorités de Bassin), sorte d'organisme mixte paritaire entre État et Régions qui a le devoir de rédiger et d'approuver le *Piano di Bacino* (Plan de Bassin). Actuellement, dans le bassin national du Po où se déversent en totalité les régions Vallée d'Aoste, Piémont et Lombardie, l'*Autorità di Bacino* (l'Autorité de Bassin) a adopté divers *piani stralcio* et a en cours de réalisation le *Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico* (PAI) (Plan provisoire pour l'aménagement hydrogéologique). Ce plan contient des orientations, des normes et des limitations pour les zones fluviales situées le long du réseau hydrographique principal, des orientations spécifiques pour la prévention de l'instabilité hydrogéologique dans les zones de montagne et les mesures d'intervention à entreprendre pour réduire les nombreuses situations à risque.

Les données du plan et les normes relatives ne font pas d'allusion particulière aux éboulements rocheux, car, étant donné l'étendue de l'aire du bassin du Po et l'échelle graphique prise comme référence, tous les mouvements de versant sont traités de la même manière sans être subdivisés par typologie.

Plus récemment, suite aux phénomènes d'éboulements qui ont frappé la ville de Sarno en Campanie, le gouvernement italien a promulgué la loi n. **267/1998**. Cette loi, proposée par le Ministère de l'Environnement, prescrit, entre autres, que les Autorités de Bassin Nationales, Interrégionales et les Régions adoptent des *Piani stralcio* (plans provi-

tica regolazione dei corsi d'acqua naturali" redatto dal Ministero stesso e allo studio di una programmazione delle opere da attuarsi per la generale sistemazione idraulica dei corsi d'acqua. I lavori della Commissione rilanciarono la necessità di realizzare una legge quadro sulla difesa del suolo che fu emanata solo nel 1989, dopo un lungo e sofferto iter parlamentare. Si è giunti così alla legge n. **183/1989** e successive modifiche. La legge introduce la pianificazione della difesa del suolo a scala di bacino idrografico con valore di Piano territoriale di settore, sovraordinato agli altri strumenti di pianificazione territoriale a scala locale (regionale, provinciale e comunale). Il Piano di Bacino o i Piani stralcio ad esso collegati hanno quindi la possibilità di introdurre una serie di misure, indirizzi e norme per orientare e vincolare l'utilizzo del suolo nelle aree considerate a rischio idrogeologico per diverse tipologie di fenomeni di dissesto.

La legge istituisce le Autorità di Bacino, una sorta di ente misto paritetico tra Stato e Regioni, che hanno il compito di redigere ed approvare il piano di bacino. Attualmente, nel bacino nazionale del Fiume Po in cui ricadono totalmente le regioni Valle d'Aosta, Piemonte e Lombardia, l'Autorità di Bacino ha adottato diversi piani stralcio ed ha in corso di attuazione definitiva il Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI). Il Piano contiene indirizzi, norme e vincoli per le fasce fluviali lungo la rete idrografica principale, indirizzi specifici per la prevenzione del dissesto idrogeologico nelle aree montane e le misure di intervento necessarie per mitigare le numerose situazioni di rischio.

Gli elaborati di piano e le relative norme non fanno cenno specifico alle frane di crollo, in quanto, data la vastità dell'area del bacino del Po e la scala grafica di riferimento, tutti i movimenti di versante sono trattati allo stesso modo, senza suddivisioni per tipologia.

Più recentemente, a seguito dei fenomeni franosi che hanno colpito l'abitato di Sarno in Campania, il Governo italiano ha emanato la L. **267/1998**. La legge, proposta dal Ministero dell'Ambiente, dispone tra l'altro che le Autorità di Bacino Nazionali, Interregionali e le Regioni adottino Piani stralcio straordinari che contengano in particolare l'individuazione e la perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico molto elevato. Questi Piani straordinari sono diretti a rimuovere le situazioni a rischio molto elevato nelle quali sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture, con conseguente inagibilità delle stesse. Per tutte le aree identificate e perimetrate

soires) extraordinaires qui contiennent en particulier l'identification et la délimitation des zones à risque hydrogéologique très élevé. Ces plans extraordinaires sont destinés à annihiler les situations à risque très élevé dans lesquelles peuvent exister des problèmes pour la sécurité des personnes, des dégâts fonctionnels aux édifices et aux infrastructures les rendant inutilisables. Pour toutes les zones identifiées et délimitées, des mesures temporaires de protection devront être prises et des projets d'intervention pour réduire le risque devront être réalisés. Pour le bassin du Po, l'Autorité de Bassin a chargé les Régions de relever et délimiter les zones à risque très élevé en mettant à leur disposition des financements correspondants. Dans le cadre des études effectuées en Lombardie, une attention particulière a été portée aux éboulements rocheux et ont été mises au point et appliquées les procédures relatives à la méthode RHAP.

Toujours suite à un évènement catastrophique survenu à Soverato, en Calabre, a été promulguée la loi **n. 365/2000** qui, outre d'anticiper et d'accélérer les procédures pour l'adoption des *Piani di assetto idrogeologico* (Plans d'Aménagement Hydrogéologique) prévus par les précédentes normes, impose une série de limitations à l'usage du territoire pour les zones à risque hydrogéologique qui ne font pas encore l'objet de planifications spécifiques ou de mesures idoines de protection. En outre, la loi prescrit la mise en œuvre d'une série de contrôles de police hydraulique extraordinaires pour détecter les zones le plus à risque le long du réseau hydrographique.

Enfin, au delà des normes contenues dans les instruments de planification et de programmation de la protection des sols, il semble opportun de signaler le **Décret Ministériel du 11.3.1988** inhérent aux "Normes techniques concernant les enquêtes sur les terrains et sur les roches, la stabilité des versants naturels et des talus, les critères généraux et les prescriptions pour projeter, exécuter et vérifier les ouvrages de soutien des terres et de fondation". Ce décret et la circulaire d'application relative définissent pour une série d'ouvrages d'intervention sur le territoire, les enquêtes nécessaires au projet, à différents niveaux, à la réalisation et au contrôle de l'intervention même et prescrit en outre une série de critères techniques auxquels doivent correspondre les calculs géotechniques effectués.

I.3.1.3 Normes régionales

Lombardie

Le contexte normatif modifié introduit par les *leggi-delega* (loi de l'état qui délègue aux régions le pouvoir d'établir des normes dans certaines matières) et la complexité croissante inhérente à la planification, à la programmation et à la gestion du ter-

dovranno essere apposte misure temporanee di salvaguardia e realizzati progetti di intervento per la mitigazione del rischio.

Per il bacino del Po, l'Autorità di Bacino ha incaricato le Regioni di individuare e perimetrare le aree a rischio molto elevato, mettendo a disposizione i relativi finanziamenti. Nell'ambito degli studi effettuati in Lombardia, particolare attenzione è stata posta alle frane di crollo e sono state messe a punto ed applicate le procedure relative al metodo RHAP.

Sempre a seguito di un evento disastroso avvenuto a Soverato in Calabria è stata emanata la legge **n. 365/2000** che, oltre ad anticipare ed accelerare le procedure per l'adozione dei Piani di Assetto idrogeologico previsti dalle precedenti normative, pone una serie di vincoli nell'uso del territorio per le aree a rischio idrogeologico non ancora oggetto di pianificazioni specifiche o di idonee misure di salvaguardia. Inoltre, la legge dispone l'avvio di una serie di accertamenti straordinari di polizia idraulica per individuare le situazioni maggiormente a rischio lungo la rete idrografica.

Da ultimo, al di là delle normative contenute negli strumenti di pianificazione e programmazione della difesa del suolo, sembra opportuno segnalare il **Decreto Ministeriale dell'11.3.1988** inerente le "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione". Questo decreto e la relativa circolare applicativa definiscono per una serie di opere di intervento sul territorio, le indagini necessarie per la progettazione a vari livelli, la realizzazione ed il collaudo dell'intervento stesso ed inoltre pongono una serie di criteri tecnici cui devono rispondere i calcoli geotecnici effettuati.

I.3.1.3 Norme regionali

Lombardia

Il mutato contesto normativo introdotto dalle leggi delega e la crescente complessità inerente la pianificazione, programmazione e gestione del territorio, hanno indotto la Giunta della Regione Lombardia a sviluppare e rinnovare la propria

ritoire ont incité le Gouvernement de la Région Lombardie à développer et moderniser sa propre structure d'organisation dans le domaine territorial avec pour objectif de coordonner et regrouper des fonctions et de pourvoir à ce que l'organe régional ait un rôle central d'orientation, de planification et de programmation.

On a spécifiquement procédé à regrouper et augmenter les structures d'organisation qui recensent, développent, élaborent et assurent la surveillance des données géologiques et territoriales essentielles à l'exécution des tâches institutionnelles de la Région. On s'est particulièrement centré sur l'approfondissement de la connaissance des données territoriales de base liées aux aspects physiques du territoire en rationalisant les structures destinées à la récolte, à la validation, à l'évaluation et la mise à jour des données et des informations topographiques, géographiques, géologiques, hydrogéologiques et hydrauliques de façon à les rendre plus aisément exploitables dans des banques de données modernes.

Outre le regroupement des compétences et des fonctions territoriales, ayant toujours comme référence centrale et unificatrice le territoire lombard avec ses dynamiques complexes, le Gouvernement Régional a pourvu à unifier dans la même direction générale également les compétences relatives à la programmation de la protection des sols entendue surtout comme valorisation et défense du territoire, de ses biens et des activités qu'il recèle.

Dans ce cadre synthétique, se place aussi le processus évolutif qui a conduit à la redéfinition du Service Géologique Régional qui a été renforcé précisément afin d'optimiser les ressources nécessaires à une récolte, une organisation et une gestion capillaires des données physico-territoriales. L'organisation qui en découle est celle mise en évidence dans le schéma de la Fig. I.9.

struttura organizzativa nel campo territoriale, con l'obiettivo di coordinare ed accorpare funzioni e dare centralità al ruolo di indirizzo, pianificazione e di programmazione proprio dell'Ente regionale.

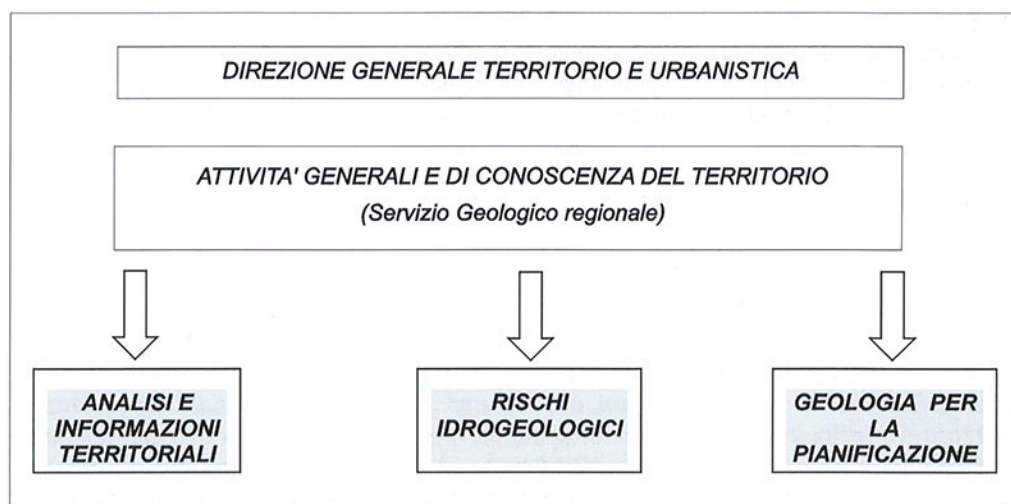
Specificamente si è proceduto all'accorpamento e al potenziamento delle strutture organizzative che censiscono, sviluppano, elaborano e monitorano i dati geologici e territoriali essenziali per lo svolgimento dei compiti istituzionali della Regione. In particolare si è data centralità all'approfondimento della conoscenza dei dati territoriali di base legati agli aspetti fisici del territorio, razionalizzando le strutture deputate alla raccolta, validazione, valutazione ed aggiornamento dei dati e delle informazioni topografiche, geografiche, geologiche, idrogeologiche ed idrauliche, in modo da renderli facilmente fruibili in moderne banche dati.

Oltre al riaccorpamento delle competenze e funzioni territoriali, avendo sempre come riferimento centrale ed unificatore il territorio lombardo con le sue dinamiche complesse, la Giunta regionale ha provveduto ad unificare nella stessa Direzione Generale anche le competenze relative alla programmazione della difesa del suolo, intesa soprattutto come valorizzazione e difesa del territorio, dei suoi beni e delle attività che in esso si esplicano.

In questo quadro sinteticamente delineato, si colloca anche il processo evolutivo che ha condotto alla ridefinizione del Servizio Geologico Regionale che è stato potenziato proprio al fine di ottimizzare le risorse necessarie per una capillare raccolta, organizzazione e gestione dei dati fisico-territoriali. L'organizzazione che ne è derivata è quella evidenziata nello schema della Fig. I.9.

Fig. I.9.
Organisation
du Service
Géologique
de la Région
Lombardie.

Organizzazione
del Servizio
Geologico della
Regione
Lombardia.



Ci-après, les principales compétences des diverses structures :

- Ont été unifiées à la **Struttura Analisi ed informazioni territoriali (Structure Analyses et informations territoriales)** toutes les compétences relatives à la production des supports cartographiques et topographiques de base, destinées à augmenter et valoriser le Système Informatif Territorial. Cette structure devra garantir à toutes les structures régionales qui s'occupent de planification et de programmation du territoire et à tous les organismes territoriaux lombards des supports mis à jour et facilement exploitables de données et d'informations territoriales de base : cartes techniques régionales en format raster et vectoriel à diverses échelles, modèles digitaux de terrain (DTM), photographies aériennes, orthophotos et images satellites, cartographies thématiques variées, etc. Dans la cartographie de base produite par la Structure, il y a aussi la nouvelle carte géologique de base (Projet CARG) qui constitue un support informatif essentiel pour n'importe quel type d'élaboration thématique des données territoriales.
- À la **Struttura Rischi Idrogeologici (Structure Risques hydrogéologiques)** ont été adjointes toutes les fonctions relatives aux risques naturels, spécifiquement au risque hydrogéologique (éboulements, débordements) et sismique. Toujours à cette structure, est reliée la banque de données sur les instabilités hydrogéologiques comme support à toutes les évaluations inhérentes au danger et au risque hydrogéologique qui intéressent le territoire lombard. La structure élabore, en outre, les standards méthodologiques et les critères techniques pour les évaluations inhérentes au danger et au risque hydrogéologique et sismique.
- La **Struttura Geologia per la pianificazione (Structure Géologie pour la planification)** est, par contre, chargée de transformer toutes les informations élaborées par les précédentes structures en orientations et données exploitables pour la planification et la programmation du territoire à différents niveaux, régional, provincial et communal. Anticipant, notamment, ce qui est prévu par la planification de bassin aux termes de la loi 183/1989, la structure analyse, instruit et finance les études géologiques supportant des Plans Régulateurs communaux et prédispose les lignes de conduite pour la planification territoriale des provinces.

Les aspects géologiques et l'unité d'organisation qui leur est assignée sont donc mis au service du territoire et des fonctions d'orientation que le Gouvernement régional doit expliquer. Un service géologique régional de plus en plus orienté vers la

Queste le principali competenze delle diverse strutture:

- Sono state unificate presso la Struttura **Analisi ed informazioni territoriali** tutte le competenze relative alla produzione dei supporti cartografici e topografici di base, potenziando e valorizzando il Sistema Informativo Territoriale. Questa struttura dovrà garantire a tutte le strutture regionali che si occupano di pianificazione e programmazione del territorio ed a tutti gli enti territoriali lombardi, i supporti aggiornati e facilmente fruibili di dati ed informazioni territoriali di base: carte tecniche regionali in formato raster e vettoriale a diverse scale, Modelli digitali del terreno (DTM), fotografie aeree, ortofoto ed immagini satellitari, cartografie tematiche varie, ecc. Tra la cartografia di base prodotta dalla Struttura c'è anche la nuova carta geologica di base (Progetto CARG) che costituisce un supporto informativo essenziale per qualsiasi tipo di elaborazione tematica dei dati territoriali.
- Presso la Struttura **Rischi Idrogeologici** sono state accorpate tutte le funzioni relative ai rischi naturali, specificamente al rischio idrogeologico (frane, esondazioni) e sismico. Sempre presso questa struttura è collocata la banca dati sui dissesti idrogeologici a supporto per tutte le valutazioni inerenti la pericolosità ed il rischio idrogeologico che interessa il territorio lombardo. La Struttura elabora inoltre gli standard metodologici e gli indirizzi tecnici per le valutazioni inerenti la pericolosità ed il rischio idrogeologico e sismico.
- La Struttura **Geologia per la pianificazione** ha invece il compito di trasformare tutte le informazioni elaborate dalle precedenti strutture in indirizzi e dati fruibili per la pianificazione e programmazione del territorio ai vari livelli, regionale, provinciale e comunale. In particolare, anticipando quanto previsto dalla pianificazione di bacino ai sensi della legge 183/1989, la Struttura analizza, istruisce e finanzia gli studi geologici a supporto dei Piani Regolatori Comunali e predispose le linee guida per la pianificazione territoriale delle Province.

Gli aspetti geologici e l'unità organizzativa ad essi deputata sono quindi messi al servizio del territorio e delle funzioni di indirizzo che la Giunta regionale deve esplicare. Un servizio geologico regionale sempre più orientato a fornire supporti non solo in caso di calamità o emergenze, per altro sempre attuali nel paese, ma anche e soprattutto orientato a definire ed approfondire i dati fisico-territo-

fourniture de supports non seulement en cas de calamité ou d'urgence, par ailleurs toujours présents dans le pays, mais aussi et surtout vers la définition et l'approfondissement des données physico-territoriales essentielles à une planification et une programmation correctes du territoire.

Oltre l'action du service géologique, la Région Lombardie profite aussi des compétences des structures qui font partie du service chargé de la protection des sols qui a comme tâche primordiale de programmer et réaliser les interventions de réduction du risque hydrogéologique. La gestion des interventions est souvent confiée aux Pouvoirs Locaux (Provinces, Communes, Communautés de Montagne) auxquels les structures régionales et provinciales (ex-Génie Civil) fournissent des consultations techniques et administratives en phase de projet, de réalisation et de contrôle des interventions mêmes.

Cadre normatif

Au niveau régional, ont été mises en œuvre une série d'actions spécifiques visant à créer une nouvelle sensibilité envers le thème de la prévention du risque hydrogéologique par un usage plus correct du territoire qui porte à soutenir les choix territoriaux et d'urbanisation au moyen d'analyses de type géologique, hydrogéologique et environnemental. Après l'approbation de la **loi régionale n. 33/1988** sur la discipline du territoire régional à risque géologique, hydrogéologique et sismique, on est arrivé à promulguer une première délibération n. V/36147 du 18.5.1993 sur la composante géologique dans la planification locale. On est parvenu enfin à la récente approbation de la **loi régionale n. 41 du 24 novembre 1997** "Prévention du risque géologique, hydrogéologique et sismique avec d'outils d'urbanisation, généraux et leurs variantes".

Les mesures de prévention du risque introduites concernent notamment :

- L'obligation pour les administrations communales de doter leurs outils de planification urbanistique et leur variantes d'une étude géologique, hydrogéologique et sismique afin de vérifier la compatibilité entre les prévisions d'urbanisation et les conditions de risque des territoires intéressés.
- La rédaction d'une liste des communes lombardes retenues le plus à risque ou dans lesquelles se sont vérifiés des événements catastrophiques au cours des dernières années et où, il est nécessaire d'appliquer en priorité une procédure de contrôle de la compatibilité du développement urbain avec l'état de risque.
- La possibilité de financer les études géologiques à l'échelle communale selon la priorité ci-dessus définie.

riali essenziali per una corretta pianificazione e programmazione del territorio.

Oltre all'azione del servizio geologico, la Regione Lombardia si avvale anche delle competenze delle strutture facenti capo al servizio difesa del suolo che ha come compito primario di programmare e realizzare gli interventi di mitigazione del rischio idrogeologico. La gestione degli interventi viene spesso affidata agli Enti Locali (Province, Comuni, Comunità Montane) a cui le strutture regionali e provinciali (ex Genio Civile) forniscono consulenze tecnica ed amministrativa in fase di progettazione, realizzazione e collaudo degli interventi stessi.

Quadro normativo

A livello regionale, sono state approntate una serie di azioni specifiche mirate a creare una nuova sensibilità al tema della prevenzione del rischio idrogeologico mediante un uso più corretto del territorio, che porti a supportare le scelte territoriali ed urbanistiche con analisi di tipo geologico, idrogeologico ed ambientale. Dopo l'approvazione della **L.R. n. 33/1988** sulla disciplina del territorio regionale a rischio geologico, idrogeologico e sismico, si è arrivati alla emanazione di una prima Deliberazione n. V/36147 del 18.5.1993 sulla componente geologica nella pianificazione locale. Si è giunti infine alla recente approvazione della **legge regionale n. 41 del 24 novembre 1997** "Prevenzione del rischio geologico, idrogeologico e sismico mediante strumenti urbanistici generali e loro varianti".

In particolare le misure di prevenzione del rischio introdotte riguardano:

- L'obbligatorietà per le Amministrazioni comunali di dotare i propri strumenti di pianificazione urbanistica e loro varianti di uno studio geologico, idrogeologico e sulla sismicità, al fine di verificare la compatibilità tra le previsioni urbanistiche e le condizioni di rischio dei territori interessati.
- L'individuazione di un elenco di comuni lombardi ritenuti più a rischio o in cui si sono rilevati eventi calamitosi negli ultimi anni, nei quali applicare prioritariamente una procedura di verifica della compatibilità urbanistica con lo stato di rischio.
- La possibilità di finanziare gli studi geologici a scala comunale secondo la priorità sopra definita.

Au fur et à mesure que les administrations communales appliqueront la loi, on arrivera à obtenir un niveau de connaissance du risque hydrogéologique à l'échelle locale plus approfondi et l'on pourra ainsi mieux définir les normes d'utilisation des sols dans les zones à risque. Chaque commune, en effet, pourra déterminer les zones à risque à une échelle extrêmement détaillée sur la base des directives techniques émises par le Service Géologique régional et contrôler la compatibilité qui existe entre les choix d'urbanisation et le risque détecté exercé par la Région et, dans un proche avenir, par les provinces.

Dans les études géologiques et hydrogéologiques effectuées par les communes, sont, entre autres, normalement effectuées des analyses historiques sur les zones instables classées par typologies. Pour les phénomènes d'éboulement, on reconstruit les séquences historiques en décrivant aussi les effets et les dégâts causés par ces phénomènes. On identifie les zones de départ des éboulements et les zones d'influence possible, ces dernières étant définies sur la base de critères géo-morphologiques et historiques. Normalement, aucun relevé topographique ni modelages ni trajectographies, qui sont habituellement requis lors de la phase de mise en œuvre des interventions relative au zonage du territoire pris en examen, ne sont effectués. Effectivement, les aires possédant des caractéristiques différentes de dangerosité géo-morphologique sont déterminées et zonées en détail en spécifiant pour chacune d'elles le degré de compatibilité avec l'urbanisation du territoire. Les aires sujettes à des éboulements tombent généralement dans les classes de "faisabilité géologique avec limitations importantes ou graves" dans l'utilisation des sols en fonction de l'intensité des phénomènes et de leur fréquence.

Dans le cas où une zone exposée à des phénomènes d'éboulement est classée avec "graves limitations", les normes régionales prévoient l'interdiction de construire dans cette zone ; si, toutefois, dans la zone étudiée se trouvent déjà des constructions ou des habitations, des interventions visant à réduire le risque (Intervention urgente avec **loi régionale n. 34/1973**) sont programmées et des mesures de protection civile destinées à protéger la population (Plans communaux de protection civile ou plans d'urgence) sont adoptées.

Dans le cas où une zone exposée à des éboulements est classée avec "limitations importantes", les normes régionales prévoient que, dans la phase de mise en œuvre des prévisions d'urbanisation, soient effectuées toutes les études de détail (topographiques, géo-mécaniques, trajectographiques, modelages, etc.) ayant pour but d'approfondir les phénomènes, d'identifier et de projeter des interventions visant à réduire le danger et le risque. Ces études de détail sont réalisées sur la base des direc-

Man mano che le Amministrazioni comunali applicheranno la legge, si arriverà ad ottenere un livello di conoscenza del rischio idrogeologico a scala locale più approfondito e si potranno delineare al meglio le norme di utilizzo delle suolo nelle aree a rischio. Ogni comune infatti potrà definire le aree a rischio ad una scala di estremo dettaglio, sulla base delle direttive tecniche emanate dal Servizio Geologico regionale e con il controllo di compatibilità tra scelte urbanistiche e rischio individuato, esercitato da Regione ed, in un prossimo futuro, dalle Province.

Negli studi geologici ed idrogeologici effettuati dai Comuni, vengono, tra l'altro, normalmente effettuate analisi storiche sulle aree in dissesto suddivise per tipologia. Per i fenomeni di crollo si ricostruiscono le serie storiche, descrivendo anche gli effetti ed i danni causati dai singoli episodi. Vengono individuate le aree origine dei crolli e le aree di possibile influenza, queste ultime definite sulla base di criteri geomorfologici e storici. Normalmente non si effettuano rilievi topografici, modellazioni e traiettografie che vengono di norma demandate alla fase attuativa degli interventi, in funzione della zonazione del territorio preso in esame. Infatti si distinguono e si zonano nel dettaglio aree con differenti caratteristiche di pericolosità geomorfologica specificando per ognuna il grado di compatibilità nell'uso urbanistico del territorio. Le aree soggette a crollo ricadono generalmente nelle classi di "fattibilità geologica con consistenti o gravi limitazioni" all'uso del suolo, in funzione dell'intensità dei fenomeni e della frequenza di accadimento.

Nel caso venga zonata un'area esposta a fenomeni di crollo con classe con "gravi limitazioni", le norme regionali prevedono il divieto di edificabilità dell'area; se però nell'area in esame vi sono già presenti edifici o abitazioni si programmano interventi di mitigazione del rischio (Pronto intervento con **L.R. 34/1973**) e si adottano misure di protezione civile per la salvaguardia della popolazione (Piani comunali di Protezione Civile o Piani di emergenza).

Nel caso venga zonata un'area esposta a crolli con "consistenti limitazioni", le norme regionali prevedono che nella fase di attuazione delle previsioni urbanistiche vengano effettuati tutti gli studi di dettaglio (topografici, geomeccanici, traiettografici, modellazioni, ecc.) finalizzati all'approfondimento dei fenomeni e alla individuazione e progettazione degli interventi di mitigazione della pericolosità e del rischio. Questi studi di dettaglio vengono effettuati sulla base delle direttive tecniche emanate dal servizio geologico regionale, in particolare utilizzando il metodo RHAP per

tives techniques promulguées par le service géologique régional, en particulier en utilisant la méthode RHAP pour les phénomènes relatifs à la chute ou à l'éboulement en masse.

Sur la base de l'étude de détail, sont donc réalisées les interventions de réduction du risque par les administrations publiques dans le cas des protections des ouvrages publics ou par des privés dans le cas où l'intervention sert à défendre les propriétés privées.

Dans différents cas, comme nous l'avons déjà mentionné dans la partie relative à la législation nationale, le Service Géologique régional travaille en collaboration avec l'Autorité de bassin nationale et définit directement les milieux à risque hydrogéologique particulier pour lesquels sont appliquées des normes de protection auxquels les organes urbanistiques communaux doivent se conformer.

Piémont

C'est grâce à la sensibilisation progressive envers la gestion de la dangerosité géologique qu'est né le vaste programme de prévention territoriale de la Région Piémont qui a porté à la constitution d'une structure spécifique créée en 1978 comme Service Géologique Régional et constituée en **Direzione Regionale dei Servizi Tecnici di Prevenzione** (**Direction Régionale des Services Techniques de Prévention**) (Fig. I.10) avec la loi régionale n. 51/1997.

le fenomenologie relative alla caduta o al crollo in massa.

Sulla base dello studio di dettaglio vengono quindi realizzati gli interventi di mitigazione del rischio dalle amministrazioni pubbliche nel caso della difesa di opere pubbliche o da privati nel caso l'intervento sia a difesa di proprietà private.

In diversi casi, come già accennato nella parte relativa alla legislazione nazionale, il Servizio Geologico regionale opera in coordinamento con l'Autorità di Bacino nazionale e definisce direttamente ambiti a particolare rischio idrogeologico, su cui vengono applicate norme di salvaguardia cui gli strumenti urbanistici comunali debbono adeguarsi.

Piemonte

Dalla progressiva sensibilizzazione verso la gestione della pericolosità geologica, nasce il vasto programma di prevenzione territoriale della Regione Piemonte che portò alla costituzione di una specifica struttura nata nel 1978 come Servizio Geologico Regionale e costituita in **Direzione Regionale dei Servizi Tecnici di Prevenzione** (Fig. I.10) con la Legge Regionale n° 51/1997.

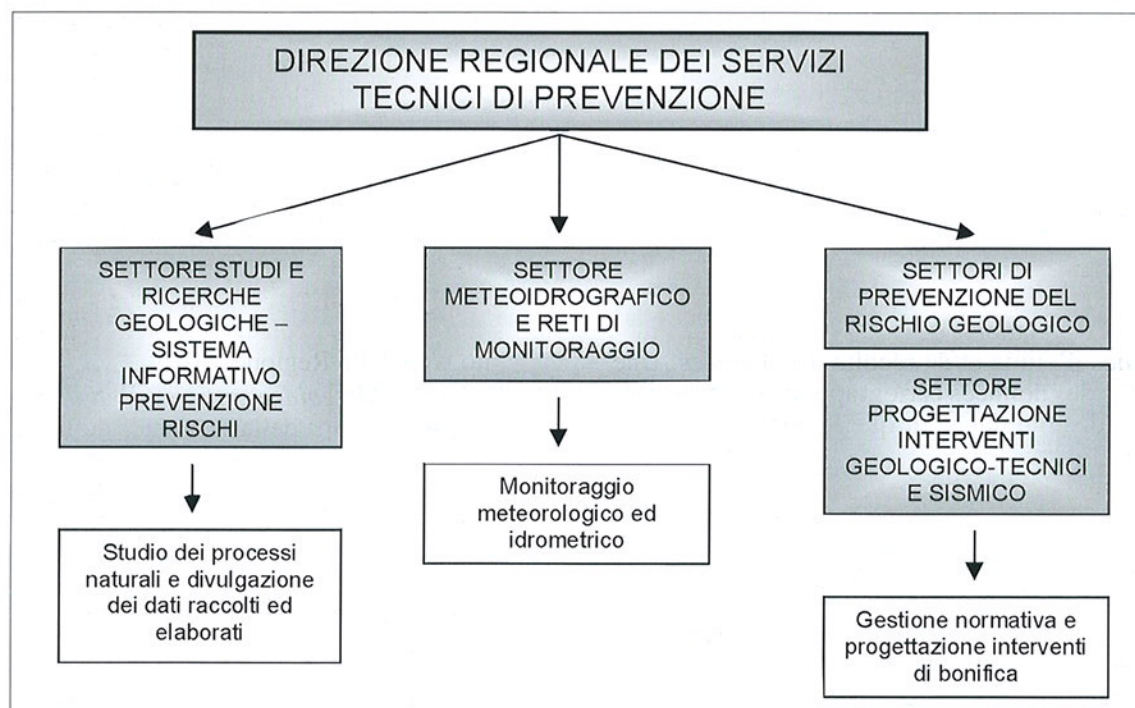


Fig. I.10. Organisation du Service Géologique de la Région Piémont.

Organizzazione del Servizio Geologico della Regione Piemonte.

L'objectif principal a été de constituer une structure de service en mesure de fournir immédiatement et avec un niveau de précision et d'exactitude adéquats, des informations et des données dans le domaine de la **prévision et de la prévention des risques naturels**, aussi bien au sein de l'Administration Régionale que des organismes publics et des opérateurs privés. Le modèle dessiné et affiné au fil des années prévoit donc l'existence d'une structure technique en mesure d'évaluer la dangerosité géologique au sens large du terme.

Cette structure technique est organisée en trois noyaux d'activité interdépendants :

1. Étude des processus naturels et vulgarisation des données recueillies et élaborées,
2. Surveillance météorologique et hydrométrique
3. Gestion normative et projet de travaux d'assainissement
1. Le *Settore Studi e Ricerche Geologiche – Sistema Informativo Prevenzione Rischi* (Secteur Études et recherches géologiques - Système informatif Prévention des risques) est la structure qui s'occupe des études et des recherches inhérentes aux processus d'instabilité naturelle, en termes, aussi bien de définition des critères méthodologiques que de conduite et de coordination des études ; il développe, en outre une activité en matière d'acquisition, d'évaluation, de mise à jour et d'organisation informatique des données relatives aux instabilités. Il permet d'élargir la connaissance du territoire et consulter des données historiques avec une identification relative des zones frappées par des processus d'instabilité. L'élaboration des données permet, en outre, d'identifier les zones vulnérables et de définir statistiquement la fréquence cyclique des phénomènes. En utilisant un système informatif constitué d'une banque de données, les résultats des études et des recherches sont mis à la disposition du public sous forme de relations, de cartes thématiques de méthodes d'étude et de récolte des données. Une partie des données cartographiques ont été rendues disponibles pour que le public puisse les consulter sur le site web de la Région.
2. Le *Settore Meteoidrografico e Reti di Monitoraggio* (Secteur Météo-hydrographique et réseaux de surveillance) s'occupe de recueillir et d'élaborer les données météo-hydrologiques et nivologiques. Il utilise des systèmes de relevés et un système informatif utile pour l'élaboration et l'interprétation des données provenant des systèmes d'observation. Les données recueillies, reportées dans des bulletins spéciaux et des relations sont ensuite traitées et interprétées en clé prévisionnelle. Les perspectives de développe-

L'obiettivo primario è stata la costituzione di una struttura di servizio in grado di fornire, con tempestività e con il grado di precisione ed accuratezza necessari, informazioni e dati nel campo della **previsione e prevenzione dei rischi naturali** sia all'interno dell'Amministrazione Regionale sia ad enti ed organismi pubblici ed operatori privati. Il modello delineato ed affinato nel corso degli anni prevede dunque l'esistenza di una struttura tecnica in grado di valutare la pericolosità geologica in senso ampio.

Tale struttura tecnica è organizzata in tre nuclei di attività interdipendenti:

1. Studio dei processi naturali e divulgazione dei dati raccolti ed elaborati;
2. Monitoraggio meteorologico e idrometrico;
3. gestione normativa e progettazione interventi di bonifica.
1. Il *Settore Studi e Ricerche Geologiche – Sistema Informativo Prevenzione Rischi* è la struttura deputata a studi e ricerche inerenti i processi di instabilità naturale, in termini sia di definizione dei criteri metodologici, che di conduzione e coordinamento degli studi stessi; inoltre svolge attività in materia di acquisizione, valutazione, aggiornamento ed ordinamento informatico di dati inerenti i dissesti. Consente l'ampliamento della conoscenza del territorio e la consultazione dei dati storici con relativa individuazione delle aree colpite da processi di dissesto; l'elaborazione dei dati permette inoltre l'individuazione delle aree vulnerabili con definizione, su base statistica, della ciclicità dei processi. Utilizzando un sistema informativo costituito da una banca dati vengono messe a disposizione del pubblico le risultanze di studi e ricerche sotto forma di relazioni, carte tematiche e di metodologie di studio e di raccolta dei dati. Parte dei dati cartografici sono stati resi disponibili per la consultazione al pubblico sul sito web della Regione.
2. Il *Settore Meteoidrografico e Reti di Monitoraggio* si occupa della raccolta e della elaborazione di dati meteoidrologici e nivologici. Si avvale di sistemi di rilevamento e di un sistema informativo utile per l'elaborazione e l'interpretazione dei dati provenienti dai sistemi di osservazione. I dati raccolti, riportati in appositi bollettini e relazioni, vengono successivamente elaborati ed interpretati in chiave previsionale. Le prospettive di sviluppo sono definite dal Decreto legislativo 31 marzo 1998 n° 112 che ha sancito il principio fondamentale dell'attribuzione alle regioni delle competenze operative e delle relative funzioni di organizzazio-

ment sont déterminées par le décret législatif n. 112 du 31 mars 1998 qui a sanctionné le principe fondamental de l'attribution aux régions des compétences opérationnelles et des fonctions relatives d'organisation des activités dans les domaines spécifiques du Monitoring météorologique et de la Protection civile.

3. Le *Settore Progettazione Interventi Geologico-Tecnici e Sismico* et les *Settori di Prevenzione Territoriale del Rischio Geologico* (*Secteur Projet des interventions géologico-techniques et sismique et les secteurs de Prévention territoriale du risque géologique*) sont les structures consacrées à la gestion normative. Elles développent l'activité de prévention territoriale par la vérification des relations intercurrentes entre le milieu géologique et l'urbanisation existante ou prévue. Lors d'événements catastrophiques, elles gèrent, dans le cadre de leur compétence, les opérations d'interventions urgentes. Utilisant les produits dérivant des structures qui s'occupent de gestion des données, elles fournissent des avis compétents en matière d'évaluation de la dangerosité, un appui technique dans la disposition de plans d'intervention et en phase préparatoire ou d'intégration de normes.

La gestion territoriale, mise en œuvre au moyen de phases étroitement interdépendantes et conséquentes prévoit la récolte et l'élaboration des informations disponibles afin de définir le cadre des décisions opérationnelles qui concourent à la réduction du risque. La phase de gestion, de nature essentiellement normative, dérive du rôle irremplaçable des techniciens et des experts en matière aptes à détecter les priorités d'intervention et mettre au point des stratégies de minimisation opportunes.

Dans des zones caractérisées par des niveaux de risque élevé, deux stratégies sont essentiellement mises en œuvre :

1. **L'accroissement des seuils de risque acceptable**, effectué à travers la définition et la diffusion du cadre de connaissance sur l'état de l'instabilité (par l'entremise du secteur *Études et recherches géologiques - Système informatif prévention risques*).
2. **Minimisation** (ou bien **réduction**) du risque réalisable grâce aux activités de prévention des conséquences des phénomènes de dégradation mis en œuvre selon trois critères différents :
au niveau local :
2a) **réduction de la dangerosité**, (les techniciens du secteur *Projet Interventions géologico-techniques* et sismique et des secteurs de *Prévention territoriale du risque géologique* interviennent sur les causes de l'ins-

ne delle attività negli specifici campi del Monitoraggio meteorologico e della Protezione civile.

3. Il Settore *Progettazione Interventi Geologico-Tecnici e Sismico* ed i Settori di *Prevenzione Territoriale del Rischio Geologico* sono le strutture deputate alla gestione normativa. Svolgono l'attività di prevenzione territoriale mediante la verifica delle relazioni intercorrenti tra l'ambito geologico ed il patrimonio insediativo esistente o programmato. In occasione di eventi calamitosi gestiscono, per quanto di competenza, le operazioni di pronto intervento. Avvalendosi dei prodotti derivanti dalle strutture che si occupano di gestione dei dati, forniscono pareri di competenza in materia di valutazione della pericolosità, appoggio tecnico in occasione di predisposizione di piani di intervento e in fase di predisposizione o integrazione di normative.

La gestione territoriale, attuata mediante fasi strettamente interdipendenti e consequenziali, prevede la raccolta e l'elaborazione delle informazioni disponibili al fine di definire il quadro delle decisioni operative che concorrono alla riduzione del rischio. La fase gestionale, di natura essenzialmente normativa, deriva dall'insostituibile ruolo dei tecnici e degli esperti di dominio nell'individuare le priorità di intervento e nel mettere a punto opportune strategie di mitigazione.

In aree caratterizzate da elevati livelli di rischio, vengono essenzialmente attuate due strategie:

1. **Incremento delle soglie di rischio accettabile**, perseguito attraverso la definizione e la diffusione del quadro conoscitivo sullo stato del dissesto (tramite il Settore *Studi e Ricerche Geologiche - Sistema Informativo Prevenzione Rischio*);
2. **Mitigazione** (ovvero riduzione) **del rischio**, realizzabile mediante attività di prevenzione delle conseguenze dei fenomeni di dissesto, attuata secondo tre differenti criteri:
a livello locale:
2a) **riducendo la pericolosità** (i tecnici del Settore *Progettazione Interventi Geologico-Tecnici e Sismico* e dei Settori di *Prevenzione Territoriale del Rischio Geologico* intervengono sulle cause di instabilità, per esempio mediante opere di bonifica e di sistemazione idrogeologica, oppure direttamente sui fenomeni analizzati al fine di prevenire la riattivazione o di limitarne l'evoluzione);
2b) **riducendo la vulnerabilità** mediante interventi di carattere tecnico oppure interve-

tabilité, par exemple par le biais d'ouvrages d'assainissement et d'aménagement hydrogéologique ou bien directement sur les phénomènes analysés afin de prévenir la réactivation ou de limiter son évolution) ;

- 2b) réduction de la vulnérabilité au moyen d'interventions de caractère technique ou bien en intervenant sur l'organisation sociale du territoire (le secteur *Projet Interventions Géologique-techniques et sismique* et le secteur *Météohydrographique et réseaux de surveillance* préparent directement ou en collaboration avec d'autres organismes des systèmes de monitoring d'alarmes et de plans d'urgence et de secours).

au niveau territorial :

- 2c) réduction des éléments de risque en agissant au niveau de planification territoriale et des normes. Dans cette optique, il faut rappeler les actions d'interdiction ou de limitation de l'expansion urbanistique dans des zones déclarées instables. Exemples, l'article 9 bis et la circulaire n. 7/LAP du 8.5.1996 de la loi régionale n. 56 du 5.12.1997. Le moment d'application et de gestion des normes et des défens est mis en œuvre par le Secteur *Projet Interventions Géologique-techniques et sismique* et par les secteurs de *Prévention territoriale du risque géologique*.

Cadre normatif

Dans le cadre de la **Direction Régionale des Services techniques de prévention**, des avis de compétence sont exprimés relativement aux principales normes régionales et nationales suivantes :

Procédures ordinaires :

L.R. 45/1989 "Nouvelles normes concernant les interventions à faire sur des terrains soumis au défens à des fins hydrogéologiques"

- Vérification de la compatibilité entre l'équilibre hydrogéologique et les effets consécutifs à la réalisation de travaux de modification ou de transformation dans l'utilisation des sols.
- Subdivision des travaux en catégories.
- Subdivision des compétences fournissant les autorisations : Communes, Région (CFS - Direction Régionale STP, Forêts).

Le dessin de loi du Gouvernement Régional n. 467 déjà approuvé par le Conseil Régional et en attente d'être promulgué, prescrit aux termes du D. Lgs n. 112 de 1998, de conférer aux provinces des fonctions administratives et des autorisations non réservées à la Région et non transférées aux communes.

nendo sull'organizzazione sociale del territorio (il Settore *Progettazione Interventi Geologico-Tecnici e Sismico* ed il Settore *Meteoidrografico e Reti di Monitoraggio* predispongono direttamente, o in collaborazione con altri enti, sistemi di monitoraggio, di allarme e piani di emergenza e di soccorso).

A livello territoriale:

- 2c) riducendo gli elementi di rischio operando a livello di pianificazione territoriale e normativo. In tale ottica sono da rammentare le azioni di interdizione o limitazione dell'espansione urbanistica in zone dichiarate instabili. Ne sono esempi l'articolo 9 bis e la circolare n° 7/LAP del 8/5/1996 della L.R. n° 56 del 5/12/1977. Il momento di applicazione e gestione di norme e vincoli viene attuato dal Settore *Progettazione Interventi Geologico-Tecnici e Sismico* e dai Settori di *Prevenzione Territoriale del rischio Geologico*.

Quadro normativo

Nell'ambito della **Direzione Regionale Servizi Tecnici di Prevenzione** vengono espressi pareri di competenza relativamente alle seguenti principali normative regionali e nazionali:

Procedure ordinarie:

L.R. 45/1989 "Nuove norme per interventi da eseguire in terreni sottoposti a vincolo per scopi idrogeologici"

- Verifica della compatibilità tra l'equilibrio idrogeologico del territorio e gli effetti conseguenti alla realizzazione di interventi di modificazione o trasformazione di uso del suolo.
- Suddivisione degli interventi in categorie.
- Suddivisione delle competenze autorizzative: Comuni, Regione (CFS - Direzione Regionale STP - Forestazione).

Il disegno di legge della Giunta Regionale n° 467, già approvato dal Consiglio Regionale ed in attesa di promulgazione, dispone, in attuazione del D. Lgs. 112 del 1998, il conferimento alle Province di funzioni amministrative-autorizzative non riservate alla Regione e non trasferite ai Comuni.

L.R. 56/1977 et m.s. "*Protection et utilisation des sols*"

- Avec cette loi, la Région exerce des fonctions de planification du territoire en disciplinant la protection et l'utilisation des sols ainsi que les interventions de transformation du territoire à des fins d'urbanisation, résidentielles et productives.
- Elle est gérée par la Direction Régionale de Planification et de Gestion Urbanistique.
- Tâche prioritaire : vérifier et approuver les outils d'urbanisation à diverses échelles parmi lesquelles les plans régulateurs généraux communaux

La Direction Régionale de Planification et de Gestion Urbanistique exploite l'avis technique de compétence de la Direction Régionale STP. Cet avis est obligatoire pour les Communes soumises à la L. 64/1974 et pour les communes gravement touchées par des calamités naturelles en fonction à des D.G.R. ou D.P.C.M. spécifiques.

Afin d'améliorer les indications relatives au standard de travail à adopter en phase d'exécution des études géologiques, on a établi la Circulaire P.G.R. n. 7 LAP du 8 mai 1996 "**L.R. n. 56 du 5 décembre 1977**, et m.s. - *Techniques spécifiques pour l'élaboration des études géologiques supportant les outils d'urbanisation*" et la note technique explicative de décembre 1999 y afférent.

Il est notamment souligné dans la circulaire P.G.R. n. 7 LAP et la N.T.E. relative que :

- l'on doit privilégier l'observation de caractère général en identifiant les zones sans problèmes des zones qui nécessitent des interventions de ré-aménagement des zones dangereuses non exploitables du point de vue urbanistique.
- dans le cadre ci-dessus explicité, on impose la prévision urbanistique du P.R.G.
- un avis préventif sur la propension urbanistique du territoire est fourni laissant aux communes une autonomie successive de gestion du territoire.

Procédures extraordinaires :

L.R. 38/1978 "*Discipline et organisation des interventions dépendant des calamités naturelles*"

La gestion directe de la loi est confiée à la Direction Régionale des Travaux Publics qui tire profit de la consultation de la Direction Régionale des Services techniques de prévention. L'activité de la structure s'exerce sur le territoire à travers les actions suivantes :

- évaluation du processus en œuvre et de ses effets sur le territoire
- évaluation du risque résiduel
- détermination des travaux de réduction du risque

L.R. 56/1977 e s.m.i. "*Tutela ed uso del suolo*"

- Con essa la Regione esercita funzioni di pianificazione del territorio disciplinando la tutela e l'uso del suolo, nonché gli interventi di trasformazione del territorio a scopi insediativi, residenziali e produttivi.
- È gestita dalla Direzione Regionale Pianificazione e Gestione Urbanistica.
- Compito prioritario: verifica ed approvazione strumenti urbanistici a varie scale, tra cui i Piani Regolatori Generali Comunali.

La Direzione Regionale Pianificazione e Gestione Urbanistica si avvale, del parere tecnico di competenza della Direzione Regionale STP. Tale parere si rende obbligatorio per i comuni sottoposti alla L. 64/1974 e per comuni considerati gravemente colpiti da avversità naturali in base a specifiche D.G.R. o D.P.C.M.

Per migliorare le indicazioni in merito allo standard di lavoro da adottare in fase di esecuzione degli studi geologici, sono state predisposte la Circolare P.G.R. n° 7 LAP del 8.5.96 "**L.R. 5 dicembre 1977, n° 56, e s.m.i. - Specifiche tecniche per l'elaborazione degli studi geologici a supporto degli strumenti urbanistici**" e la relativa Nota Tecnica Esplicativa del dicembre 1999.

In particolare si sottolinea che nella Circolare P.G.R. n° 7 LAP e relativa N.T.E.:

- si privilegia l'osservazione di carattere generale individuando aree prive di problematiche, aree che necessitano interventi di riassetto ed aree pericolose non fruibili sotto il profilo urbanistico;
- sul quadro sopra delineato si imposta la previsione urbanistica del P.R.G.;
- viene fornito un parere preventivo sulla propensione urbanistica del territorio, lasciando ai Comuni una successiva autonomia di gestione del territorio.

Procedure straordinarie:

L.R. 38/1978 "Disciplina e organizzazione degli interventi in dipendenza di calamità naturali"

La gestione diretta della legge è affidata alla Direzione Regionale Opere Pubbliche che si avvale della consulenza della Direzione Regionale Servizi Tecnici di Prevenzione. L'attività della struttura si esplica sul territorio attraverso le seguenti azioni:

- valutazione del processo in atto e degli effetti sul territorio;
- valutazione del rischio residuo;
- individuazione degli interventi di mitigazione del rischio;

- mise au point d'éventuelles mesures administratives pour la sécurité publique et la gestion territoriale

L.R. 56/1977 et m.s. Art. 9 bis "*Instabilités et calamités naturelles*"

1. *Le Gouvernement Régional [...] peut adopter les mesures de prudence [...] dans les zones touchées par des calamités naturelles [...] et dans celles sujettes à des dégradations, danger d'avalanche et d'inondations ou qui présentent des caractères géomorphologiques qui la rendent inaptes à recevoir de nouvelles installations [...]*
2. *Les mesures de prudence, d'inhibition et de suspension sont valables jusqu'à l'adoption du Piano Territoriale (Plan Territorial) ou bien du Piano Regolatore Generale Comunale (P.R.G.C.) élaborés ou modifiés en tenant compte de la calamité naturelle, de la dégradation et du danger d'avalanche ou d'inondations [...]*

Procédure art. 9 bis

- Identification de la zone touchée par la dégradation (Direction Régionale des Services Techniques de Prévention)
- Proposition de délimitation (Direction Régionale des Services Techniques de Prévention)
- Évaluation de la délimitation. (Commune)
- Délimitation définitive (Direction Régionale des Services Techniques de Prévention)

Délibération du Gouvernement Régional qui officialise la délimitation définitive et adoption des mesures de prudence, d'inhibition et de suspension de l'urbanisation des zones situées à l'intérieur du périmètre déterminé.

Vallée d'Aoste

Pour la Région Autonome Vallée d'Aoste, il existe aussi des structures techniques spécifiques permettant de faire face aux problématiques inhérentes à l'instabilité hydrogéologique.

En particulier, au sein de la Direzione Ambiente, Assetto del Territorio e Risorse Idriche (Direction environnement, gestion du territoire et des ressources hydriques), l'activité du **Servizio Cartografia e Assetto Idrogeologico (Service Cartographique et Aménagement Hydrogéologique)** est répartie comme le montre la figure I.11.

Les principales compétences des diverses structures ci-dessus énumérées sont les suivantes :

- En ce qui concerne le secteur **cartographique**, le service pourvoit à la réalisation, gestion, mise à jour et distribution des cartes techniques régionales sur support papier et/ou magnétique en format raster et vectoriel et des cartes géolo-

- individuazione di eventuali provvedimenti amministrativi per la pubblica incolumità e per la gestione territoriale.

L.R. 56/1977 e s.m.i. - Art. 9 bis "*Dissesti e calamità naturali*"

1. *La Giunta Regionale [...] può adottare i provvedimenti cautelari [...] nelle aree colpite da calamità naturali [...] e nelle aree soggette a dissesto, pericolo di valanghe e di alluvioni o che presentino caratteri geomorfologici che le rendano inidonee a nuovi insediamenti [...]*
2. *I provvedimenti cautelari di inibizione e sospensione hanno efficacia sino all'adozione del Piano Territoriale, oppure del P.R.G., elaborati o modificati tenendo conto della calamità naturale, del dissesto e del pericolo di valanghe o di alluvioni [...]*

Procedura art. 9 bis:

- Individuazione dell'area colpita da dissesto (a cura della *Direzione Regionale Servizi Tecnici di Prevenzione*)
- Proposta di perimetrazione (a cura della *Direzione Regionale Servizi Tecnici di Prevenzione*)
- Valutazione della perimetrazione (a cura del Comune)
- Perimetrazione definitiva (a cura della *Direzione Regionale Servizi Tecnici di Prevenzione*)

Delibera della Giunta Regionale con cui si ufficializza la perimetrazione definitiva e si adottano i provvedimenti cautelari di inibizione e sospensione dello strumento urbanistico nelle aree all'interno del perimetro individuato.

Valle d'Aosta

Anche per la Regione Autonoma Valle d'Aosta, la presenza di apposite strutture tecniche consente di far fronte alle problematiche inerenti il dissesto idrogeologico.

In particolare, all'interno della Direzione ambiente, assetto del territorio e risorse idriche, l'attività del **Servizio Cartografia e Assetto Idrogeologico**, risulta ripartita come in figura I.11.

Queste le principali competenze delle diverse strutture sopra indicate:

- Per quanto riguarda il settore **Cartografico**, il Servizio provvede alla realizzazione, gestione, aggiornamento e distribuzione della cartografia tecnica regionale su supporto cartaceo e/o magnetico in formato raster e vettoriale e della cartografia geologica (progetto CARG) e geologico-tematica, alla distribuzione delle fotografie aeree e delle ortofoto e coordina le at-

giques (projet CARG) et géologico-thématique, à la distribution des photographies aériennes et des orthophotos et coordonne les activités régionales dans le secteur cartographique régional.

tività regionali nel settore cartografico regionale.

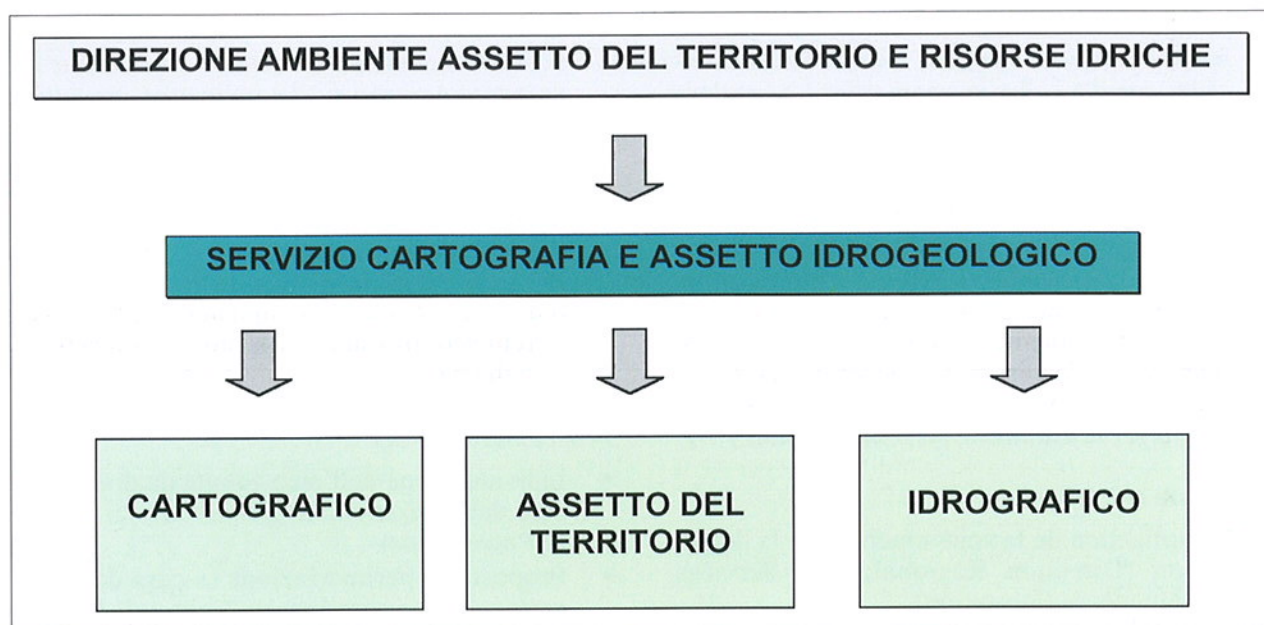


Fig. I.11. Organisation du Service de la Cartographie et de l'Aménagement Hydrogéologique de la Région Autonome Vallée d'Aoste.

Organizzazione del Servizio Cartografia e Assetto Idrogeologico della Regione Autonoma Valle d'Aosta.

- En ce qui concerne le secteur **Gestion du territoire**, le service effectue des recherches et des études géologiques, hydrogéologiques et géologiques-géotechniques pour identifier et caractériser des zones du territoire régional sujettes à des risques hydrogéologiques ; il contrôle et vérifie les rapports d'expertise géologiques, hydrogéologiques et géotechniques relatif aux ouvrages entrepris ou réalisés par l'Administration régionale ; il recueille, élabore et gère les données territoriales inhérentes aux dégradations hydrogéologiques, les caractéristiques géotechniques des terrains et des roches, les ressources hydriques souterraines, en construisant et exploitant la banque de données géologiques dans le cadre du Système Informatif Géologique ; il pourvoit à l'examen et à la délivrance consécutive des avis pour ce qui est des aspects géomorphologiques, géodynamiques et du risque géologique, relativement à des projets de structures et d'infrastructures comportant des modifications substantielles dans la morphologie du terrain et de l'hydrographie relative, des carrières et des mines, des outils urbanistiques communaux des barrages et dans les secteurs soumis au défens hydrogéologique là où il y a demande.
- Per quanto riguarda il settore **Assetto del Territorio**, il Servizio svolge ricerche e studi geologici, idrogeologici e geologici-geotecnici per l'individuazione e la caratterizzazione delle zone del territorio regionale soggette a rischio idrogeologico; controlla e verifica le perizie geologiche, idrogeologiche e geotecniche relative ad opere promosse o realizzate dall'Amministrazione regionale; raccoglie, elabora e gestisce i dati territoriali inerenti il dissesto idrogeologico, le caratteristiche geotecniche dei terreni e delle rocce, le risorse idriche sotterranee, costruendo e implementando la banca dati geologica nell'ambito del Sistema Informativo Geologico; provvede all'esame e conseguente rilascio di pareri, per quanto attiene agli aspetti geomorfologici, geodinamici e del rischio geologico, relativamente a progetti di strutture e infrastrutture comportanti modifiche sostanziali nella morfologia del terreno e della relativa idrografia, delle cave e delle miniere, degli strumenti urbanistici comunali, delle dighe e nei settori del vincolo idrogeologico, ove richiesto.
- Per quanto riguarda il settore **Idrografico**, il Servizio realizza e gestisce le reti di rilevamen-

- En ce qui concerne le secteur **hydrographique**, le service réalise et gère les réseaux de relevés hydrologiques, au moyen d'un système de contrôle à terre en temps réel, recueille les données et les informations afin d'effectuer une description qualitative des cours d'eau, et la caractérisation quali-quantitative des corps aquifères souterrains du territoire régional.

Cadre normatif

Avec la **LR. n. 14 du 15.06.1978** "*Normes en matière d'urbanisme et de planification territoriale*" la Région Vallée d'Aoste a légiféré au sujet de l'interdiction d'édifier prévoyant aussi le cas de "terrains sièges d'éboulements, à risque d'inondations, d'avalanches ou de glissements de terrain". Ces milieux doivent être signalés sur des cartes cadastrales précises qui sont partie intégrante du P.R.G.C. En fonction de cette loi et de ses modifications successives (**LR 32/1981 - LR 44/1994 - LR 32/1996**) le Syndic, lors de la demande de permis de construire, doit au préalable s'assurer si le terrain en question se situe ou non dans l'une de ces zones reconnues comme inconstructibles ; dans l'affirmative, le permis peut concerner exclusivement des interventions d'entretien, de restructuration, de restauration tandis que l'exécution d'ouvrages visant à l'assainissement ou à la consolidation est à la charge du requérant. Dans tous les cas, le syndic doit demander au préalable l'avis du bureau régional compétent agissant dans le secteur et se conformer à celui-ci.

La **LR n. 32 du 02.09.1996** introduit une classification des terrains sièges d'éboulement, à risque d'inondation et sujets à des avalanches et glissements de terrain en subdivisant chaque milieu en trois catégories de dangerosité différentes et en fournissant pour chaque catégorie la discipline d'utilisation du territoire intéressé par l'interdiction d'édification (par exemple, en ce qui concerne les terrains sièges d'éboulements définis à haut risque, toute intervention dépassant la mise en sécurité, la restructuration des zones dégradées et l'entretien extraordinaire est interdite).

La **LR n. 11 du 06.04.1998** "Norme urbanistique et de planification territoriale en Vallée d'Aoste" a abrogé, entre autres, les LLRR 14/1978 et 32/1996 en reprenant toutefois, et en la redéfinissant en partie, la norme concernant les milieux inconstructibles comme le prescrit la LR 32/1996. Des délibérations successives (**D.G.R. n. 422/1999 et n. 5002/1999**) ont fourni des critères et des actions de caractère technique visant à rédiger et approuver les cartes des zones inconstructibles en prévoyant par exemple dans le cas de terrains siège d'éboulements la rédaction de carte d'analyse (telles que la "carte géologico-géo-

to idrologiche, mediante un sistema di controllo a terra in tempo reale, raccoglie dati e informazioni ai fini di una caratterizzazione qualitativa dei corsi d'acqua, e per la caratterizzazione quali-quantitativa dei corpi acquiferi sotterranei del territorio regionale.

Quadro normativo

Con la **LR 15-06-1978, n. 14** "Norme in materia urbanistica e di pianificazione territoriale" la Regione Valle d'Aosta legiferava in merito al divieto di edificazione contemplando anche il caso di "terreni sedi di frane, a rischio di inondazioni, di valanghe o di slavine". Tali ambiti dovevano essere individuati su apposita cartografia catastale che costituiva parte integrante del PRGC. In base a tale legge e successive modificazioni (**LR 32/1981 - LR 44/1994 - LR 32/1996**), il Sindaco, all'atto della richiesta di concessione edilizia, doveva preliminarmente accertare se il terreno in questione fosse ubicato o meno in uno degli ambiti definiti inedificabili; in caso di esito positivo la concessione poteva riguardare esclusivamente interventi di manutenzione, ristrutturazione, restauro mentre l'esecuzione di opere di bonifica o di consolidamento risultava essere a carico del richiedente la concessione. In ogni caso il Sindaco doveva richiedere preventivamente il parere del competente ufficio regionale operante nel settore e ad esso attenersi.

La **LR 02-09-1996, n. 32** introduce una classificazione dei terreni sedi di frane, a rischio di inondazioni e soggetti al rischio di valanghe e slavine suddividendo ciascun ambito in tre categorie a diversa pericolosità e fornendo per ogni categoria la disciplina d'uso del territorio interessato dal vincolo di inedificabilità (ad esempio per quanto concerne i "terreni sedi di frane" definiti ad alta pericolosità è vietato ogni intervento eccedente la messa in sicurezza, la bonifica dei dissesti e la manutenzione straordinaria).

La **LR 06 aprile 1998, n. 11** "Normativa urbanistica e di pianificazione territoriale in Valle d'Aosta" ha abrogato tra le altre le LLRR 14/1978 e 32/1996 riprendendo, però, ed in parte ridefinendo, la normativa riguardante gli ambiti inedificabili così come espressa nella LR 32/1996. Successive deliberazioni (**D.G.R. n. 422/1999 e n. 5002/1999**) hanno fornito criteri ed indirizzi di carattere tecnico ai fini della redazione ed approvazione delle cartografie degli ambiti inedificabili prevedendo, ad esempio nel caso di "terreni sedi di frane" la redazione di cartografie di analisi (quali la "carta geo-

morphologique”, la “carte des phénomènes de dégradation”, la “carte des pentes” et la “carte d’utilisation des sols à des fins géodynamiques”) et des cartes de synthèse prescriptibles accompagnées d’une relation technique descriptive. Parmi les aspects dignes d’être mentionnés, il faut rappeler que la norme prévoit que l’évaluation de la dangerosité dans les cartes d’analyse doit être effectuée sans tenir compte de l’existence d’ouvrages de protection qui, seulement dans les cartes de synthèse, pourront constituer un élément de réduction du risque et exclusivement dans le cas de zones intéressées par des installations déjà existantes. On considère donc “inadmissible la prévision de nouvelles zones destinées à la construction en subordonnant cette prévision à la réalisation de nouveaux travaux de protection”.

Toutefois, il faut malheureusement signaler qu’à une distance de 5 ans de la loi régionale qui, d’abord, introduisait des critères de classification des terrains intéressés par des éboulements, des inondations et des avalanches et de 23 ans des premières normes d’orientation en matière d’“espaces inconstructibles”, seules 12 communes, pour les inondations, et 20 pour les éboulements, sur 74 au total se sont dotées de telles cartes.

À signaler que la Région Vallée d’Aoste a publié une délibération du Gouvernement (DGR 11-12.2000 n° 4268), laquelle définit comme zones à haut risque toutes les zones frappées par l’inondation des 13-16 octobre 2000, que ces zones ont été répertoriées et cartographiées par le Service et interdites sur la base d’un travail de photo-interprétation.

Cette interdiction restera en vigueur jusqu’à ce que les communes qui en sont dépourvues se dotent des cartes relatives aux zones inconstructibles (ou mettent à jour les cartes en leur possession) aux termes de la LR 11/1998 et délibérations successives.

1.3.2. En France

En France, les lois et règlements qui concernent la sécurité des citoyens vis-à-vis des risques naturels sont édictés au niveau national.

De façon générale, il incombe à l’État d’afficher les risques et de les faire connaître aux communes. Celles-ci ont le devoir de prendre en considération l’existence des risques naturels sur leur territoire, et l’État veille à cette prise en compte.

Historique

Les lois et règlements actuellement en vigueur, sont le résultat d’une histoire parfois assez ancienne. Il est utile d’en rappeler quelques aspects, car plusieurs éléments importants sont toujours en vigueur ou intégrés dans les lois récentes.

- Une loi de 1884 a confié au Maire la responsabilité de la sécurité civile sur sa commune : obli-

gico-geomorfologica”, la “carta dei dissesti”, la “carta clivometrica” e la “carta di uso del suolo a fini geodinamici”) e cartografie di sintesi o prescrittive, corredate di una relazione tecnica descrittiva. Tra gli aspetti degni di nota si può ricordare che la normativa prevede che la valutazione della pericolosità nelle carte di analisi debba essere effettuata a prescindere dell’esistenza di opere di protezione che solo nella cartografia di sintesi potranno costituire elemento di riduzione del rischio ed esclusivamente nel caso di zone interessate da insediamenti già esistenti; viene quindi considerato “inammissibile la previsione di nuove zone destinate all’edificazione subordinando tale previsione alla realizzazione di nuove opere di protezione”.

Tuttavia occorre purtroppo segnalare che a distanza di 5 anni dalla legge regionale che per prima introduceva dei criteri di classificazione dei terreni interessati da frane, inondazioni e valanghe e di 23 anni dalle prime norme di indirizzo in materia di “ambiti inedificabili” solo 12 comuni per le inondazioni e 20 comuni per le frane su 74 complessivi si sono dotati di tali cartografie.

Da segnalare che la Regione Valle d’Aosta ha emanato una Delibera di Giunta (DGR 11-12-2000 n. 4268) con la quale sono state vincolate come “aree a pericolosità elevata” tutte le aree colpite dagli eventi alluvionali del 13-16 ottobre 2000 e che sono state individuate e cartografate dal Servizio sulla base di un lavoro di fotointerpretazione.

Tale vincolo permarrà sino a quando i comuni non si doteranno delle cartografie degli ambiti inedificabili (o aggiorneranno le carte in possesso) ai sensi della LR 11/1998 e successive deliberazioni.

1.3.2. In Francia

In Francia, le leggi e provvedimenti che riguardano l’incolumità dei cittadini di fronte alle calamità naturali sono emanati a livello nazionale.

In genere, spetta allo Stato pubblicare e informare i comuni su tali rischi. Questi hanno il compito di prendere in considerazione la presenza di rischi naturali sul loro territorio e lo Stato vigila che ciò avvenga.

Cronistoria

Le leggi e provvedimenti attualmente in vigore sono la conseguenza di una storia talvolta abbastanza antica. Occorre ricordarne alcuni aspetti in quanto numerosi contenuti importanti sono sempre vigenti o integrati nelle leggi recenti.

- Una legge del 1884 affidava al Sindaco la responsabilità dell’incolumità civile nel suo co-

gation générale de prévention des accidents naturels et obligation spéciale de prendre, en cas de danger "grave ou imminent" les mesures imposées par les circonstances.

- Le développement de l'urbanisme a souligné la nécessité de réduire les dommages potentiels par des mesures d'aménagement du territoire et de contrôle de l'occupation du sol.
 - L'article R. 111-3 du Code de l'Urbanisme (1955) permet la délimitation de périmètres de risque avec :
 - Interdiction de construire dans les secteurs les plus exposés ;
 - Dans les secteurs moins exposés, la construction, si elle est autorisée, peut être soumise à des conditions spéciales ;
 - L'article R 111-2 précise que le permis de construire peut être refusé (ou n'être accordé que sous réserve de l'observation de prescriptions spéciales) si les constructions sont de nature à porter atteinte à la salubrité ou à la sécurité publique.
- Loi foncière (1967) qui crée les Plans d'Occupation des Sols (POS), opposables aux tiers. Ceux-ci fixent les servitudes d'utilisation des sols. Ils délimitent les zones soumises à des risques naturels qui peuvent être protégées de toute urbanisation.
- Loi relative à l'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles (1982). Elle met en œuvre un système d'indemnisation (basé sur la solidarité nationale) mais avec le souci de responsabiliser les intéressés qui sont tenus de mettre en œuvre certaines mesures de protection. Pour cela, l'État doit élaborer, à l'échelle de la commune, des Plans d'exposition aux risques naturels prévisibles (PER) qui fixent les conditions d'utilisation du sol à l'intérieur de chaque zone :
 - zone rouge : interdiction de construire
 - zone bleue : autorisation de construire moyennant le respect de prescriptions spéciales. En outre, des prescriptions de travaux destinés à réduire la vulnérabilité, peuvent être imposées aux propriétaires de constructions existantes, dans la limite de 10% de la valeur vénale de la construction.
 - zone blanche : considérée comme non exposée.
- Loi relative à l'organisation de la sécurité civile et à la prévention des risques majeurs (1987). Elle impose de prendre en compte les risques naturels dans les documents d'urbanisme (schémas directeurs, plans d'occupation des sols) qui sont élaborés sous la responsabilité des communes. Elle crée aussi un nouveau droit :

mune: in generale consisteva nell'obbligo di prevenzione dei rischi naturali e nell'obbligo specifico di prendere, in caso di pericolo "grave o imminente", i provvedimenti imposti dalle circostanze.

- Lo sviluppo urbanistico ha sottolineato la necessità di ridurre i danni potenziali con provvedimenti di sistemazione del territorio e di verifica dell'uso del suolo.
 - L'articolo R. 111.3 del Codice Urbanistico (1955) consente la perimetrazione dei rischi con:
 - il divieto di edificare nei settori più esposti;
 - l'imposizione di specifiche condizioni nei settori meno esposti, qualora la costruzione venga autorizzata.
 - L'articolo R 111.2 esplicita che la concessione edilizia possa essere respinta oppure consentita con la riserva di adeguarsi alle prescrizioni speciali, nel caso in cui gli edifici possano recare danno alla salute o alla sicurezza pubblica.
- La Legge fondiaria (1967) ha istituito i *Plans d'occupation des sols* (POS) (Piani di occupazione del suolo) a carattere vincolante. Tali piani definiscono le servitù di uso del suolo e delimitano le aree soggette a calamità naturali che possono essere vincolate in ogni progetto urbanistico.
- La legge che riguarda il risarcimento delle vittime di calamità naturali (1982). Questa attua un sistema di indennizzo (fondato sulla solidarietà nazionale) ma avendo cura di responsabilizzare gli interessati che sono tenuti a mettere in opera determinate misure di protezione. Perciò, lo Stato deve elaborare a scala comunale, dei *Plans d'exposition aux risques naturels prévisibles* (PER) (Piani di esposizione ai rischi naturali prevedibili) che stabiliscono le condizioni di uso del suolo all'interno di ogni area:
 - zona rossa: divieto di costruire
 - zona blu: autorizzazione di edificare rispettando le apposite prescrizioni. Inoltre, la legge impone che possa essere imposta ai proprietari di costruzioni già esistenti, nei limiti del 10% del valore venale della costruzione, la prescrizione di realizzare opere finalizzate a ridurre la vulnerabilità.
 - zona bianca: considerata come non esposta a rischio.
- La legge che riguarda l'organizzazione della sicurezza civile e la prevenzione dei rischi maggiori (1987) impone di tener conto del rischio naturale nei documenti urbanistici (schema direttore, piani di occupazione del suolo) che sono elaborati sotto la responsabilità dei comuni. Essa introduce anche un nuovo diritto: quello

celui des citoyens à l'information sur les risques auxquels ils sont exposés.

- Enfin, la loi relative au renforcement de la protection de l'environnement (1995), a doté l'État de deux moyens d'intervention nouveaux :
 - l'expropriation des biens exposés à certains risques menaçant gravement des vies humaines ;
 - le Plan de prévention des risques naturels prévisibles (PPR) qui vise à assurer une simplification et une relance des procédures de prise en compte des risques dans l'aménagement. En particulier, les périmètres R 111-3 et les PER sont remplacés par une procédure unique, les PPR.

Le Plan de prévention des risques naturels (PPR)

Il est prescrit, élaboré et approuvé sous la responsabilité de l'État. Mais ce document qui vise directement les conditions d'occupation et d'utilisation du sol concerne des domaines de compétence principalement dévolus aux communes comme l'urbanisme et aussi la sécurité publique. L'élaboration du PPR implique donc que soient engagées systématiquement des discussions approfondies avec les élus locaux.

• Domaine d'intervention

Le PPR a pour objet de délimiter les zones directement exposées à des risques et d'autres zones non directement exposées mais où certaines occupations ou usages du sol pourraient aggraver les risques ou en provoquer de nouveaux.

- *Il réglemente les projets d'installations nouvelles* : il peut intervenir sur tout type de construction, d'ouvrage, d'aménagement, avec des prescriptions de toute nature (règles d'urbanisme, de construction, d'exploitation, etc.) allant jusqu'à l'interdiction totale.
- *Il peut définir des mesures de prévention, de protection et de sauvegarde* qui doivent être prises par les collectivités publiques et par les particuliers.
- Il peut agir sur l'existant, comme pour les projets nouveaux. Mais (pour les biens régulièrement autorisés) il ne peut imposer que des aménagements limités dont le coût est inférieur à 10% de la valeur vénale des biens.

• Le plan de zonage réglementaire

La délimitation du zonage réglementaire, fondée sur les critères de constructibilité et de sécurité, est effectuée principalement à partir du croisement de l'aléa et des enjeux. Il s'appuie fortement sur la carte d'aléas qui affiche les phénomènes naturels sans tenir compte des protections réalisées.

dei cittadini di essere informati sui rischi ai quali sono esposti.

- Infine, la legge relativa all'incremento della protezione ambientale (1995) ha conferito allo Stato due nuovi strumenti di intervento:
 - l'esproprio dei beni esposti ad alcuni rischi che minacciano seriamente la vita umana;
 - il *Plan de prévention des risques naturels prévisibles* (PPR) (Piano di prevenzione dei rischi naturali prevedibili) mirato a garantire una semplificazione ed un rilancio delle procedure di valutazione dei rischi nella pianificazione territoriale. In particolare, i perimetri R 111.3 e i PER sono stati sostituiti da una procedura unica, il PPR.

Il Piano di prevenzione dei rischi naturali (PPR)

È prescritto, elaborato e approvato sotto la guida dello Stato. Tuttavia questo documento, che mira direttamente alle condizioni di occupazione e uso del suolo, riguarda gli ambiti di competenza prevalentemente deputati ai comuni come l'urbanistica e la sicurezza pubblica. L'elaborazione del PPR impone quindi sistematicamente dei riscontri approfonditi con gli eletti locali.

• Domaine d'intervention (Campo di intervento)

Il PPR ha lo scopo di perimetrare le aree direttamente esposte ai rischi e altre aree non direttamente esposte dove tuttavia alcune occupazioni o usi del suolo potrebbero aggravare i rischi o provocare di nuovi.

- *Questo piano regola i progetti di nuovi insediamenti*. Può intervenire su ogni tipo di costruzione, opera, sistemazione con delle prescrizioni di ogni genere (regole urbanistiche, edilizie, sfruttamento, etc.) fino al divieto totale.
- *Esso può definire provvedimenti di prevenzione, protezione e tutela* che devono essere applicate dalle collettività pubbliche e dai privati.
- Esso può agire sull'esistente così come sui nuovi progetti. Tuttavia (nel caso di beni regolarmente autorizzati) non può che imporre degli interventi limitati il cui costo sia inferiore al 10% del valore venale del bene.

• Plan de zonage réglementaire (Il piano di zonizzazione delle aree da sottoporre a vincolo)

La perimetrazione delle zone vincolate, basata su criteri di edificabilità e incolumità, è principalmente attuata da una sovrapposizione della pericolosità (o instabilità di versante riconosciute) con gli interessi in gioco. Si basa in particolare sulla carta delle instabilità (o della pericolosità) che illustra i fenomeni naturali a prescindere dalle opere di protezione realizzate.

Una valutazione qualitativa della probabilità di

Une estimation qualitative de l'occurrence des phénomènes potentiels est faite en considérant un délai compatible avec les décisions prises en terme d'occupation des sols.

L'intensité de l'aléa est évaluée en fonction de l'importance et de l'ordre de grandeur du coût des mesures qu'il pourrait être nécessaire de mettre en œuvre pour s'en prémunir. Cette démarche qui estime l'intensité par la demande de prévention potentielle apparaît comme la plus appropriée, car le zonage réglementaire est fondé sur la notion de constructibilité et sur la nature des mesures de protection et de prévention envisageables (une évaluation à partir du potentiel de dommages introduirait un biais, car elle dépend également de la vulnérabilité) (Tab. I.2).

Trois types de zones sont distinguées :

- les zones exposées aux aléas
- les zones non directement exposées
- les zones protégées ou stabilisées

accadimento dei fenomeni potenziali è eseguita prendendo in considerazione un intervallo di tempo compatibile con il tipo di occupazione del suolo.

L'intensité de l'aléa ovvero il grado di pericolosità viene valutato in funzione delle priorità d'intervento e della stima dei costi dei provvedimenti che potrebbe essere necessario attuare per prevenirne. Questo approccio, che stima l'intensità secondo la potenziale richiesta di prevenzione, sembra essere il più idoneo in quanto la perimetrazione delle aree da sottoporre a vincolo si avvale del concetto di edificabilità e della tipologia di misure di protezione e prevenzione che sarebbe necessario progettare (mentre una valutazione basata sul danno potenziale inserirebbe un errore in quanto dipendente anche dalla vulnerabilità) (Tab. I.2).

Tre tipi di zone sono contraddistinte:

- le zone esposte alle instabilità di versante
- le zone non direttamente esposte
- le zone protette o stabilizzate

Aléa	Mesures de prévention	espaces non urbanisés	Espaces urbanisés	
			non protégés	protégés*
Majeur	Impossibles techniquement	Inconstructible		
Fort	Difficiles techniquement ou très coûteuses dépassant largement le cadre de la parcelle.	Inconstructible	Inconstructible	Inconstructible (exceptionnellement constructible sous conditions strictes).
Moyen	Dépassant le cadre de la parcelle cadastrale (généralement à maîtrise d'ouvrage collective) ou coûteuse.	Inconstructible	Inconstructible (exceptionnellement constructible sous condition de prise en compte des mesures ou après mise en œuvre de protections et révision du PPR).	Constructible sous condition d'entretien des ouvrages de protection.
Faible	Ne dépassant pas le cadre de la parcelle cadastrale (généralement à maîtrise d'ouvrage individuelle) ou d'un coût modéré.	Constructible sous condition de prise en compte des mesures de prévention inconstructible en cas de danger humain.	Constructible sous condition de prise en compte des mesures de prévention.	Constructible sous condition d'entretien des ouvrages de protection.

*La prise en compte d'ouvrages de protection inclue la nécessité d'entretien de ces ouvrages.

Tab. I.2 : Résumé des principes de délimitation et de constructibilité utilisés dans l'établissement du projet de zonage réglementaire.

Riassunto dei principi di perimetrazione e di edificabilità usati nell'elaborazione del progetto di zonizzazione delle aree da sottoporre a vincolo.

Le plan de zonage doit être suffisamment précis pour être applicable dans les décisions d'urbanisme. Il délimite les zones rouges "inconstructibles" et les zones bleues "constructibles sous conditions". Un règlement précise les mesures applicables à chaque zone en distinguant les projets

Il piano di zonizzazione deve essere abbastanza preciso per essere applicato nelle decisioni urbanistiche. Esso delimita le zone rosse "non edificabili" e le zone blu "edificabili con condizioni". Un regolamento disciplina i provvedimenti applicabili ad ogni zona contraddistinguendo i progetti

nouveaux, l'existant, les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde.

Noter qu'en zone rouge, les constructions nouvelles sont interdites mais divers projets peuvent être autorisés. Ex : infrastructures, équipements (remontées mécaniques, locaux de terrains de sport), travaux d'aménagement du bâti réduisant le risque, voire extensions limitées.

I.3.3. En Suisse

En Suisse, la responsabilité en matière de protection contre les risques naturels incombe à l'entité politique de base, à savoir la commune. La population moyenne d'une commune y varie de moins de cent habitants à plusieurs centaines de mille. La commune a l'obligation de protéger l'ensemble des biens et personnes contre les risques naturels, y.c. contre les débordements des affluents du Rhône qui recoupent son territoire. Le canton est pour sa part responsable de la sécurité des riverains du Rhône et des usagers des routes cantonales et autoroutes.

I.3.3.1 Législation fédérale et cantonale

Par le biais de la Loi cantonale d'application de la loi fédérale sur l'aménagement du territoire (**LcAT**, 23.01.1987) et du décret relatif aux objectifs de l'aménagement du territoire (2.10.1992), le Canton délègue aux communes la responsabilité en matière de protection contre les risques naturels en leur demandant d'établir le plan d'affectation des zones (**PAZ**). Les périmètres de danger doivent y être reportés à titre indicatif. Ils doivent être pris en compte dans le cadre de l'utilisation du sol par un article spécifique du *Règlement communal des zones et des constructions* qui statue sur les conditions et le mode d'utilisation des zones menacées.

Le canton a, pour sa part, l'obligation de mener les études de base et de faire les inventaires nécessaires à l'établissement du plan directeur cantonal. La Loi fédérale sur l'Aménagement du Territoire [**LAT**, 22.06.1979] ne fixe, quant à elle, que les objectifs, les principes et les moyens d'y parvenir.

L'art. 31 "Zones de danger" de la **LcAT** dit en substance :

- 1) Les zones de danger comprennent les portions du territoire qui sont d'expérience exposées aux catastrophes naturelles ou qui sont de manière prévisible menacées par de telles catastrophes (avalanches, instabilités de terrain, inondations ou autres dangers naturels).
- 2) Aucune construction ne peut être autorisée dans ces zones si son implantation est de nature à mettre en danger les personnes, les animaux et d'autres biens importants.

nuovi, quelli già esistenti, i provvedimenti di prevenzione, di protezione e di tutela.

Da segnalare che nella zona rossa, le costruzioni nuove sono vietate ma diversi progetti possono essere autorizzati. Ad es. infrastrutture, impianti (impianti di risalita, impianti sportivi) opere di sistemazione degli edifici esistenti che mitighino il rischio, persino ampliamenti limitati.

I.3.3. In Svizzera

In Svizzera, la responsabilità in materia di protezione dalle avversità naturali spetta all'entità politica di base, cioè il comune. La popolazione media di un comune varia da meno di cento abitanti ad alcune centinaia di migliaia. Il comune ha l'obbligo di proteggere l'insieme dei beni e delle persone contro le avversità naturali, incluse le piene degli affluenti del Rodano che attraversano il suo territorio. Il cantone è di per sé responsabile dell'incolumità degli abitanti delle rive del Rodano e degli utenti delle strade cantonali e autostrade.

I.3.3.1 Ordinamento federale e cantonale

Tramite la legge cantonale che attua la legge federale sulla sistemazione del territorio (**LcAT** 23.01.1987) e del decreto finalizzato alla gestione del territorio (2.10.1992), il Cantone delega ai comuni le competenze in materia di protezione contro le calamità naturali richiedendogli l'elaborazione del *Plans d'affectation des zones* (**PAZ**) (Piano di destinazione delle aree). I perimetri di pericolosità devono essere riportati a titolo indicativo. Devono essere presi in considerazione nell'ambito dell'uso del suolo con un articolo specifico del *Règlement communal des zones et des constructions* (Regolamento comunale delle zone e delle costruzioni) che delibera in merito alle condizioni e modalità di utilizzo delle zone minacciate.

Il cantone ha, da parte sua, l'obbligo di eseguire gli studi fondamentali e di effettuare le ricerche necessarie a redigere il piano direttore cantonale. La legge federale sulla gestione del territorio (**LAT** 22.06.1979) prevede soltanto gli obiettivi, i principi ed i mezzi per attuarli.

L'art. 31 "Zone di pericolo" della **LcAT** recita in sostanza:

- 1) Le zone di pericolo comprendono le parti del territorio che sono per esperienza esposte a calamità naturali o per le quali è possibile prevedere la minaccia da tali calamità (valanghe, instabilità di terreno, alluvioni od ogni altro pericolo naturale).
- 2) Nessuna costruzione può essere autorizzata in queste zone se la sua struttura può mettere in pericolo le persone, gli animali ed altri beni importanti.

- 3) Les portions du territoire qui, en raison de leur exposition aux dangers des éléments naturels, ne peuvent être bâties ou qui ne peuvent l'être que dans une mesure réduite, doivent être indiquées dans le plan d'affectation des zones comme zones de danger.
- 4) Le propriétaire du fonds peut apporter la preuve que les dangers qui menacent le bien-fonds ou son accès ont été écartés par des mesures de sécurité.

I.3.3.2 Subventions fédérales et cantonales

Les lois fédérales et cantonales sur les *Forêts* et sur l'*Aménagement des Cours d'eau* fixent les modalités et taux de subvention pour l'établissement des cadastres et cartes de danger. Les recommandations fédérales en matière de mouvements de terrain (1997) et de crues/inondations (1998) tendent à garantir aussi bien la qualité que l'uniformisation des résultats d'étude et des mesures constructives. Le taux élevé de subvention fédérale et cantonale (80-90% au total) dans un domaine où la moindre mesure constructive se compte très rapidement en centaine de milliers, voire millions d'EUROS (paravalanches ancrés en terrain accidenté, galeries de protection, etc.) permet aussi bien au canton qu'à l'Etat fédéral de faire respecter relativement facilement leurs prescriptions, normes et directives.

À ce titre, relevons une situation qui, pour beaucoup, peut paraître aberrante, à savoir que le risque sismique ne fait pas expressément l'objet d'une loi fédérale comme c'est le cas pour les autres dangers naturels. Cette lacune a pour conséquence que les mesures de protection contre ce type de risque ne sont pas subventionnées.

I.3.3.3 Réglementation communale

La **LcAT** oblige les communes à établir un règlement communal des zones et des constructions (**RcoZC**) pour lequel un article est spécifiquement dédié à la prise en compte des dangers naturels qui affectent le territoire communal [cf. annexe]. Couplé avec la carte des dangers naturels (et bientôt celle des risques), ce **RcoZC** est la clef de voûte de la protection des biens et personnes, puisque c'est lui qui régit les conditions d'utilisation du sol menacé. Cela va de l'interdiction pure et simple de construire (danger élevé [rouge]) jusqu'à de simples aménagements de protection individuelle au niveau du bâtiment lui-même (danger faible [jaune]). Dans le cadre par exemple de coulées boueuses qui pourraient menacer avec un taux de fréquence supérieur à 30 ans, on peut imaginer qu'on demande de mettre la cuisine et les sanitaires à l'amont, côté montagne avec de faibles ouvertures et les chambres à coucher avec des baies vitrées à l'aval, côté vallée.

- 3) Le parti del territorio che, data la loro esposizione ai pericoli generati dagli elementi naturali, non possono essere edificabili o che possono essere edificabili soltanto in misura ridotta, devono essere individuate nel piano di destinazione delle zone come zone di pericolosità.
- 4) Il proprietario del bene può provare che i pericoli che minacciano il suo bene o il suo accesso sono stati cancellati dai provvedimenti di sicurezza.

I.3.3.2 Contributi federali e cantonali

Le leggi federali e cantonali che riguardano i *boschi e la sistemazione dei corsi d'acqua* definiscono le modalità ed i tassi di sovvenzione per l'elaborazione dei catasti e carte di pericolosità. Le raccomandazioni federali in materia di movimenti di terreno (1997) e di piena/alluvione (1998) tendono a garantire sia la qualità che l'uniformità dei risultati di studio e dei limiti costruttivi. Il tasso elevato del contributo federale e cantonale (80-90% in totale) in un ambito dove il minimo provvedimento edilizio arriva facilmente a centinaia di migliaia se non addirittura a milioni di EURO (paravalanghe ancorati su terreno accidentato, gallerie di protezione, ecc.) consente, sia al cantone che allo Stato federale, di fare rispettare abbastanza facilmente le loro prescrizioni, norme e direttive.

A questo proposito va segnalata una situazione che per molti può sembrare incoerente, cioè che il rischio sismico non è oggetto di una legge federale come gli altri pericoli naturali. Ne consegue che i provvedimenti di protezione contro questo tipo d'evento non sono sussidiati.

I.3.3.3 Regolamento comunale

La **LcAT** dà obbligo ai comuni di redigere un regolamento comunale che riguarda le zone e le costruzioni (**RcoZc**) in cui un articolo è specificamente dedicato alla considerazione dei pericoli naturali che interessano il territorio. Unitamente alla carta dei pericoli naturali (e ben presto a quella dei rischi), il **RcoZC** è la chiave di volta della protezione dei beni e delle persone poiché regola le condizioni di uso del suolo minacciato. Questo va dal divieto di edificare (elevato pericolo [rosso]) fino alla semplice gestione delle misure di protezione da attuare nel singolo edificio (debole pericolo [giallo]). Nell'ambito, ad esempio, di colate di fango, che potrebbero rappresentare una minaccia con una frequenza superiore a 30 anni, si può immaginare che sia richiesto di edificare la cucina ed i servizi sanitari verso la montagna con delle piccole aperture e le camere da letto verso valle con delle ampie vetrate.

II. TERMINOLOGIE

Ce glossaire se limite aux termes principaux.

II.1. INTRODUCTION

La signification des termes utilisés dans le domaine de l'analyse des dangers et des risques dépend des écoles, du domaine auquel elle s'applique, etc. C'est la raison pour laquelle, afin d'éviter les ambiguïtés, on a choisi de préciser un certain nombre de définitions pour les termes usuels. Souvent, l'origine des problèmes de nomenclature provient du *langage utilisé lors des études de terrains*, car ce jargon ne prend pas en compte la démarche de l'analyse des dangers et des risques dans son entier.

Pour comprendre les définitions adoptées, il faut les insérer dans la démarche que sous-tendent les études d'**instabilités rocheuses**. Leur objectif final est de pouvoir indiquer la probabilité qu'un événement **chute de bloc** ou **éboulement**, de caractéristiques définies, puisse atteindre un lieu donné. Cette démarche doit permettre d'évaluer les coûts financiers et en vies humaines engendrés par un tel événement, c'est-à-dire le **risque**. Elle doit aussi fournir les éléments nécessaires au dimensionnement d'ouvrages de protection. Ces objectifs impliquent des termes et des paramètres associés bien définis, afin d'aboutir *de façon naturelle* à la suite d'une étude d'instabilité à la notion de coût moyen annuel (ou coût moyen par unité de temps).

Il est impératif que le vocabulaire tienne compte des contingences des outils existants ou en développement, comme les systèmes d'information géographique (**SIG**) (Fig. II.1 et II.2). Ceci implique, bien sûr, que la terminologie adoptée soit compatible avec les autres types de danger, lors d'études "multi-dangers". Cette remarque permet de rappeler qu'un lieu peut être menacé par plusieurs types de **danger** ou plusieurs dangers du même type. Plusieurs dangers peuvent aussi être provoqués par une même instabilité (chutes de blocs et éboulement). Ces remarques démontrent la nécessité de bien distinguer tous les éléments qui constituent l'analyse du risque lié aux instabilités rocheuses.

La rédaction d'un rapport nécessite toujours de se référer à un glossaire existant ou d'y définir clairement la terminologie utilisée.

II.2. NIVEAUX D'INFORMATION

Pour justifier la terminologie proposée, on peut décrire les paramètres (termes) nécessaires à l'établissement d'une carte de risque, en partant de celle-ci et en remontant vers le danger.

II. TERMINOLOGIA

Questo glossario è limitato ai principali termini tecnici.

II.1. INTRODUZIONE

Il significato dei termini usati nell'ambito dell'analisi dei pericoli e dei rischi è dipendente dalle scuole, dal quadro in cui si applicano, ecc. Per tale motivo, si è scelto di precisare un certo numero di definizioni per i termini comuni affinché non ci siano ambiguità. Spesso l'origine dei problemi di nomenclatura viene dal linguaggio usato durante gli studi sul terreno in quanto questo gergo non prende in considerazione il processo di analisi dei pericoli e dei rischi nel suo complesso.

Per capire le definizioni adottate, bisogna integrarle nel processo che ispira gli studi dell'**instabilità delle pareti rocciose**. Tali studi sono finalizzati ad indicare la probabilità che un evento di **caduta blocchi** o **crollo di roccia**, con caratteristiche precise, possa raggiungere un luogo determinato. Questo processo deve consentire di valutare i costi finanziari e di vite umane causati da tale evento, cioè il **rischio**. Deve anche fornire gli elementi necessari per quantificare le opere di protezione. Questi obiettivi coinvolgono termini e parametri associati molto precisi per arrivare in modo naturale, dopo aver effettuato uno studio d'instabilità, all'idea di costo medio annuo (o costo medio per unità di tempo).

È imperativo che il vocabolario tenga conto delle contingenze degli strumenti già esistenti o in corso di sviluppo come i sistemi informativi geografici (**SIG**) (Fig. II.1 e II.2). Questo implica naturalmente che la terminologia adottata sia compatibile, come definizione, con gli altri tipi di pericolosità nell'ambito di studi "multi-pericolo". Questa osservazione consente di evidenziare che un luogo può essere minacciato da più tipi di pericolo o da più pericoli dello stesso tipo. Numerosi pericoli possono anche essere prodotti da una stessa instabilità (caduta blocchi e frane di crollo). Questo mostra la necessità di individuare bene ogni elemento che costituisce l'analisi del rischio legato alle instabilità rocciose.

La stesura di una relazione richiede sempre un riferimento ad un glossario esistente oppure una chiara definizione della terminologia usata.

II.2. LIVELLI DI INFORMAZIONE

Per giustificare la terminologia proposta, si possono descrivere i parametri (termini) fondamentali per costruire una carta del rischio, a partire da questa e risalendo al pericolo.

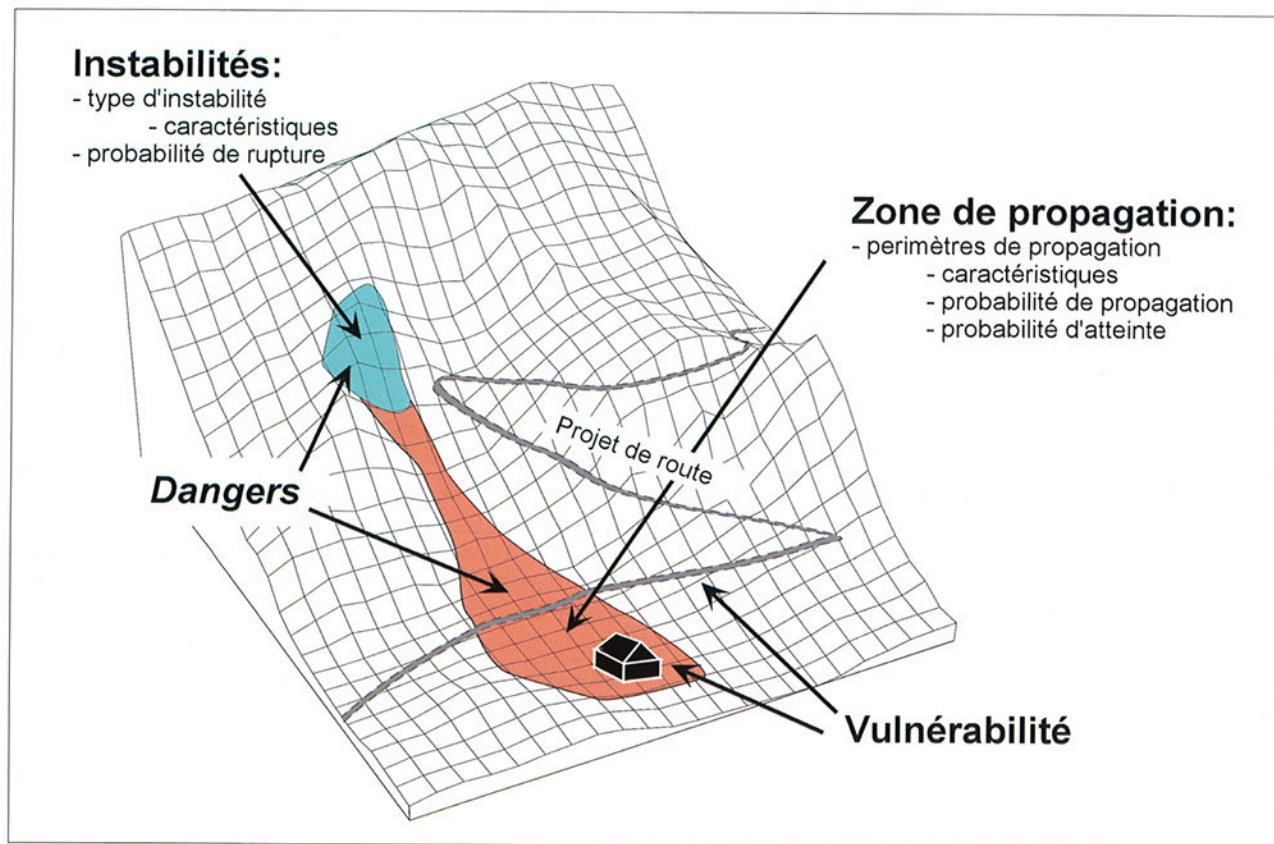


Fig. II.1. Les termes principaux utilisés pour qualifier les instabilités et les dangers qu'elles engendrent. Le regroupement des termes est proche de la démarche de terrain (Leroi, 1997).

I termini principali usati per qualificare le instabilità ed i pericoli da loro causati. L'insieme dei termini rispecchia il processo svolto sul terreno (Leroi, 1997).

Si l'on admet que le risque est défini par un coût financier moyen ou en vie par période de temps, il s'agit d'abord de diviser les différentes filières de danger. Les dommages subis par un objet ou une personne dépendent des caractéristiques de l'événement dangereux qui les affectent. Dans cette perspective, la vulnérabilité (V) représente le degré de dommage en pour-cent qu'un danger, de caractéristiques connues (par ex. : volume de bloc maximum, énergie maximale, hauteur de vol maximale pour des seuils donnés), peut engendrer. Le nombre de vies ou la valeur des biens soumis au danger (E) multipliés par leur vulnérabilité fournissent les coûts moyens liés à la réalisation d'un événement dangereux ($W = E \times V$).

Pour obtenir le risque, il faut multiplier le résultat précédent par une fréquence ($R = \text{Patteinte} \times W$). Cette fréquence est la probabilité d'atteinte en un lieu donné. Dans le cas des instabilités rocheuses, elle se calcule par le produit de deux composantes soit :

Se ammettiamo che il rischio è definito dal costo finanziario medio o in vittime per periodo di tempo, si tratta prima di dividere le varie categorie di pericolo. I danni subiti da un oggetto o da una persona dipendono dalle caratteristiche dell'evento pericoloso in cui sono coinvolti. In questa prospettiva, la vulnerabilità (V) rappresenta il grado del danno in percentuale che un pericolo, con caratteristiche conosciute (ad es. volume di blocchi massimo, energia massima, altezza di volo massima per dati livelli) possa causare. Il numero di vite o il valore dei beni soggetti al pericolo (E) moltiplicati per la loro vulnerabilità forniscono i costi medi legati al verificarsi di un evento pericoloso ($W = E \times V$).

Per ottenere il rischio, bisogna moltiplicare il precedente risultato con una frequenza ($R = \text{Pericolosità} \times W$). Questa frequenza è la pericolosità in un luogo determinato. Nel caso delle instabilità rocciose, si calcola con il prodotto di due componenti, cioè:

Patteinte = Rupture x Propagation

Où la probabilité de rupture est la probabilité temporelle d'occurrence de chute de blocs, alors que la probabilité de propagation est la probabilité qu'un bloc atteigne un lieu, sachant qu'il s'est détaché de l'instabilité. Ces probabilités sont définies pour les instabilités et les périmètres de danger. Les dangers sont caractérisés par un certain nombre de paramètres comme par exemple : les volumes mobilisables, les tailles de blocs, les énergies, les hauteurs de vol, etc. Les zones de propagation peuvent être définies sur la base d'observations directes ou de calculs trajectographiques. La probabilité de rupture est définie par l'étude détaillée d'une ou de plusieurs instabilités d'un secteur donné.

De nombreux documents peuvent être utiles pour définir les instabilités, leur probabilité de rupture ainsi que leur périmètre d'atteinte : cartes géologique, géomorphologique, des dépôts rocheux, géotechnique, hydrologique, topographique, etc.

Les étapes et les éléments détaillés ci-dessus sont utilisables dans un SIG.

Pericolosità = Prob-rottura x Prob-propagazione.

Dove la probabilità di rottura è la probabilità temporale di accadimento della caduta di blocchi mentre la probabilità di propagazione è la probabilità che un blocco raggiunga un dato luogo, una volta che si è staccato dall'area di instabilità. Queste probabilità sono precisate per le instabilità ed i perimetri di pericolo. I pericoli sono caratterizzati da un certo numero di parametri come, ad esempio, i volumi mobilizzabili, le dimensioni dei blocchi, le energie, le altezze di volo, ecc. Le aree di propagazione possono essere determinate sulla base delle osservazioni dirette o dei calcoli traiettopografici. La probabilità di rottura è determinata dallo studio dettagliato di una o più instabilità per un settore definito.

Molti documenti possono essere utili nel definire le instabilità, la loro probabilità di rottura così come il loro perimetro di raggiungimento: carte geologica e geomorfologica, dei depositi rocciosi, geotecnica, idrologica, topografica, ecc.

Le tappe e gli elementi dettagliati sopraindicati sono da usare in un SIG.

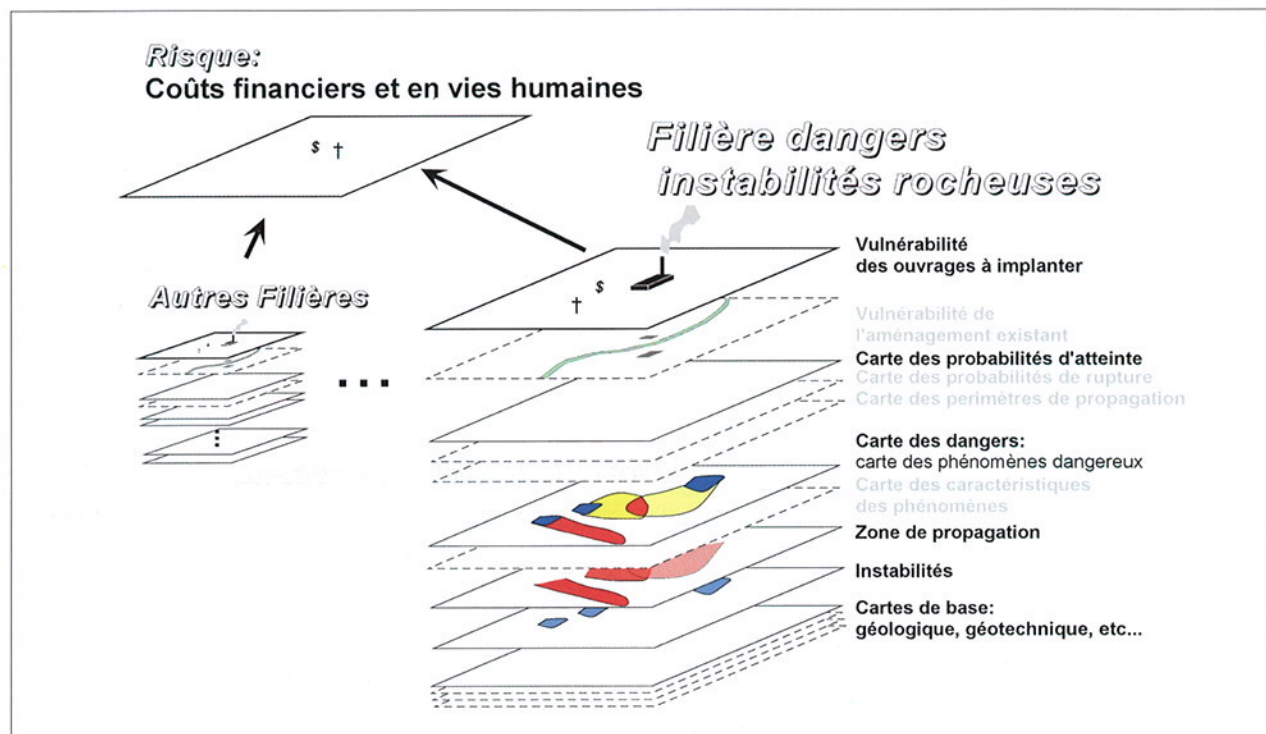


Fig. II.2. Schéma des différentes couches d'informations nécessaires à l'utilisation d'un SIG dans l'établissement d'une carte de risque. Ces couches diffèrent de la hiérarchie que l'on peut établir sur le terrain.

Schema dei vari strati informativi necessari per disegnare una carta del rischio mediante l'utilizzo di un SIG. Questi strati variano in funzione della gerarchia stabilita sul terreno.

II.3. CLASSIFICATION DES INSTABILITÉS EN FONCTION DES INFORMATIONS

Les instabilités peuvent être identifiées de plusieurs manières suivant le degré de détail des études et les conditions d'affleurement des instabilités (Fig. II.3, Tab. II.1). Lors de la caractérisation d'instabilités, il est important de préciser la méthode d'acquisition des données, car elle indique le type de résultats auxquels on peut s'attendre. Les analyses peuvent être menées à partir :

- d'une carte
- d'un M.N.T.
- de photo-détection (préciser l'échelle)
- d'observation directe lointaine (jumelles, hélicoptère, etc.)
- d'observation directe rapprochée (visites pédestres, sur corde, etc.)
- ou de la combinaison de diverses approches.

D'autre part, la méthode seule ne donne pas d'indications sur le degré de détail avec lequel elle a été appliquée. Il faut en plus préciser le degré de connaissances en fonction de la qualité de l'observation. On parle d'instabilités supposées pour des instabilités dont le périmètre n'est pas défini, d'instabilités diffuses pour un ensemble d'instabilités non identifiées mais appartenant à un périmètre défini. Les instabilités localisées sont celles dont le périmètre est défini. Si les instabilités sont observées, leur activité est qualifiée (avec ou sans activité) sinon, c'est le mécanisme qui permet de les supposer qui les qualifie. Ces termes sont accompagnés d'un qualificatif de la connaissance de la structure qui engendre l'instabilité, soit établie, possible, présumée, ou incertaine.

II.3. CLASSIFICAZIONE DELLE INSTABILITÀ IN FUNZIONE DELLE INFORMAZIONI

Le instabilità possono essere individuate in diversi modi a seconda del livello di dettaglio degli studi e delle condizioni di affioramento delle instabilità (Fig. II.3. Tab. II.1). Al momento della caratterizzazione dell'instabilità, è importante precisare il metodo di acquisizione dei dati poiché indica il tipo di risultato che è possibile raggiungere. Le analisi possono essere condotte a partire da:

- una carta
- un D.T.M.
- fotointerpretazione (precisare la scala)
- osservazione diretta da lontano (cannocchiali, elicottero, ecc.)
- osservazione diretta ravvicinata (escursioni a piedi o alpinistiche)
- oppure dalla combinazione dei diversi approcci.

D'altro canto, il singolo metodo non fornisce indicazioni riguardanti il grado di dettaglio con cui è stato applicato. Bisogna inoltre precisare il livello di conoscenza in rapporto alla qualità dell'osservazione. Si parla di instabilità presupposte nel caso di instabilità in cui il perimetro non è definito, di instabilità diffuse per un insieme di instabilità non individuate ma appartenenti ad un perimetro preciso. Le instabilità localizzate sono quelle in cui il perimetro è definito. Se le instabilità sono osservate, la loro attività è definita (con o senza attività), nel caso contrario, è il processo che consente di ipotizzarle a qualificarle. Questi termini sono accompagnati da un qualificativo della conoscenza della struttura che causa l'instabilità, sia stabilita, possibile, presunta, o incerta.

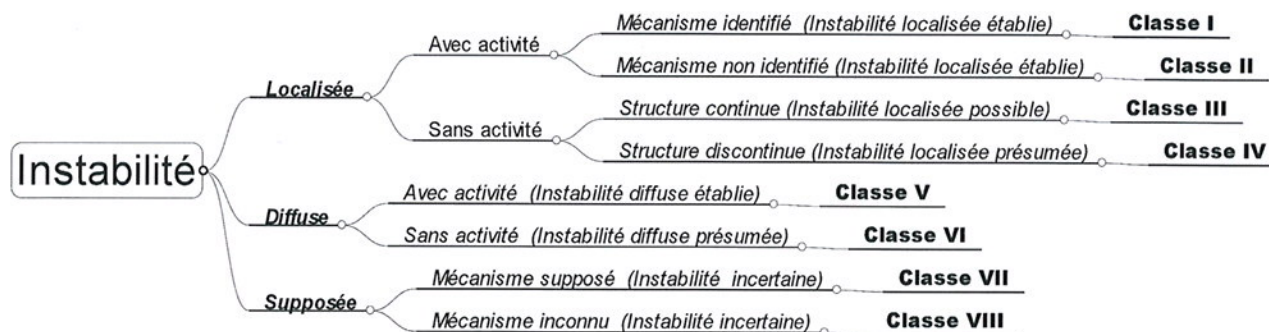


Fig. II.3. Hiérarchisation de la nomenclature qui définit le niveau de connaissance des instabilités.

Gerarchizzazione della nomenclatura che definisce il livello di conoscenza delle instabilità.

INSTABILITE	Localisée: signifie que le périmètre de l'instabilité est connu et que l'instabilité a été qualifiée .	Avec activité: indique que des mouvements du massif ou des chutes d'éléments rocheux ont été mis en évidence.	Mécanisme non identifié: les signes d'activité sont évidents mais les observations ne permettent pas d'établir un mécanisme précis.
		Sans activité: la structure de l'instabilité a été mise en évidence, mais elle ne présente aucun mouvement et ne subit aucune ablation.	Mécanisme identifié: le mécanisme d'instabilité est établi.
			Structure continue: l'instabilité est représentée par un volume désolidarisé du massif rocheux (volume individualisé sans mouvement).
	Diffuse: dans un périmètre donné, un certain nombre d'instabilités, qui ont été qualifiées globalement , sont identifiées, mais on en connaît pas leur localisation exacte (elles sont en principe nombreuses et de petite taille).		Structure discontinue: le volume de roche prenant part à l'instabilité est partiellement désolidarisé du massif rocheux.
		Avec activité: indique que des chutes d'éléments rocheux ont été mises en évidence ou que le massif rocheux est disloqué en surface.	
	Supposée: périmètre dont on suppose qu'il recèle une instabilité qui n'a pas été qualifiée .	Sans activité: le massif rocheux présente des indices d'instabilité, mais ne présente aucun mouvement et ne subit aucune ablation.	
		Mécanisme inconnu: les critères d'identification de périmètre de l'instabilité ne se basent pas sur un mécanisme.	
		Mécanisme supposé: des critères d'identification sont basés sur un mécanisme.	

Tab. II.1 : Définitions correspondant à la figure II.3.

Definizioni relative alla figura II.3.

II.4. DÉFINITIONS DES TERMES PRINCIPAUX

Le tableau qui suit indique les définitions en quatre langues des termes principaux utilisés dans les études d'instabilités et des risques associés (Tab. II.2).

II.4. DEFINIZIONI DEI TERMINI PRINCIPALI

La seguente tabella mostra le definizioni dei termini principali utilizzati negli studi delle instabilità e dei rischi associati tradotte in quattro lingue (Tab. II.2).

Instabilité I	Slope Instability I	Instabilità di versante I	Instabilität I
Masse rocheuse proche de sa limite d'équilibre. Aléa (VS): Instabilité reconnue spatialement et qualifiée par un degré de dangerosité.	Rock mass in proximity of its limit equilibrium.	Ammasso roccioso in prossimità dell'equilibrio limite.	Felsmasse am Rande ihrer Gleichgewichtslage.
Chute de blocs (chute de pierre) Phénomène instable qui implique le détachement de blocs d'un versant rocheux et le mouvement qui suit (par chute libre, rebond, roulement, glissement) le long de la pente jusqu'à ce qu'un état d'équilibre soit atteint.	Rockfall Instability phenomenon that involves the detachment of rock blocks, from a slope and their following movement (by free fall, bouncing, rolling, sliding) along the slope until they reach equilibrium.	Crollo Fenomeno franoso che comporta il distacco di blocchi lapidei di dimensioni variabili da alcuni decimetri a diverse centinaia di metri cubi da pendii o fronti di scavo ed il loro successivo movimento (per caduta libera, rimbalzo, rotolamento, scivolamento) lungo il versante fino a raggiungere una posizione di equilibrio.	Steinschlag Instabilitätsphänomen, das das Ablösen von Blöcken von einem felsigen Hang sowie die folgende Bewegung (freier Fall, Auf- und Abprallen, Rollen, Rutschen) entlang des Hanges bis zum Erreichen eines Gleichgewichtszustandes einschließt.
Éboulement en masse Masse rocheuse qui tombe d'une falaise en se fractionnant, et dont le mode de	Rock avalanche Landslide that originates from the detachment of a large portion of rock mass	Valanga di roccia Fenomeno franoso che si origina per distacco di volumi rocciosi di grandi dimen-	Bergsturz Felsmasse, die sich von einem Felsmassiv löst und dabei zerbricht. Die Art der

transport s'apparente à celui d'un fluide. Éboulement en grande masse (Fr): pour des volumes atteignant plusieurs centaines de milliers de mètres cubes, les interactions entre les éléments sont fortes. Eboulement "catastrophique" (Fr): les interactions des éléments entre eux conduisent à des phénomènes pratiquement analogues aux écoulements fluides; cette catégorie sort du domaine traité dans ce travail. Ecrolement (CH): Éboulement en masse de grande dimension.	and generates a complex mechanism where the failed mass splits in several blocks interacting with each other, with a high flux component and high energy	sioni, i quali si scompongono in blocchi che interagiscono tra loro con elevati scambi di energia e con una grossa componente di flusso.	Bewegung ähnelt der eines Fluids.
Probabilité de rupture d'une instabilité <i>Pr</i> Probabilité qu'une masse rocheuse de volume donné au sein de la falaise considérée et pour une période donnée se mobilise. Dangerosité (VS): Degré d'instabilité d'un aléa. Qualifie la probabilité qu'il se réalise.	Probability of rock failure <i>Pr</i> Probability of failure of a portion of rock mass, with a specific volume, within a given time unit and within the considered cliff.	Probabilità di rottura in parete <i>Pr</i> Probabilità che una porzione di ammasso roccioso, di un determinato volume, si mobilizzi, nell'unità di tempo considerata e nella porzione di parete considerata	Bruchwahrscheinlichkeit einer Instabilität <i>Pr</i> Wahrscheinlichkeit, dass sich innerhalb einer bestimmten Zeiteinheit ein Teil einer Felsmasse mit einem bestimmten Volumen in einer bestimmten Zone von einem Felsmassiv löst.
Probabilité de propagation <i>Pp</i> Probabilité qu'une portion de masse rocheuse, dont les caractéristiques sont fixées, provenant d'un tronçon donné de falaise, transite par un lieu donné. Les caractéristiques telles que les énergies, hauteurs de vol, vitesses, masses, etc... peuvent être définies par des distributions statistiques. Limites d'atteinte (VS): Limite du secteur dépassé par un pourcentage donné de blocs en mouvement (1%, 10-2%, 10-4%).	Probability of propagation <i>Pp</i> Probability that a portion of rock mass, with given characteristics, and coming from a given portion of the cliff, transits across a considered area. Characteristics such as height of flight, velocity, mass, and energy can be described by statistical distributions.	Probabilità di propagazione <i>Pp</i> Probabilità che una porzione di ammasso roccioso, di caratteristiche fissate, proveniente da una data porzione di parete, una volta mobilizzatosi, transiti attraverso un'area considerata. Queste caratteristiche (altezza di volo, massa, velocità, energia) possono essere descritte da distribuzioni statistiche.	Ausbreitungswahrscheinlichkeit <i>Pp</i> Wahrscheinlichkeit, mit der ein von einer gegebenen Instabilität stammender Block mit gegebenen Eigenschaften eine vorgegebene Stelle passiert. Diese Eigenschaften (Energie, Flughöhe, Geschwindigkeit, Masse, usw...) können durch statistische Verteilungen.
Danger <i>D</i> Intensité ou magnitude d'un phénomène d'instabilité de versant existant ou potentiel, qui possède des caractéristiques géométriques et mécaniques spécifiques. Cette définition appliquée aux chutes de blocs implique l'identification et l'analyse des zones productrices de blocs. L'estimation de l'intensité des chutes de blocs est basée sur des paramètres tels que, la hauteur de vol, la vitesse, l'énergie.	Danger <i>D</i> Intensity or magnitude of a localised existing or potential phenomenon of slope instability, with specific geometric and mechanical characteristics. With particular reference to rockfalls, this definition involves the identification and the analysis of the rockfall source areas. The evaluation of the rockfall intensity is based on the knowledge of parameters such as height of flight, velocity, and energy.	Pericolo <i>D</i> Intensità o magnitudo di un fenomeno di instabilità di versante localizzato, reale o potenziale, caratterizzato dalle sue proprietà geometriche e meccaniche. Per quanto riguarda in particolare i crolli, questa definizione implica una delimitazione e un'analisi della zona potenzialmente origine del crollo, in quanto per definire l'intensità del fenomeno occorre valutare altezza di volo, massa, velocità, energia.	Gefahr <i>D</i> Intensität und Ausmass einer lokalisierten, bereits aufgetretenen oder potentiellen Hanginstabilität mit spezifischen geometrischen und mechanischen Eigenschaften. Auf Felsstürze bezogen beinhaltet diese Definition die Identifikation und Analyse von Felssturz-Quellgebieten. Die Bewertung der Felssturzintensität basiert auf der Kenntniss von verschiedenen Parametern wie der Flughöhe, der Geschwindigkeit und der Energie.

Probabilité d'atteinte (aléa) H Probabilité de réalisation en un lieu donné et au cours d'une période donnée d'un phénomène dangereux. Selon la définition précédente des chutes de blocs: $H = H(D) = Pr * Pp$ Il a la dimension d'une fréquence. Probabilité d'occurrence (VS): La probabilité d'occurrence est fonction de la dangerosité de l'aléa conjuguée avec la probabilité d'atteinte par le bloc. Degré de danger (VS): Qualifie la probabilité qu'un périmètre soit atteint par un bloc. Le degré de danger est fonction de la probabilité d'occurrence et de l'intensité.	Hazard H Probability of occurrence in a given location and time period of a dangerous phenomenon. According to what has been previously defined for rock falls: $H = H(D) = Pr * Pp$ Their dimension is a frequency.	Pericolosità H Probabilità di accadimento in un'area considerata e nell'unità di tempo considerato di un fenomeno pericoloso. In base a quanto sopra definito per i crolli: $H = H(D) = Pr * Pp$ Ha la dimensione di una frequenza.	Eintrittswahrscheinlichkeit H Wahrscheinlichkeit, mit der ein gefährliches Ereignis in einer betrachteten Zone innerhalb einer gegebenen Zeitspanne eintritt. Für Felssturz und Steinschlag bisher definiert als: $H = H(D) = Pr * Pp$ Ha wird als Häufigkeit angegeben.
Elément à risque E Population, propriété, activité économique, service public ou bien environnemental situé dans un lieu exposé à un danger.	Element at risk E Population, property, economic activity, public services or environmental goods situated in a location exposed to danger.	Elemento a rischio E Popolazione, proprietà, attività economiche, servizi pubblici o beni ambientali in una data area esposta a pericolo.	Gefährdetes Element E Bevölkerung, Eigentum, wirtschaftliche Aktivität, öffentliche Einrichtungen sowie Umweltgüter, die sich an einem dem Gefahr ausgesetzten Ort befinden.
Valeur des éléments à risque W Valeur économique ou nombre d'unités de chaque élément à risque situé en un lieu donné. $W = W(E)$	Worth of element at risk W Economic value, or number of units of each element at risk situated in a given location. $W = W(E)$	Valori degli elementi a rischio W Valore economico o numero di unità relative ad ognuno degli elementi a rischio in una data area. $W = W(E)$	Wert der gefährdeten Elemente W Wirtschaftlicher Wert oder Anzahl der gefährdeten Elemente, die sich an einem gegebenem Ort befinden. $W = W(E)$
Vulnérabilité V Degré de perte causé par un phénomène dangereux d'intensité fixée à un ou plusieurs éléments à risque. $V = V(D;E)$ Il varie de 0% (aucune perte) à 100% (perte totale).	Vulnerability V Degree of loss of one or more elements at risk resulting from a dangerous phenomenon with a given intensity. $V = V(D;E)$ It varies from 0% (no loss) to 100% (total loss).	Vulnerabilità V Grado di perdita causato da un fenomeno pericoloso di una data intensità ad uno o più elementi a rischio. $V = V(D;E)$ Varia tra 0% (nessuna perdita) e 100% (perdita totale).	Verwundbarkeit V Grad des Verlustes, der durch ein gefährliches Ereignis von festgesetzter Intensität an einem oder mehreren gefährdeten Elementen verursacht wird. $V = V(D;E)$ Variiert zwischen 0% (kein Verlust) und 100% (Totalverlust).
Dommage potentiel WI Pertes potentielles occasionnées par un événement d'intensité fixée. $WI = WI(D;E) = W(E) * V(D;E)$ Il est exprimé soit en terme de nombre d'unités exposées, soit en terme financier.	Potential worth of loss WI Potential loss caused by an event with a given intensity. $WI = WI(D;E) = W(E) * V(D;E)$ It is expressed either in number of exposed units or in economic value.	Danno potenziale WI Perdita potenziale causata da un evento di intensità fissata. $WI = WI(D;E) = W(E) * V(D;E)$ È espresso in numero di unità esposte oppure in valore economico.	Potentieller Schaden WI Von einem eintretenden Ereignis mit festgesetzter Intensität verursachter potentieller Verlust. $WI = WI(D;E) = W(E) * V(D;E)$ WI wird entweder über die Anzahl der bedrohten Einheiten oder in monetären Beträgen angegeben.

Risque spécifique R_s Degré de perte supposé pour une période donnée d'un élément à risque que peut causer un phénomène dangereux d'intensité fixée. $R_s = R_s(D;E) = H(D) * V(D;E)$ Il est exprimé en termes de probabilité annuelle.	Specific risk R_s Expected degree of loss within a given period of time of an element at risk that can be caused by a dangerous phenomenon with a given intensity. $R_s = R_s(D;E) = H(D) * V(D;E)$ It is expressed as an annual probability.	Rischio specifico R_s Grado di perdita atteso per un tempo considerato, che può essere causato da un particolare fenomeno pericoloso di data intensità ad un elemento a rischio. $R_s = R_s(D;E) = H(D) * V(D;E)$ È espresso in termini di probabilità annuale.	Spezifisches Risiko R_s Innerhalb eines gegebenen Zeitraumes zu erwartender Grad des Verlustes, der bei Eintreten eines gefährlichen Ereignisses mit festgesetzter Intensität an einem gefährdeten Element verursacht wird. $R_s = R_s(D;E) = H(D) * V(D;E)$ R_s wird über die jährliche Wahrscheinlichkeit ausgedrückt.
Risque total R_t Nombre attendu de pertes en vies humaines, blessés, dommages aux biens et à l'activité économique causée par un phénomène naturel particulier. $R_t = R_t(D;E)$ $= H(I) * V(D;E) * W(E)$ $= R_s(D;E) * W(E)$ $= H(D) * W(D;E)$ Il est exprimé soit en terme de nombre d'unités exposées, soit en terme financier.	Total risk R_t Expected losses of lives, persons injured, property damaged, and economic activity disrupted due to a particular dangerous phenomenon. $R_t = R_t(D;E)$ $= H(I) * V(D;E) * W(E)$ $= R_s(D;E) * W(E)$ $= H(D) * W(D;E)$ It is expressed either in terms of number of exposed units, or in financial terms.	Rischio totale R_t Numero atteso di perdite umane, feriti, danni alla proprietà, interruzione di attività economiche, causato da un particolare fenomeno pericoloso. $R_t = R_t(D;E)$ $= H(I) * V(D;E) * W(E)$ $= R_s(D;E) * W(E)$ $= H(D) * W(D;E)$ È espresso sia in termini di numero di unità esposte oppure in termini monetari.	Gesamtrisiko R_t Rechnerisch zu erwartende Verluste an Menschenleben, Verwundete, Sachschäden sowie wirtschaftliche Ausfälle, die durch ein bestimmtes gefährliches Ereignis verursacht werden. $R_t = R_t(D;E)$ $= H(I) * V(D;E) * W(E)$ $= R_s(D;E) * W(E)$ $= H(D) * W(D;E)$ R_t wird entweder durch die Anzahl der betroffenen Einheiten oder in monetären Beträgen angegeben.

Tab. II.2 : Glossaire des termes principaux (inspiré de IDNDR, 1992 ; Canuti et Casagli, 1994 ; Cruden et Varnes, 1996 ; Einstein, 1997). Les termes signalés par VS, CH, FR ou IT sont ceux dont l'usage est local, respectivement valaisan, suisse, français et italien.

Glossario dei termini principali (tratti da IDNDR 1992); Canuti et Casagli 1994, Cruden e Varnes, 1996, Einstein, 1997) I termini segnalati da VS, CH, FR o IT sono quelli di uso locale, rispettivamente vallesano, svizzero, francese e italiano.

II.5. MOUVEMENTS DE PENTES ET TYPE D'INSTABILITÉ

Le terme mouvement de terrain est utilisé à la fois pour désigner les phénomènes liés à la présence de vides souterrains (affaissements et effondrements) et ceux liés à la pente de la surface du sol. Ces derniers peuvent être désignés sous le terme général de mouvement de versant, mouvement de pente ou glissement de terrain au sens large (bien que les glissements ne représentent qu'un type particulier de mouvement). Ils sont généralement classés en fonction du mode de déplacement et du type de matériau (UNESCO, 1990 ; Cruden et Varnes, 1996 ; PPR, 1999 ; CFGI, 2000).

Mais du point de vue de la sécurité, la caractéristique la plus importante d'un mouvement de

II.5. MOVIMENTI DI VERSANTE E TIPO DI INSTABILITÀ

Il termine *mouvement de terrain* (*movimento di terreno*) è talvolta usato per descrivere sia i fenomeni collegati alla presenza di vuoti sotterranei (cedimenti e crolli) sia quelli legati all'acclività del pendio. Questi ultimi possono essere individuati con il termine generico di *movimento di versante*, *movimento di pendio* o *scivolamento di terreno* in senso lato (sebbene il termine scivolamento rappresenti solo un tipo particolare di movimento). Sono in genere classificati a seconda meccanismo di movimento e del tipo del materiale coinvolto (UNESCO, 1990; Cruden e Varnes, 1996; PPR, 1999; CFGI 2000).

Tuttavia, dal punto di vista della sicurezza, la caratteristica più importante di un movimento di

versant est sa vitesse. Les mouvements très rapides (du km/h à plusieurs dizaines de km/h) menacent directement les personnes, car l'évacuation est impossible. Les mouvements rapides (quelques m/h à quelques hm/h) provoquent la destruction des bâtiments situés sur la masse en mouvement ou sur sa trajectoire, mais permettent l'évacuation des personnes. Les mouvements extrêmement lents (vitesse inférieure ou égale à quelques cm/an) permettent des constructions moyennant certaines précautions. Dans les régions montagneuses, de nombreuses habitations subissent, sans trop de dégâts, des déplacements de plusieurs cm par an. Les quatre modes de déplacement les plus fréquents sont rapidement décrits dans les paragraphes suivants.

Le glissement se caractérise par l'existence d'une surface de glissement délimitant la masse en mouvement. Cette surface peut être préexistante dans le massif (fractures dans un massif rocheux) ou se développer à la suite, par exemple, d'une excavation dans un terrain peu résistant (Fig. II.4a, b, c). Les glissements sont généralement lents ou très lents, mais certains peuvent s'accélérer et devenir très rapides.

Le basculement affecte des bancs rocheux ou des pans de falaise qui fléchissent ou basculent vers l'aval (Fig. II.4e). Ce phénomène peut être très rapide (pan de falaise déversé qui s'écroule) ou très lent (flexion de couches dans un versant, appelée aussi fauchage).

La chute concerne essentiellement des blocs rocheux, qui peuvent tomber en chute libre, rebondir et rouler (Fig. II.4f). Les chutes de blocs sont toujours des mouvements très rapides.

La coulée est un mode de déplacement qui s'apparente à celui d'un fluide. Il recouvre des phénomènes très différents : avalanche rocheuse (mouvement très rapide, dans lequel les blocs, en grand nombre, s'écoulent comme du sable) ; coulée boueuse (mélange de terre et d'eau, pouvant atteindre des vitesses très rapides) ; déformation d'un versant, lente et continue (sans surface de rupture).

Des mouvements plus complexes peuvent mettre en jeu simultanément plusieurs de ces mécanismes (Fig. II.4g par exemple). Ceux-ci peuvent également se succéder dans le temps. Ainsi les chutes de blocs et les avalanches rocheuses (que nous regroupons sous le terme d'éboulement) sont généralement précédées par le glissement ou le basculement d'une masse rocheuse.

versante è la sua velocità. I movimenti molto veloci (da 1 km/h ad alcune decine di km/h) minacciano direttamente le persone in quanto non è possibile l'evacuazione. I movimenti veloci (da alcuni m/h ad alcune centinaia di m/h) causano la distruzione di edifici posti sulla massa in moto o sulla sua traiettoria ma consentono lo sfollamento delle persone. I movimenti molto lenti (velocità inferiore o equivalente ad alcuni cm/anno) permettono di edificare con cautela. Nelle regioni montuose, numerose case subiscono, senza essere troppo danneggiate, spostamenti di alcuni centimetri all'anno. I quattro modi di spostamento più frequenti sono brevemente descritti nei seguenti paragrafi.

Lo scivolamento (smottamento) è caratterizzato da una superficie di scivolamento che delimita la massa in movimento. Questa superficie può essere preesistente nell'ammasso (fratture nel massiccio roccioso) oppure svilupparsi in seguito, ad esempio, ad uno scavo in un terreno poco resistente (Fig. II.4a, b, c). Gli scivolamenti sono in genere lenti o molto lenti ma alcuni possono subire un aumento della velocità sino a diventare molto rapidi.

Il ribaltamento coinvolge banchi rocciosi o porzioni di parete che flettono o si ribaltano a valle (Fig. II.4e). Questo fenomeno può essere molto veloce (porzione di parete inclinata che crolla) o molto lento (flessione di strati in un versante anche denominato ribaltamento flessurale).

Il crollo riguarda essenzialmente i blocchi rocciosi che possono cadere per caduta libera, rimbalzo, rotolamento (Fig. II.4f). Le cadute blocchi sono sempre movimenti molto veloci.

La colata è caratterizzata da un movimento simile a quello di un fluido. Comprende fenomeni molto diversi: valanga di roccia (movimento molto rapido in cui i numerosi blocchi, staccatisi dalla parete rocciosa si propagano nel sottostante pendio come un fluido), colata di fango (miscuglio di terra ed acqua che può raggiungere una velocità molto rapida), deformazione di un versante, lenta e costante (senza superficie di rottura).

Movimenti più complessi possono essere caratterizzati contemporaneamente da più d'uno dei sopracitati meccanismi (Fig. II.4g). Questi possono anche succedersi nel tempo. Così le cadute di blocchi e le valanghe di roccia (che spesso vengono raggruppate sotto il termine di frana di crollo) sono in genere precedute dallo scivolamento o ribaltamento di un ammasso roccioso.

Fig. II.4 : représentation schématique des différents mécanismes qui génèrent des instabilités rocheuses.

Rappresentazione schematica dei vari fenomeni che causano le instabilità rocciose.

BIBLIOGRAPHIE BIBLIOGRAFIA

CANUTI P. AND CASAGLI N., *Considerazioni sulla valutazione del rischio di frana, fenomeni franosi e centri abitati*, Atti del congresso di Bologna del 27 maggio 1994. Pubblicazione n° 846, 1994.

CFGI (COMITÉ FRANÇAIS DE GÉOLOGIE DE L'INGÉNIEUR), *Caractérisation et cartographie de l'aléa dû aux mouvements de terrain*. Collection "Environnement - Les risques naturels", pp. 91, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 2000.

CRUDEN D. M., AND VARNES D. J., *Landslide types and processes*, in A. K. Turner and R. L. Schuster, *Landslides, Investigation and Mitigation*, vol. Special Report 247, pp. 36-75, National Academy Press, Washington, D.C., 1996.

EINSTEIN H. H., *Landslide risk - Systematic approaches to assessment management*, in D. M. Cruden and R. F. Fell, *Landslide assesment*, pp. 25-50, A.A. Balkema, Rotterdam, 1997.

IDNDR, *Glossary: international agreed glossary of basics terms related to Disaster Management*, pp. 83, DHA-Geneva, 1992.

PPR, *Plans de Prévention des Risques naturels, risques de mouvements de terrain. Guide méthodologique*, pp. 71, Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, ministère de l'équipement, du logement et des transports. La documentation française, 1999.

UNESCO, *A suggested method for reporting a landslide*. The International Geotechnical Societies UNESCO Working Party on World Landslide Inventory, Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur, 41, 5-12, 1990.

Configuration - Gestaltung		Mécanisme - Meccanismo Mechanism - Mechanismus
a		Glissement plan Scivolamento Slide Ebene Rutschung
		Glissement diédre Scivolamento di diedro Wedge slide Keilförmige Rutschung
c		Glissement rotationnel et fractionné Scivolamento rotazionale e frazionato Rotational and multiblock slide Kreistförmige Rutschung
d		Rupture de surplomb Rottura di strapiombi Overhang failure Bruch eines Überhangs
e		Basculement de colonne ou de blocs Basculaggio di un elemento o di blocchi Rock column or block topple Kippen von Säulen und Blöcken
f		Rupture de colonne en pied Rottura di colonna in posizione verticale Column foot failure Bruch am Säulenfuß
g		Rupture de banc Rottura di strato Strat failure Bruch einer Gesteinsschicht

III. MÉTHODES D'ÉTUDE DES INSTABILITÉS DE FALAISE

III.1. MÉTHODOLOGIES D'ÉTUDE

III.1.1. Introduction

Les méthodes décrites dans le présent ouvrage, ont toutes pour objectif d'améliorer la prévention des instabilités de falaise. Elles ne traitent pas toutes forcément de tous les éléments qui mènent au calcul du risque. Elles s'attachent donc à l'étude d'une ou de plusieurs étapes qui mènent à l'évaluation des risques, telles que la délimitation des zones de départ des chutes de blocs, leurs probabilités de rupture, la définition des périmètres et des probabilités d'atteinte.

III.1.2. Problématiques

Les méthodes d'études dédiées à la *prévention des instabilités de falaise* sont dépendantes des moyens mis en œuvre qui, eux, varient en fonction des caractéristiques de la région étudiée et de la législation en vigueur. Par caractéristiques, on entend notamment la morphologie et le type d'aménagements existants et projetés de la région étudiée et de la législation en vigueur. Tous ces paramètres influent sur la façon de résoudre les problèmes posés. La complexité des objets étudiés favorise la variété des solutions apportées. De plus, chaque méthode s'attache à des objectifs légèrement différents selon l'origine de ses promoteurs. Il en résulte que chaque méthode recèle des simplifications gênantes pour leur comparaisons. Il s'agit donc, dans un premier temps, de savoir si toutes les méthodes répondent aux mêmes questions, puis de décomposer les démarches en rubriques suffisamment fines pour pouvoir les comparer entre elles.

Les méthodes de *prévention des instabilités de falaise* ont généralement été développées pour les besoins de l'aménagement du territoire. Par conséquent, elles répondent généralement à la question :

En un lieu donné, pour des bâtiments ou voies de communication fréquentées, le risque¹ est-il acceptable?

Une réponse positive à cette question signifierait que les dommages que pourraient subir des bâtiments ou des voies de communication sont acceptables pour une période donnée. L'acceptation

¹ Rappelons que le risque est défini comme la probabilité de perte en vies humaines, blessés, dommages aux biens et à l'activité économique causée par un phénomène naturel particulier au cours d'une période donnée (modifié d'après IDNDR, 1992).

III. METODI DI STUDIO DELLE INSTABILITÀ IN PARETE

III.1. METODOLOGIE DI STUDIO

III.1.1. Introduzione

I metodi descritti nel presente lavoro hanno tutti l'obiettivo di migliorare la prevenzione delle instabilità in parete. Tali metodi non si occupano obbligatoriamente di tutti gli elementi che portano al calcolo del rischio. Si riferiscono dunque allo studio di una o di più tappe che conducono alla valutazione dei rischi quali la delimitazione delle zone di distacco, le probabilità di rottura, la definizione dei perimetri e delle pericolosità.

III.1.2. Problematiche

I metodi di studio dedicati alla *prevenzione delle instabilità in parete* variano in funzione delle caratteristiche delle regioni in oggetto e della legislazione in vigore. Per caratteristiche si intendono la morfologia e il tipo di pianificazione territoriale esistente e prevista. Tutti questi parametri influiscono sul modo di risolvere i problemi posti. La complessità dei fenomeni studiati favorisce la varietà delle soluzioni adottate. Inoltre, ogni metodo mira a degli obiettivi leggermente differenti a seconda dell'origine dei suoi promotori. Ne consegue che ogni metodo contiene delle semplificazioni che ostacolano il loro confronto. Si tratta dunque, in un primo momento, di verificare se tutti i metodi rispondono alle stesse domande, poi di decomporre i procedimenti in voci sufficientemente dettagliate per poterle paragonare tra loro.

I metodi di *prevenzione delle instabilità in parete* sono stati generalmente sviluppati per le esigenze di pianificazione territoriale. Di conseguenza rispondono in genere alla seguente domanda:

In un certo luogo, per delle costruzioni o delle vie di comunicazione frequentate, il rischio¹ è accettabile?

Una risposta positiva a questa domanda significherebbe che i danni che potrebbero subire delle costruzioni o delle vie di comunicazione sono accettabili per un periodo definito. L'accettazione del rischio differisce da un Paese all'altro e da una

¹ Ricordiamo che il rischio è definito come probabilità di perdita di vite umane, feriti, danni ai beni ed all'attività economica causate da un fenomeno naturale particolare in un tempo determinato (modificato secondo IDNDR, 1992)

du risque diffère d'un pays à l'autre et d'une zone à l'autre. De plus, cette notion dépend de la fréquence et de l'intensité des événements hydrogéologiques déjà survenus. Il n'est donc pas simple de répondre à cette question. Bien sûr, aucune des méthodes ne pose le problème en ces termes précis, bien que ce soit le moteur principal de la démarche.

On a donc le plus souvent remplacé la notion de risque par des caractéristiques normées d'un danger ou d'un phénomène pour une probabilité d'atteinte "temporelle" (aléa) dont l'échelle reste le plus souvent semi-empirique (Besson, 1996 ; p. 299). Ces notions normatives sont donc tributaires du but poursuivi.

III.1.3. Démarche idéale

De façon idéale, la démarche d'évaluation des risques liés aux instabilités de falaises devrait s'attacher à fournir une information modulaire, homogène quant au niveau de détail.

Tout d'abord, les différentes étapes de l'évaluation doivent être clairement dissociées (Fig. III.1) :

- a) La cartographie et la caractérisation des phénomènes potentiellement dangereux (instabilités et périmètres de propagation) fournissent une **carte de danger**²
- b) La probabilité d'occurrence temporelle d'un danger de caractéristiques définies³ en chaque point du territoire, couplée à la probabilité de propagation de ce phénomène, donne la **carte de probabilité d'atteinte** (ou d'aléa).
- c) Les dommages que peut produire un danger en un lieu donné sur un objet ou une personne fournissent la **carte de risque** associée à un danger.

Il est important que les étapes a) et b) se fassent sans préjuger des éléments à risque : la démarche reste ainsi objective et homogène sur l'ensemble d'un territoire.

Ce même souci d'homogénéité doit idéalement s'appliquer au niveau du détail de l'information. Ce niveau devient forcément élevé puisqu'on s'attache alors à caractériser le danger lui-même et non le fait qu'il y ait ou non des habitations dessous.

Ainsi les cartes de danger et de probabilité

zona all'altra. Inoltre, questa nozione dipende dalla frequenza e dall'intensità degli eventi idrogeologici pregressi. Non è dunque facile rispondere a questa domanda. Naturalmente, nessuno dei metodi pone il problema in questi termini precisi, anche se si tratta del motore principale del procedimento.

La nozione di rischio è stata dunque spesso sostituita da norme dettate da un determinato pericolo o fenomeno per una data pericolosità "temporanea" (aléa) la cui scala resta quasi sempre semi-empirica (Besson, 1996; p. 299). Queste nozioni normative dipendono quindi dallo scopo prefissato.

III.1.3. Procedimento ideale

In modo ideale, il procedimento di valutazione dei rischi legati alle instabilità in parete dovrebbe provvedere a fornire un'informazione modulare, omogenea per quanto concerne il livello di dettaglio.

Innanzitutto, le diverse tappe di valutazione devono essere chiaramente dissociate (Fig. III.1) :

- a) La cartografia e la caratterizzazione dei fenomeni potenzialmente pericolosi (instabilità e perimetri di propagazione) forniscono una **carta di pericolo**².
- b) La probabilità di accadimento temporale di un pericolo dalle caratteristiche definite³ in ogni punto del territorio, accoppiato alla probabilità di propagazione di questo fenomeno, definisce la **carta di pericolosità** (o aléa).
- c) I danni che può produrre un pericolo in un luogo definito su un oggetto o una persona forniscono la **carta di rischio** associata ad un pericolo.

È importante che le tappe a) e b) si perseguano senza tener conto degli elementi a rischio: il procedimento resta così oggettivo e omogeneo sull'insieme del territorio.

Questa stessa preoccupazione di garantire l'omogeneità deve applicarsi idealmente al livello di dettaglio dell'informazione. Questo livello diventa obbligatoriamente elevato poiché ci si preoccupa di definire il pericolo in se stesso e non il fatto

² Se reporter au glossaire pour fixer le sens des termes utilisés.

³ Un danger peut posséder plusieurs cartes de probabilités d'atteinte. Par exemple une instabilité de falaise peut engendrer des chutes de bloc fréquentes, mais aussi présenter un danger élevé de mobilisation en plus grande masse, qui ne présenteront pas le même périmètre d'atteinte et pas les mêmes intensités.

² Riportarsi al glossario per fissare il significato dei termini usati

³ Un pericolo può avere più carte di pericolosità. Ad esempio, un'instabilità in parete può generare delle cadute di blocchi ricorrenti ma anche presentare un pericolo elevato di mobilitazione di volumi maggiori, che non avranno lo stesso perimetro di raggiungimento né le stesse intensità.

d'atteinte couvrent de façon identique les zones à forts enjeux et les zones inhabitées. Les cartes ainsi établies restent alors valables quelle que soit l'évolution de l'aménagement du territoire. L'information " brute " est utilisable pour divers types d'études ultérieures, d'autant que ce système modulaire de " couches d'information " permet d'accéder directement aux données nécessaires.

Les problèmes pratiques liés à l'aménagement du territoire étant variés et complexes, il n'est pas aisé d'appliquer ce schéma idéal. Pourtant, dans le but de structurer l'information, la méthode qui consiste à représenter les informations en couches paraît une bonne solution : elle favorise la transmission de l'information dans des formats clairs, ainsi qu'une réutilisation plus facile de certaines informations pour des études ultérieures.

che vi siano o meno delle abitazioni sottostanti.

Così, le carte di pericolo e di pericolosità coprono in uguale modo le zone ad alto valore esposto (a forte rischio) e le zone inabitate. Le carte così definite sono dunque valide qualunque sia l'evoluzione dell'assetto urbanistico del territorio. L'informazione di base è utilizzabile per diversi tipi di studi ulteriori, in quanto questo sistema modulare a "strati informativi" permette di accedere direttamente ai dati necessari.

Poiché i problemi pratici legati alla gestione del territorio sono vari e complessi, non è facile applicare questo schema ideale. Tuttavia, allo scopo di strutturare l'informazione, il metodo che consiste nel presentare le informazioni a strati sembrerebbe una buona soluzione: permette la trasmissione dell'informazione in termini chiari così come un riutilizzo più facile di alcune informazioni per studi ulteriori.

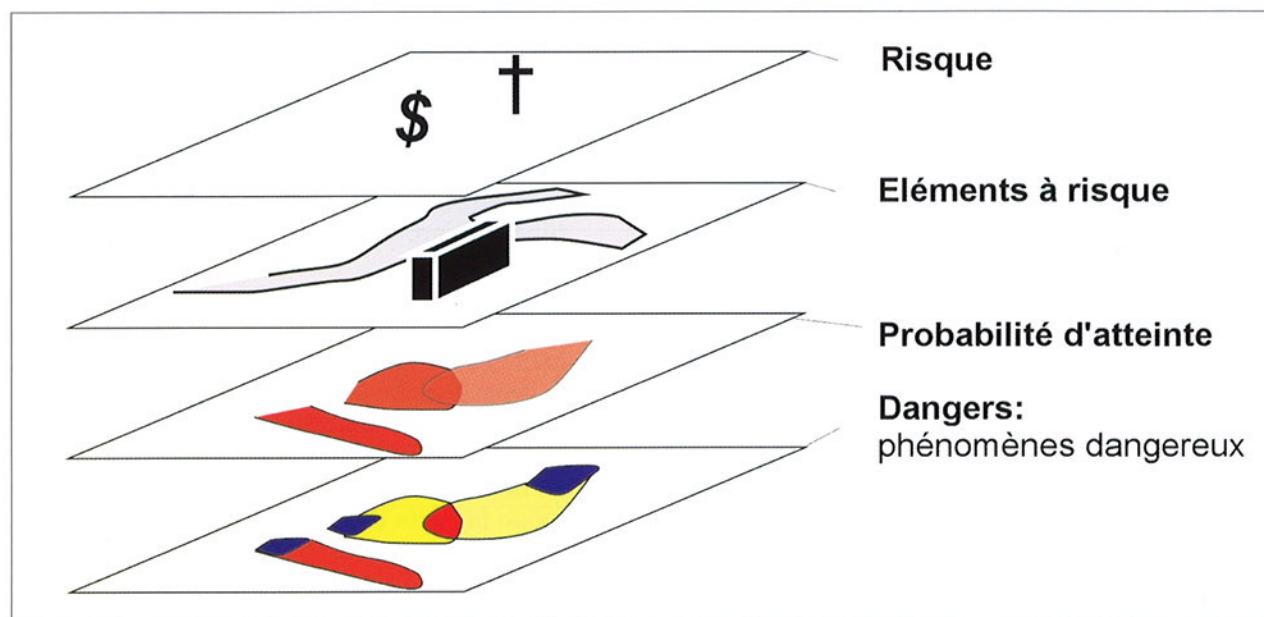


Fig. III.1. : Représentation schématique des trois niveaux d'informations principales.

Rappresentazione schematica dei tre livelli di informazioni principali.

III.1.4. Contingences pratiques

Dans la réalité, un certain nombre de contingences pratiques font obstacle à cet idéal d'homogénéité et de séquençage des études d'évaluation des risques.

En particulier l'aspect financier des études impose d'adapter le type de méthode aux objets à étudier et aux objectifs fixés (Fig. III.2).

Par exemple, le comptage des blocs tombés sur une chaussée permet facilement de calculer

III.1.4. Contingenze pratiche

Nella realtà un certo numero di contingenze pratiche ostacolano questo ideale di omogeneità e di sequenzialità degli studi di valutazione dei rischi.

In particolare, l'aspetto finanziario degli studi impone di adattare il tipo di metodo agli oggetti da studiare e agli obiettivi fissati (Fig. III.2.)

Ad esempio, il conto dei blocchi caduti su una strada permette facilmente di calcolare la probabi-

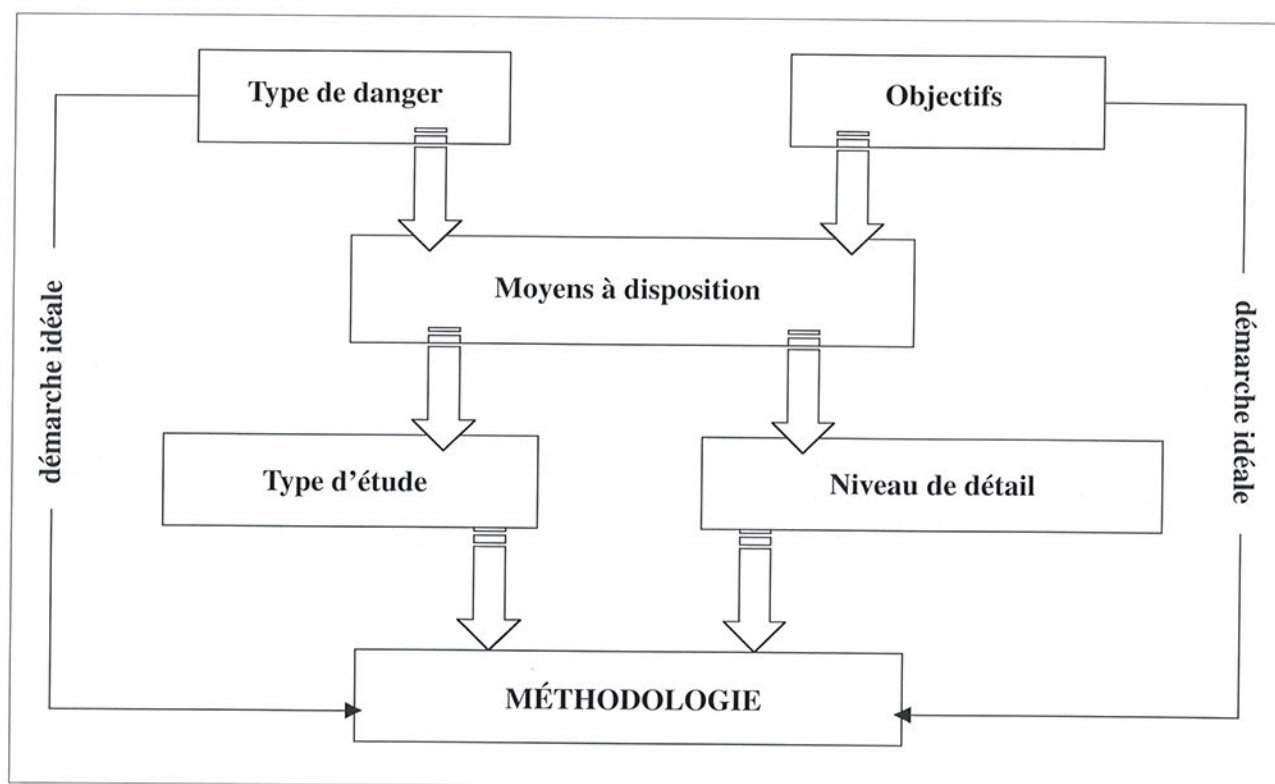


Fig. III.2. : Facteurs influençant les études d'évaluation des risques liés aux instabilités rocheuses.

Fattori che influenzano gli studi di valutazione dei rischi legati alle instabilità dei pendii in roccia.

des fréquences d'occurrence. En les couplant à des données sur le trafic des véhicules sur la portion de route considérée, on accède à une évaluation immédiate du risque, chiffrée (Hoek, 1999).

Par contre, une évaluation complète, dans une commune, des risques liés aux instabilités de falaise va déboucher rapidement, faute de temps et de moyens, sur un classement en "rouge" de la plupart des zones situées au pied de barres rocheuses. Les instabilités elles-mêmes sont rarement caractérisées, mais des normes sont appliquées pour qualifier le risque en fonction du bâti existant et à venir (ceci n'est qu'un constat, en aucun cas un jugement critique).

Il paraît donc clair que, sur ce thème, les méthodes d'études adoptées doivent être particulièrement souples en regard des diverses contingences de la figure III.2 (aspect financier, objectifs, caractéristiques de la zone d'étude, etc.). Ceci explique la diversité des méthodes développées, qui répondent chacune à des exigences particulières : les niveaux d'étude (danger, probabilité d'atteinte, risque) sont le plus souvent imbriqués, le niveau de détail de l'information peut varier à l'intérieur d'une même étude.

lité d'accadimento. Associandole a dati relativi al traffico dei veicoli sul tratto di strada considerata, si arriva ad una valutazione immediata e calcolata del rischio (Hoek, 1999).

Per contro, una valutazione completa, per quanto riguarda un comune, dei rischi legati alle instabilità in parete conduce rapidamente, per mancanza di tempo e di mezzi, ad una classificazione in "rosso" della maggior parte delle zone situate ai piedi delle pareti rocciose. Le instabilità in se stesse sono raramente studiate, ma esistono norme per qualificare il rischio in funzione delle costruzioni esistenti e future (ciò non è che una constatazione, in nessun caso un giudizio critico).

Sembra dunque chiaro che, su questo tema, i metodi di studio adottati debbano essere particolarmente flessibili in considerazione delle diverse contingenze della figura III.2 (aspetto finanziario, obiettivi, caratteristiche della zona oggetto di studio, etc.). Ciò spiega la diversità dei metodi sviluppati che rispondono ciascuno a esigenze particolari: i livelli di studio (pericolo, pericolosità, rischio) sono spesso connessi tra loro, il livello di dettaglio dell'informazione può variare all'interno di uno stesso studio.

III.1.5. *Caractéristiques générales des méthodes du paragraphe III. 2*

Chaque méthode présentée évalue un certain nombre de paramètres contrôlant la stabilité des pentes. Toutes font en général référence à la qualité de la roche, aux discontinuités, aux venues d'eau et à différents paramètres extérieurs qui influencent la stabilité (Tab. III.1).

Méthodes globales

Les deux méthodes italiennes RES et RHAP vont jusqu'à l'évaluation du risque et elles permettent de couvrir des surfaces de quelques km² à des coûts raisonnables. La première présente un avantage, elle autorise un choix de paramètres à prendre en considération, et par conséquent elle peut être adaptée en fonction des budgets.

La démarche suivie par le CETE va de la qualification des instabilités à l'évaluation implicite du risque. Il s'agit d'une démarche détaillée opérationnelle se basant sur une revue qualitative des paramètres déterminants pour la stabilité.

La méthode MATTEROCK va de la probabilité de rupture des instabilités, par une analyse structurale détaillée, à la définition des périmètres d'atteinte. L'accent est mis sur la détection et la caractérisation des instabilités. Elle nécessite un travail de terrain détaillé. Son degré de détail fait que cette méthode s'applique plutôt à des zones où les objets menacés représentent une valeur importante.

Méthodes spécifiques

Deux approches de détail sont dédiées à la caractérisation des instabilités.

- Celle du LIRIGM explicite la manière dont le croisement de données géomécaniques (grille de caractérisation) et de données historiques d'éboulements permet d'estimer des probabilités de rupture en un point donné en fonction du temps ;
- L'approche probabiliste développée au *Polytechnico de Turin* évalue théoriquement la probabilité de rupture de ponts rocheux. Cette méthode ne formalise pas la détection des instabilités.

La troisième approche de détail se concentre sur l'étude de la probabilité de propagation, par les méthodes dites de *trajectographies*. Ces approches sont fondamentales dans la définition des périmètres d'atteinte. Leur développement et amélioration est l'une des clés des méthodes futures d'évaluation des risques.

Quelques autres approches sont signalées pour comparaison.

III.1.5. *Caratteristiche generali dei metodi del paragrafo III.2*

Ogni metodo presentato valuta un certo numero di parametri che controllano la stabilità dei versanti. Tutti si riferiscono in generale alla qualità dell'ammasso roccioso, alle discontinuità, alle venute d'acqua ed a differenti parametri esterni che influenzano la stabilità (Tab. III.1).

Metodi globali

I due metodi italiani RES e RHAP permettono di arrivare fino alla valutazione del rischio e consentono di fornire una copertura su superfici di alcuni km² a dei costi ragionevoli. Il primo presenta un vantaggio poiché permette la scelta dei parametri da prendere in considerazione, e conseguentemente, può essere adattata in funzione dei budget.

Il metodo seguito dal CETE va dall'individuazione delle instabilità alla valutazione implicita del rischio. Si tratta di un metodo dettagliato di intervento che si basa su un riesame qualitativo dei parametri determinanti per la stabilità.

Il metodo MATTEROCK va dalla probabilità di rottura delle instabilità, attraverso un'analisi strutturale dettagliata, alla definizione delle aree di invasione. L'accento è messo sulla localizzazione e la tipicità delle instabilità. Implica un lavoro dettagliato sul territorio. Il suo grado di dettaglio fa sì che questo metodo si applichi soprattutto a delle zone in cui gli oggetti minacciati rappresentano un valore importante.

Metodi specifici

Due approcci di dettaglio sono dedicati alla caratterizzazione delle instabilità:

- quello del LIRIGM chiarisce il modo in cui l'incrocio dei dati geomeccanici (griglia di caratterizzazione) e dei dati storici delle frane permette di stimare le probabilità di rottura in un punto dato in funzione del tempo;
- l'approccio probabilistico sviluppato al *Politecnico di Torino* valuta teoricamente la probabilità di rottura dei ponti in roccia. Questo metodo non formalizza la localizzazione delle instabilità.

Il terzo approccio di dettaglio si concentra sullo studio della probabilità di propagazione attraverso i metodi detti di *traiettografie*. Questi approcci sono fondamentali nella definizione delle aree di invasione. Il loro sviluppo (e miglioramento) è una delle chiavi di interpretazione dei futuri metodi di valutazione dei rischi.

Alcuni altri approcci sono segnalati per confronto.

Méthode	Objectifs			Type d'étude			Niveau de détail maximal				
	Danger	Probabilité d'atteinte	Risque	Ponctuelle	Linéaire	Surfacique	Danger	Probabilité d'atteinte	Risque		
	Instabilité	Périmètre de propagation					Détection d'instabilité	Caractérisation Instabilité	Périmètre de propagation "Chute de bloc"	Périmètre de propagation "Eboulement"	
RES							var.	var.	**	*	***
RHAP							*	**	***	*	**
CETE							*	***	** à ***	*	var. (1)
MATTEROCK			(2)				***	***	var.		var. (2)
STONE									***	***	
LIRIGM							*	***			
Stabilité de falaise probabiliste							***				
Trajectographie (3x)									***		
RHRS							*		*		
SHIVA											
SMR (romana)											
RMR							**	*			

Détail: * = faible ** = moyen *** = élevé var. = de * à ***

Tab. III.1 : Comparaison des champs d'application des différentes méthodes. (1) Courbe enveloppe des trajectoires limites les plus défavorables, (2) soit traitées dans l'étude générale (cas des études d'itinéraires), soit par le gestionnaire dans le cas de l'élaboration des documents et/ou zonages réglementaires.

Confronto dei campi di applicazione dei diversi metodi. (1) Curva di inviluppo delle traiettorie massime più sfavorevoli, (2) trattate sia nello studio generale (casi di studi di traiettoria), sia dal gestore in caso di elaborazione di documenti e/o zonizzazione di ambiti inedificabili.

RES

L'approche "Rock Engineering System" (RES) est modulable (Hudson, 1992), car le nombre et le type de paramètres utilisés dans une étude peuvent être choisis en fonction des objectifs. Les principes de base consistent à (1) identifier les paramètres qui gouvernent les chutes de blocs (caractéristiques des blocs et de la pente), puis (2) à quantifier l'influence de chacun des paramètres sur les systèmes ainsi que l'influence de ce dernier sur les paramètres. (3) A chaque paramètre est attribuée une échelle propre des valeurs qu'il peut prendre. (4) La somme des valeurs des paramètres, pondérée par rapport à chacun des poids, est un indice de probabilité d'atteinte le "Rockfall Instability Index" (RII), qui est généralement normé à 100%.

La zonation de la probabilité d'atteinte est effectuée en subdivisant chaque trajectoire en fractions de distance maximale admissible (Cancelli & Crosta, 1993a, 1993b) généralement définie comme la distance entre la falaise et l'élément à risque considéré. Le Rock Instability Index (RII) est calculé pour chaque distance, avec une probabilité de propagation différente.

Cette méthode peut s'appliquer à la quantification de la stabilité des pentes (Mazzoccola et Hudson, 1996), à l'estimation de la probabilité d'atteinte et jusqu'à l'analyse du risque (Cancelli et Crosta, 1993a, 1993b). Il faut souligner que l'aspect modulaire de cette méthode permet d'y intégrer d'autres méthodes, comme par exemple les méthodes d'évaluation comme le RMR (Bieniawski, 1993) ou le SMR (Romana, 1993).

RES

L'approccio "Rock Engineering System" (RES) (Hudson, 1992) permette di variare il numero ed il tipo di parametri utilizzati in funzione degli obiettivi che lo studio si prefigge. I principi di base consistono in: 1) identificare i parametri che governano la caduta massi (caratteristiche dei blocchi e del pendio); 2) quantificare l'influenza reciproca e l'importanza relativa di ciascuno di questi parametri; 3) per ciascun parametro sono stabilite classi di valori che esso può assumere; 4) la somma dei valori dei parametri ponderata in funzione dell'importanza relativa degli stessi è un indice di pericolosità, il "Rockfall Instability Index" (RII), che generalmente viene espresso in percentuale.

La zonazione della pericolosità viene effettuata suddividendo ciascuna possibile traiettoria di caduta in frazioni di una distanza massima ammissibile (Cancelli & Crosta, 1993a, 1993b), generalmente definita come la distanza tra la parete e l'elemento a rischio considerato. Il RII viene calcolato per ciascuna di queste distanze, a cui corrisponde una probabilità di arrivo dei massi differente.

Questo metodo può applicarsi alla quantificazione della stabilità dei versanti (Mazzoccola e Hudson, 1996), alla stima della pericolosità fino all'analisi del rischio (Cancelli e Crosta, 1993a, 1993b). Bisogna sottolineare che l'aspetto modulare di questo metodo permette l'integrazione di altri metodi, come per esempio i metodi di valutazione RMR (Bieniawski, 1993) o SMR (Romana, 1993).

RHAP

La méthode "Rockfall Hazard Assessment Procedure" (RHAP) (Regione Lombardia, 2000) a été conçue pour permettre d'évaluer de manière expéditive, donc à des coûts raisonnables, la probabilité d'atteinte et le risque, et d'en donner une cartographie. La méthode s'applique à des éboulements de dimension modeste ($<1000 \text{ m}^3$) ; elle n'est pas utilisable pour couvrir de grandes portions du territoire ou des falaises possédant une grande superficie. Les valeurs de probabilité d'atteinte et de risque qu'on obtient à partir de cette méthode sont propres à chaque site étudié et ne sont pas comparables d'un site à l'autre.

La démarche est la suivante :

- Définition des sites instables ;
- Étude géomécanique des falaises et de la morphologie des pentes ;
- Délimitation, dans chaque site, de zones dont les caractéristiques géomécaniques (falaise) et géomorphologiques (pente) sont homogènes ;
- Délimitation des zones qui peuvent être affectées par des éboulis à l'aide de l'analyse des trajectoires de chutes de blocs (périmètres de danger) ;
- Zonation de la pente en trois zones : arrêt de 70%, 95% et 100% des blocs respectivement ;
- Évaluation de la probabilité de rupture des instabilités de la falaise ;
- Réévaluation de la probabilité d'atteinte préliminaire en fonction de la probabilité de rupture de falaise afin d'obtenir la probabilité d'atteinte finale ;
- Définition du risque.

L'utilisation de cette méthode est recommandée par la "Regione Lombardia", pour les études des zones à risques majeurs liés aux chutes de blocs, dans le cadre des plans d'aménagement du territoire.

LPC

À l'aide de sa méthode "Laboratoire des Ponts et Chaussées" (LPC), le CETE de Lyon, effectue depuis une trentaine d'années des études complètes d'évaluation des dangers rocheux, locales ou à plus grande échelle : localisation et caractérisation des instabilités, calcul des périmètres d'atteinte et définition des travaux à mettre en œuvre pour la prévention / protection. La notion de probabilité de rupture est exprimée par un couple de probabilité / délai de rupture, défini de façon empirique à partir de critères. L'aléa de propagation fait l'objet d'études trajectographiques pour lesquelles un outil de simulation spécifique a été développé. Ces simulations renseignent sur les trajectoires limites, les vitesses et hauteurs de passage des blocs.

RHAP

Il metodo "Rockfall Hazard Assessment Procedure" (RHAP) (Regione Lombardia, 2000) è stato concepito per permettere di valutare e perimetrare in modo speditivo e con costi limitati la pericolosità ed il rischio da crollo. Il metodo è applicabile a crolli di modeste dimensioni ($<1000 \text{ m}^3$) ed è più adatto allo studio di dettaglio di aree non molto vaste. Le classi di pericolosità e di rischio ottenute sono relative e caratteristiche di ciascun sito.

L'applicazione del metodo viene effettuata attraverso un certo numero di passaggi, di seguito illustrati.

- Definizione dei siti instabili;
- Studio geomeccanico delle pareti instabili e morfologico dei pendii sottostanti;
- In ciascun sito, delimitazione di aree omogenee in base alle caratteristiche geomeccaniche e morfologiche;
- Delimitazione delle aree che possono essere raggiunte dai blocchi di crollo tramite programmi di simulazione di caduta massi;
- Zonazione del pendio in tre zone: arresto del 70%, del 95% e del 100% dei massi rispettivamente e attribuzione di una pericolosità preliminare a ciascuna di esse;
- Valutazione della probabilità di distacco per ciascuna delle aree omogenee in parete;
- Rivalutazione della pericolosità preliminare in funzione della probabilità di distacco in parete per ottenere la pericolosità finale;
- Valutazione del rischio in funzione delle categorie di elementi a rischio interessate dal crollo.

L'utilizzazione di questo metodo è consigliata dalla Regione Lombardia per lo studio delle zone a rischi maggiori legati alle cadute blocchi nel quadro dei piani di assetto del territorio.

LPC

Grazie al metodo "Laboratoire des Ponts et Chaussées" (LPC) il CETE di Lione effettua da una trentina d'anni degli studi completi di valutazione dei pericoli rocciosi locali o su più vasta scala: localizzazione e caratterizzazione delle instabilità, calcolo delle aree di invasione e definizione dei lavori da mettere in opera per la prevenzione/protezione. La nozione di probabilità di rottura è espressa dalla coppia probabilità/termine di rottura, definita in modo empirico a partire da criteri. La probabilità di propagazione è oggetto di studi traiettografici per i quali è stato messo a punto uno strumento specifico di simulazione. Queste simulazioni danno informazioni sulle traiettorie massime, le velocità e le altezze di volo dei blocchi.

MATTEROCK

La méthode MATTEROCK considère que les éboulements rocheux et chutes de blocs sont provoqués par la présence de discontinuités au sein des massifs rocheux (Rouiller et al., 1998). La détection d'instabilités s'effectue donc, dans un premier temps, par l'étude des familles de discontinuités, à savoir la définition de leurs orientations et caractéristiques géométriques et géomécaniques. Le territoire est subdivisé en aires structurales au sein desquelles les caractéristiques des familles de discontinuités sont homogènes (agencement structural). La confrontation de l'agencement structural avec la topographie, informatisée sur la base d'un MNT, permet de déceler les zones potentiellement instables. La visite des sites sensibles permet de définir des instabilités et de leur assigner un indice de dangerosité, qui est une estimation de la probabilité de rupture. L'analyse des trajectoires (théoriques ou observées) permet d'établir des périmètres de danger en fonction des probabilités d'atteinte et des énergies des blocs.

La méthode MATTEROCK qualifie la probabilité de rupture à l'aide d'un indice dont l'échelle est relative. Cette évaluation se base sur une analyse détaillée de la stabilité à l'aide de paramètres géomécaniques et en tenant compte des facteurs extérieurs qui influent sur la stabilité.

Sur le plan du zonage, la méthode MATTEROCK applique les recommandations fédérales helvétiques. Des périmètres de danger spécifique (chute de blocs ou pierres d'énergies définies) sont établis à partir de l'énergie des blocs et de la fréquence des chutes. Un événement important (> 300 kJ) pouvant se produire chaque 100 à 300 ans possède par exemple le même zonage, danger élevé, qu'un événement d'énergie moyenne (> 30 et < 300 kJ) dont la probabilité d'atteinte est inférieure à 30 ans. Les seuils d'énergie ont été définis sur la base des ouvrages de protection : 300 kJ (énergie que peut supporter un mur en béton armé) et 30 kJ (barrière en bois de chêne, ~ 30 cm d'épaisseur) (OFEE, 1997).

Ainsi les cartes de danger Matterock sont des cartes de périmètre d'atteinte d'énergie de chutes de blocs par unité de temps.

HGP

La méthode "Historique, Géomécanique et Probabiliste" (HGP), mise au point par le LIRIGM de Grenoble, tente d'associer deux grandes approches par le biais des probabilités ;

- L'analyse statistique des éboulements historiquement connus sur une région permet, sous certaines conditions, d'estimer la probabilité qu'un éboulement d'une classe de volume

MATTEROCK

Il metodo MATTEROCK considera che le frane di crollo e le cadute blocchi sono provocate dalla presenza di discontinuità nei massicci rocciosi (Rouiller et al., 1998). L'individuazione delle instabilità si effettua dunque, in un primo tempo, con lo studio di famiglie di discontinuità, cioè la definizione dei loro orientamenti e delle caratteristiche geometriche e geomeccaniche. Il territorio è suddiviso in aree strutturali nel cui ambito le caratteristiche delle famiglie di discontinuità sono omogenee (assetto strutturale). Il confronto tra l'assetto strutturale e la topografia, informatizzata sulla base di un DTM, permette di identificare le zone potenzialmente instabili. Il sopralluogo dei siti sensibili consente di definire delle instabilità e di attribuire loro un indice di "pericolosità" che è una stima della probabilità di rottura. L'analisi delle traiettorie (teoriche o osservate) permette di stabilire dei perimetri di pericolo in funzione delle pericolosità e delle energie dei blocchi.

Il metodo MATTEROCK qualifica la probabilità di rottura grazie a un indice la cui scala è relativa. Questa valutazione si basa su un'analisi dettagliata della stabilità in base all'utilizzo di parametri geomeccanici e tenendo conto dei fattori esterni che influiscono sulla stabilità.

Sul piano della zonizzazione, il metodo MATTEROCK applica le disposizioni federali elvetiche. I perimetri di pericolo specifico (caduta blocchi o massi di energia definita) sono stabiliti a partire dall'energia dei blocchi e dalla frequenza delle cadute. Un avvenimento importante (> 300 kJ) che possa prodursi ogni 100/300 anni possiede ad esempio la stessa zonizzazione, pericolo elevato, di un evento con un'energia media (> 30 e < 300 kJ) la cui probabilità di accadimento è inferiore a 30 anni. Le soglie di energia sono state definite in base alle opere di protezione: 300 kJ (energia che un muro di cemento armato può sostenere) e 30 kJ (barriera in rovere; ~ 30 cm di spessore) (OFEE, 1997).

Così, le carte di pericolo Matterock sono carte di perimetro di accadimento di energia di cadute blocchi per unità di tempo.

HGP

Il metodo "Historique, Géomécanique et Probabiliste" (HGP) messo a punto dal LIRIGM di Grenoble prova ad associare due grandi approcci tramite delle probabilità:

- L'analisi statistica delle frane storicamente conosciute in una regione consente, a certe condizioni, di stimare la probabilità che una frana di una categoria di volume dato si

donnée se produise dans une zone pour laquelle existe un inventaire d'éboulements rocheux (fréquence moyenne d'éboulement).

- La caractérisation géomécanique d'instabilités reconnues se fait grâce à une "fiche d'évaluation de la dangerosité de l'aléa éboulement rocheux", développée au LIRIGM dans le cadre d'une étude opérationnelle sur l'évaluation des dangers d'instabilités de grande ampleur (Schéma Directeur de la Région Grenobloise, groupe Eboulements rocheux). Cette fiche s'utilise une fois qu'une instabilité potentielle importante ($>10.000 \text{ m}^3$) a été localisée. **Son but est de pouvoir hiérarchiser, de manière objective, différentes instabilités entre elles.** Elle ne se préoccupe que de la zone de départ des instabilités, aucunement des périmètres d'atteinte. Elle peut être appliquée à des instabilités de moindre volume, à condition qu'elles soient localisées et non diffuses. Développée spécifiquement dans la région de Grenoble, cette méthode de caractérisation est particulièrement adaptée aux zones de falaises calcaires subverticales.
- En associant l'estimation prospective de l'activité d'éboulement rocheux sur la zone d'étude (fréquence moyenne globale) à la hiérarchisation des masses rocheuses potentiellement instables, on peut approcher l'évaluation de la probabilité d'éboulement des instabilités détectées en fonction du temps (probabilité individuelle de rupture).

Étude mécanique/probabiliste de la stabilité des pentes rocheuses

La méthode permet d'évaluer la probabilité de rupture d'une pente rocheuse en accouplant un modèle mécanique à l'Équilibre Limite et à la *technique statistique de Monte Carlo*. L'analyse est effectuée dans des conditions bi-dimensionnelles et s'articule fondamentalement sur deux points :

1. Génération fortuite de surfaces de possible glissements en gradins (Call et Nicholas, 1978). La génération est effectuée sur la base des distributions statistiques de clivage, persistance, espacement et superposition de deux systèmes de discontinuité ;
2. Calcul de la probabilité de rupture. Sur la base des distributions statistiques des paramètres des surfaces de glissement, générées au point 1, et des paramètres mécaniques, la probabilité de rupture est calculée en tant que rapport entre le nombre de facteurs de sécurité mineurs de un et le nombre total de facteurs de sécurité calculés.

produca in una zona per la quale esiste un inventario di frane in roccia (frequenza media di frana).

- La tipicità geomeccanica delle instabilità riconosciute si fa grazie ad una "scheda di valutazione della probabilità di rottura dell'instabilità rocciosa" sviluppata al LIRIGM nel quadro di uno studio operativo sulla valutazione dei rischi un'instabilità di grande ampiezza (*Schéma directeur de la Région Grenobloise, groupe Éboulements rocheux*). Questa scheda si utilizza quando l'instabilità potenziale importante ($>10.000 \text{ m}^3$) è stata localizzata. **Il suo scopo è di poter ordinare gerarchicamente, in maniera oggettiva, le diverse instabilità tra di loro.** La scheda prende in considerazione solo la zona di origine delle instabilità e non le aree di invasione. Può essere applicata a delle instabilità di volume più ridotto a condizione che siano localizzate e non diffuse. Sviluppato specificatamente nella regione di Grenoble, questo metodo di individuazione è particolarmente adatto alle zone di pareti calcaree subverticali.
- Associando la stima della frequenza dell'attività di frana sulla zona oggetto di studio (frequenza media globale) alla gerarchizzazione delle masse rocciose potenzialmente instabili, ci si può avvicinare alla stima della probabilità di crollo delle instabilità individuate in funzione del tempo (probabilità individuale di rottura).

Studio meccanico probabilistico della stabilità dei pendii in roccia

Il metodo permette di valutare la probabilità di rottura di un pendio in roccia, abbinando un modello meccanico all'Equilibrio Limite e alla *tecnica statistica di Monte Carlo*. L'analisi viene effettuata in condizioni bidimensionali e si articola fondamentalmente in due punti:

1. generazione casuale di superfici di possibile scioglimento a gradini (Call e Nicholas, 1978). La generazione viene effettuata sulla base delle distribuzioni statistiche di giacitura, persistenza, spaziatura e sovrapposizione di due sistemi di discontinuità;
2. calcolo della probabilità di rottura. Sulla base delle distribuzioni statistiche dei parametri delle superfici di scioglimento, generate al punto 1, e dei parametri meccanici, viene calcolata la probabilità di rottura come rapporto tra il numero di fattori di sicurezza minori di uno e il numero totale di fattori di sicurezza calcolati.

Trajectographie

L'analyse trajectographique est un des outils de base utilisés pour la définition des probabilités de propagation (Descœudres, 1997). Plusieurs programmes informatiques permettent la simulation de la trajectoire de blocs en 2D ou en 3D. Les paramètres d'entrée tels que coefficients de restitution, forme des blocs, fragmentation, formulation des équations cinématiques, etc. diffèrent d'un logiciel à l'autre. On propose donc ici de comparer trois programmes sur la base d'exemples bien documentés :

- CETE (2D) : St.-Marcel, Barjac
- ADRGT (2D) : Champrond, Comboire
- EPFL (3D) : Les Crettaux, Bieudron.

STONE

Le programme STONE simule en trois dimensions la trajectoire de chute d'un bloc le long d'un versant. Le programme a été mis en œuvre pour utiliser des données d'entrée tirées d'informations thématiques aussi disponibles pour de vastes territoires, ou qui peuvent être acquises par des cartes géologiques, géomorphologiques et d'utilisation des sols ou bien à travers des analyses géologico-morphologiques rapides. L'objectif du programme est de fournir des informations largement distribuées (plans) utiles pour définir des conditions de probabilité d'atteinte et de risque de chute de blocs à l'échelle régionale et locale.

Les output de STONE sont :

- une matrice des compteurs des trajectoires. Pour chaque cellule du MNT est compté le nombre de trajectoires de chute qui y transitent. Plus la valeur est élevée, plus grande est la probabilité qu'un bloc transite et donc, à parité avec d'autres conditions, plus grande est la probabilité d'atteinte ;
- une matrice de la vitesse maximum. Pour chaque cellule du MNT est reportée la vitesse maximum parmi toutes celles calculées dans les diverses trajectoires de chute qui transitent par la cellule. Des vitesses élevées indiquent une grande énergie cinétique et potentielle et par conséquent une probabilité d'atteinte plus élevée ;
- une matrice de la hauteur de vol maximum. Pour chaque cellule du MNT est calculée la valeur maximum (en mètres) de la distance du sol de toutes les trajectoires de chute qui transitent par la cellule. La matrice fournit des informations utiles pour la planification d'ouvrages de protection ;
- un fichier contenant des informations vectorielles sur les trajectoires tridimensionnelles de chute. Le fichier contient notamment les coor-

Traiettografia

L'analisi traiettografica è uno degli strumenti di base utilizzati per la definizione delle probabilità di propagazione (Descœudres, 1997). Numerosi programmi informatici permettono la simulazione della traiettoria di blocchi in 2D o in 3D. I parametri d'ingresso, quali i coefficienti di restituzione, forma dei blocchi, frammentazione, formulazione delle equazioni cinematiche, etc. differiscono da un software all'altro. Proponiamo dunque in questa sede di comparare tre programmi sulla base di esempi ben documentati:

- CETE (2D): St.-Marcel, Barjac
- ADRGT (2D): Champrond, Comboire
- EPFL (3D): Les Crettaux, Bieudron

STONE

Il programma STONE simula in tre dimensioni la traiettoria di caduta di un masso lungo un pendio. Il programma è stato progettato per utilizzare dati di ingresso ricavati da informazioni tematiche disponibili anche per territori vasti, o che possono essere acquisiti da carte geologiche, geomorfologiche e di uso del suolo, od attraverso analisi geologico-morfologiche speditive. L'obiettivo del programma è quello di produrre informazioni spazialmente distribuite (mappe) utili per la definizione delle condizioni di pericolosità e di rischio di caduta massi a scala regionale e locale.

Gli output di STONE sono:

- una matrice dei contatori delle traiettorie. Per ogni cella del DTM viene contato il numero di traiettorie di caduta che vi transitano. Più è elevato il valore del contatore, maggiore è la probabilità che un masso transiti e quindi, a parità di altre condizioni, maggiore è la pericolosità.
- una matrice della velocità massima. Per ogni cella del DTM viene riportata la velocità massima fra tutte quelle calcolate nelle diverse traiettorie di caduta che transitano per la cella. Velocità elevate indicano grande energia cinetica e potenziale, e, di conseguenza, una più elevata pericolosità.
- una matrice della massima quota di volo. Per ogni cella del DTM viene calcolato il valore massimo (in metri) della distanza da terra di tutte le traiettorie di caduta che transitano per la cella. La matrice fornisce informazioni utili per la pianificazione di opere di difesa.
- un file contenente informazioni vettoriali sulle traiettorie tridimensionali di caduta. In particolare il file contiene le coordinate dei punti ed i

données des points et les valeurs de vitesse et de hauteur à partir du sol de chaque point le long de la trajectoire de chute.

III.1.6. Autres méthodes

RHRS

La méthode "*Rock Hazard Rating System*" (RHRS) a été développée pour évaluer les probabilités d'atteinte d'objets linéaires, c'est-à-dire les routes (Pierson et al., 1990 ; Hoek, 1999). Elle comporte 11 paramètres, qui sont tous évalués de façon simple et pragmatique. Ces paramètres peuvent être subdivisés en catégories qui ont trait à la morphologie, la fréquentation, les caractéristiques géométriques et à la mécanique des roches.

SHIVA

Cette méthode analyse la stabilité des versants par une analyse structurale des orientations des familles de discontinuités et de leurs caractéristiques géomécaniques (Wagner et al., 1988). Elle a principalement été développée pour l'équipement de nouvelles voies de communication en Himalaya.

RMR

Le "*Rock Mass Rating*" (RMR) est une méthode qui permet de classer les masses rocheuses d'un point de vue géomécanique (Bieniawski, 1993) par une valeur numérique allant de 0 à 100. Cette méthode, développée plus spécialement dans le cadre des travaux souterrains est citée ici, car elle est à la base de nombreuses évaluations de la qualité des amas rocheux. Cette méthode évalue 6 paramètres : (1) La résistance à la compression, (2) le RQD ("*Rock Quality Designation*", caractérisant la fragmentation de la roche), (3) l'espacement des discontinuités, (4) la description des deux faces des discontinuités, (5) les suintements d'eau et (6) l'orientation des discontinuités. À partir des valeurs affectées à ces paramètres est calculée une note qui caractérise le massif.

SMR

Le "*Slope Mass Rating*" (SMR) est une adaptation du RMR, afin qu'il puisse s'appliquer plus spécifiquement aux versants reprofilés (talus routiers en particulier). Romana (1988, 1993) a ajouté deux paramètres quantifiables à la valeur du RMR : la géométrie des joints (azimut et pendage des joints par rapport à la pente topographique) et la méthode de reprofilage (à la pelle, à l'explosif, etc.). Cette méthode semble pouvoir s'appliquer facilement à la caractérisation de la stabilité des pentes, (Ronzi et al.

valori di velocità e di altezza da terra di ciascun punto lungo le traiettorie di caduta.

III.1.6. Altri metodi

RHRS

Il metodo "*Rock Hazard Rating System*" (RHRS) è stato sviluppato per valutare le probabilità di colpire/raggiungere oggetti lineari, cioè le strade (Pierson et al., 1990; Hoek, 1999). Esso comporta undici parametri che sono tutti valutabili in modo semplice e pragmatico. Questi parametri possono essere suddivisi in categorie che riguardano la morfologia, la frequenza, le caratteristiche geometriche e la meccanica delle rocce.

SHIVA

Questo metodo analizza la stabilità dei versanti attraverso un'analisi strutturale degli orientamenti delle famiglie di discontinuità e delle loro caratteristiche geomeccaniche (Wagner et al. 1988). È stato sviluppato soprattutto per l'impianto di nuove vie di comunicazione in Himalaya.

RMR

Il "*Rock Mass Rating*" (RMR) è un metodo che permette di classificare l'ammasso roccioso da un punto di vista geomeccanico (Bieniawski, 1993) grazie ad un valore numerico che va da 0 a 100. Questo metodo, sviluppato soprattutto nell'ambito di lavori sotterranei, è citato qui poiché è alla base di numerose stime della qualità degli ammassi rocciosi. Questo metodo prende in considerazione 6 parametri: (1) la resistenza alla compressione, (2) il RQD (*Rock Quality Designation*, che caratterizza lo stato di fratturazione della roccia), (3) la spaziatura tra le discontinuità, (4) la descrizione della superficie di discontinuità, (5) le venute d'acqua e (6) l'orientazione delle discontinuità. A partire dai valori assegnati a questi parametri si calcola un valore che caratterizza il massiccio.

SMR

Il "*Slope Mass Rating*" (SMR) è un adattamento del RMR affinché possa essere applicato più specificatamente ai versanti rimodellati (scarpate stradali in particolare). Romana (1988, 1993) ha aggiunto due parametri quantificabili al valore del RMR: la geometria dei giunti di stratificazione (direzione e inclinazione dei giunti in rapporto alla pendenza topografica) e il metodo di rimodellamento (mediante escavatore, esplosivo, etc.). Questo metodo sembra potersi applicare facilmente alla ca-

al., 1999) mais n'a pas véritablement été appliquée sur des pentes naturelles (Tsiambaos et Telli, 1992).

atterizzazione della stabilità dei versanti, (Ronzani e al. 1999), ma non è mai stato veramente applicato su dei pendii naturali (Tsiambaos e Telli, 1992).

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAFIA

- BESSION L., *Les risques naturels en Montagnes : traitement, prévention, surveillance*, pp. 438, Artès - Publiarp, 1996.
- BIENIAWSKI Z. T., *Classification of rock masses for engineering ; the RMR system and future trends*, in J. A. Hudson, *Rock testing and site characterization*, pp. 553-573, Pergamon Press, Oxford, UK, 1993.
- CANCELLI A. AND CROSTA G., *Rockfall hazard and risk mapping*, Seventh International Conference and Field Workshop on Landslides in Czech and Slovak Republics, Balkema., 1993b.
- CANCELLI A. AND CROSTA G., *Hazard risk assessment in rockfall prone areas*, in B. O. Skip, *Proceedings conference on risk and reliability in ground engineering*, pp. 177-190, Thomas Telfors, London, 1993a.
- CASTELI M., *Studio della rottura progressiva di strutture in roccia mediante approccio di Meccanica della Frattura*, Politecnico di Torino, 1998.
- DESCOEUDRES F., *Aspects mécaniques des instabilités de falaises rocheuses et de chutes de blocs*, Publication Soc. suisse Méc. Sols et Roches, 135, 3-11, 1997.
- HOEK E., *Rock engineering*, pp. 313, Rocsciences, London, UK, 1999.
- LEROI E., *Landslide risk mapping : Problems, limitations and developments*, in D. M. Cruden and R. F. Fell *Landslide assessment*, pp. 239-250, A.A. Balkema, Rotterdam, 1997.
- MAZZOCCOLA D. AND SCIESA E., *Implementation and comparison of different methods for rockfall hazard assessment in the Italian Alps*, Proceedings of the 8th International Symposium on Landslides Cardiff, 26-30 Giugno 2000, Balkema, 2, 1035-1040, 2000.
- MAZZOCCOLA D. AND HUDSON J. A., *A comprehensive method of rock mass characterization for indicating natural slope instability*, The Quarterly Journal of Engineering Geology, 29, 37-56, 1996.
- OFEE, *Recommandations : Prise en compte des dangers dus aux mouvements de terrain dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire*, in Dangers naturels, pp. 43, Office fédéral de l'aménagement du territoire, 1997.
- PIERSON L. A., DAVIS S. A. AND VAN VICKLE R., *Hazard Rating System Implementation Manual*, Federal Highway Administration (FHWA) Report FHWA-OR-EG-90-01, 1990.
- Regione Lombardia, *Struttura Rischi Idrogeologici (2000) – Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio da frana in Regione Lombardia – Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia n. 51, edizione speciale del 22 dicembre 2000* ROMANA M., *SMR Classification*, in C. Bonnard, *Landslides--Glissements de terrains*, pp. 955-960, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, 1988.
- ROMANA M. R., *A geomechanical classification for slopes : Slope mass rating*, in J. A. Hudson, *Rock testing and site characterization*, pp. 575-600, Pergamon Press, Oxford, United Kingdom, 1993.
- RONZANI G., STRADA C. AND ZAMAI V., *Applicazione di tecniche GIS nell'elaborazione dell'indice SMR di Romana (1985) ai fini della valutazione di stabilità di pareti rocciose*, Geologia Tecnica and Ambientale, 1999(3), 13-18, 1999.
- ROUILLER J.-D., JABOYEDOFF M., MARRO C., PHILIPPOSIAN F. AND MAMIN M., *Pentes instables dans le Pennique valaisan*. Rapport final PNR-31, pp. 239, VDF, Zürich, 1998.
- SCAVIA C., *A Method for the Study of Crack Propagation in Rock Structures*. Géotechnique, vol. 45, N° 3, pp. 447-463, 1995
- TSIAMBAOS G. AND TELLI D., *Application of rock mass classification systems on stability of limestone slopes*, in D. H. Bell, *Landslides ; proceedings of the sixth international symposium*, vol. 6, pp. 1065-1069, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, 1992.
- WAGNER A., LEITE E. AND OLIVIER R., *Rock and debris-slides risk mapping in Nepal ; a user-friendly PC system for risk mapping*, in C. Bonnard, *Landslides-Glissements de terrains*, vol. 5, pp. 1251-1258, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, 1988.

III.2. PRÉSENTATION DES MÉTHODES D'ÉTUDES

III.2.1. Matterock

III.2.1.1. Introduction

Développée par le Centre de Recherche sur l'Environnement ALPin de Sion (CREALP) dans le cadre du Projet National de Recherche helvétique PNR 31 "changements climatiques et catastrophes naturelles", la méthodologie d'auscultation des falaises Matterock postule qu'il n'y a pas d'instabilités rocheuses sans discontinuités. Elle consiste dans un premier temps à caractériser les discontinuités affectant le massif rocheux, et à visualiser par l'intermédiaire d'un agencement structural les relations géométriques tridimensionnelles qu'elles ont entre elles. La confrontation (visuelle ou informatique) de cet agencement structural et de la topographie locale permet la détection des secteurs instables ou potentiellement instables. Les compartiments ainsi mis en évidence sont ensuite décrits in situ, et un indice qualifiant la probabilité de rupture, dépendant des facteurs intrinsèques à l'instabilité, de sa sensibilité aux processus d'évolution et aux situations déclenchantes, leur est attribué. Finalement une carte de danger, tenant compte de la probabilité de rupture de l'instabilité, de la probabilité d'atteinte et de l'intensité du phénomène en un point donné du territoire est élaborée.

III.2.1.2. La méthodologie Matterock

Les zones affectées par des instabilités de terrain occupent 6 à 8% du territoire helvétique (OFEFP, 1997). Le canton du Valais est l'une des régions les plus affectées. Pour une superficie de 5.225 kilomètres carrés et une population d'environ 275.000 habitants, plus de 200 sites instables affectant les zones d'activité humaine et les voies de communication ont été recensés en 1989, dont environ 50% de cas d'éboulements et de chutes de pierres. Des événements, comme l'éboulement de Randa en 1991, rappellent que la réduction des dommages potentiels engendrés par des instabilités de falaise doit s'effectuer en priorité par des mesures d'aménagement du territoire (Sartori et al., 1991 ; Rouiller, 1992 ; Schindler et al., 1993). En Suisse, la loi fédérale sur les forêts (Lfo, RS 921.0. Art. 1 alinéa 1, 1991) impute aux cantons la protection des po-

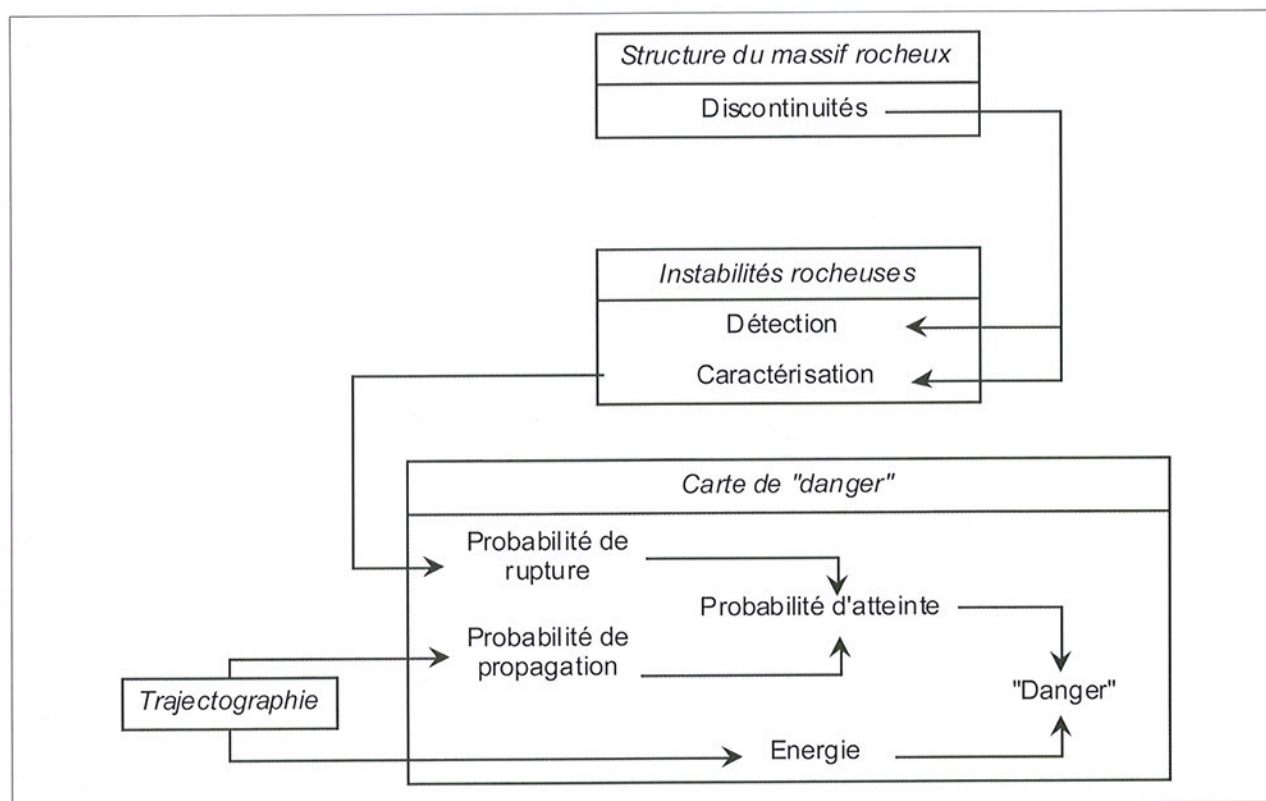


Fig. III.3 : Schéma de principe de la méthodologie Matterock.

pulations et des biens (Lfo, RS 921.0. Art. 19, 1991). La Confédération subventionne les cartes de danger et les ouvrages de protection jusqu'à 70%, mais les travaux doivent être effectués selon les recommandations fédérales (Ofo, RS 921.01, Art. 15, alinéa 2 et Art. 58, 1992). Le Centre de Recherche sur l'Environnement ALPin de Sion (CREALP) a développé dans le cadre du Projet National de Recherche helvétique PNR 31 "changements climatiques et catastrophes naturelles" une approche d'auscultation des falaises et de détection des éboulements et de chutes de blocs potentiels nommée Matterock (Wagner et al., 1990 ; Rouiller et Marro, 1997 ; Rouiller et al., 1997, 1998 ; Jaboyedoff et al. 1999) [Fig. III.3]. Cette méthodologie a été appliquée à plus de cinquante sites en Valais, notamment dans les vallées du Matternal, du Saastal, du Simplon et dans le Val de Bagnes, ainsi qu'en Italie sur la route de Cogne (Val d'Aoste), dont l'exemple, tiré du rapport CREALP/00.02, est développé ci-dessous.

III.2.1.3. L'exemple de Cogne

L'étude des versants surplombant la route très fréquentée de la Vallée de Cogne (Italie, rive droite de la Doire Baltée, entre Courmayeur et Aoste), a été réalisée à la demande de l'Assessorat des Travaux Publics de la Région Autonome de la Vallée d'Aoste (CREALP/00.02). Son but est d'individualiser les secteurs de la route régionale n°47 situés entre les kilomètres 8+600 et 16+700 qui sont menacés par des instabilités rocheuses, et de proposer les mesures de protection adéquates. A cause de l'extension du périmètre d'étude, celui-ci a été divisé en 9 zones [Fig III.4]. La zone 1, correspondant aux km 8+600 à 9+600 de la route, est traitée ci-dessous à titre d'exemple.

Dans cette zone, la route longe le fond de la vallée en rive gauche à environ 1.000 mètres d'altitude. Elle est immédiatement surmontée par des éboulis colonisés par des arbres, dont la déclivité est d'environ 35 à 40°. Le pied de la falaise étudiée se situe à une altitude de 1.200 mètres dans la partie Nord, puis s'éloigne progressivement de la route vers le Sud, pour atteindre une altitude de 1.700 mètres. Son orientation est Nord-Sud dans la partie Nord et NE-SW dans la partie Sud de la zone. L'éperon le plus avancé, surplombant la route à la hauteur du km 8+900, est disloqué et séparé de la falaise principale par des failles Nord-Sud délimitant des tassements importants. Les falaises sont taillées dans des micaschistes à niveaux prasinitiques appartenant à la nappe du Mont Fort (complexe des "gneiss minuti").

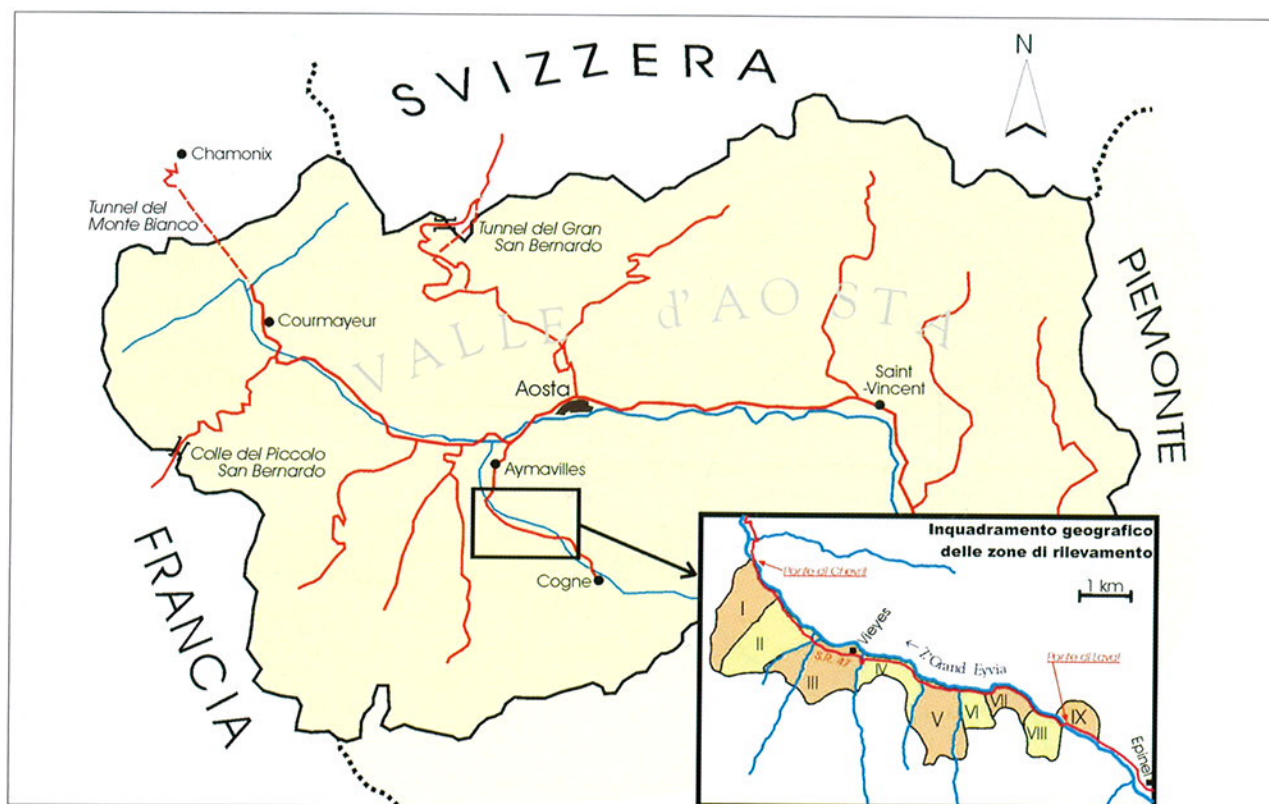


Fig. III.4 : Situation géographique de la route de Cogne.

La zone 1 est soumise à deux types différents d'activité :

les **chutes de blocs**, qui témoignent du démantèlement progressif de la falaise et dont l'activité est signalée par de nombreuses traces d'impact. Trois événements récents ont été relevés : l'un au printemps 1997, et les deux autres en été et en automne 1984, ce dernier ayant blessé un automobiliste. L'activité de chutes de blocs au niveau de la route est élevée sur la majeure partie de la zone (km 8+870 à 9+020 et 9+200 à 9+400), et moyenne ailleurs ;

les **éboulements** : l'observation des photos aériennes montre la présence, après 1991, de la niche d'arrachement d'un événement ayant mobilisé quelques centaines de mètres cubes de roche à la hauteur du km 8+500, mais n'ayant pas atteint la route ;

les **glissements dans les éboulis**, aussi appelés "remobilisation de blocs". Par leur nature, ils peuvent être assimilés à des chutes de blocs.

III.2.1.4. Caractérisation du massif rocheux

Paramètres observés

La méthode Matterock s'appuie sur l'hypothèse que les instabilités rocheuses n'existent que si le massif rocheux est fracturé. L'étude débute donc par la caractérisation de portions homogènes du massif rocheux. Les caractéristiques structurales (orientation, persistance, espacement, etc.) et géomécaniques (ondulation, ouverture, remplissage, etc.) des discontinuités sont mesurées selon deux modes d'acquisition complémentaires (Hoeck and Bray, 1981 ; Giani, 1992 ; Priest, 1993) choisis en fonction de l'objectif et du cadre financier de l'étude :

- le relevé d'une **station à l'affleurement** consiste à décrire systématiquement les caractéristiques des discontinuités sur une portion de falaise ;
- les **observations à distance** permettent d'appréhender ces caractéristiques à l'échelle de la falaise entière ou de la vallée.

Ces caractéristiques peuvent également être appréhendées à l'aide d'observations tirées de deux photos (Crosta, 1997).

Les discontinuités mesurées sont ensuite regroupées en familles, sur la base de différents critères : comparaison avec d'autres études, évidences morphologiques ou génétiques, caractéristiques structurales ou géomécaniques, etc. Les relations spatiales entre les familles de discontinuités (appelées agencement structural) sont représentées par un stéréogramme des plans moyens des familles des discontinuités [Fig III.5].

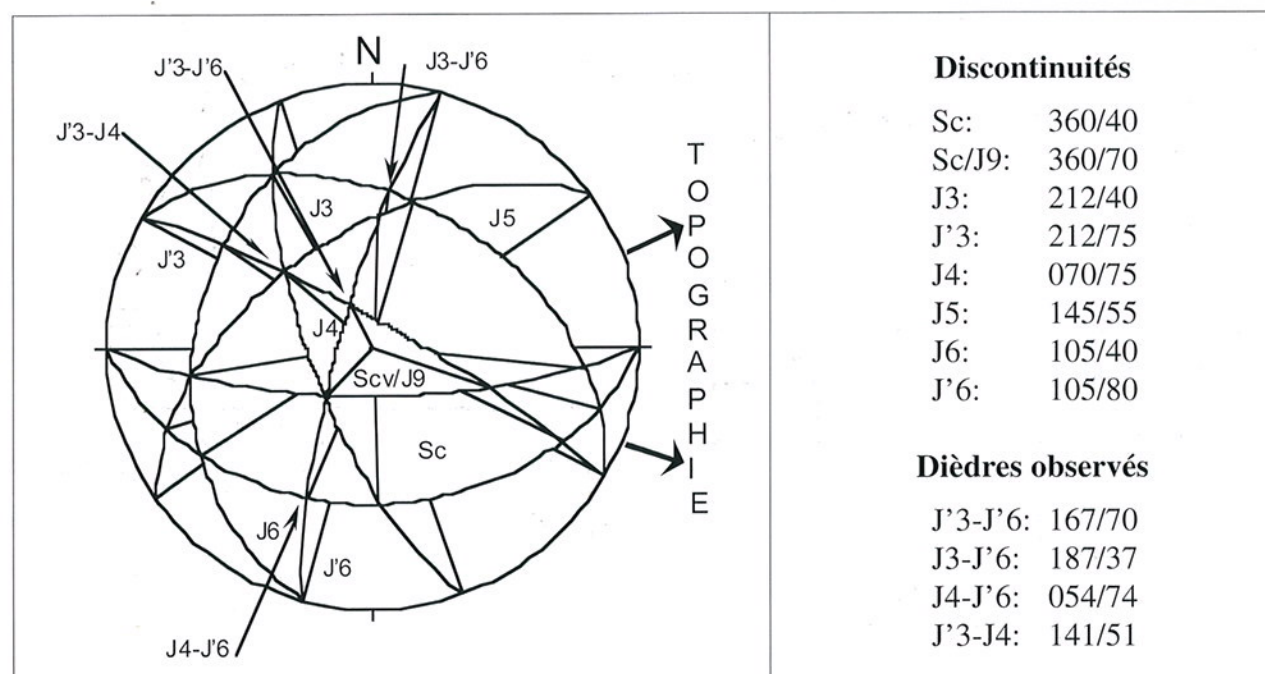


Fig. III.5 : Stéréogramme synthétique des discontinuités de la route de Cogne (Schmidt-Lambert, hémisphère supérieur).

La fenêtre d'observation

Les caractéristiques géométriques des discontinuités peuvent être évaluées à l'aide d'une fenêtre d'observation (Priest, 1993 ; Jaboyedoff et al., 1996). Celle-ci permet de quantifier le nombre, la persistance et l'espacement d'une famille de discontinuités. Soit S_{obs} la surface de la fenêtre, n le nombre de discontinuités contenues dans S_{obs} , L leur espacement moyen et $\bar{T}$ leur persistance moyenne. Par souci de simplification, la surface d'observation est considérée comme étant perpendiculaire aux discontinuités. Si tel n'est pas le cas, l'espacement apparent L_{app} des discontinuités doit être multiplié par le sinus de l'angle que forment le pôle moyen des discontinuités et le pôle moyen de la surface d'observation.

• Nombre de discontinuités

Comme les extrémités des discontinuités ne sont pas toutes contenues dans la fenêtre d'observation, le nombre total de discontinuités contenues dans la fenêtre d'observation n'est pas égal au nombre de traces des discontinuités n qui appartenant à la surface S_{obs} . Soit n_0 le nombre de traces entièrement contenues dans la fenêtre, n_1 le nombre de discontinuités pour lesquelles une seule extrémité est visible. Le nombre total de discontinuités peut être défini comme :

$$n \approx n_0 + \frac{n_1}{2} \quad (III-1)$$

L'estimation de n est peu précise si les dimensions de la fenêtre sont inférieures ou égales à $\bar{T}$.

• Persistance moyenne

Soit T_i la persistance de chaque discontinuité i contenue dans la fenêtre et T_{tot} la persistance totale des discontinuités contenues dans la fenêtre. La persistance moyenne $\bar{T}$ est donnée par :

$$\bar{T} = \frac{\sum T_i}{n} = \frac{T_{tot}}{n} \quad (III-2)$$

• Espacement moyen

La surface ou section moyenne $\bar{S}$ délimitée par deux discontinuités successives observées perpendiculairement est donnée par le produit de l'espacement moyen L et la persistance moyenne $\bar{T}$, soit :

$$\bar{S} = L\bar{T} \quad (III-3)$$

de plus

$$n\bar{S} = S_{obs} = nL\bar{T} \quad (III-4)$$

L est donc donné par

$$L = \frac{n\bar{S}}{n\bar{T}} = \frac{S_{obs}}{\sum_{window} T_i} = \frac{S_{obs}}{T_{tot}} \quad (III-5)$$

Distributions des discontinuités dans une falaise

La connaissance des caractéristiques des discontinuités permet de déterminer la probabilité de trouver au moins une discontinuité selon une direction, dans une surface ou à l'intérieur d'un volume donné. En considérant que la distribution des espacements des discontinuités dans un massif rocheux est aléatoire, la probabilité de trouver au moins une discontinuité à une distance x d'un point donné, perpendiculairement à une famille de discontinuité donnée, vaut (Priest, 1993 ; Jaboyedoff et al., 1996) :

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x} \quad (III-6)$$

Connaissant la section moyenne (III.3), la probabilité de trouver au moins une discontinuité perpendiculairement à une surface A donnée peut être calculée de la même manière :

$$F_s(x) = 1 - e^{-A/L\bar{T}} = 1 - e^{-N_s} \quad (III-7)$$

Où N_s est le nombre moyen de discontinuités contenues dans une surface A . Si la surface topographique

et les discontinuités ne sont pas perpendiculaires, $L\bar{T}$ doit être corrigé. Ce type de calcul peut être également appliqué à des volumes.

III.2.1.5. Détection des secteurs potentiellement instables

La confrontation entre l'agencement structural et la topographie permet de détecter les secteurs potentiellement instables. Plusieurs approches sont possibles, dépendant des moyens mis à disposition et de la précision requise pour l'étude. L'utilisation d'un modèle numérique de terrain (MNT) permet par exemple de privilégier une approche informatisée (carte des pentes ou confrontation informatique entre un plan ou un dièdre potentiellement dangereux et la topographie). Une étude détaillée nécessite un travail de terrain important. Elle consiste soit à investiguer toute la zone d'étude, soit à affiner les périmètres mis en évidence lors d'une confrontation informatique.

Dans le cas de la route de Cogne, l'importance de l'objet à protéger a contraint à un travail de terrain détaillé au cours duquel l'essentiel des instabilités susceptibles d'atteindre la route ont été inventoriées. Une analyse informatique des pentes et de la probabilité d'intersection des discontinuités dangereuses et de la topographie a ensuite été effectuée, afin de prouver la validité de la démarche.

Détection automatique

Partant du postulat que les instabilités ont lieu préférentiellement dans les pentes raides, l'approche la plus simple consiste à dresser la carte des pentes à partir d'un MNT. En utilisant les caractéristiques des discontinuités (orientation, persistance, espacement), le MNT permet également de déterminer les secteurs dans lesquels elles génèrent préférentiellement des instabilités de type glissement plan ou glissement dièdre. Une probabilité d'occurrence de structures dangereuses peut ensuite être affectée à chaque secteur.

• Carte des pentes

Selon la lithologie, une limite de pente, au-dessus de laquelle les instabilités rocheuses sont susceptibles d'avoir lieu, peut être déterminée. Cette limite est proche de 50° dans les micaschistes dominant la zone 1 de la route de Cogne, où la plus grande partie des instabilités se situent [Fig. III.6].

• Comptage des intersections discontinuités - topographie

À chaque maille du réseau correspond une facette de la topographie de surface S_i . Vue en section, chaque discontinuité occupe une surface (S) égale au produit de sa persistance (T) et de son espacement moyens (L). Cette surface est projetée contre la topographie, ce qui permet de calculer la surface moyenne occupée par une discontinuité sur la topographie considérée ($S/\sin\theta$, où θ est l'angle entre la discontinuité et le pôle de la surface topographique), puis le nombre moyen de discontinuités d'une famille recoupant une facette topographique ($S_i \sin\theta/S$). Chaque facette ou maille de la topographie digitalisée est donc affectée d'un coefficient de densité de recoupement par une famille de discontinuités. Les sites potentiellement les plus dangereux doivent ensuite être reconnus in situ.

Cette démarche permet d'élaborer une carte des isoprobabilités de recoupement de la topographie par une famille de discontinuités jugées dangereuses (plan de glissement). Cette confrontation a été effectuée pour la zone 1 des paroi surplombant la route de Cogne [Fig. III.7] pour le plan de glissement J6 (105/80, persistance 10 mètres, espacement 1 mètre). Les zones

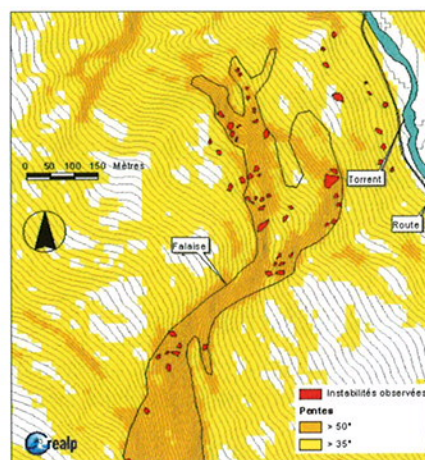


Fig. III.6 : Carte des pentes et comparaison avec les instabilités observées.

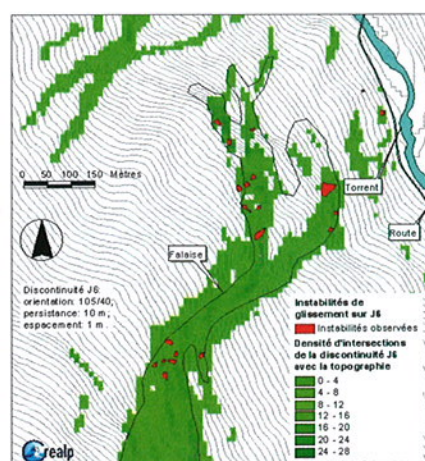


Fig. III.7 : Carte de densité d'intersection des discontinuités J6 et de la topographie et comparaison avec les instabilités observées.

ou la famille J6 recoupe la topographie avec une densité maximale correspondent aux zones où la famille de discontinuités considérée peut générer des instabilités.

Détection in situ

Dans le cas de la zone 1 de la route de Cogne, 112 instabilités ont été répertoriées, reportées sur carte et décrites. Leur probabilité de rupture a été qualifiée à l'aide des indices élevé, moyen, faible [Fig. III.8].



Fig. III.8 : Photo d'une instabilité de glissement superficiel sur une discontinuité J6.

III.2.1.6. Caractérisation des instabilités

Idéalement, une instabilité est définie par un périmètre, un type de mécanisme, un volume, un intervalle de la taille des blocs et une probabilité de rupture. La probabilité de rupture peut être qualifiée à l'aide d'une valeur numérique reflétant l'état d'instabilité d'un massif. Elle est sensible à plusieurs facteurs [Tab. III.2] :

- les **facteurs intrinsèques**, qui décrivent la structure, la lithologie et le comportement géomécanique du massif rocheux ;
- les **processus d'évolution**, qui influent par le biais de processus physiques et chimiques sur la stabilité des massifs (eau, température, sismicité de base, etc.) ;
- les **facteurs déclenchants**, qui sont des processus physiques intervenant soit à la surface du sol (climat) soit en profondeur (sismicité, pression hydraulique dans les fissures, etc.) et qui du fait de leur intensité suffisante provoquent la rupture.

<i>Critère</i>	<i>Facteurs et processus</i>	<i>Echelle de pondération</i>
<i>Continuité</i>	• agencement structural • probabilité de recoupement • activité (reflète la continuité)	0 à 5 (5 = plan continu)
<i>Degré d'activité</i>	• chutes de blocs • état de fragmentation, dislocation • déplacement • autres	0 à 5: latente 5 à 50: modérée ≥ 50: forte
<i>Eau</i>	Présence ou absence	0 à 5
<i>Degré de sensibilité aux facteurs dégradants</i>	• altération • météo et climat • sismicité de base • facteurs géologiques: dissolution, tassement, glissement... • facteurs anthropogènes	0 à 10
<i>Degré de sensibilité aux situations déclenchantes</i>	Facteurs dégradants fortement amplifiés	0 à ≥ 50
<i>Degré de sensibilité aux facteurs stabilisants</i>	• effet de butée • perte de masse • permafrost • facteurs anthropogènes	0 à ≥ - 50 (attention: signe négatif)
<i>Facteur de sécurité ou appréciation subjective</i>	• structural • géomécanique • facteurs déclenchants/stabilisants • autres	- 20 à 20

Tab. III.2 : Exemple d'essai de pondération des divers facteurs pris en compte pour qualifier la probabilité de rupture.

L'échelle de pondération proposée pour les travaux effectués dans le pennique valaisan est la suivante :

- **0 à 3 :** le site étudié n'est pas une instabilité ;
- **4 à 8 :** instabilité de probabilité de rupture faible ;
- **9 à 49 :** instabilité de probabilité de rupture moyenne ;
- **≥ 49 :** instabilité de probabilité de rupture élevée.

III.2.1.7. Élaboration de la carte de "danger"

Chaque point de l'espace menacé par une instabilité se voit attribuer un degré de danger (élevé, moyen ou faible), qui est fonction de la probabilité d'atteinte de l'événement et de son intensité (OFEFP, 1997) [Fig. III.9]. La carte de "danger" correspond en fait à une zonation de l'énergie des blocs susceptibles d'atteindre un périmètre donné par unité de temps.

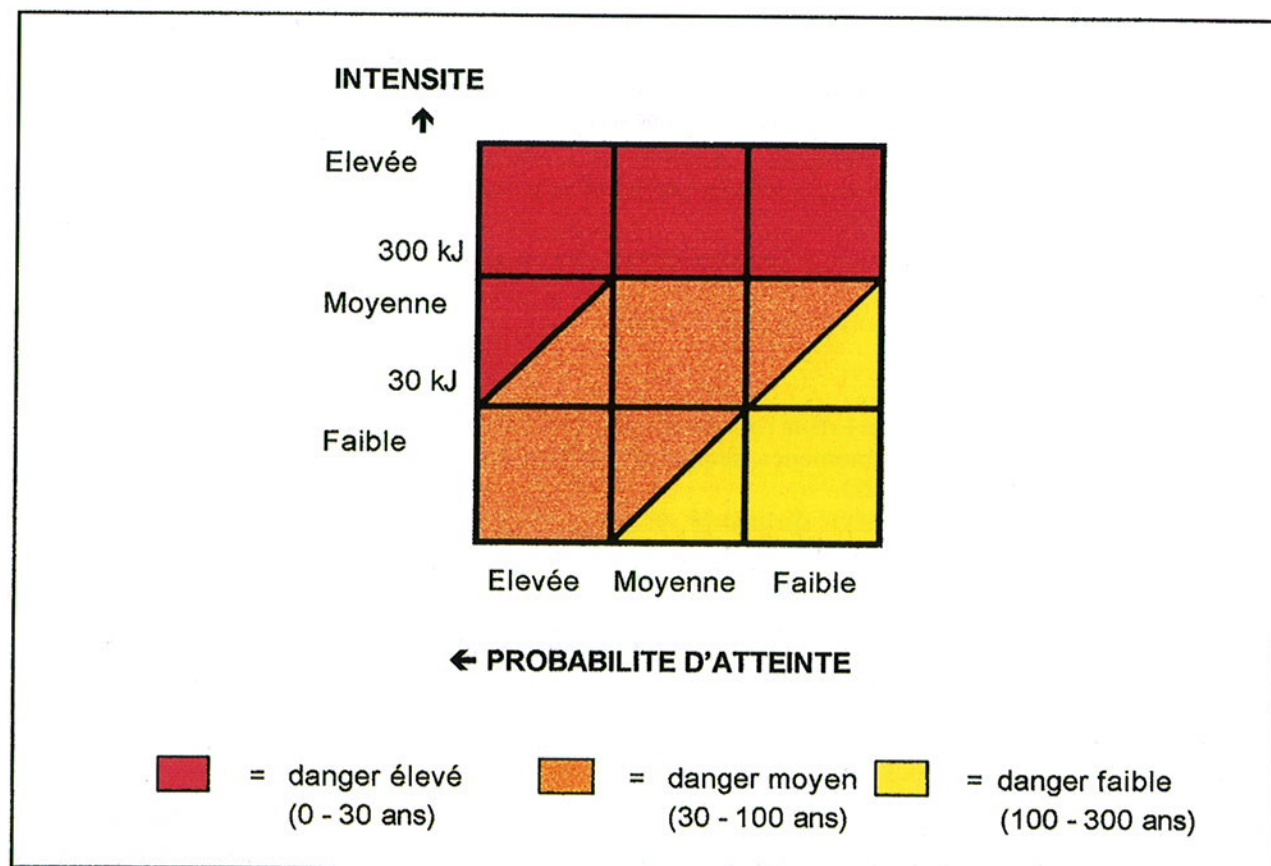


Fig. III.9 : Diagramme d'estimation du degré de "danger" en un point donné de l'espace à étudier.

Probabilité d'atteinte

Suivant les directives fédérales helvétiques en la matière (OFEFP, 1997), la probabilité d'atteinte est définie par des classes temporelles au cours desquelles un évènement a une probabilité élevée de se produire. La probabilité d'atteinte est élevée lorsque qu'elle se situe entre 0 et 30 ans, elle est moyenne de 30 à 100 ans et faible de 100 à 300 ans. La probabilité d'atteinte d'un bloc est évaluée en associant (tab. III.3) :

- sa **probabilité de rupture** ;
- sa **probabilité de propagation**, soit la probabilité qu'un bloc qui s'est détaché atteigne le site considéré.

Tant la modélisation trajectographique que l'observation des blocs déjà éboulés montrent une répartition des arrêts des blocs dans les pentes et permettent d'estimer la probabilité d'atteinte (Descoeudres & Zimmermann, 1987).

		Probabilité de rupture		
		élevée	moyenne	faible
Probabilité de propagation	élevée	élevée	moyenne	faible
	moyenne	moyenne	faible	—
	faible	faible	—	—

Tab. III.3 : Estimation de la probabilité d'atteinte à l'aide de la probabilité de rupture et la probabilité de propagation.

Énergie

L'intensité des chutes de blocs en un endroit donné est définie par l'énergie cinétique des blocs en ce point. Suivant les directives fédérales helvétiques (OFEFP, 1997), trois classes d'intensité sont distinguées :

- **élevée (> 300 kJ)** : destruction partielle ou totale des bâtiments atteints, les personnes atteintes peuvent être tuées ;
- **moyenne (30-300 kJ)** : dégâts aux bâtiments atteints, les personnes atteintes peuvent être tuées. Une énergie de 300 kJ correspond à la résistance standard d'un mur en béton armé ;
- **faible (< 30 kJ)** : les bâtiments atteints sont faiblement endommagés, les personnes atteintes peuvent être tuées ou blessées. Une énergie de 30 kJ correspond à la résistance standard d'une barrière en bois de chêne d'environ 30 cm d'épaisseur.

La modélisation de la chute des blocs (simulation trajectographique) permet d'évaluer l'intensité le long de leur trajectoire. A défaut, l'observation des blocs éboulés (taille, répartition dans la pente, traces d'impact, etc.) permet d'estimer sommairement cette intensité.

Exemple de Cogne

La carte de "danger" de la zone 1 de la route de Cogne a été réalisée en utilisant les résultats du cadastre des phénomènes, des cartes des phénomènes, géomorphologique et de l'utilisation du sol, ainsi que de deux simulations trajectographiques en 2D.

Deux types de phénomènes ont été distingués sur cette carte [Fig. III.10] :

- La **chute de blocs**. Chaque instabilité génère son propre périmètre de "danger". La carte de "danger" finale correspond au "lissage" de l'ensemble des zones de "danger". La plus grande partie de la route se trouve en "danger" élevé de chutes de blocs (nombreuses traces d'impact, fréquents événements signalés, proximité de la falaise très disloquée, probabilité de propagation élevée) [Fig. III.10]. Le tronçon situé entre les km 8+600 à 9+040 est particulièrement menacé (présence de nombreuses instabilités dont la probabilité de rupture a été qualifiée comme élevée, situées à une faible distance de la route). Le tronçon situé entre les km 9+040 à 9+200 est menacé par un danger moyen de chutes de blocs (falaise plus éloignée, moins de traces d'impact, probabilité de propagation moyenne).
- Les **éboulements**, pour lesquels l'intensité est toujours élevée. Dans ces cas, seules les limites d'atteinte ont été dessinées [Fig. III.10]. Les traits sont fonction de la probabilité de rupture de l'instabilité générant le "danger". De nombreuses instabilités susceptibles de provoquer des éboulements ont été détectées (la falaise est très disloquée). Seul le tronçon situé entre les km 9+050 à 9+400 est moins menacé.



Fig. III.10 : Carte de danger.

III.2.1.8. Conclusions

L'analyse structurale et géomécanique est indispensable pour évaluer le "danger" lié aux instabilités rocheuses. La méthode Matterrock implique la détermination de l'agencement structural du massif rocheux étudié, pour permettre la détection des secteurs potentiellement instables. La probabilité de rupture des instabilités est ensuite estimée. La carte de "danger", indispensable à l'aménagement du territoire en région de montagne, est produite à l'aide d'informations complémentaires telles que simulations trajectographiques ou observation directe des blocs éboulés.

Cette méthode est appelée à évoluer avec le temps, notamment par le développement des traitements informatisés, principalement liés à la topographie. Malgré une certaine automatisation, cette méthode ne peut pourtant s'affranchir de l'expérience de celui qui l'applique. Quelques orientations pour de futurs développements peuvent être mentionnés :

- une synthèse des données structurale (stéréogramme et caractéristiques géomécaniques des discontinuités) à l'échelle régionale devrait permettre de dégager de larges périmètres caractérisés par les mêmes agencements structuraux ;
- le développement des outils informatiques de confrontation agencement structural-topographie devra être entrepris afin de confronter non seulement un plan ou un dièdre de glissement, mais aussi des agencements structuraux dangereux complets ;
- l'évaluation de la probabilité de rupture des instabilités devra être améliorée, notamment par un suivi à long terme de la déstabilisation de massifs rocheux.

BIBLIOGRAPHIE

- CROSTA G., *Evaluating rock mass geometry from photographic images*, in "Rock Mechanics and Rock Engineering", 30(1), 35-58, 1997
- DESCOEUDRES F. & ZIMMERMANN TH., *Three-dimensional dynamic calculation of rockfalls*, 6th Int. Conf. on Rock Mechanics, 1987
- GIANI G.P., *Rock Slope Stability Analysis*, Balkema, Rotterdam, 1992
- HOECK E. & BRAY J., *Rock slope engineering (3rd ed)*, IMM, London, 1981
- JABOYEDOFF M., PHILIPPOSIAN F., MAMIN M., MARRO CH. & ROUILLER J.-D., *Distribution spatiale des discontinuités dans une falaise. Approche statistique et probabiliste*, PNR 31, Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 1996
- JABOYEDOFF M., BAILLIFARD F., MARRO CH., PHILIPPOSIAN F. & ROUILLER J.-D. *Detection of rock instabilities : Matterock methodology*, in "Proceedings of the Joint Japan-Swiss Scientific Seminar on Impact Load by Rock Falls and Design of Protection Structures", Kanazawa, 1999
- LFO, RS 921.0, *Loi fédérale sur les forêts du 4 octobre 1991*, Confédération helvétique, 1991
- OFEFP, OFEE & OFAT, *Prise en compte des dangers dus aux mouvements de terrain dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire*, Recommandations, 1997
- OFO, RS 921.01, *Ordonnance sur les forêts du 30 novembre 1992*, Confédération helvétique, 1992
- PRIEST S.D., *Discontinuity analysis for rock engineering*, Chapman & Hall, London, 1993
- RAPPORT CREALP/00.02 : *Pareti della strada di Cogne (Valle d'Aosta), Studio geologico-strutturale dei versanti che sovrastano la strada regionale "di Cogne" tra i km 8+600 e 16+700* (par Tosoni, D., Bellini, A., Philipposian, F. & Baillifard, F.), rapport non-publ. CREALP, Sion, 2000
- ROUILLER J.-D., *L'éboulement de Randa*, "Route et trafic", 5/92 : 373-376, 1992
- ROUILLER J.-D., JABOYEDOFF M., MARRO CH. & PHILIPPOSIAN F., *Matterock : méthode d'étude d'instabilités de falaise et d'appréciation du danger*, Actes de la journée d'automne de la société suisse de mécanique des sols et des roches, 1997
- ROUILLER J.-D. & MARRO CH., *Application de la méthode Matterock à l'évaluation du danger lié aux falaises*, in "Eclogae geol. Helv." 90, 1997
- ROUILLER J.-D., JABOYEDOFF M., MARRO CH. & PHILIPPOSIAN F., *Pentes instables dans le Pennique valaisan : une méthode d'auscultation des falaises et de détection des éboulements majeurs*. Rapp. final PNR 31, Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, Zürich, 1998
- SARTORI M., SCHAFER M. & ESCHER A., *Rapport inédit concernant un premier stade d'évaluation des causes géologiques de l'éboulement de Randa*, in CRSFA/91.35, rapport non-publ. CRSFA, Sion, 1991
- SCHINDLER C., CUENOD Y., EISENLOHR T. AND JORIS CH.-L., *Die Ereignisse vom 18. April und 9. Mai bei Randa (VS). Ein atypischer Bergsturz in Raten*, in "Eclogae geol. Helv." 86/3, 643-665, 1993.
- WAGNER A., LEITE E. & OLIVIER R., *SHIVA : A landslide hazard mapping software*. Version 1.0. Inst. Géophys. Uni Lausanne & ITECO (Affoltern a.A.), 1990

ANNEXE : L'APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA MATTEROCK ALLA PARETE SUD DEL MONTE SAN MARTINO (LECCO)

L'applicazione della metodologia Matterock (Cantone, Ratti, Tosoni; 2000) sulla imponente parete che sovrasta la città di Lecco¹ è stata articolata nelle seguenti 3 fasi:

1. Analisi strutturale

L'analisi strutturale ha come obiettivo:

- a) riconoscimento delle principali famiglie di discontinuità e delle loro caratteristiche geomeccaniche principali (Fig. A1; Tab. A1).

¹ L'inquadramento geografico e geologico è riportato nella "fiche d'identité" descritta alla fine del paragrafo III.2.2.

- b) ricostruzione dell'assetto strutturale della falesia (agencement structural) e relativi domini strutturali presenti, con lo scopo di definire i meccanismi di mobilitazione possibili (Fig. A2).

La falesia è caratterizzata dalla presenza della stratificazione (ST) e di altre 3 famiglie di discontinuità principali (J1, J2 e J3).

La falesia è stata suddivisa in due domini strutturali diversi (aires structurales) che corrispondono a settori con caratteristiche litologiche e morfologiche differenti: il dominio SM1 è costituito dai massivi "Calcari di Esino" che formano quasi completamente la grande parete rocciosa del M. San Martino; il secondo dominio SM2 corrisponde invece al settore orientale della zona di studio dove affiora in maniera discontinua la formazione dei "Calcari di Angolo", caratterizzata da maggiore erodibilità e da una stratificazione più fitta.

L'assetto strutturale è il medesimo per entrambi i domini per cui viene rappresentato con un solo stereogramma di Schmidt. Le differenze litologiche riscontrate nei due domini condizionano sensibilmente i valori di spaziatura e persistenza delle discontinuità soprattutto a carico della stratificazione (ST).

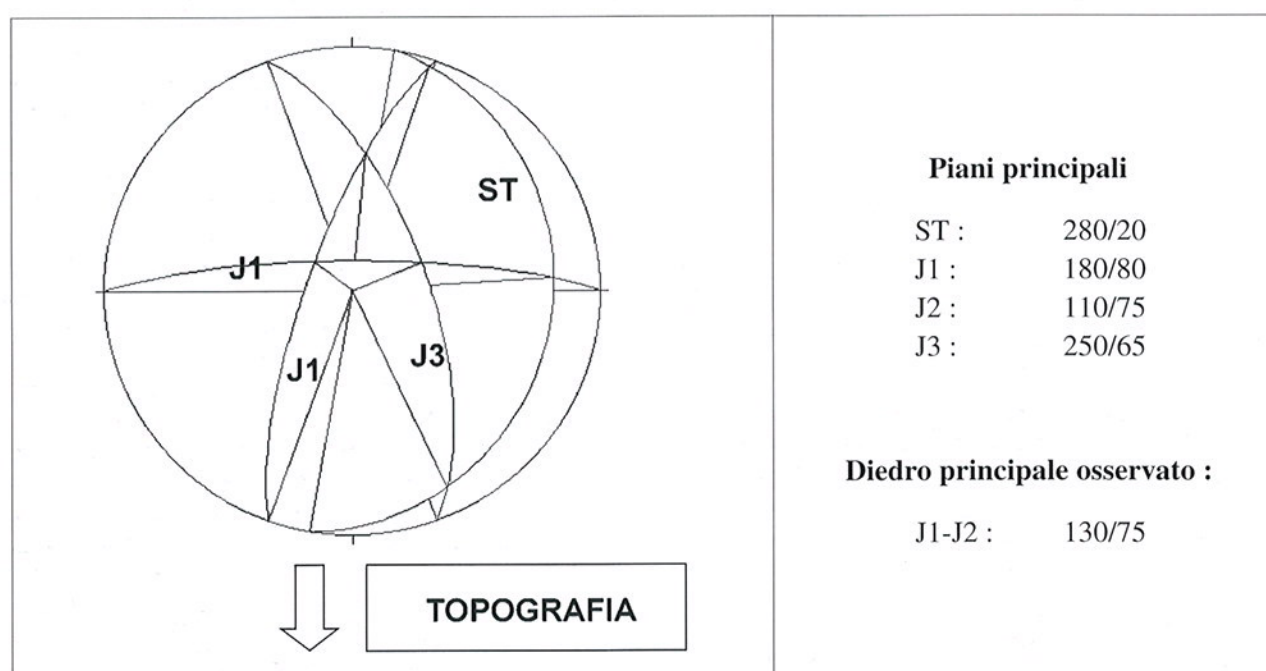


Fig. A1 : Proiezione stereografica di Schmidt-Lambert (emisfero superiore).

Fam.	Azimut	Dip	Persistenza [m]	Spaziatura [m]		Ondulazione	Evidenza morfologica
				media	max.		
ST	270° - 290°	10° - 30°	> 100	1 - 5	10 - 20	media	rari tetti o strapiombi
J1	170° - 190°	75° - 90°	100 - 200	2 - 4	5 - 6	debole	fronte falesia (trench nel settore W della falesia)
J2	100° - 120°	70° - 80°	60	2 - 4	10 - 30	debole	cengie

Tab. A1 : Caratteristiche strutturali e geomeccaniche delle discontinuità (osservazioni a distanza).

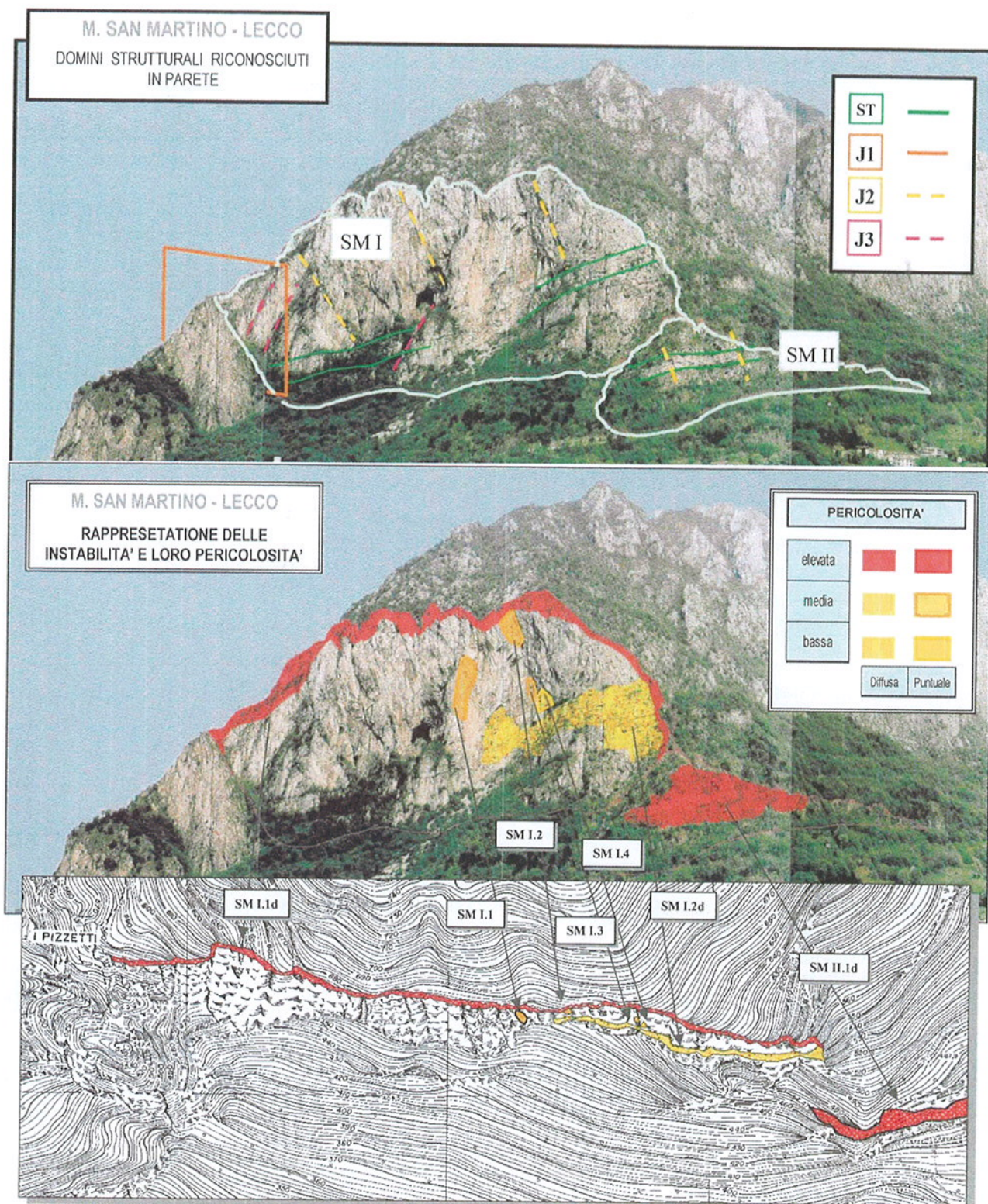


Fig. A2 : In alto sono indicate le tracce delle famiglie di discontinuità riconosciute e i domini strutturali definiti (SM1 e SM2); in basso la carta delle instabilità riconosciute con relativa posizione in parete.

2. Riconoscimento instabilità

Questa fase ha portato all'individuazione delle instabilità in parete. Con il termine **instabilità** si intende un compartimento roccioso instabile caratterizzato da uno o più meccanismi di mobilitazione, un perimetro, un volume mobilizzabile ed un grado di pericolosità (probabilità di mobilitazione).

Esistono **instabilità puntuali** rappresentate da compartimenti arealmente limitati ed **instabilità diffuse** che corrispondono a settori di falesia che includono diversi piccoli compartimenti instabili isolati caratterizzati da meccanismi di mobilitazione, volumi e grado di pericolosità confrontabili.

Nel dominio strutturale più importante (SM1) sono state riconosciute 4 instabilità puntuali (SM I.1, I.2, I.3, I.4 e 2 diffuse (SM I.1d, I.2d); nel dominio strutturale SM2 una sola instabilità di tipo diffuso (SM II.1d).

Schede identificative delle instabilità

SM I.1

vedi esempio riportato in Fig. A3

SM I.2

Descrizione: Sperone alla sommità della falesia

Roccia: Calcare di Esino

Meccanismo: Scivolamento superficiale su J2 con taglio su J1

Pericolosità: Media

Volume mobilizzabile: 900 mc

Taglia blocchi: 5 – 10 mc

Forma blocchi: Prismi

SM I.3

Descrizione: Pilastro a E della nicchia di distacco della frana del febbraio 1969

Roccia: Calcare di Esino

Meccanismo: Scivolamento sul diedro J1-J2

Pericolosità: Media

Volume mobilizzabile: 100 mc

Taglia blocchi: 1 – 2 mc

Forma blocchi: Prismi

SM I.4

Descrizione: Compartimento al di sopra di un piccolo tetto a destra dell'instabilità SM I.3

Roccia: Calcare di Esino

Meccanismo: Scivolamento profondo su ST con taglio su J1 e trazione su J2

Pericolosità: Bassa

Volume mobilizzabile: 150 mc

Taglia blocchi: 1 – 2 mc

Forma blocchi: Prismi

SM I.1d

Descrizione: Ciglio della parete

Roccia: Calcare di Esino

Meccanismo: Scivolamento sul diedro J1-J2, scivolamento superficiale su J2 con taglio su J1

Pericolosità: Elevata

Volume mobilizzabile: 2 – 5 mc

Taglia blocchi: 0,5 – 2 mc

Forma blocchi: Prismi corti

SM I.2d

Descrizione: Settore orientale della falesia

Roccia: Calcare di Esino

Meccanismo: Trazione di tetti secondo la ST, scivolamento sul diedro J1-J2

Pericolosità: Bassa

Volume mobilizzabile: 1 – 3 mc

Taglia blocchi: 0,5 – 1 mc

Forma blocchi: Prismi corti, lastre

SM II.1d

Descrizione: Piccola parete nel settore orientale della zona studiata

Roccia: Calcare di Angolo

Meccanismo: Scivolamento sul diedro J1-J2, ribaltamento su J2, trazione di tetti formati da ST

Pericolosità: Elevata

Volume mobilizzabile: 4 mc

Taglia blocchi: 0,3 – 1 mc

Forma blocchi: Prismi

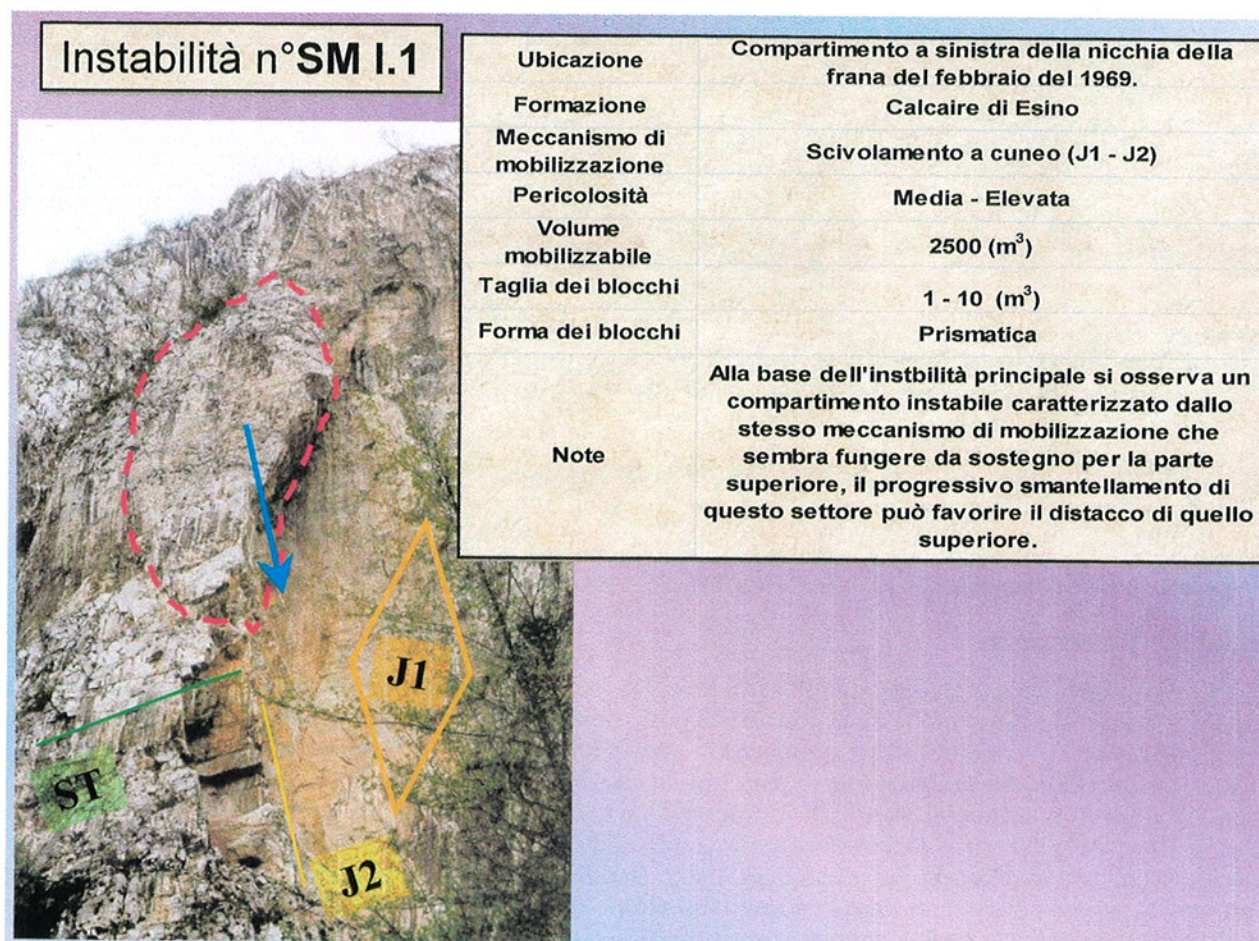


Fig. A3: Esempio di scheda identificativa di una instabilità.

3. Carta del pericolo

La redazione della carta del pericolo (Fig. A4) è stata compiuta valutando il volume e la pericolosità delle instabilità in parete e stimando i limiti di arresto dei blocchi in caduta mediante lo studio delle caratteristiche geomorfologiche e di uso del suolo del pendio, della distribuzione dei blocchi presenti ed infine con l'esecuzione di analisi traiettografiche.

Queste ultime sono state realizzate con il programma CRSP 3.0 del Colorado Technical Institute 1993 secondo le medesime modalità utilizzate nell'applicazione delle altre metodologie.

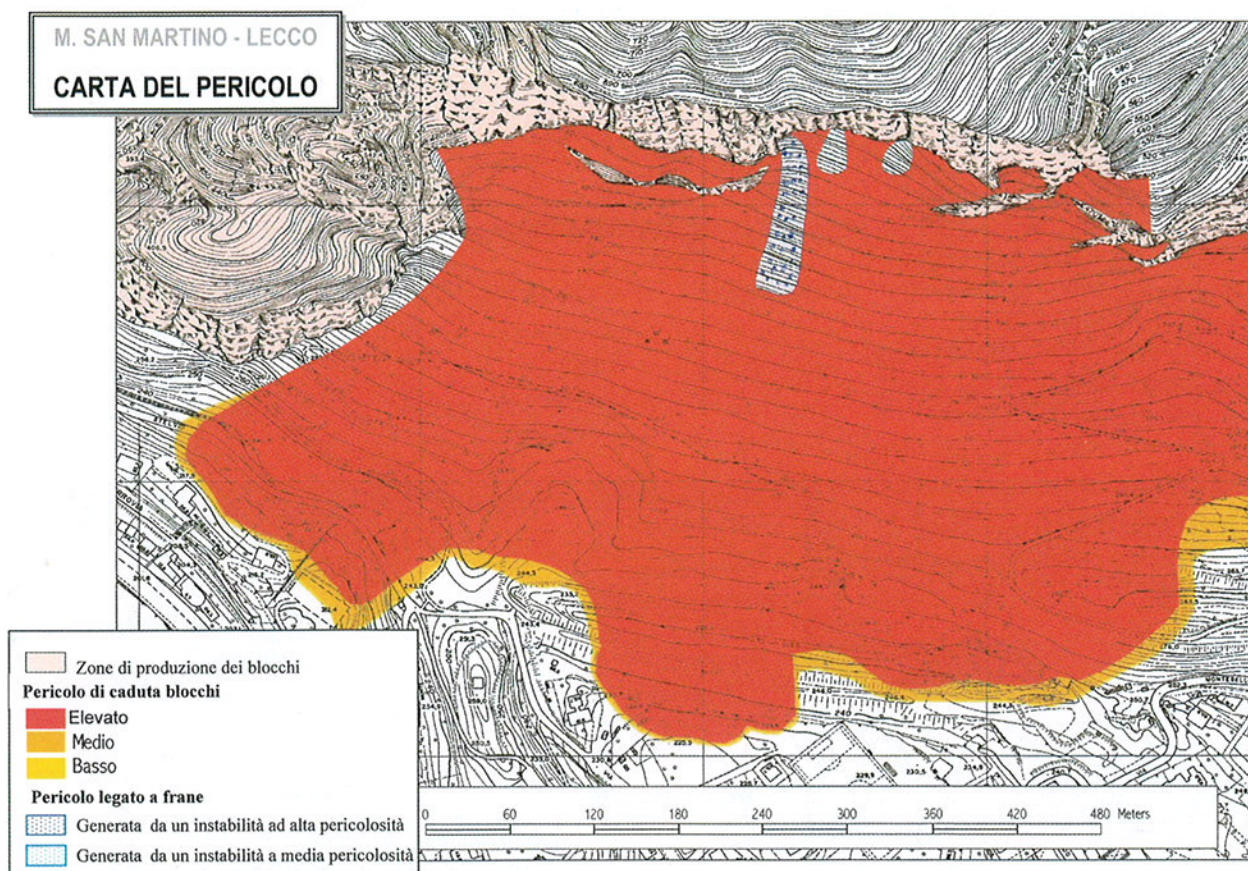


Fig. A4 : Carta del pericolo.

III.2.2. La metodologia RHAP (Rockfall Hazard Assessment Procedure)

III.2.2.1. Introduzione

La Struttura "Rischi Idrogeologici" della Regione Lombardia ha approntato una serie di metodologie speditive per la valutazione e la zonazione della pericolosità da frana (Regione Lombardia, 2000). Le metodologie hanno lo scopo di fornire un metodo rapido, ma il più possibile rigoroso, per zonare aree in cui siano già state riconosciute situazioni di pericolo, in modo da poter trattare le zone a diversa pericolosità in modo differente in termini di interventi di mitigazione e di pianificazione del territorio. Ciascuna metodologia si riferisce ad una singola tipologia di frana. I risultati dell'applicazione delle diverse metodologie vengono sovrapposti per ottenere la pericolosità finale. Non fanno parte di queste procedure le grandi frane, di volumetria superiore alle centinaia di migliaia di metri cubi, che sono trattate singolarmente in quanto la loro evoluzione dipende da una combinazione di fattori non generalizzabili.

Per gli scopi del progetto InterregIIC – Falaises verrà di seguito descritta la metodologia denominata RHAP che è relativa alla valutazione della pericolosità da crollo ed è valida per crolli di singoli blocchi o per crolli di massi fino ad una volumetria massima complessiva di 1000 m³. Sebbene le procedure di seguito descritte siano state concepite per risolvere i problemi specifici del territorio lombardo, esse hanno cercato di contemplare le situazioni di caduta massi più frequenti e possono quindi essere applicate a qualunque parete rocciosa origine di crolli in quanto non sono indirizzate a particolari condizioni litologiche, strutturali o morfologiche.

La metodologia RHAP è rivolta ad aree limitate e circoscritte ed è applicabile ad una scala di dettaglio. La zonazione della pericolosità da crollo risultante dall'applicazione della metodologia è relativa al sito indagato e non è confrontabile con altri siti studiati separatamente, in quanto ciascun sito risulterà sempre suddiviso in aree a pericolosità da bassa a elevata, indipendentemente dal valore assoluto della pericolosità. Nei

casi in cui la probabilità di accadimento sia molto bassa, la metodologia prevede un valore soglia al di sotto del quale la zonazione della pericolosità non è più significativa.

In generale la metodologia valuta la pericolosità in due fasi. Nella prima sono valutate le traiettorie e le aree di possibile espansione delle frane ed è effettuata una zonazione della pericolosità preliminare. Rigorosamente in questa fase si dovrebbe tener conto dell'intensità del fenomeno che dipende da volume e velocità. Spesso questo non è possibile in un processo speditivo in quanto i tempi ristretti non consentono un'adeguata raccolta dati; per questo motivo è stato scelto di utilizzare parametri semi-quantitativi.

Nella seconda fase è valutata la probabilità d'accadimento dei fenomeni risultante in una zonazione della pericolosità delle aree di distacco. In termini rigorosamente probabilistici, la probabilità d'accadimento andrebbe valutata in base a serie storiche da cui ricavare periodi di ritorno. Anche in questo caso, data la difficoltà di reperire dati storici completi, si è scelto di ricorrere ad una valutazione dei sintomi d'attività.

Le due zonazioni di pericolosità vengono messe in relazione per ottenere la pericolosità totale.

III.2.2.2. Fasi di applicazione della metodologia

Il primo passo per l'applicazione della metodologia è l'individuazione dei settori di parete rocciosa origine di crolli, a cui segue la delimitazione d'aree omogenee in funzione di: (1) caratteristiche geomecchaniche dell'ammasso roccioso ricavate da rilievi in sito (Tab. III.4) e (2) morfologia del versante lungo le traiettorie di discesa (zone di transito e d'arresto) dei blocchi, come ad esempio altezza della parete e pendenza del versante sottostante (Tab. III.5); questi parametri vengono poi utilizzati nella modellazione numerica.

SCHEDA PER LA DESCRIZIONE DI AMMASSI ROCCIOSI IN ROCCE RESISTENTI									
STAZIONE N°		Data:		Operatore:		Rilievo/Foto:			
LOCALITÀ:		Comune:							
CTR:		Coordinate:		Campioni n°:					
Esposizione:		Natura: affioramento		Natura: scivolo di frana		Natura: erosione accelerata			
Artificiale:		scavo sup.		scavo sotterr.		vinca		metodo di scavo:	
LITOLOGIA:									
Formazione:									
Fattori Geologici:		Giunti d'erosione		Discordanze		Contatti litologici			
Strutture:		Monoclinale		Foglie (dirette/inversa)		Varie		Terrano residuo	
Pieghie		Rocce di faglia		Filoni		Carstismo			
Carniere/Fiorini piega		Fratture basali		Laminazioni		Suolo			
Instabilità:		Schivamento		a cuneo		Rotazioni		di blocchi	
AMMASSO*		MASSIVO		BLOCCHI		TABULARE		COLONNARE	
STRUTTURA		Massiccio		Stratificata (spessore strati in cm) min		moda		max	
ALTERAZIONE*		INALTERATA		DECOLORATA		<50% DECOMP.		>50% DECOMP.	
RESISTENZA*		Estr. Deb.		Molto Deb.		Debole		Med. Res.	
		Stabile a mano		Striscia con martello		Difficile da strisciare con martello		Frattura con pochi colpi martello	
								Molto Res.	
								Scheggia dal martello	
BLOCCHI		DIMENSIONE MEDIA:		FORMA: Cubo		Romboedro		Tetraedro	
Piano affioramento		Giacitura		Altezza (m)		Larghezza (m)			
Linea di scansione		Giacitura (verticale/orizzontale)		Lunghezza (m)					
SPAZIATURA MODALE (cm) (TOTALE DELL'AFFIORAMENTO)									
PERSISTENZA MODALE (m) (TOTALE DELL'AFFIORAMENTO)									
NUMERO DI SISTEMI DI DISCONTINUITÀ									
PARAMETRI (VALORI MODALI PER CIASCUN SISTEMA)									
SIST.	TIPO	GIAC.	SPAZ.	PERS.	APERT.	RIEMPIM.	RUGOS.	ALTER.	ACQUA
1									
2									
3									
4									
5									
ZONE DI TAGLIO		Orientazione (inclinata)							
		Uniforme		matricale %		a più strati		matricale %	
				breccia %				breccia %	
				vena				vena	

* ISRM 1976

1: 0-zona di faglia; 1-faglia; 2-giunto; 3-sivaggio; 4-sidossia; 5-taglio; 6-venna; 7-zonazione; 8-foliazione; 9-stratificazione; 10-sidossia.
 1: in centimetri
 2: in metri
 3: in chilometri
 4: in chilometri
 5: in chilometri
 6: in chilometri
 7: in chilometri
 8: in chilometri
 9: in chilometri
 10: in chilometri
 11: in chilometri
 12: in chilometri
 13: in chilometri
 14: in chilometri
 15: in chilometri
 16: in chilometri
 17: in chilometri
 18: in chilometri
 19: in chilometri
 20: in chilometri
 21: in chilometri
 22: in chilometri
 23: in chilometri
 24: in chilometri
 25: in chilometri
 26: in chilometri
 27: in chilometri
 28: in chilometri
 29: in chilometri
 30: in chilometri
 31: in chilometri
 32: in chilometri
 33: in chilometri
 34: in chilometri
 35: in chilometri
 36: in chilometri
 37: in chilometri
 38: in chilometri
 39: in chilometri
 40: in chilometri
 41: in chilometri
 42: in chilometri
 43: in chilometri
 44: in chilometri
 45: in chilometri
 46: in chilometri
 47: in chilometri
 48: in chilometri
 49: in chilometri
 50: in chilometri
 51: in chilometri
 52: in chilometri
 53: in chilometri
 54: in chilometri
 55: in chilometri
 56: in chilometri
 57: in chilometri
 58: in chilometri
 59: in chilometri
 60: in chilometri
 61: in chilometri
 62: in chilometri
 63: in chilometri
 64: in chilometri
 65: in chilometri
 66: in chilometri
 67: in chilometri
 68: in chilometri
 69: in chilometri
 70: in chilometri
 71: in chilometri
 72: in chilometri
 73: in chilometri
 74: in chilometri
 75: in chilometri
 76: in chilometri
 77: in chilometri
 78: in chilometri
 79: in chilometri
 80: in chilometri
 81: in chilometri
 82: in chilometri
 83: in chilometri
 84: in chilometri
 85: in chilometri
 86: in chilometri
 87: in chilometri
 88: in chilometri
 89: in chilometri
 90: in chilometri
 91: in chilometri
 92: in chilometri
 93: in chilometri
 94: in chilometri
 95: in chilometri
 96: in chilometri
 97: in chilometri
 98: in chilometri
 99: in chilometri
 100: in chilometri

Tab. III.4: Scheda per la descrizione degli ammassi rocciosi resistenti utilizzata per la raccolta dei dati geomecchanici.

SCHEDA CROLLI									
Lunghezza massima disse di discesa (m)									
ZONA DI DISTACCO		Pendenza (°)							
		Altezza della parete (m)							
		Forma della parete							
		Piatto		Convessa					
		Aggettiva		Concava					
		Fattore a merito della parete		si		no			
		Presenza di contatti litologici		si		no			
		Presenza di interstizi argillosi		si		no			
		Presenza di vene d'acqua		si		no			
		Volume potenziale instabile (totale in m³)							
		Sintomi di attività		Fratture aperte		si		no	
				Biossi rotati		si		no	
				Zone alternamente fratturate		si		no	
				Superficie non alterata		si		no	
ZONA DI TRANSITO		Esecuzione di rilievo geomecchanico (m²)							
		Pendenza media versante (°)							
		Natura della superficie		Rocce resistenti		Rocce deboli		Dietro grossolano	
				Dietro fine		Dietro fine		Tenero	
		Tipo di impatti		Impatti singoli		si		no	
				Impatti multipli		si		no	
		Rottura di blocchi per impatto		si		no			
		Tipo di vegetazione		Assente		Erbacea		Di alto fusto	
				Altezza vegetazione abbattuta (m)					
ZONA DI ACCUMULO		Pendenza media (°)							
		Natura della superficie		Rocce resistenti		Rocce deboli		Dietro grossolano	
				Dietro fine		Dietro fine		Tenero	
		Materiale sano		Lito logia					
				Selezione					
				Forma					
				Volume minimo dei blocchi (m³)					
				Volume medio dei blocchi (m³)					
				Volume massimo dei blocchi (m³)					
				Distanza minima raggiunta dai blocchi (m)					
				Distanza media raggiunta dai blocchi (m)					
				Distanza massima raggiunta dai blocchi (m)					
		Tipo di vegetazione		Assente		Erbacea		Di alto fusto	
				Altezza					

Tab. III.5: Scheda crolli utilizzata per la descrizione delle traiettorie di caduta dei blocchi.

In ciascuna delle aree omogenee così definite, vengono scelte una o più traiettorie di discesa dei blocchi su cui effettuare analisi di rotolamento tramite simulazioni di caduta con modelli numerici di tipo stocastico supportate da rilievi geomeccanici e da osservazione degli accumuli di detrito.

Le simulazioni di caduta con modelli numerici vanno effettuate prendendo in considerazione i seguenti parametri.

- Zona di partenza dei blocchi: la sommità della parete;
- Volumetria dei massi: le dimensioni modali, valutate tramite analisi statistica (istogramma di frequenza) del detrito alla base della parete in esame e/o in base alla fratturazione in parete, ricavata da rilievi geomeccanici. Possono essere considerati più valori modali nel caso in cui la distribuzione sia bi- o polimodale. Oltre ai volumi modali si prenda in considerazione anche il volume maggiore o quello del blocco che ha raggiunto la distanza massima ed eventualmente il blocco potenzialmente instabile di maggiori dimensioni riscontrato in parete.
- Forma: dovrà essere utilizzata nella simulazione la forma più simile alla forma modale osservata nel detrito o in parete.
- Coefficienti di restituzione e rugosità: vanno valutati attraverso un rilievo puntuale delle traiettorie di caduta, sia preesistenti che ipotizzate, prestando particolare attenzione al tipo di superficie, tipo di vegetazione presente, profondità e distanza tra solchi di impatti precedenti, eventuali danni a strutture e piante, ecc.
- Numero di simulazioni: essendo questa analisi di tipo probabilistico, è necessario effettuare numerose simulazioni di caduta (si consigliano almeno 400 cadute per ogni traiettoria).

In base ai risultati delle analisi illustrate al punto precedente si esegue una zonazione preliminare, longitudinale, delle traiettorie di caduta suddividendole in 3 zone: a) di transito e di arresto del 70% dei blocchi, b) di arresto del 95% dei blocchi, c) di arresto del 100% dei blocchi. Queste percentuali sono valutate sulla totalità delle simulazioni effettuate, per ogni traiettoria, sui blocchi modali di qualsiasi forma considerata. A queste zone vengono assegnate le classi di pericolosità relativa: 4 (a), 3 (b), 2 (c). In aggiunta si delimita un'area di pericolosità residua (zona 1) utilizzando la distanza massima raggiunta dal blocco di maggiori dimensioni oppure la distanza massima raggiunta da massi di crolli precedenti.

Successivamente si valuta la probabilità di accadimento del fenomeno in ciascuna delle aree omogenee, definendo la propensione al distacco dei blocchi. A tale scopo si suddivide la parete in maglie con lato da 5 m fino a 20 m, secondo la complessità geomeccanica dell'area omogenea o in base alle dimensioni della parete. Per ciascuna maglia si verifica la presenza dei seguenti elementi di instabilità:

- fratture aperte con evidenze di attività associate a cinematismi possibili;
- blocchi ruotati;
- zone intensamente fratturate;
- superfici non alterate che testimoniano recenti distacchi;
- emergenze di acqua alla base dei blocchi.

Per ogni maglia viene quindi indicato il numero degli elementi di instabilità presenti. Poi, per ogni area omogenea viene calcolata la somma di tutti gli elementi di instabilità presenti ed è ricavata la percentuale di instabilità in relazione al numero massimo ottenibile nell'area omogenea, dando a ciascuna maglia il valore massimo 5 (Fig. III.11).

In base alle percentuali così ricavate, le aree omogenee vengono raggruppate in 3 gruppi a differente attività relativa per il sito indagato: alta, media, bassa. Non vengono indicati valori di percentuali assolute per evitare che gran parte delle aree omogenee risultino avere lo stesso valore di pericolosità, impedendo una zonazione. Tuttavia, nel caso in cui tutte le aree omogenee presentino percentuali inferiori al 10% non si ritiene necessario effettuare la zonazione della pericolosità.

La zonazione finale della pericolosità viene definita utilizzando i valori delle classi di pericolosità relativa della zona di transito e accumulo dei blocchi, che vengono aumentati di 1, mantenuti costanti o diminuiti di 1 a seconda che le pareti sovrastanti appartengano ai gruppi di attività alta, media o bassa rispettivamente. Si possono così avere in totale 5 classi di pericolosità, da H1 a H5.

III.2.2.3. L'applicazione della metodologia alla parete Sud del Monte San Martino

Nell'ambito del progetto *Falaises* la metodologia sopra descritta è stata applicata alla parete Sud del Monte San Martino, in provincia di Lecco, in Lombardia.

Area omogenea 1			Area omogenea 2				Area omogenea 3			
1	2	1	1					1		1
	3			1	1	1				
2	4	2	2	3				1	2	
3	2	1	1	1	2	1		1	2	
1	2					1		2		

Fig. III.11: Attività relativa per le diverse aree omogenee: Area omogenea 1 - $24/75 = 32\%$ = attività alta;
Area omogenea 2 - $12/100 = 15\%$ = attività media; Area omogenea 3 - $6/100 = 10\%$ = attività bassa.

Le caratteristiche geologiche e geomeccaniche degli ammassi rocciosi della parete sono descritti nella *fiche d'identité* del sito Monte San Martino, posta al termine del presente sottocapitolo, come anche la suddivisione in aree omogenee.

La parete in esame è stata suddivisa in 8 aree omogenee e sono state eseguite analisi di caduta massi lungo le 8 traiettorie corrispondenti (Fig. III.12), secondo i seguenti parametri di modellazione:

- il punto di partenza dei blocchi è sempre stato considerato alla quota più elevata dell'area omogenea;

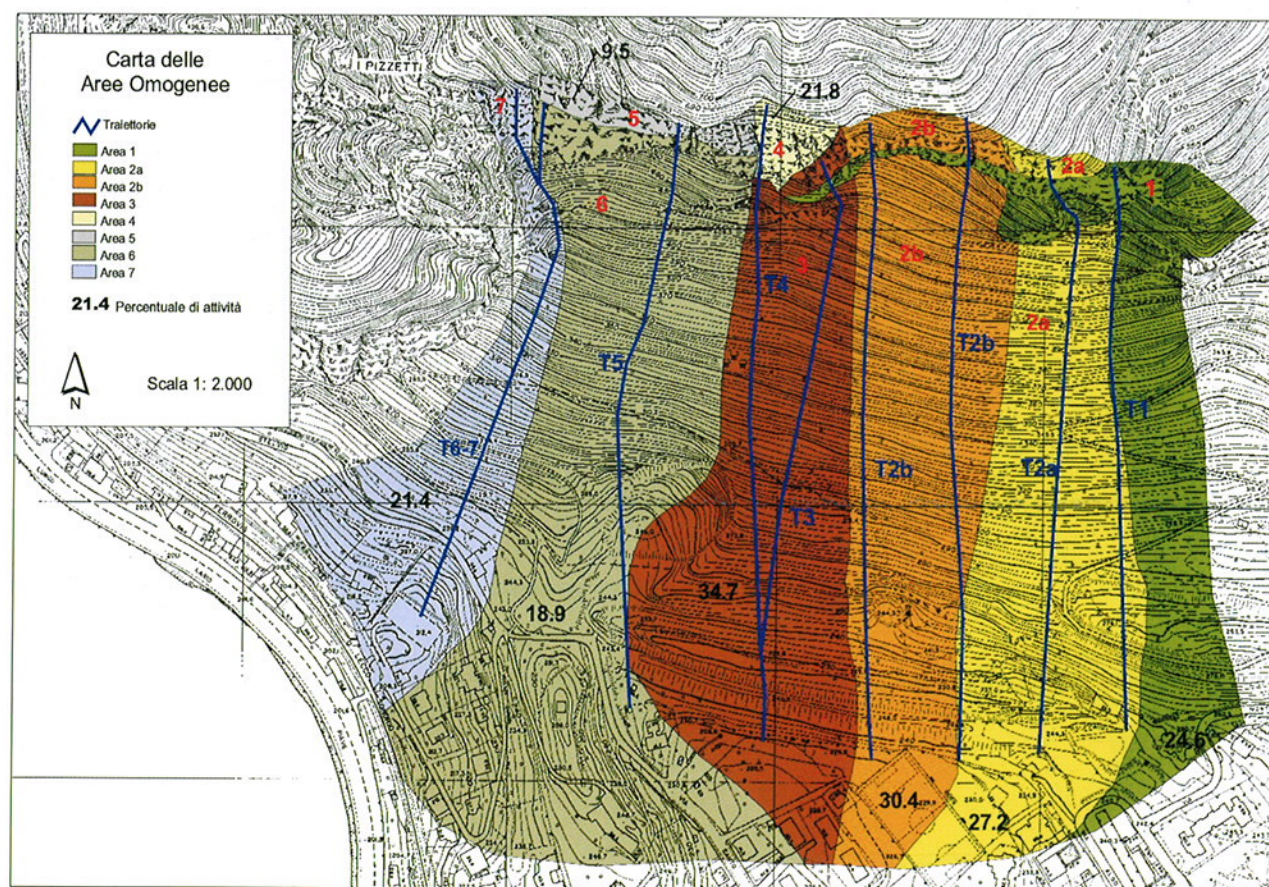


Fig. III.12: Traiettorie utilizzate per le simulazioni di caduta massi e aree omogenee con relative percentuali di attività.

- i volumi dei blocchi utilizzati sono quelli modali ($0.2 - 0.5 - 2 \text{ m}^3$) e quello del blocco più grande (diametro = 7 m);
- sono state utilizzate forme dei blocchi sferiche e cilindriche;
- sono state effettuate 400 simulazioni di caduta per ciascuna traiettoria.

In base ai risultati di questa analisi è stata effettuata una zonazione della pericolosità preliminare (Fig. III.13).

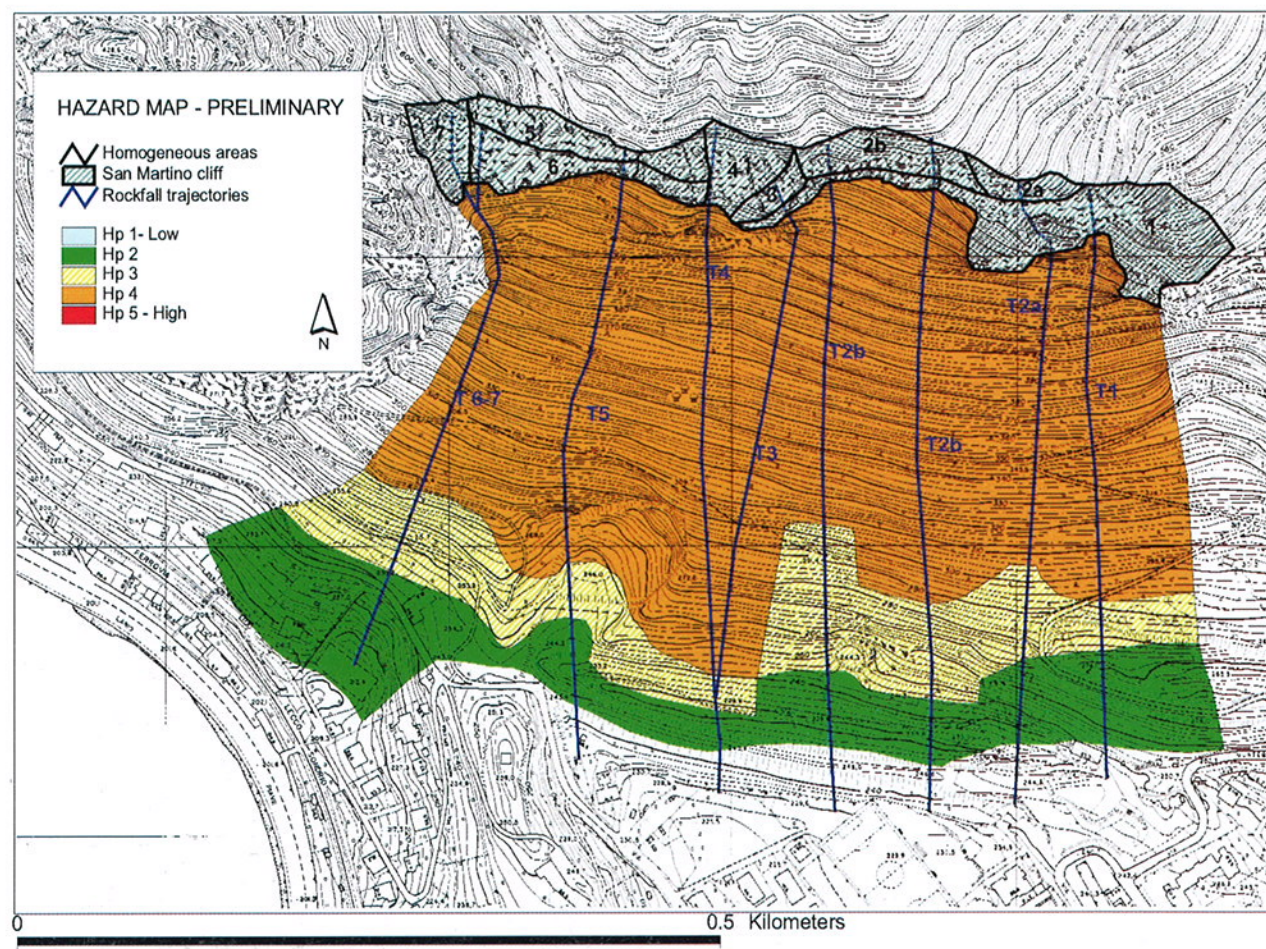


Fig. III.13: Zonazione della pericolosità preliminare.

Per l'applicazione della seconda parte della metodologia le aree omogenee sono state suddivise in maglie di 20 m di lato, per ciascuna delle quali è stato determinato il numero di elementi di instabilità presenti (Fig. III.14).

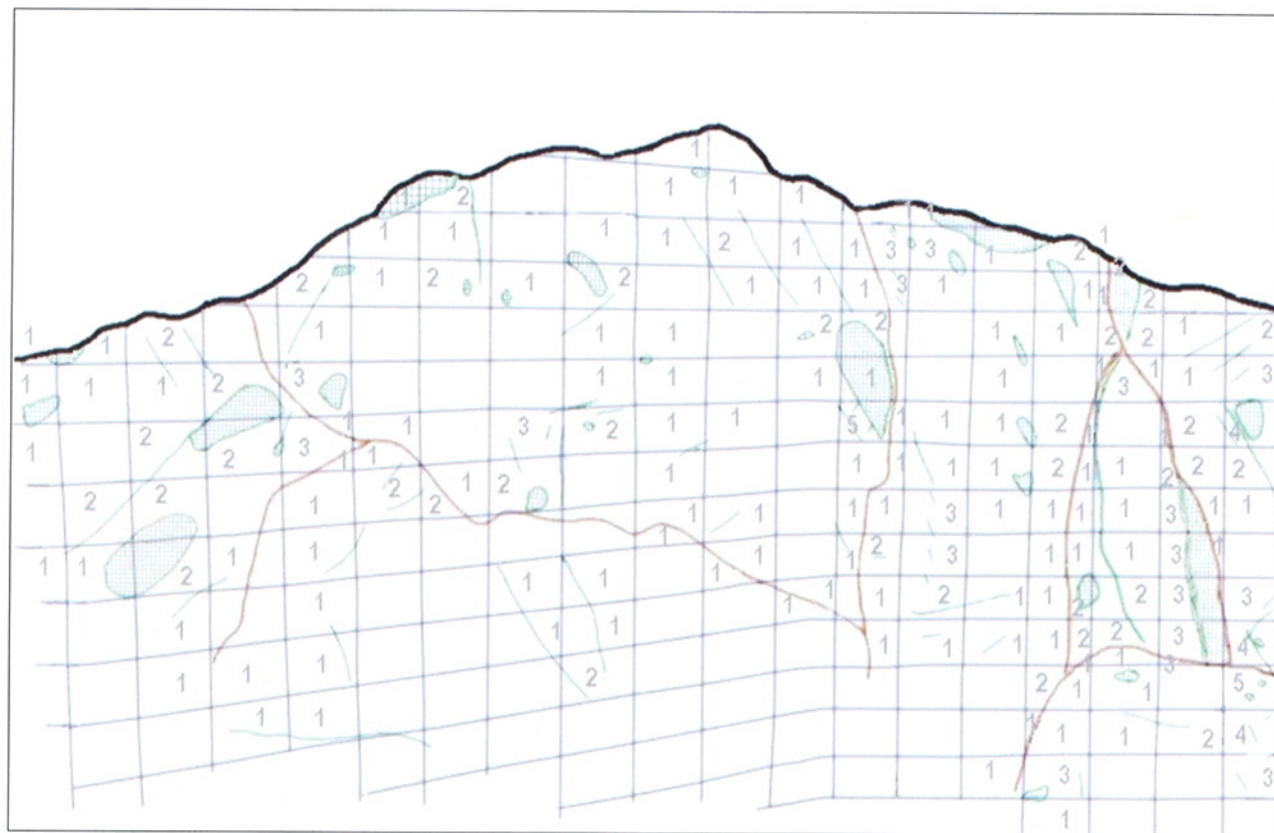


Fig. III.14: *Suddivisione in maglie delle aree omogenee. I numeri indicano gli elementi di instabilità presenti in ogni maglia, le linee e le aree in verde indicano gli elementi di instabilità, le linee rosse sono i limiti delle aree omogenee.*

Le aree omogenee sono state classificate secondo diversi gradi di attività relativa secondo la Tab. III.6.

Area omogenea	N° di maglie x 5	N° di elementi di instabilità	%	Classe
1	730	180	24,6	Media
2a	235	64	27,2	Alta
2b	230	70	30,4	Alta
3	95	33	34,7	Alta
4	280	61	21,8	Media
5	275	26	9,5	Bassa
6	360	68	18,9	Media
7	140	30	21,4	Media

Tab. III.6: *Classi di instabilità relativa per ciascuna area omogenea.*

La riclassificazione della pericolosità preliminare tramite le classi di attività relativa ha portato alla zonazione della pericolosità definitiva (Fig. III.15).

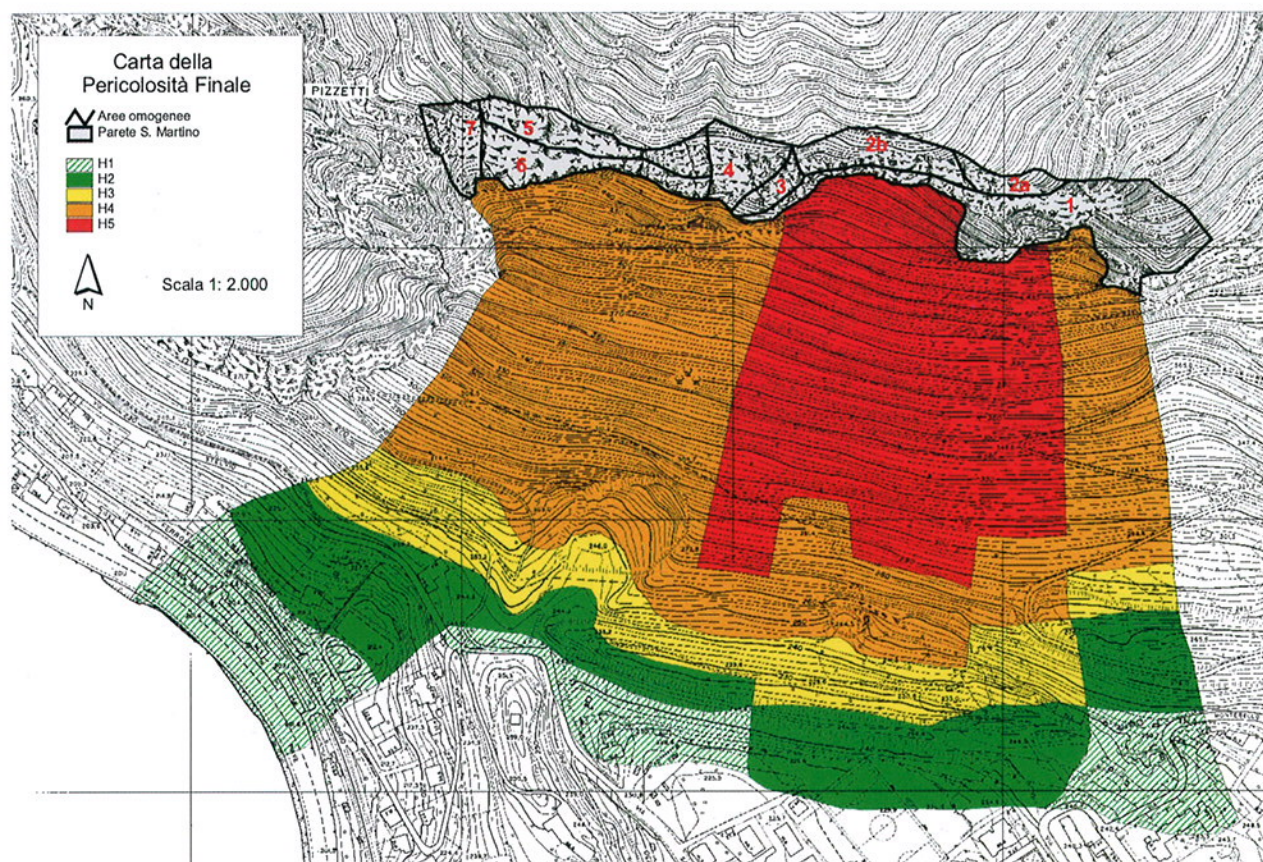


Fig. III.15: Zonazione della pericolosità definitiva dell'area del S. Martino.

BIBLIOGRAFIA

Regione Lombardia, Struttura Rischi Idrogeologici (2000) – Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio da frana in Regione Lombardia – Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia n. 51, edizione speciale del 22 dicembre 2000.

FICHE D'IDENTITÉ : SITO DEL MONTE SAN MARTINO (LECCO)

Ubicazione geografica e introduzione

Il Monte San Martino si trova a Nord di Milano, in regione Lombardia, all'estremità meridionale del lago di Como e sovrasta l'abitato di Lecco sul suo lato Nord (Fig. III.16 e III.17). In

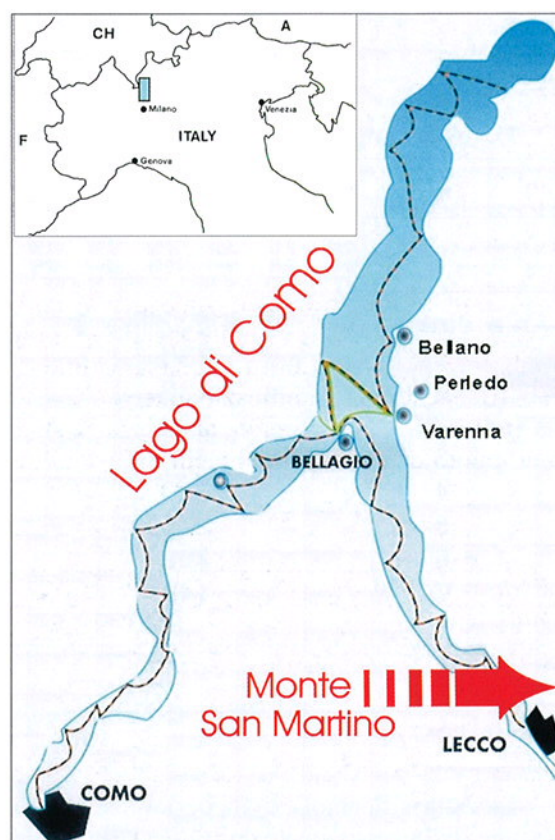


Fig. III.16: Ubicazione geografica del Monte San Martino.



Fig. III.17: Le pareti sovrastanti l'abitato di Lecco dal Corno Medale (a destra) al Monte San Martino (al centro).

questa zona si trovano i primi rilievi montuosi a nord della Pianura Padana. Esso fa parte del massiccio del Coltignone (Coltignoncino, Corno Medale, Dente del Coltignone, Monte S. Martino) che è storicamente interessato da frane, anche d'entità notevole, legate essenzialmente all'accentuata acclività dei versanti e all'intensa tettonizzazione dei litotipi. Sono diffusi i crolli di singoli massi o, talvolta, di ingenti masse rocciose. La presenza di fratture beanti, di contropendenze e di materiale detritico presente lungo le incisioni (potenzialmente rimobilizzabile da eventi meteorici intensi) testimoniano l'attività del fenomeno.

Questo sito è stato scelto come area di applicazione delle metodologie a confronto nel progetto *Falaises* in quanto rappresenta una delle località più critiche per quanto riguarda il fenomeno dei crolli in regione Lombardia, sia per la loro frequenza ed intensità, sia per la loro interazione con le infrastrutture esistenti (Tab. III.7) e con la pianificazione territoriale.

Inoltre, per questi motivi, questo sito è stato ampiamente studiato sia da un punto di vista geologico che da un punto di vista dei fenomeni di instabilità dei versanti, e quindi si dispone di numerosi dati (Grasso,

Elementi a rischio coinvolti	Numero o tipologia
Abitanti	3000
Edifici ad uso residenziale	550
Edifici ad uso pubblico	40
Edifici ad uso produttivo	30
Vie di comunicazione	SS 36 – linea FF.SS; "Lecco–Sondrio" – strade comunali

Tab. III.7: Popolazione, fabbricati ed infrastrutture coinvolti.

1991; Bateman, 1997; Archivio Servizio Geologico, 1994-1995; Regione Lombardia, 1999; Regione Lombardia, 2000).

Inquadramento geologico, geomorfologico e strutturale

Le pareti rocciose del Monte S. Martino, costituite dai calcari dolomitici del Calcare di Esino (Triassico medio), rappresentano il fronte della scaglia tettonica del Coltignone, la più meridionale del gruppo delle Grigne. La roccia ha una stratificazione quasi indistinta, a grosse bancate con giacitura monoclinale a reggipoggio debolmente inclinata. Potenti accumuli detritici sciolti e cementati, dello spessore massimo di alcune decine di metri, contornano i fianchi meridionale, occidentale ed orientale dell'ammasso roccioso, celando parzialmente il contatto con il sottostante Calcare di Angolo. Strutturalmente l'ammasso roccioso è interessato da due fino a quattro sistemi di discontinuità ad elevata estensione bidimensionale ed ad alto indice di continuità, con valori d'immersione generalmente molto elevati. In particolare si evidenziano le principali famiglie: $S=270^{\circ}-290^{\circ}/10^{\circ}-30^{\circ}$, $K1=240^{\circ}-270^{\circ}/40^{\circ}-50^{\circ}$, $K2=235^{\circ}-270^{\circ}/75^{\circ}-90^{\circ}$, $K3=170^{\circ}-180^{\circ}/75^{\circ}-90^{\circ}$; si tratta di tipici sistemi di disgiunzione e distacco che favoriscono i naturali processi di decompressione a distribuzione relativamente parietale.

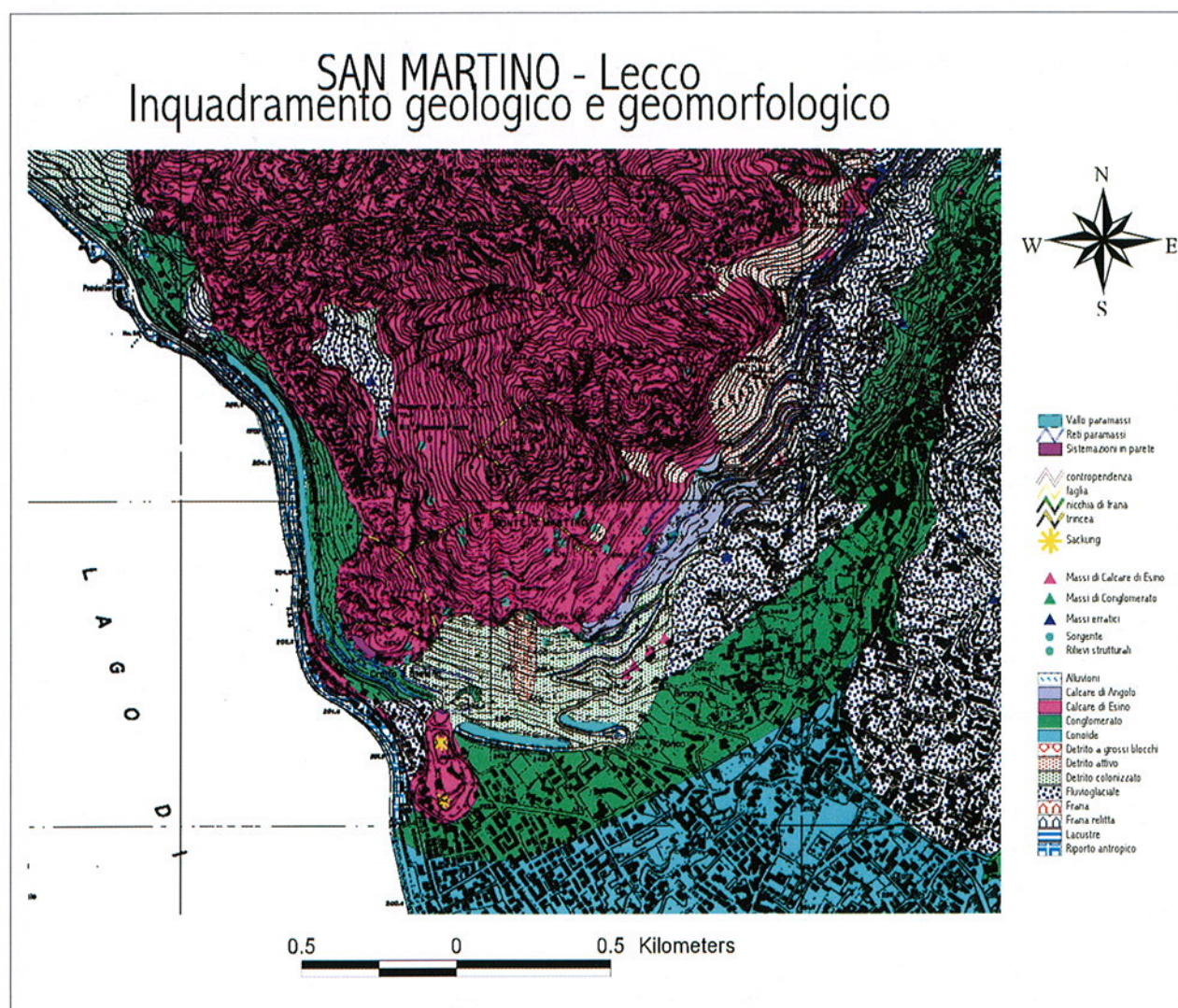


Fig. III.18: Carta geologica-geomorfologica dell'area del Monte San martino (LC).

Fig. III.19: *Nicchia di distacco del diedro roccioso franato nel 1969.*

L'area su cui sorge l'abitato di Lecco si raccorda con le pareti subverticali del S. Martino attraverso un pendio a inclinazione moderata ma costante ($33^\circ - 38^\circ$) corrispondente all'incirca all'angolo di riposo del detrito di falda di cui è costituito. Localmente associato a tale materiale si trovano sedimenti fluvio-lacustri rinvenuti fino a quote comprese tra i 270 ed i 450 m s.l.m.; da qui le pareti in roccia (che raggiungono un'altezza massima di 330 m), con andamento complessivamente a gradonata e con inclinazioni elevatissime comprese tra 70° e 90° , si sviluppano fino a quota 500-700 m s.l.m. (Fig. III.18).

Inventario delle frane e condizioni degli ammassi rocciosi

Il problema, storicamente sentito, delle frane di crollo provenienti dal Monte San Martino è stato riaffacciato dopo l'ultimo tragico evento verificatosi la notte tra il 22 e il 23 febbraio 1969 quando una frana di notevoli dimensioni ($10.000-15.000 \text{ m}^3$), staccatasi dalle pendici montuose in zona "La cava" travolgeva un edificio abitato provocando la morte di sette persone e il ferimento di altre tre (Fig. III.19).

Più recentemente, nel 1994, si è verificata una serie di crolli (sono tuttora visibili la nicchia di distacco e l'accumulo) a seguito di piogge intense. La cubatura del materiale interessato dal franamento è dell'ordine di un centinaio di metri cubi; in uno di tali eventi è stato distrutto un tratto di una barriera paramassi, ed un masso di circa 2 m^3 è stato trattenuto dal vallo paramassi sottostante.

Crolli puntuali e localizzati di piccole o medie dimensioni sono piuttosto diffusi e si verificano periodicamente, spesso in concomitanza di precipitazioni intense o cicli di gelo-disgelo.

In base ai numerosi studi effettuati sulle frane che hanno interessato la periferia settentrionale dell'abitato di Lecco, è stato possibile definire essenzialmente 3 diversi scenari:

- Frane di crollo di elevata volumetria (da 1.000 m^3 a decine di migliaia di metri cubi) per cui le opere di difesa esistenti potrebbero non essere del tutto efficaci; in particolare, tale scenario è stato segnalato come possibile nelle zone Santo Stefano (parete meridionale del Monte S. Martino), Corno Medale e pareti rocciose a W e a NNE del Corno Medale;
- Frane di crollo con volumi unitari maggiori di 1 m^3 o inferiori ma con velocità superiori a 80 km/h ; blocchi in grado di sfondare e superare almeno una barriera paramassi;
- Frane di crollo con volumi unitari inferiori ad 1 m^3 o maggiori ma con velocità inferiori a 80 km/h , in grado di essere trattenuti dalle opere attuali.

Nel corso di un recente studio, sono state catalogate le dimensioni minime, medie e massime (queste ultime volumetrie risultano comprese tra 2.2 e 4.6 m^3) dei massi già franati (Fig. III.20); tali dati sono stati quindi utilizzati per un'analisi probabilistica della caduta massi.

Infine, recenti rilievi hanno evidenziato la presenza di una massa di Calcere di Esino di notevoli dimensioni (circa 5 ha esposti in affioramento) entro il nucleo abitato di Lecco (quartiere S. Stefano), probabilmente legata ad uno scivolamento in massa di grandi dimensioni verificatosi prima dell'ultima glaciazione.



San Martino - Lecco Carta delle frane

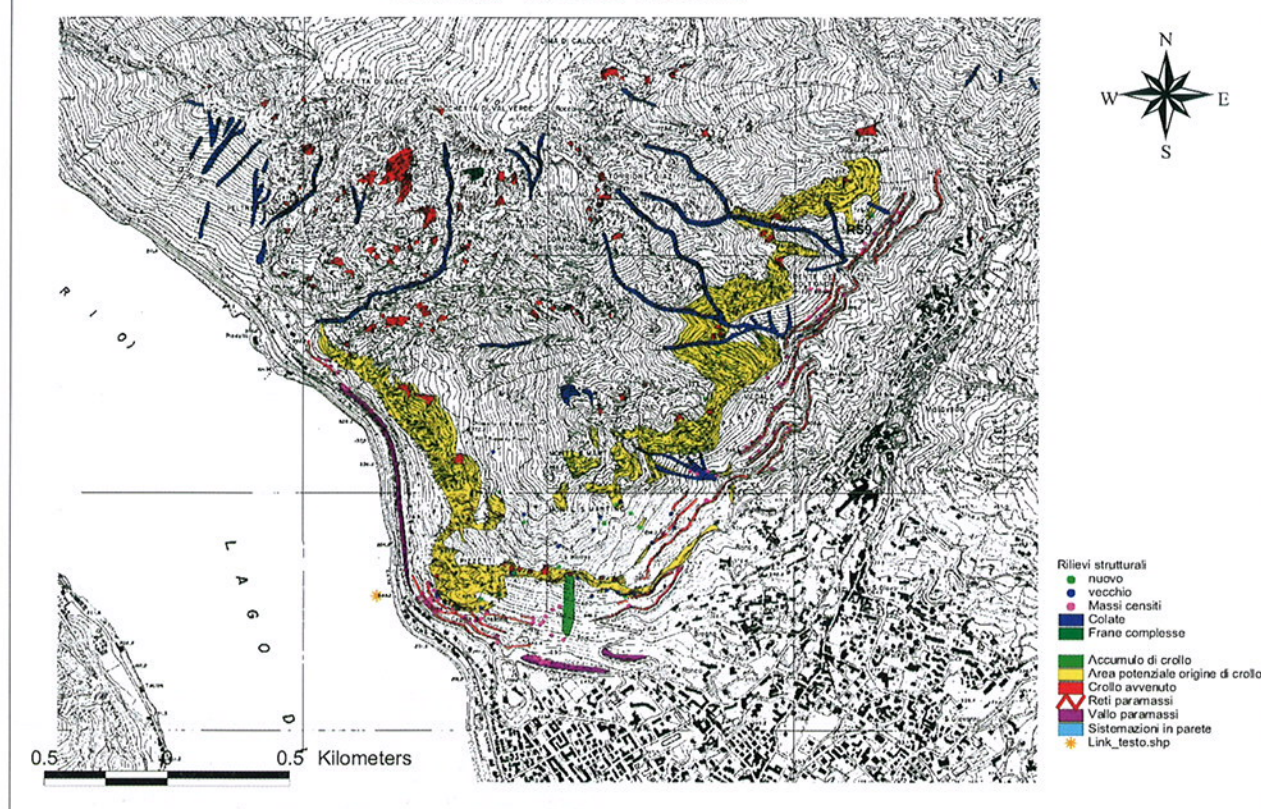


Fig. III.20: Carta inventario delle frane dell'area del Monte San Martino (LC).

Interventi di sistemazione

Dopo l'evento del 1969, a seguito sia di uno studio statistico su un modello effettuato dalla società ISMES (1972), sia di uno studio geomeccanico di Broili (1972), il Genio Civile di Como fece potenziare ed ampliare il sistema di difese passive, storicamente già presenti, con opere di pronto intervento comprendenti principalmente barriere elasto-plastiche, disgaggio di massi, consolidamento e sigillatura di porzioni rocciose instabili con resine epossidiche, costruzione di valli paramassi. Le zone maggiormente interessate da tali interventi sono distribuite, praticamente senza soluzione di continuità, ai piedi dei rilievi del S.Martino, ed in particolare comprendono le località Le Caviate, La Cava, Rancio Superiore, Laorca, Malavedo, Ronco e Brogno e la cima del Corno Medale.

Nel recente lavoro realizzato nell'ambito della redazione dello studio geologico-tecnico di supporto al Piano Regolatore Generale del Comune di Lecco e in ottemperanza alla legge nazionale 267/98, sulla zonazione dei siti a rischio, si evidenzia la necessità di interventi prioritari che, oltre alla realizzazione di disgaggi localizzati e di un monitoraggio geologico, prevedano la messa in opera di nuove reti elastoplastiche ad alta resistenza, a sostituzione ed integrazione di quelle esistenti.

Manutenzioni alle opere di difesa sono previste con finanziamenti predisposti dalle leggi nazionali 35/95, 438/95, 267/98.

Suddivisione in aree omogenee ai fini della valutazione della pericolosità da crollo con le metodologie RHAP e RES

La porzione della parete del Monte San Martino che va dalla frazione Rancio, ad Est, ai Pizzetti, ad Ovest, (Fig. III.21) è orientata all'incirca E-O, con esposizione a Sud ed ha inclinazione subverticale. La pa-



Fig. III.21: Porzione della parete del Monte San Martino oggetto di studio.

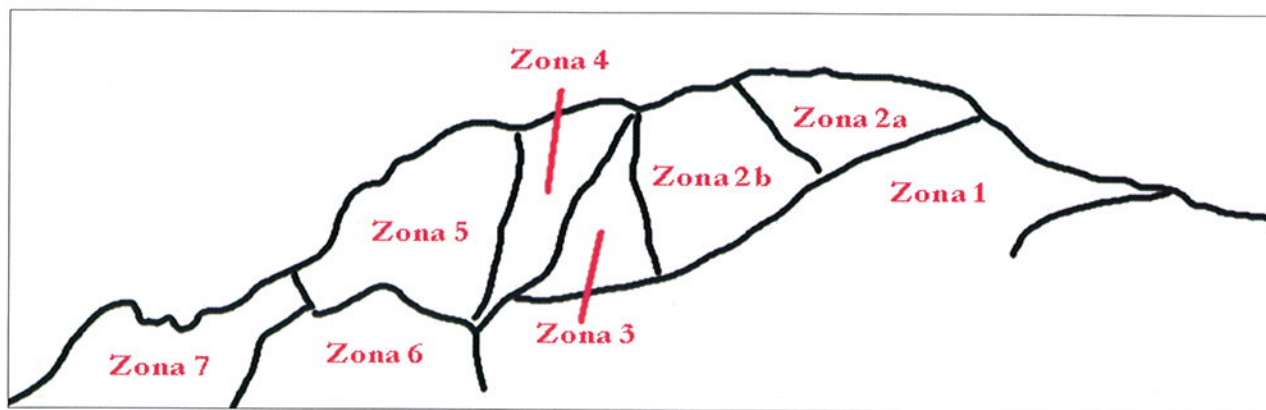


Fig. III.22: Suddivisione in aree omogenee della parete oggetto di studio.

rete è stata suddivisa in aree omogenee per caratteristiche geomeccaniche degli ammassi rocciosi. Tale suddivisione è rappresentata in Fig. III.22 e ad essa verrà fatto riferimento nella presentazione dei risultati dell'applicazione delle differenti metodologie.

BIBLIOGRAFIA

- BATEMAN M. (1997) - A rock slope stability analysis of the southernmost slopes of Monte Coltignone, Lecco, Lombardia, Italy” - Master Degree in Engineering Geology, Imperial College of Science, Technology and Medicine, London.
- BROILI L. (1972) - Studio geologico e geotecnico delle pendici del Monte S.Martino (Lecco) - ANAS, Compartimento di Milano.
- GRASSO F. (1991) - Relazione geologica e geotecnica per la realizzazione della galleria e del camino di aereazione, SS n.36” - ANAS, Compartimento di Milano.
- ISMES (1972) - Relazione di studio sull'efficacia delle opere a protezione dell'abitato di Lecco sperimentate a mezzo di un modello. Esperienze sulla dinamica di caduta di masse lapidee e verifica delle opere di protezione dell'abitato di Lecco eseguite a mezzo di un modello.
- REGIONE LOMBARDIA, Archivio Servizio Geologico (1994-1995)
- REGIONE LOMBARDIA (1999) – Studio geologico integrativo per la definizione delle aree esposte a rischio geologico nell'area ricompresa nel vincolo del S. Martino (D.P.R.219/72), con l'applicazione della metodologia elaborata dall'Ufficio Rischi Geologici della Regione Lombardia ai sensi della L.267/98. – studio De Maron E. & Alborghetti P. – Struttura Rischi Geologici.
- REGIONE LOMBARDIA (2000) – Centri abitati instabili della Provincia di Lecco – Pubblicazione CNR-GNDCI n. 2066.

III.2.3. La metodologia RES

Premessa

Questa metodologia è stata applicata dalla Struttura Rischi Idrogeologici della Regione Lombardia al sito del Monte San Martino (Lecco) per confronto con la procedura RHAP nell'ambito del presente progetto. Essa non viene utilizzata come metodologia specifica in Regione Lombardia e quindi non è associata a strumenti normativi.

III.2.3.1 Introduzione

I Rock Engineering Systems sono stati sviluppati da J.A. Hudson e dal gruppo di meccanica delle rocce dell'Imperial College di Londra a cominciare dal 1989 (Arnold, 1989; Hudson 1989, 1991, 1992a, 1992b; Hudson et al. 1991; Hudson & Harrison, 1992; Yong, 1995; Mazzoccola 1992a, 1992b; Mazzoccola & Hudson 1996; Nathanail et al. 1992).

Lo scopo per il quale la metodologia è concepita è quello di proporre una tecnica per affrontare una vasta gamma di problemi di elevata complessità che riguardino la meccanica delle rocce nel campo ingegneristico. La metodologia incorpora le teorie affermate nel settore della meccanica delle rocce, ma allo stesso tempo è concepita in modo da adattarsi a qualsiasi tipo di ricerca e di progetto (Hudson, 1992).

Questa metodologia prende le mosse dalla teoria generale dei sistemi. Una delle definizioni di sistema più citate è quella di Hall & Fagen (1956): "un sistema è un insieme di oggetti che comprende le interazioni tra gli oggetti e tra i loro attributi". Questi autori descrivono come "oggetti" le parti o componenti di un sistema, siano essi fisici o astratti, come "attributi" le proprietà fisiche degli oggetti, come "relazioni" ciò che "lega assieme il sistema". Un concetto basilare è che sta a ciascun ricercatore scegliere quali relazioni siano importanti e quali no (Thorn, 1988).

La teoria generale dei sistemi è dovuta a von Bertalanffy (1950, 1956, 1962), ma l'utilizzo della modellazione sistematica per studi geomorfologici fu promossa per la prima volta da Strahler (1952, 1980). La modellazione sistematica si sviluppa poi durante tutti gli anni '60 e '70 terminando con le più recenti applicazioni di Strahler & Strahler (1973).

Il nuovo approccio sistemico alla meccanica e ingegneria delle rocce proposto da Hudson (1992 b) è una metodologia basata sull'obiettivo prefissato, che permette l'utilizzo di tutte le informazioni collegate al problema in esame, forgiando il metodo sulle circostanze reali. Il metodo è generale, ma la caratterizzazione dell'ammasso roccioso in ciascuna località è indirizzata al particolare progetto che si vuole sviluppare, quindi il metodo non è standard, ma dipende dal motivo per cui si vuole caratterizzare l'ammasso roccioso (Hudson et al., 1991).

L'approccio metodologico RES può essere utilizzato per elaborare una caratterizzazione dell'ammasso roccioso mirata al particolare problema che si intende affrontare. A questo scopo la metodologia propone una serie di passi da seguire che sono indipendenti dal tipo di problema e che comprendono: la scelta dei parametri rilevanti per il problema in esame, l'analisi delle interazioni binarie tra parametri, la valutazione dell'importanza relativa tra le interazioni, l'assegnazione di codici a differenti classi di valori dei parametri, il calcolo finale di un "indice" dell'ammasso roccioso. La metodologia RES è stata utilizzata per scopi specifici, come ad esempio quello di differenziare porzioni di versante con diverso grado di instabilità (Mazzoccola & Hudson, 1996) o quello di definire un differente livello di pericolosità da crollo (Cancelli & Crosta, 1993 a, b, c). Per l'analisi del sito di studio verrà utilizzata sia la metodologia RES modificata per i crolli da Cancelli & Crosta (1993 a, b, c), sia un metodo speditivo sempre derivato da RES (Nathanail & Hudson, 1992; Mazzoccola, 1992 a, b) e adattato ai crolli per il presente studio.

III.2.3.2 Fasi di applicazione della metodologia RES

Scelta dei parametri rilevanti

Lo schema sequenziale da seguire per la selezione dei parametri parte dalla definizione del progetto e del tipo di ambiente e termina con una lista dettagliata dei parametri legati alle condizioni del sito, corredata da una descrizione qualitativa o quantitativa. La scelta dei parametri può essere dettata dall'esperienza esistente nel settore, dalla pratica e dalla normativa correntemente seguite, dall'applicazione dei principi di

meccanica delle rocce e dalla conoscenza delle problematiche geologico-tecniche del sito in esame. In particolare, un aiuto per la scelta dei parametri può venire dall'analisi, su basi bibliografiche, dei tipi di parametri che sono stati più frequentemente considerati per il problema in questione. La metodologia consente quindi sia lo studio di ampie aree, con l'utilizzo di parametri validi in senso generale, sia l'analisi dettagliata di piccole aree, tramite parametri di valenza locale. Nel caso dell'analisi dei crolli Cancelli & Crosta (1993 a, b, c) hanno dato un significato generale al modello in modo da consentirne l'impiego in diverse condizioni.

La caratterizzazione dell'ammasso roccioso, mirata all'instabilità dei versanti (Bieniawski, 1974; Romana, 1985), e l'esecuzione di verifiche di stabilità (cinematiche: Matheson, 1983; equilibrio limite con metodi stocastici: Scavia et al., 1988; Crosta & Locatelli, 1999) costituiscono la fase preparatoria indispensabile all'applicazione del metodo. Questa fase permette di valutare il grado di instabilità, la probabilità del verificarsi dei fenomeni di instabilità o semplicemente dei fattori di innesco. Di conseguenza, le cause di innesco non ricadono nell'elenco dei parametri che definiscono l'intensità del fenomeno di crollo, se non per il contributo della velocità iniziale (scosse sismiche o azioni antropiche) o come valore terminale di una precedente fase di scorrimento. Le cause di innesco verranno invece considerate nella definizione dei tempi di ritorno e nel processo di valutazione della pericolosità.

Cancelli & Crosta (1993 a, b, c) indicano 15 parametri, qualitativi e quantitativi, che controllano la severità meccanica e geometrica dei crolli (Tab. III.8).

n°	DESCRIZIONE	n°	DESCRIZIONE	n°	DESCRIZIONE
1	Dimensione/forma dei blocchi	6	Velocità	11	Rugosità superficie di impatto
2	Topografia/geometria versante	7	Tipo di impatto	12	Vegetazione
3	Moto dei blocchi	8	Coefficiente di restituzione	13	Altezza di caduta libera
4	Traiettoria del crollo	9	Materiale lungo versante	14	Coefficiente di resistenza
5	Massima distanza raggiunta	10	Resistenza dell'ammasso roccioso	15	Crollo di progetto

Tab. III.8: Parametri per lo studio dei crolli (Cancelli & Crosta, 1993 a).

In tale elenco sono inclusi parametri simili (moto, traiettoria blocchi) o strettamente interdipendenti (impatto e coefficiente di restituzione normale e tangenziale; materiale costituente il versante, rugosità superficie di impatto, vegetazione, materiale lungo superficie di impatto, coefficiente di resistenza). La rugosità della superficie di impatto e la presenza ed il tipo di vegetazione sono stati separati per la più facile definizione della prima e per il molteplice e complesso ruolo giocato dalla seconda (ostacoli flessibili, teneri e di facile abbattimento con effetti di deviazione, variabilità nel tempo: stagioni, incendi, disboscamenti). Allo stesso tempo non si considerano alcuni fattori (effetto combinato della temperatura e della presenza di acqua, cambiamento del grado di saturazione del materiale costituente il versante o il blocco in moto e possibilità di terreno gelato) in grado di influenzare l'impatto poichè già inclusi nei coefficienti di restituzione e nella resistenza.

La matrice delle interazioni e la sua codificazione

I parametri sopra discussi sono importanti sia singolarmente sia perché interagiscono reciprocamente, poiché la variazione di uno dei fattori può causare variazioni negli altri. Le interazioni binarie tra i parametri possono essere valutate più agevolmente utilizzando una disposizione matriciale (Hudson, 1989; Hudson & Harrison, 1992) dove i parametri sono elencati lungo la diagonale e le interazioni nelle altre caselle. Attraverso questa modalità di rappresentazione, un problema può essere analizzato in maniera complessiva e in parallelo, piuttosto che per stadi separati ed in serie (Hudson, 1989). Ciascuna riga passante attraverso un parametro lungo la diagonale principale descrive l'influenza del parametro sul sistema ("causa"), mentre ciascuna colonna descrive l'influenza del sistema sul parametro ("effetto") (Fig. III.23). Le interazioni devono essere lette in senso orario, poiché la matrice può essere asimmetrica (la Fig. III.24 mostra alcuni esempi di interazioni binarie tra parametri).

WEIGHT																CAUSE
2.5	P1	1	3	3	4	3	2	2	3	2	2	1	1	2	4	33
1.74	2	P2	3	4	3	3	3	0	2	0	1	1	3	0	4	29
2.45	2	0	P3	3	2	3	2	2	2	1	1	1	1	3	4	27
2.94	2	0	3	P4	3	3	3	3	1	1	1	1	3	2	4	30
2.63	1	0	2	2	P5	3	1	0	2	1	2	1	0	1	4	20
2.85	1	0	2	3	4	P6	3	3	1	2	0	2	2	2	4	29
2.67	3	0	2	3	3	4	P7	4	1	1	2	1	2	1	2	29
2.23	0	0	2	4	3	3	4	P8	1	1	2	0	1	1	4	26
2.54	4	3	3	3	3	3	3	3	P9	3	3	1	0	3	4	39
1.83	3	2	1	2	2	1	2	2	2	P10	1	0	1	3	2	24
1.78	0	2	2	3	2	2	3	2	0	0	P11	0	1	3	3	23
1.34	2	0	2	2	3	2	1	1	2	1	1	P12	0	2	2	21
1.6	2	0	1	2	3	2	2	1	1	2	1	0	P13	0	3	20
2.09	1	2	2	2	4	3	2	1	0	2	0	0	1	P14	4	24
2.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	P15	0
EFFECT	23	10	28	36	39	35	31	24	18	17	17	9	16	23	48	748

Fig. III.23: Matrice delle interazioni per i crolli (Cancelli & Crosta, 1993a).

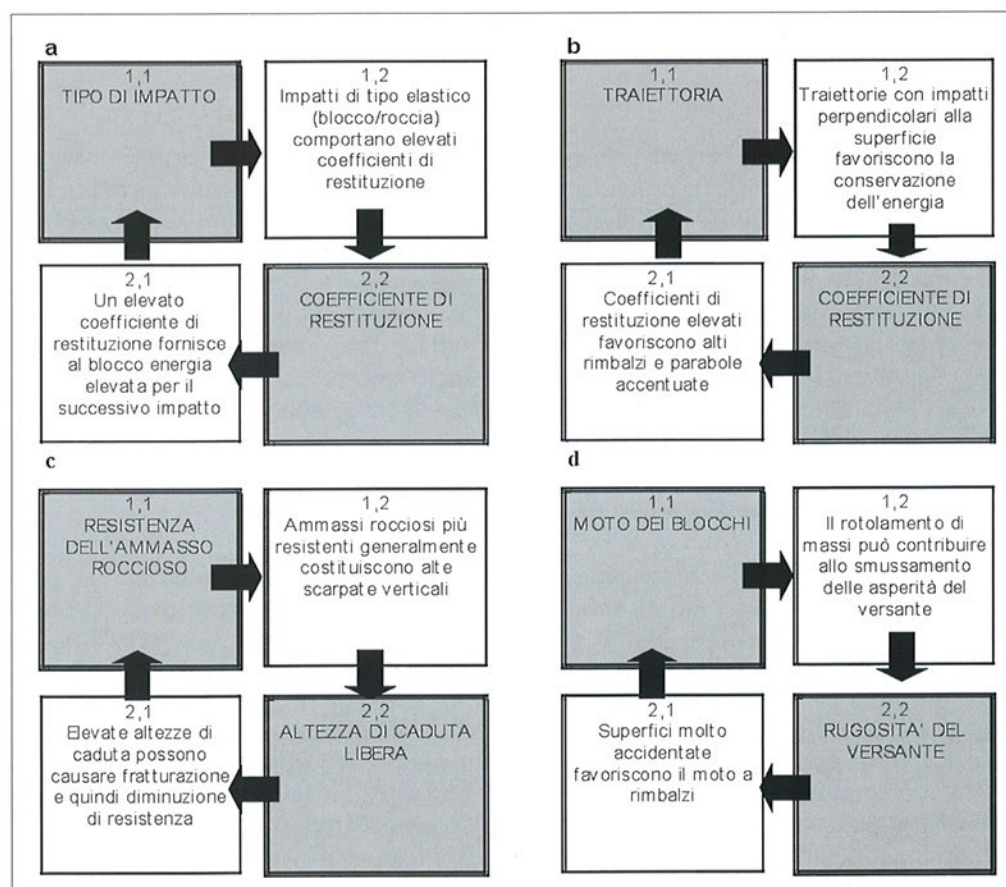


Fig. III.24:
Esempi di
interazioni binarie
tra parametri:
a, b - interazione
elevata;
c, d - interazione
bassa.

Ciascuna riga passante attraverso un parametro descrive l'influenza del parametro sul sistema (denominata la "causa" dovuta a quel parametro), mentre ciascuna colonna descrive l'influenza del sistema sul parametro ed è denominata l'"effetto" sul parametro. Alcuni parametri avranno maggiore effetto sul sistema rispetto ad altri; a loro volta alcuni parametri saranno notevolmente influenzati dal sistema ed altri in misura minore. Per quantificare queste differenti influenze è necessario istituire un metodo di codificazione. Nel presente studio è stata scelta una codificazione semiquantitativa nella quale l'importanza di un'interazione viene espressa con un codice 0 quando è ininfluente e con codici crescenti per diversi livelli di importanza, fino ad un massimo di 4 che indica un'interazione critica (Fig. III.23). I codici sono assegnati considerando solo le interazioni binarie, cercando di depurare l'effetto della concatenazione di influenze di più di due parametri. Inoltre, i codici vengono stabiliti per confronto tenendo presente quali sono le interazioni più efficaci in questo contesto.

Dalla codificazione della matrice, per ogni parametro possono essere calcolati la causa C (somma di tutti i codici nella riga) e l'effetto E (somma di tutti i codici nella colonna) (Fig. III.23)

La somma di causa + effetto per ciascun parametro permette di valutare l'interattività (= C+E) di ciascun parametro. Il valore della somma C+E come discriminante tra i parametri è stato scelto perché qualsiasi altra combinazione algebrica di C ed E che implichi un confronto (ad esempio il rapporto C/E o la differenza C-E) sarebbe priva di un preciso significato e trascurerebbe l'effettivo valore numerico di C e di E. La somma C+E rappresenta l'interattività del parametro e mantiene un suo significato in quanto più il sistema è interattivo più è potenzialmente instabile, poiché una piccola variazione di un parametro può causare significative variazioni nel comportamento del sistema.

Istituzione di classi di valori e relativi codici per ciascun parametro

Una volta definita l'importanza relativa dei parametri, il loro effettivo valore numerico deve essere preso in considerazione. Alcuni parametri vengono descritti qualitativamente, altri quantitativamente e con differenti unità di misura, quindi non è possibile utilizzare gli effettivi valori dei parametri per calcolare l'indice di instabilità, ma devono essere assegnati dei codici a differenti classi di valori.

Per quanto riguarda i crolli si adottano le classi di valori proposte da Cancelli & Crosta (1993a), create suddividendo il campo di valori che ciascun parametro può assumere nella realtà. Ad ogni intervallo o classe viene attribuito un codice (V_i) crescente all'aumentare della criticità del fenomeno (4 classi codificate da 0 a 3) (Tab. III.9).

CODICE	PARAMETRO							
	1 DIMENSIONE BLOCCO	2 GEOMETRIA VERSANTE	3 MOTO BLOCCO	4 TRAJETTORIA BLOCCO	5 MAX DISTANZA / MAX DISTANZA AMMISSIBILE	6 VELOCITA' Max velocità nell'area in esame	7 IMPATTO	8 COEFFICIENTE RESITUZIONE
0	< 0.1 m ³	Pendenza debole > 25°	Servola- mento	Servolamento	< 0.3	< 5 m/s	Plastico (blocco/ terreno)	< 0.1
1	0.1 - 0.5 m ³	Rapido, canali	Rotolam / Servolam	Rotolamento / Servolamento	0.3 - 0.7	5 - 10 m/s	Elasto-plastico (blocco/ detrito)	0.1 - 0.3
2	0.5 - 2.0 m ³	Molto rapido	Rotola- mento	Rotolamento e parabole tese	0.7 - 1	10 - 20 m/s	Elasto-plastico (blocco/ detrit + roccia)	0.3 - 0.5
3	> 2.0 m ³	Rapido, effetti 3D	Rimbazzo	Parabole alte ed effetti 3D	> 1	> 20 m/s	Elastico (blocco/roccia)	0.5 - 1

CODICE	PARAMETRO						
	9 MATERIALE VERSANTE % prevalente lungo il profilo	10 RESISTENZA AMMASSO ROCCIOSO (RMR)	11 RUGOSITA' SUPERFICIALE in base alla velocità in base all'altezza di rimbalzo	12 VEGETAZIONE	13 ALTEZZA DI CADUTA LIBERA	14 COEFFICIENTE DI RESISTENZA (coefficiente di attrito equivalente)	15 CROLLO DI PROGETTO
0	Terrano	classe I - II	S > 4 raggio del blocco (R)	< 0.5 R	Bosco fitto - grandi alberi	> 1.0	Esatto (simulazione calcolatore)
1	Detrito fine o materiale sciolto	Classe II - IV	4 - 2 R	0.5 - 1.5 R	Alberi e cespugli - ran alberi di grandi dimensioni	0.58 - 1.0	Incerto (se nessun evento progresso) (inst linea di energia)
2	Detrito grossolano o mat- denso, roccia debole	Classe IV - V	2 - 1 R	1.5 - 3.0 R	Cespugli e piccoli alberi	0.2 - 0.58	Variabilità di 2 o più parametri
3	Roccia intatta	Condizioni molto sfavorevoli (per discontinuità, volumi, ecc.)	< 1 R	> 3.0 R	Rada o assente	< 0.2	Estrem complesso (nessun metodo di calcolo)

Tab. III.9:
Attribuzione
di codici a classi
di valori dei
parametri
(Cancelli & Crosta,
1993a).

Rockfall Intensity Index

L'interattività di ciascun parametro è chiaramente il fattore che ne determina il peso nel sistema. Il valore (C+E) di ciascun parametro viene quindi, espresso in percentuale sul totale e scalato in modo che, per un valore massimo possibile dei codici pari a 3 (per il caso in esame), il massimo valore dell'indice sia pari a 100:

$$W_i = \text{Peso del parametro} = \frac{(C + E)}{(\Sigma C + \Sigma E)} \quad (\text{III-8})$$

Stabilito quindi il peso di ciascun parametro e normalizzato rispetto alla sommatoria di cause ed effetti, Cancelli & Crosta (1993 a, b, c) hanno calcolato un indice di intensità dei fenomeni di crollo (Rockfall Intensity Index: R.I.I.) utilizzando il codice relativo all'intervallo di valori dei parametri (V_i) valido per il caso in esame:

$$\text{R.I.I.} = \Sigma_i V_i * W_i \quad (\text{III-9})$$

L'indice intensità di crollo (R.I.I.) dà un'indicazione sul livello di intensità (magnitudo o severità) del fenomeno di crollo, basato su criteri geometrici e meccanici senza riferimento alla valutazione della pericolosità e del rischio.

III.2.3.3 Valutazione della pericolosità e del rischio

Il Rockfall Intensity Index è un valore legato alla suscettività dell'area in esame a essere investita da crolli. Per ottenere un valore associabile direttamente alla pericolosità occorre prendere in considerazione il numero di eventi pregressi o comunque la probabilità di accadimento di un fenomeno di crollo nell'area in esame. Cancelli & Crosta (1993 a) propongono dei codici per i quali l'indice R.I.I. viene moltiplicato per ottenere la pericolosità a seconda della probabilità di accadimento del crollo (Tab. III.10). Analogamente, per la valutazione del rischio specifico, il valore della pericolosità andrà moltiplicato per un codice relativo all'uso del territorio, differente a seconda che l'area in esame sia oggetto di una pianificazione oppure che vi siano strutture e infrastrutture già realizzate (Tab. III.10). Infine, il rischio specifico verrà moltiplicato per un ultimo codice per ricavare il rischio residuo a seconda degli interventi di mitigazione già realizzati (Tab. III.11). La pericolosità (e conseguentemente anche il rischio specifico ed il rischio residuo) può essere calcolata a differenti distanze dalla parete rocciosa, espresse come rapporto (L) tra la distanza presa in considerazione e la distanza massima ammissibile (ad esempio tra la parete ed il primo elemento a rischio oppure tra la parete ed un elemento a rischio particolarmente vulnerabile o di elevato valore).

CODICE	PERICOLOSITA'	RISCHIO	
	PROBABILITA' DI ACCADIMENTO	USO DEL SUOLO (PIANIFICAZIONE)	USO DEL SUOLO (MITIGAZIONE)
0	Nessuna	Estremamente sicuro (edifici pubblici, impianti nucleari, autostrade, ecc.)	Aree desertiche non utilizzate
0,2	Molto bassa	Insedimenti urbani, impianti industriali	Colture poco pregiate, mulattiere, transito saltuario, ecc.
0,4	Bassa	Insedimenti stagionali, impianti industriali, aree ricreative	Colture pregiate, impianti automatici, ecc.
0,6	Media	Colture pregiate, impianti automatici, ecc.	Insedimenti stagionali, impianti industriali, aree ricreative
0,8	Alta	Colture poco pregiate, mulattiere, transito saltuario, ecc.	Insedimenti urbani, impianti industriali
1	Estremamente alta	Aree desertiche non utilizzabili	Estremamente sicuro (edifici pubblici, impianti nucleari, autostrade, ecc.)

Tab. III.10: Codici per la valutazione della pericolosità e del rischio specifico (Cancelli & Crosta, 1993a).

Tab. III.11: Codici per la valutazione del rischio residuo (Cancelli & Crosta, 1993a).

CODICE	RISCHIO RESIDUO	
	OPERE DI DIFESA ATTIVE	OPERE DI DIFESA PASSIVE
1	Nessuna	Nessuna
0,8	Bonifica e disgaggio	Reti
0,6	Disgaggio e riprofilatura	Barriere a basso assorbimento, poche ad elevato assorbim.
0,4	Ancoraggi, shotcrete e sigillatura	Più ordini barriere elevato assorbimento, valli
0,2	Chiodatura, ancoraggi e shotcrete	Reti elastiche e valli accoppiati
0	Riprofilatura, ancoraggi e shotcrete	Combinazioni multiple di barriere rilevati, valli e gallerie

III.2.3.4 Applicazione della metodologia: il sito Monte San Martino (Lecco)

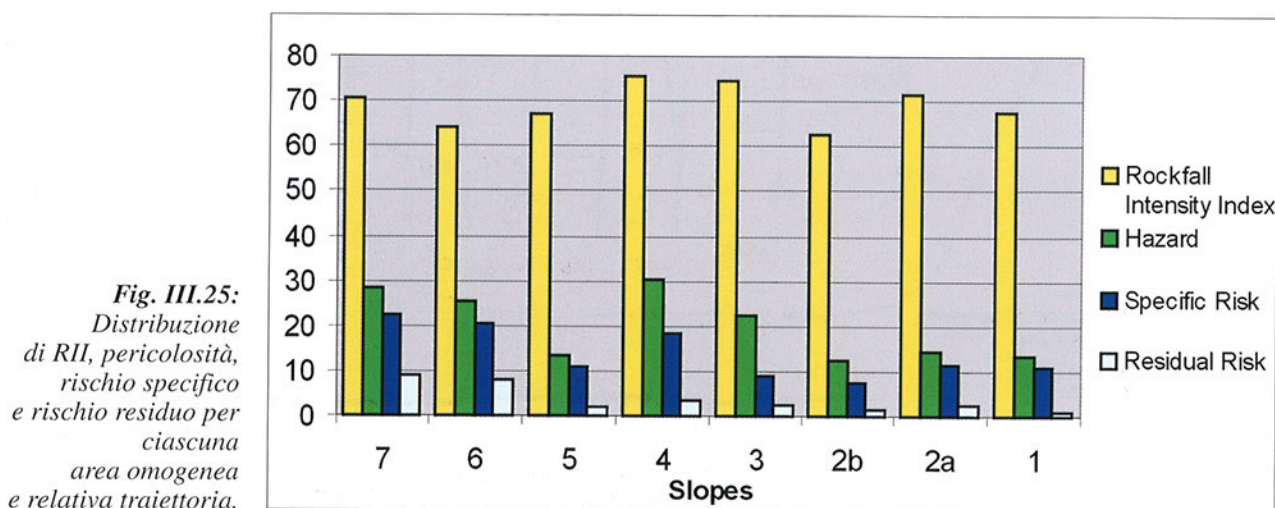
Le caratteristiche geologiche e geologico-tecniche degli ammassi rocciosi costituenti il sito studiato sono descritte nella relativa "fiche d'identità" alla fine del paragrafo III.2.2.. Per ogni area omogenea e relativa traiettoria di caduta corrispondente sono stati calcolati Rockfall Intensity Index (Tab. III.12), pericolosità rischio specifico e rischio residuo (Tab. III.13) nel punto terminale di ciascuna traiettoria (distanza massima ammissibile)(Fig. III.25). È stata inoltre calcolata la pericolosità a diverse distanze lungo le traiettorie rispetto alla distanza massima ammissibile (Tab. III.14 e Fig. III.26). La rappresentazione in pianta dei valori di pericolosità lungo le differenti traiettorie è mostrato in Fig. III.27, mentre la Fig. III.28 mostra un'interpolazione areale dei risultati.

AREE OMOGENEE	PARAMETRI															Ril
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	2	1	3	3	3	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	67,63
2a	2	2	3	3	2	3	2	2	2	1	3	1	2	2	1	71,37
2b	2	2	3	2	2	1	2	2	2	1	3	1	2	2	1	62,73
3	2	3	3	3	3	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	74,59
4	2	3	3	3	3	3	2	2	2	1	3	1	2	2	1	75,74
5	2	3	3	2	2	2	2	2	2	1	3	1	2	2	1	67,32
6	1	2	3	2	3	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	63,93
7	1	2	3	3	3	2	2	2	2	2	3	1	2	2	1	70,48
Pesi dei parametri	2,5	1,74	2,45	2,94	2,63	2,85	2,67	2,23	2,54	1,83	1,78	1,34	1,6	2,09	2,14	

Tab. III.12: Rockfall Intensity Index per ciascuna area omogenea e relativa traiettoria nell'area di studio.

Aree omogenee	Ril	Codice pericolosità	Pericolosità	Codice rischio specifico	Rischio specifico	Codice rischio residuo	Rischio residuo
1	67,63	0,2	13,526	0,8	10,8208	0,1	1,08208
2a	71,37	0,2	14,274	0,8	11,4192	0,2	2,28384
2b	62,73	0,2	12,546	0,6	7,5276	0,2	1,50552
3	74,59	0,3	22,377	0,6	13,4262	0,2	2,68524
4	75,74	0,4	30,296	0,6	18,1776	0,2	3,63552
5	67,32	0,2	13,464	0,8	10,7712	0,2	2,15424
6	63,93	0,4	25,572	0,8	20,4576	0,4	8,18304
7	70,48	0,4	28,192	0,8	22,5536	0,4	9,02144

Tab. III.13: Pericolosità, rischio specifico e rischio residuo per ciascuna area omogenea e relativa traiettoria.



Aree omogenee	RII	L=1-0.7		L=0.7-0.3		L<=0.3	
		Codice pericolosità	Pericolosità	Codice pericolosità	Pericolosità	Codice pericolosità	Pericolosità
1	67,63	0,4	27,052	0,8	54,104	1	67,63
2a	71,37	0,2	14,274	0,8	57,096	1	71,37
2b	62,73	0,4	25,092	0,6	37,638	0,8	50,184
3	74,59	0,4	29,836	0,6	44,754	1	74,59
4	75,74	0,8	60,592	1	75,74	1	75,74
5	67,32	0,6	40,392	0,8	53,856	1	67,32
6	63,93	0,4	25,572	0,6	38,358	1	63,93
7	70,48	0,4	28,192	0,6	42,288	0,8	56,384

Tab. III.14: Pericolosità per ogni area omogenea a differenti distanze dalla parete espresse in frazioni (L) della distanza massima ammissibile (L=1).

Fig. III.26: Distribuzione della pericolosità da crollo per ciascuna area omogenea e per differenti distanze dalla parete espresse come frazioni della distanza massima ammissibile (L=1).

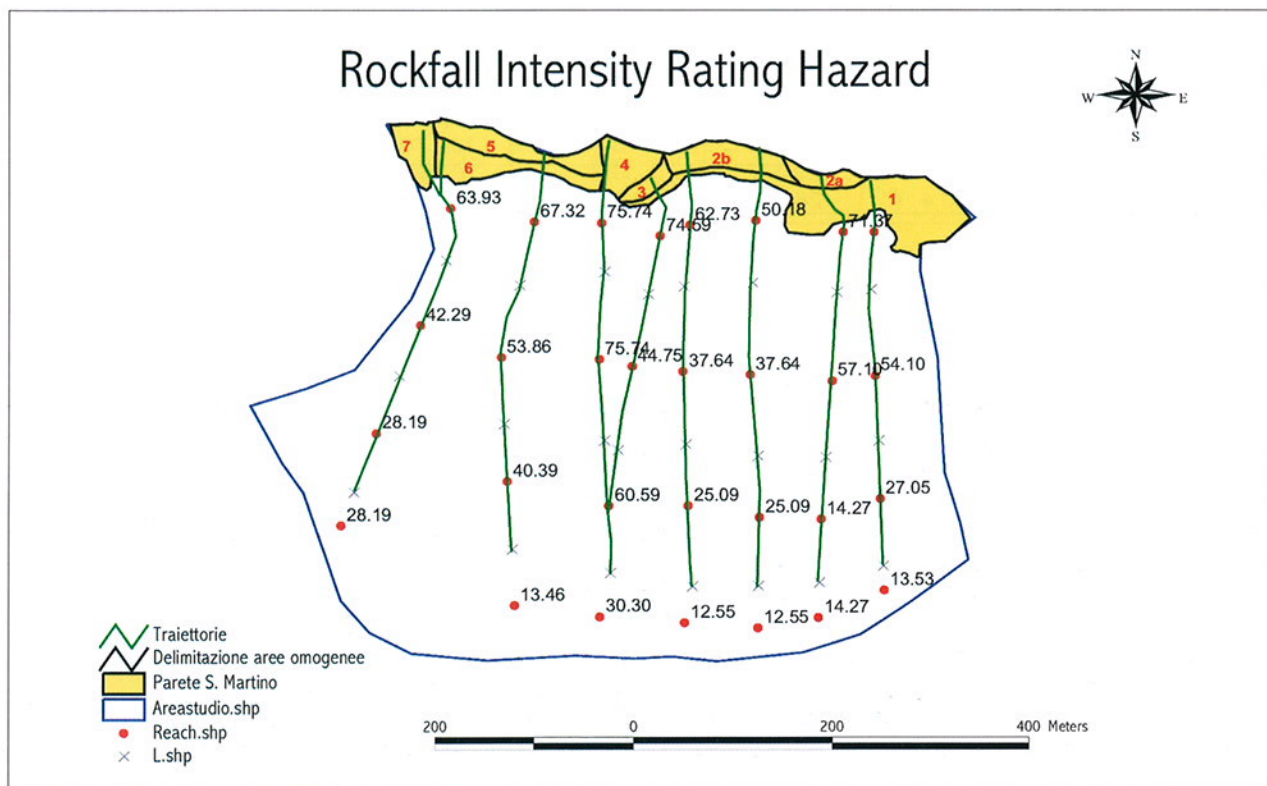
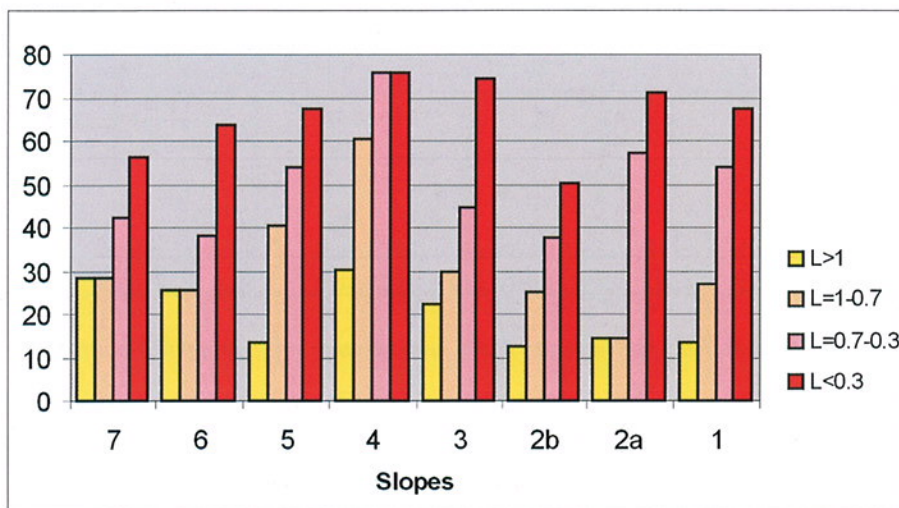


Fig. III.27: Pericolosità da crollo calcolata a differenti distanze dalla parete lungo le diverse traiettorie.

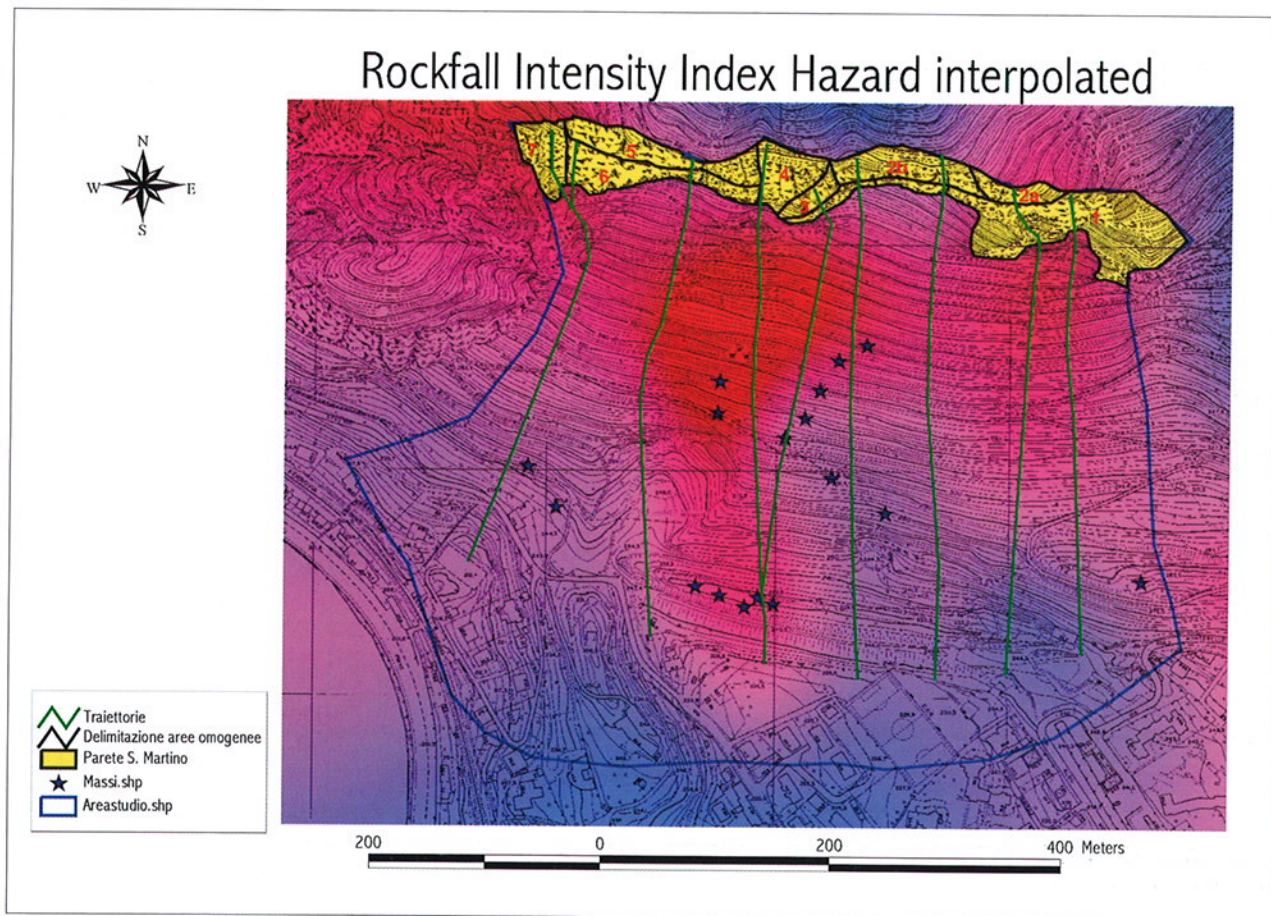


Fig. III.28: Interpolazione dei valori di pericolosità da crollo calcolati.

III.2.3.5 Metodo speditivo per la valutazione della suscettività ai crolli

In parallelo al Rockfall Intensity Index è stato anche condotto un differente tipo di analisi, più speditivo: un certo numero di parametri, facilmente riconoscibili sul terreno, sono stati giudicati indicatori significativi per prevedere l'intensità dei fenomeni di crollo. La registrazione della loro presenza o assenza in ciascuna stazione di misura ha consentito la definizione di un Rockfall Intensity Rating (RIR) (Tab. III.15). Questo indice non rappresenta una probabilità e quindi una pericolosità, ma va inteso semplicemente come un indicatore della severità di un possibile fenomeno di crollo.

La procedura qui sviluppata è ispirata al metodo utilizzato per la prima volta da Nathanail et al. (1992), per creare un sistema di "allarme" per segnalare l'instaurarsi di condizioni geologiche critiche per la stabilità di una miniera di carbone a cielo aperto. Successivamente il metodo è stato sviluppato da Mazzoccola (1992 a) e Mazzoccola & Hudson (1996) per valutare l'instabilità di versante a grande scala, e infine da Mazzoccola et al. (1998) per valutare l'attività di versanti soggetti a deformazioni gravitative profonde.

Non tutti i *rockfall intensity indicators* di Tab. III.15 hanno la stessa importanza e quindi a ciascuno di essi viene attribuito un peso variabile da 1=debole a 4=forte.

Sul terreno viene stabilito se gli indicatori sono attivi o meno (1=attivo e 0=non attivo). Per alcuni di essi questo viene giudicato semplicemente in base alla loro presenza o assenza (ad esempio trincee, faglie, blocchi ruotati); altri diventano "operativi" solo quando superano un certo valore soglia (Tab. III.15). Il passo successivo consiste nella somma dei pesi degli indicatori "attivati" per ciascun versante, per arrivare ad un Rockfall Intensity Rating preliminare.

Si è voluto poi tenere in considerazione la possibile interazione tra alcuni indicatori che, se presenti

contemporaneamente, creerebbero una situazione critica. Questi indicatori sono indicati con * in Tab. III.15 e la loro presenza contemporanea porta a moltiplicare per 1.25 il RIR preliminare, per arrivare ad un Rockfall Intensity Rating (RIR) finale (Tab. III.16 e Fig. III.29) che può anche essere espresso in percentuale sul valore massimo ottenibile se tutti gli indicatori fossero “attivi” (RIR %).

INDICATORI DELL' 'INTENSITA' DI CROLLO	SOGLIA	PESO INDICATORE **	AREE OMOGENEE								
			1	2a	2b	3	4	5	6	7	
AREA DI ORIGINE DEI CROLLI Caratteristiche morfologiche											
Altezza della parete	>200m	1	0	0	1	1	1	1	0	0	
Inclinazione della parete	> 45°	2	1	1	1	1	1	1	1	1	
Orientazione della parete	Sud	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Trincee parallele alla direzione della parete		1	0	0	1	1	1	1	0	1	
AREA DI ORIGINE DEI CROLLI struttura dell' ammasso roccioso											
Fratture aperte	>1m	3	0	1	0	1	0	1	0	1	
Discontinuità persistenti	100%	2	0	0	0	1	1	0	1	1	
Tipi di meccanismo di instabilità potenziali*	> 3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	
Numero di potenziali meccanismi di instabilità*	>5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	
Volume modale dei blocchi*	>2m³	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
Orizzonti o riempimenti a debole resistenza		2	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fasce sottili di roccia intensamente frantumata	spessore<0.5m	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
Cavità carsiche		1	0	0	0	0	1	0	0	0	
Zone milonitiche o cataclastiche		1	0	0	0	0	1	0	0	0	
Faglie		1	0	0	0	0	1	0	0	0	
Segni di avvenuto distacco di blocchi*	>5	4	1	1	1	0	1	1	0	0	
Blocchi ruotati o ribassati		2	0	0	1	0	0	1	0	1	
AREA DI ORIGINE DEI CROLLI idrologia e idrogeologia											
Erosione torrentizia laterale		1	0	0	0	0	0	0	0	0	
Erosione torrentizia al piede		1	0	0	0	0	0	0	0	0	
Zone di infiltrazione idrica		2	0	0	1	1	1	1	0	1	
Sorgenti		2	0	0	0	0	0	0	0	0	
AREA DI TRANSITO DEI BLOCCHI											
Inclinazione	>35°	2	0	0	0	0	0	0	1	1	
Gradini rocciosi		3	0	1	0	1	1	0	1	1	
Detrito di falda senza vegetazione		3	1	1	1	1	1	1	1	1	
Detrito/ammasso roccioso – dimensione blocchi	>1	4	0	0	0	1	0	0	0	0	
Percorsi preferenziali		3	0	0	0	0	0	0	1	1	
Frequenza di crolli maggiori di 2m³ di volume*	>1/2years	4	0	0	0	0	0	0	0	0	
Massima distanza raggiunta*	>dist. ammiss.	4	1	0	0	1	1	0	1	1	
Volume modale dei blocchi	>2m³	3	0	0	0	0	0	0	0	0	
ROCKFALL INTENSITY RATING		64	14	16	16	26	26	19	20	28	
ROCKFALL INTENSITY RATING (RIR)	fattore										
Dopo la correzione per le interazioni critiche***	1.25	80	14	16	16	26	26	19	20	28	
ROCKFALL INTENSITY RATING (RIR %)		100	17	20	20	32	32	23	25	35	

Tab. III.15: Indicatori dell'intensità di crollo e calcolo del Rockfall Intensity Rating. **da 1=debole a 4=elevato - ***il Rockfall Rating viene moltiplicato per 1.25 se tutti gli indicatori marcati da * sono “attivi”.

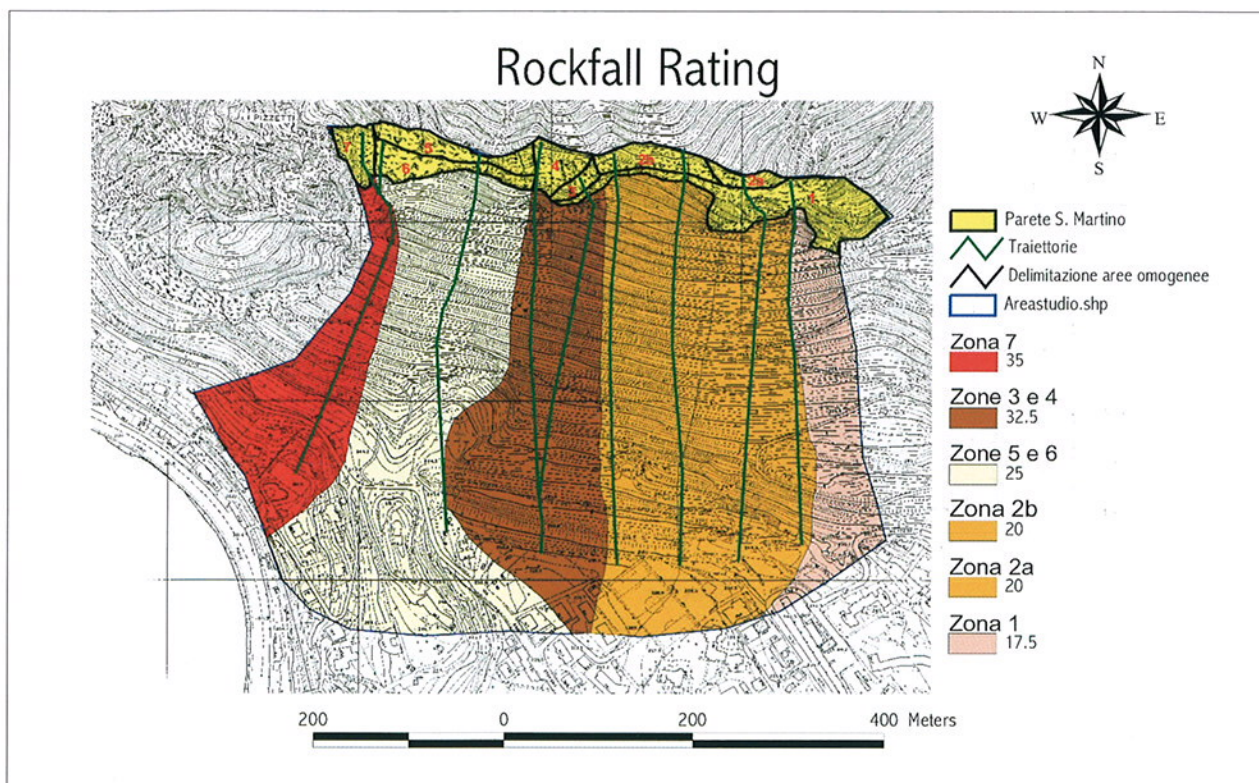


Fig. III.29: Risultati dell'applicazione del metodo del Rockfall Intensity Rating all'area di studio.

Al fine di prendere in considerazione l'effetto mitigante delle opere di protezione eventualmente presenti è stata creata una nuova tabella (Tab. III.16) in cui è stato calcolato un indice di efficacia delle opere di protezione (Protection Measures Rating = PMR) in ciascuna area omogenea e relativa traiettoria di caduta massi. Anche in questo caso un indice preliminare viene moltiplicato per un fattore maggiorativo (in questo caso pari a 2.5) se opere di protezione particolarmente efficaci, quali valli e rilevati, sono presenti. A ciascuna classe di valori di PRM viene quindi associato un fattore di riduzione per il quale il RIR viene moltiplicato e in particolare per $PMR < 5 = 0.8$; $5 < PMR < 10 = 0.6$; $10 < PMR < 15 = 0.4$; $PMR > 15 = 0.2$. In questo modo l'indice di intensità di crollo RIR viene ridotto in funzione dell'efficacia delle opere di protezione presenti (Tab. III.16 e Fig. III.30 e III.31).

OPERE DI PROTEZIONE	PESO INDICATORE	AREE OMOGENEE							
		1	2a	2b	3	4	5	6	7
Disgaggio e riprofilatura	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Chiodi, ancoraggi e shotcrete	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Reti singole	1	0	1	0	0	0	0	0	0
File di reti elastiche	2	1	0	0	0	0	0	1	1
Valli e rilevati	4	1	1	1	1	1	1	0	0
PROTECTION MEASURES RATING	10	6	5	4	4	4	4	2	2
PROTECTION MEASURES RATING (PMR)	fattore								
dopo la correzione per valli e rilevati*	2,5	25	15	12,5	10	10	10	2	2
Reduction factor due to protection measures**			0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,8	0,8
ROCKFALL INTENSITY RATING CON RIDUZIONE PER OPERE DI PROTEZIONE			3,5	8	8	13	13	9,5	28

Tab. III.16 : Protection Measures Rating e RIR ridotto in funzione delle opere di protezione presenti.

*il PMR preliminare viene moltiplicato per un fattore 2.5 se valli e rilevati sono presenti - **il RIR viene ridotto di un fattore dipendente dal PMR: $(PMR < 5) = 0.8$; $(5 < PMR < 10) = 0.6$; $(10 < PMR < 15) = 0.4$; $(PMR > 15) = 0.2$.

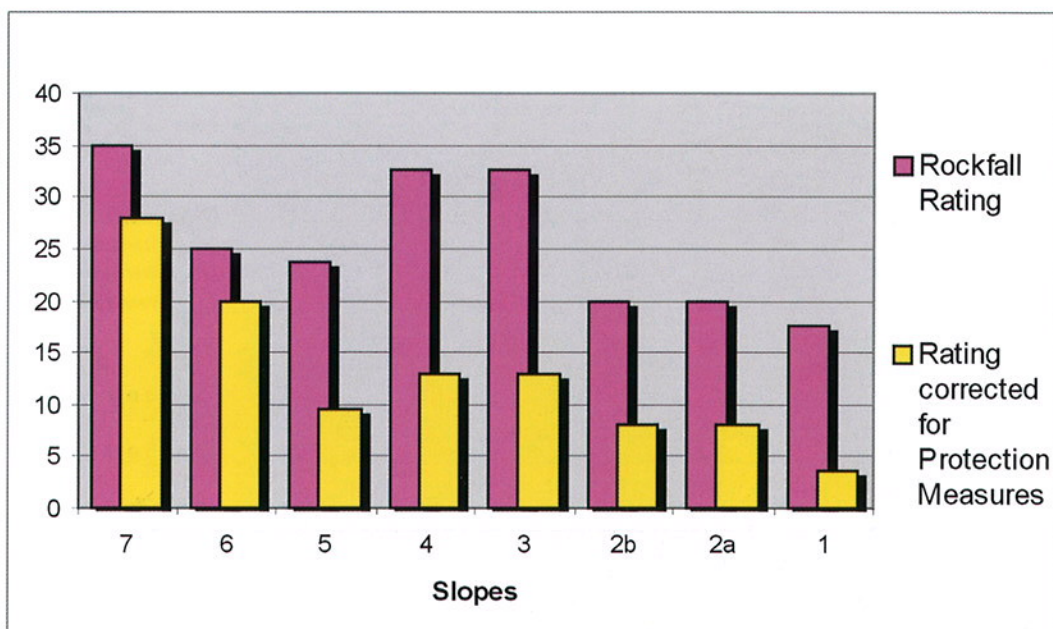


Fig. III.30: Distribuzione del Rockfall Intensity Rating e del Rating ridotto in funzione delle opere di protezione per le diverse aree omogenee e relative traiettorie nell'area di studio.

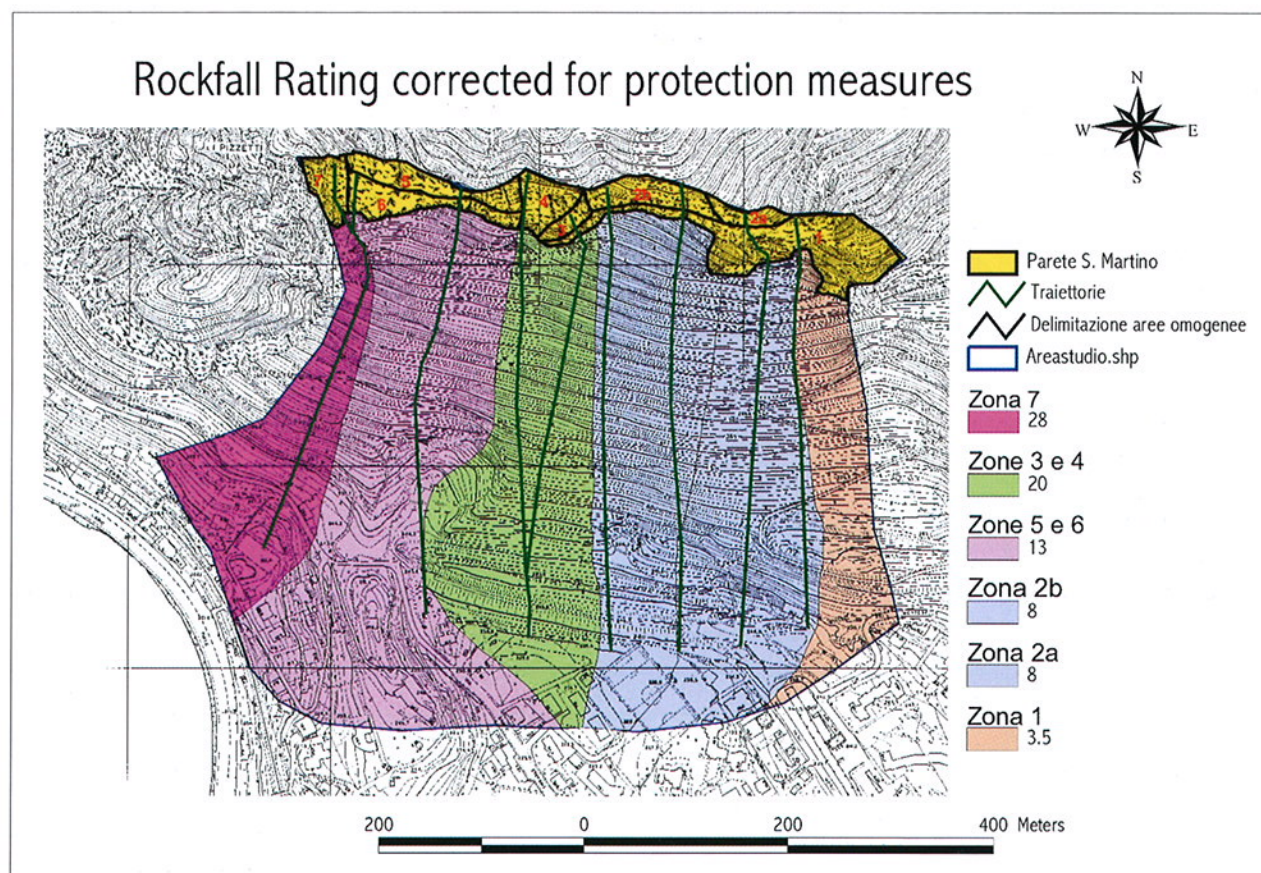


Fig. III.31: Rappresentazione del Rockfall Intensity Rating corretto in funzione delle opere di protezione per l'area di studio.

BIBLIOGRAFIA

- ARNOLD P. (1989) - Rock mass classifications for the design of rock slopes - MSc. Thesis, Imperial College of Science, Technology and Medicine, London.
- BIENIAWSKI Z.T. (1979) - The geomechanics classifications in rock engineering design. Proc. IVth Int. Cong. Rock Mech., Montreaux, 2, 41-48.
- CANCELLI A. & CROSTA G. (1993) a - Hazard and risk assessment in rockfall prone areas. Risk and reliability in ground engineering - London, Thomas Telford.
- CANCELLI A. & CROSTA G. (1993) b - Rockfall hazard and risk mapping - Seventh International Conference and Field Workshop on Landslides in Czech and Slovak Republics, Balkema.
- CANCELLI A. & CROSTA G. (1993) c - Rockfall hazard in Italy: assessment, mitigation and control - Environment management, geo-water and engineering aspects, Wollongong, Balkema, key lecture.
- CROSTA G. & LOCATELLI C. (1999) - Approccio alla valutazione del rischio da frane per crollo. Studi Geografici e Geologici in onore di Severino Belloni - Orombelli. Genova, Glauco Brigati: 259-286.
- HALL A.D. & FAGEN R.E. (1956) - Definition of system - Gen. Syst. Yearbook, 1, 18-28.
- HUDSON J.A. (1989) - Rock mechanics principles in engineering practice - CIRIA Ground Engineering Report: Underground Construction, 72 pp.
- HUDSON J.A. (1991) - Atlas of rock engineering mechanisms: underground excavations - Int. J. Rock Mech. Min. & Geomech. Abstr., 28, 6, 523-26.
- HUDSON J.A. (1992) a - Atlas of rock engineering mechanisms. Part 2 - Slopes - Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 29, 2, 157-59.
- HUDSON J.A. (1992) b - Rock Engineering Systems: Theory & Practice - High Plains Press (JAH), 185 pp.
- HUDSON J.A. ET AL. (1991) - Rock Engineering Mechanisms Information Technology (REMIT): Part I - The Basic Method, Part II - Illustrative Case Examples - International Symposium of Rock Mechanics - Aachim, 1113-1119.
- HUDSON J.A. & HARRISON J.H. (1992) a - A new approach to studying complete rock engineering problems - Q. J. Eng. Geol., 25, 93-105.
- MATHESON G.C. (1983) - Rock stability assessment in preliminary site investigations - graphical methods. Transport and Road Research Laboratory, Report 1039, Crowthorne, Berkshire.
- MAZZOCCOLA D. (1992) a - "A new method for rock mass characterization for evaluating large scale slope instability - with an example application in the Italian Alps MSc Thesis in Engineering Rock Mechanics, Department of Mineral Resources Engineering, Imperial College of Science, Technology and Medicine, London, UK.
- MAZZOCCOLA D. (1992) b - Una nuova metodologia classificativa dell'ammasso roccioso per una valutazione preliminare dell'instabilità di versante a grande scala - Atti II Conv. Giovani Ricercatori in Geologia Applicata, Viterbo, in stampa su Geologica Romana, 30.
- MAZZOCCOLA D. & HUDSON J.A. (1996) - A new rock mass characterisation method for indicating large scale instability with an example application in the Italian Alps - Quarterly Journal of Engineering Geology, 29, 37-56.
- MAZZOCCOLA D., LAFFI R., SCIESA E. & PRESBITERO M. (1998) - State of activity evaluation for landslides in deep-seated slope deformation areas - Proceedings of the 8th Congress of the International Association of Engineering Geologists, Vancouver, 21-25 September 1998, Balkema, 2, 1209-1216.
- NATHANAIL C.I. ET AL. (1992) - A stability hazard indicator system for slope failures in heterogeneous strata - EUROCK '92 Int. ISRM Symp. on Rock Characterization, 14-17 September 1992, Chester, U.K.
- ROMANA M. (1985) - SMR classification. Int. Symposium of Rock Mechanics, Aachen, 955-960.
- SCAVIA C., BARLA G. & VAI L. (1988) - Analisi di tipo probabilistico. Il ciclo di conferenze di Meccanica e Ingegneria delle Rocce: Pendii naturali e fronti di scavo, Torino, 12, 27 pp.
- STRAHLER A.N. (1952) - Dynamic basis of geomorphology - Bull. Geol. Soc. Am., 63, 923-38.
- STRAHLER A.N. (1980) - Systems theory in physical geology - Phys. Geog., 1, 1-27.
- STRAHLER A.N. & STRAHLER A.H. (1973) - Environmental geoscience: interaction between natural systems and man - Santa Barbara, CA, Hamilton.

- THORN C.E. (1988) - Introduction to theoretical geomorphology - Unwin Hyman.
- VON BERTALANFFY L. (1950) - An outline of General System Theory - Br. J. Phil. Sci., 1, 134-65.
- VON BERTALANFFY L. (1956) - General System Theory - Gen. Syst., 1, 1-10.
- VON BERTALANFFY L. (1962) - General System Theory: a critical review - Gen. Syst., 7, 1-20.
- YONG J. (1995) - Formalizing the systems approach to rock engineering - PhD Thesis Department of Mineral Resources Engineering, Imperial College, London, UK.

III.2.4. La méthodologie LPC (réseau des Laboratoires des Ponts et Chaussées)

Le présent document est un résumé succinct du guide actuellement en cours de finalisation dans le réseau des LPC. Ce guide a pour objectif de formaliser les pratiques progressivement mises au point et affirmées à travers, les nombreuses études produites depuis plus de 20 ans tant pour les grands Services opérationnels de l'Etat que pour les collectivités locales.

Les grandes lignes du document sont présentées ci-après, en insistant notamment sur les actions préalables à la qualification des aléas. C'est l'ensemble de la méthodologie d'étude des aléas rocheux qui est décrite, ceci recouvrant bien sûr l'estimation de la dangerosité.

Afin d'éviter toute ambiguïté dans la lecture de ce qui suit, nous signalons que les termes spécifiques utilisés sont issus d'une longue pratique au sein du réseau des LPC et de leur ministère de tutelle, ceci pouvant impliquer quelques différences par rapport à la nomenclature proposée dans le glossaire INTERREG.

L'exemple présenté au fil du texte est tiré d'une étude spécifique réalisée en Tarentaise (Savoie).

III.2.4.1 Définition de la notion d'étude spécifique

Il s'agit d'une recherche détaillée et exhaustive sur un site délimité des aléas d'éboulements rocheux présents et des mesures de sécurisation les mieux adaptées (induit la prise en compte de la vulnérabilité). Ici, seuls sont abordés les aspects détection, qualification et affichage des aléas, à l'exclusion de la définition et du dimensionnement des parades.

La démarche est en général initialisée, soit à l'occasion d'incidents de chute de blocs isolés ou récurrents, soit à l'occasion de travaux d'amélioration de la géométrie d'un itinéraire en site montagneux, ou encore dans le cadre de travaux neufs comportant des talus rocheux de grande hauteur.

Les études spécifiques sont plus particulièrement orientées vers la réduction du risque par différence avec les études cartographiques destinées préférentiellement à l'affichage du risque, au zonage réglementaire ou se situant à un niveau préliminaire.

III.2.4.2 Définition du cahier des charges d'une étude spécifique

Il est indispensable de fixer un cadre préalable à l'étude spécifique, ceci nécessite en général une visite préliminaire de cadrage sur le terrain avec le service demandeur de l'étude :

Objectif de l'étude

Le niveau de détail fourni par l'étude est à afficher clairement, par exemple on pourra a priori ne pas s'intéresser aux chutes de pierres si la végétation des pentes inférieures est abondante. A l'inverse, les chutes de pierres ou petits blocs pourront faire l'objet d'une action spécifique dans le cas de la mise à niveau ou de la vérification d'un système de détection type nappe de fils SNCF.

Délimitation de la zone d'étude

À défaut d'être connues ou prédéterminées, les limites devront être précisées dans la proposition d'étude.

Détermination de la période d'étude

Il est important de spécifier la durée et le moment dans l'année où sera réalisée l'étude pour éviter notamment la période de végétation abondante ou la neige.

Teneur de l'étude

La teneur de l'étude est à préciser clairement en fonction des objectifs

- recherche et exploitation des archives
- utilisation des cartes et documents existants
- travaux photopographiques spécifiques (définition et programmation de la sous traitance)
- travaux de terrain

- simulations trajectographiques
- synthèse
- documents à produire

Inventaire des documents nécessaires

Ce point de la démarche vise à s'assurer, dès la phase de commande de l'étude, d'avoir à disposition en temps utile les outils de représentation topographique et géométrique du terrain. Sont plus particulièrement concernés : les achats de cartes, agrandissements, photos aériennes, levés topo spécifiques, couvertures photo spécifiques, etc.

III.2.4.3 Analyse d'ensemble

Cette phase concerne la description d'ensemble du site d'investigation à travers la prise en compte des rubriques suivantes, de manière non exhaustive et en s'adaptant au contexte :

- Les travaux phototopographiques préalables : choix des supports topographiques, couvertures photographiques (verticale, oblique, plan de vol), plan photogrammétrique, levés au sol ;
- L'approche morphologique ;
- L'approche géologique ;
- L'approche structurale ;
- L'approche hydrologique, hydrogéologique et climatique ;
- Les données relatives au couvert végétal ;
- L'approche historique ;
- Les mécanismes d'évolution (à l'échelle de l'ensemble du site).

Après cette approche préliminaire générale, la **zone d'étude** peut être **partagée en secteurs homogènes**, essentiellement sur la base des critères topographiques, morphologiques, pétrographiques et structuraux. Ce premier zonage est très important en ce sens qu'il va **implicitement regrouper des populations d'aléas à caractéristiques voisines**, en préparation à l'étape d'identification et de caractérisation des compartiments de stabilité douteuse qui fait l'objet du paragraphe suivant.

III.2.4.4 Identification et caractérisation des instabilités potentielles

Définition et objectif

Cette étape de la démarche vise à **individualiser** et à **désigner**, puis à **caractériser** à l'intérieur de chaque secteur défini à l'étape précédente les **sous ensembles rocheux** ou "**compartiments**" susceptibles de présenter un risque d'éboulement ou de remise en mouvement (Fig. III.32).

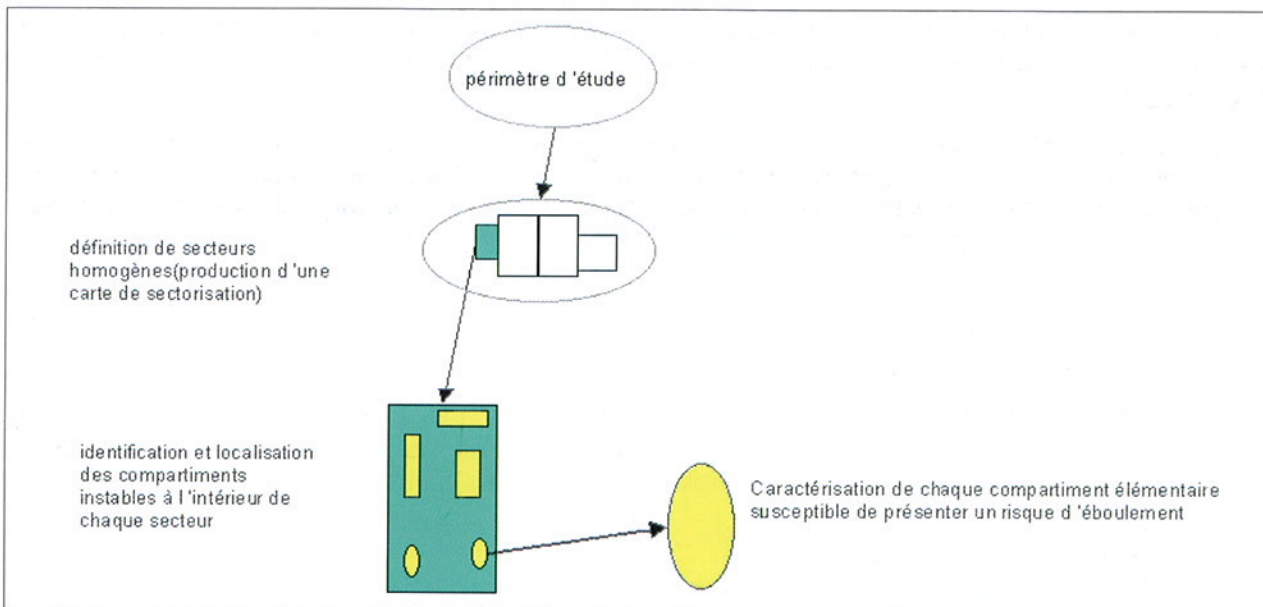


Fig III.32 : Synoptique de la démarche globale de recherche et caractérisation des aléas rocheux.

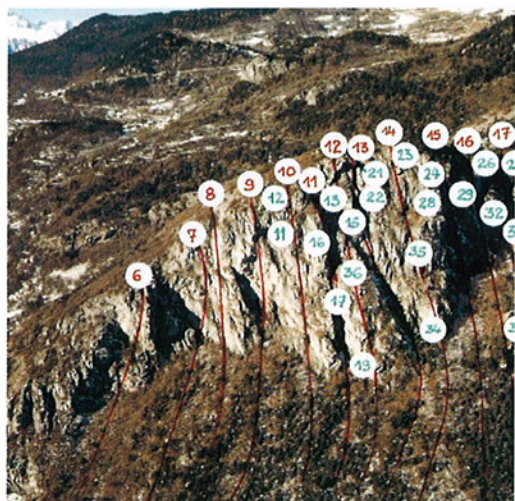


Fig III.33 : Vallée de la Tarentaise - Savoie - Secteur d'étude n°2 - "Vue d'ensemble et repérage des compartiments" : en vert, compartiments et ensembles à caractériser, en rouge, traces des trajectoires déterminées à partir de l'analyse de la topographie sur le plan du site au 1/2000^e et pouvant le cas échéant être utilisées pour effectuer des simulations de propagation.



Fig III.34 : Vallée de la Tarentaise – Savoie – Secteur d'étude n°2 - Exemple de Compartiment instable (n° P2-13) - Schistes Foliation subverticale Glissement dièdre - Dislocation.

Identification - localisation

Le repérage exhaustif des compartiments " douteux " nécessite une **reconnaissance de terrain détaillée**, avec l'appui de plans détaillés et des prises de photos sous les angles les plus appropriés (Fig. III.33).

Caractérisation des compartiments instables

La notion de compartiment correspond à la plus petite structure instable physiquement individualisable sur le terrain. Par compartiment instable, il faut entendre également des ensembles regroupant plusieurs éléments dont la stabilité est liée (Fig. III.34).

Nature

On distingue :

- la **typologie** du compartiment (colonne, écaille, surplomb, etc.). Le type de rupture le plus probable est identifié par référence à les figures II.4 et V.1;
- sa **lithologie**
- sa **structure** (détermination des données structurales principales délimitant le compartiment)

Ces critères complétés par les autres éléments de caractérisation des compartiments (cf. ci-après) et des photographies caractéristiques aboutit à la constitution de véritables fiches d'identité.

Caractérisation géométrique

Dans cette étape de la caractérisation, vont être déterminés : le volume, la forme, la localisation et l'orientation des discontinuités déterminant les contours de chaque compartiment et la/les surface(s) ou point(s) de rupture supposé(s) du compartiment par rapport au massif.

Caractérisation géomécanique

La détermination de ces paramètres fondamentaux impose la visite au plus près du compartiment considéré. Il est procédé à l'identification et à la caractérisation de la ou des surfaces de rupture jugées déterminantes dans le modèle :

- type (plan de schistosité, de stratification, diaclase, faille, fracture, joint de retrait, etc.) ;
- degré d'imbrication des épontes (rugosité, morphologie, ouverture, etc.) ;
- indices de mouvement, dilatance ;
- remplissage (origine endo ou exogène, cimentation, etc.) ;
- présence, rôle de l'eau ;
- appréciation de l'angle de frottement du plan considéré, idem pour la cohésion ;
- évaluation, calcul sommaire de stabilité (glissement, basculement, etc.).

Paramètres topographiques

Position dans le versant, éperon, plan de falaise, etc..

Environnement (au sens large)

Hydrogéologie, hydraulique- Climat, orientation - Végétation

III.2.4.5 Qualification de l'aléa

(estimation de la dangerosité ou probabilité de rupture d'un aléa identifié)

Les éléments recueillis dans la phase de caractérisation des compartiments potentiellement instables sont complétés en prenant en compte les processus d'évolution dont dépend la régression de la stabilité conduisant à l'écroulement.

Les conditions de stabilité actuelle sont ensuite évaluées à travers la procédure dite de qualification des aléas.

Processus d'évolution

On fait une description du/des processus d'évolution de la stabilité.

Qualification de l'aléa de rupture

On caractérise l'aléa de rupture par l'évaluation de ses deux composantes : classe, probabilité/délai.

Classe :

concerne le volume du phénomène, elle est définie à partir de la grille suivante :

Cp : chutes de pierres, vol unit $< 1 \text{ dm}^3$

Cb : chute de blocs, vol unit /m³ jusqu'à x m³, peut dépasser 100 m³

Ebl : éboulement en masse limité $< \text{quelques centaines de m}^3$

Ebm : éboulement en masse, volume simultané $< 1 \text{ hm}^3$

La différenciation entre les deux dernières classes peut s'avérer délicate pour les très grands volumes,

le diagnostic peut nécessiter des investigations importantes. A priori pour le type d'études couvertes par la présente méthodologie, les éboulements en très grande masse impliquant une fluidisation des matériaux au cours de la phase de propagation ne sont pas concernés.

Probabilité / délai d'occurrence – grille de qualification

Pour chaque compartiment, l'évaluation de la stabilité et de la dynamique d'évolution sont traduites dans la matrice probabilité / délai par le choix des classements jugés les plus cohérents. Cette notion volontairement qualitative basée sur le jugement du chargé d'étude désigne la probabilité que le compartiment étudié s'effondre dans un temps donné. Pour formuler son jugement, le chargé d'étude doit au préalable procéder à une analyse détaillée en considérant les "Types de ruptures" et les "Processus d'évolution".

Probabilité d'occurrence

te	= très élevée	9 chances sur 10 (*)
e	= élevé	7 chances sur 10
m	= modéré	5 chances sur 10
f	= faible	3 chances sur 10
tf	= très faible	1 chance sur 10

(*) La traduction chiffrée de la probabilité d'occurrence est donnée ici à titre indicatif. Ce mode de représentation d'une appréciation qualitative n'est plus utilisé dans le réseau des LPC pour ne pas introduire une illusion de maîtrise statistique de l'occurrence du phénomène.

Délai d'occurrence

i	= imminent	risque imminent
tct	= très court terme	dans les deux ans
ct	= court terme	dans les 10 ans
mt	= moyen terme	dans les 30 ans
lt	= long terme	entre 30 et 100 ans

La durée des périodes considérées dans l'échelle des délais est définie en tenant compte du rythme d'activité des phénomènes d'évolution naturelle (cycles saisonniers notamment) et des délais caractéristiques des programmes de sécurisation.

La notion de probabilité /délai est définie comme une variable à deux dimensions prise en compte à l'aide de la grille de qualification :

Délai	i (immédiat)	tct (très court terme)	ct (court terme)	mt (moyen terme)	lt (long terme)	>lt
Probabilité						
te (très élevée)						non
e (élevée)				X		quali-
m (modérée)			X			fia-
f (faible)						ble

On remarque que la grille probabilité / délai comporte en général plusieurs valeurs de qualification (X) correspondant à des couples probabilité / délai différents. Ces différentes qualifications sont complémentaires et doivent être interprétées en fonction de la vulnérabilité et des objectifs de sécurité (protection, aménagements). Cette déclinaison correspondant à des délais différents est généralement exploitée pour apporter la meilleure réponse à l'intensité du risque : action rapide pour les classes de délais les plus courts, programmation d'actions préventives pour les délais les plus longs.

A l'issue de l'analyse, seuls sont retenus les aléas ayant pu être cadrés par la grille de qualification. Les autres aléas, non qualifiables pour le moment sont conservés en archive de façon à permettre une requalification ultérieure si une évolution est constatée.

Exemple : n° de compartiment qualification rupture
P2-13 m ct $\Leftrightarrow$ e mt

Blocométrie prévisionnelle

La prévision du découpage des blocs au cours de leur chute sera utilisée, entre autres, pour les dimensionnement d'ouvrages.

Exemple : n° de compartiment volume fragmenté après propagation
P2-13 $\geq 10 \text{ m}^3$

Conclusion sur l'analyse de stabilité

La méthode CETE ne propose volontairement qu'une approche qualitative des paramètres de mécanisme de rupture et de processus d'évolution, les approches paramétrale indicée et matricielle n'ayant pas jusqu'à présent démontré une fiabilité opérationnelle suffisante.

Indépendamment des aspects de fond, il faut remarquer que l'identification et l'affichage de tous les paramètres décrits pour chacun des compartiments " candidats " identifiés apporte une dimension de traçabilité intéressante que ce soit en terme de suivi d'affaire ou en terme de responsabilité pénale. Les résultats sont stockés sur des grilles récapitulatives de synthèse par secteurs. Les compartiments sont identifiés et positionnés sur des plans et photographies.

III.2.4.6 Estimation de la trajectoire

Avant d'envisager une étude de propagation de l'éboulement à l'aide d'une simulation numérique, il convient d'effectuer une approche qualitative prenant en compte les critères relatifs aux conditions de départ, ceux relatifs au versant dans lequel se propagent les éboulis, et éventuellement les caractéristiques des zones d'épandage. L'observation des éboulis présents sur le site et dans les zones connexes, le recueil circonstancié de témoignages et de phénomènes archivés vont apporter des indications qui pourront être d'importance. Le relevé d'impacts, au sol et sur la végétation, pourra également apporter des informations relatives au comportement général du versant vis à vis des éboulements.

Influence des conditions de départ

Le volume global de l'éboulement, la taille des blocs susceptibles de se former au premier impact ou au cours des premiers rebonds, la hauteur de chute libre éventuelle, vont influencer de manière très directe sur l'amorçage du phénomène de propagation. L'influence de ces différents paramètres initiaux sera d'autant plus grande que le versant sera court. Pour des propagations longues, les conditions rencontrées tout au long du versant deviendront alors prépondérantes.

Influence des conditions de propagation

Passée la phase d'initialisation, la propagation des blocs va être conditionnée par la nature morphologique et physique du versant :

- pente générale du versant
- déviations latérales par rapport à la ligne de plus grande pente (initiées dès le départ, ou provoquées par effet de thalweg)
- présence d'irrégularités morphologiques (ruptures de pente pouvant permettre un accroissement d'énergie, replats pouvant avoir un effet ralentisseur ou, au contraire, un effet de tremplin, etc.)
- nature et épaisseur des formations superficielles (comportement variable en fonction de l'énergie des blocs)
- nature du substratum (qui peut être atteint par poinçonnement dans certaines conditions)

Les obstacles, qu'ils soient naturels ou artificiels, rencontrés au cours de la propagation sont à prendre en compte, et à pondérer en fonction des énergies mises en jeu :

- couvert végétal, forêt (la qualité et la densité du peuplement peut jouer un rôle important dans le cas d'éboulements modestes)

- contre-pentes naturelles
- ouvrages de stabilisation des versants (murets, perrés, etc. dont le rôle peut être positif ou négatif)
- éboulis à gros blocs
- ouvrages de protection déjà en place (à apprécier au regard des énergies en jeu)

Appréciation qualitative globale de la probabilité de propagation

La probabilité de propagation des éboulis jusqu'à un objectif est à apprécier à la lumière des critères précédents, à l'exclusion de toute référence à la probabilité de réalisation de l'aléa de rupture. Elle pourra être nulle, très faible, faible, modérée, élevée ou très élevée. L'expérience du géologue vis-à-vis des phénomènes rocheux aura un effet prépondérant sur l'intégration et la pondération des données collectées.

Cette première approche qualitative va déterminer, en fonction des enjeux, si une simulation numérique de la propagation est nécessaire.

III.2.4.7 Synthèse

Un effort particulier doit être consenti pour exprimer les résultats de l'étude spécifique sous la forme la plus synthétique possible. Le tableau ci-après est un exemple représentatif.

N° compartiment	Risque Eboulement	Volume fragmenté après Propagation (m³)	Risque Propagation	Hypothèse retenue
P2-11	mmt/fmt	≥ 10	te	Bloc dimensionnant 10 m³
P2-12	mmt/emt	≥ 10	te	
P2-16	mmt/fmt	5/10	te	
P2-13	mct/emt	≥ 10	te	Bloc dimensionnant ≥ 10 m³
P2-17	mmt/fmt	2/5	m	
P2-21	mmt/fmt	2/5	e	Bloc dimensionnant 5 m³
P2-22	fmt/emt	5/10	te	(ou 10 m³ mais risque faible)
P2-34 et	emt/temt	2/5	e	
P2-34	fnt	2/5	m/e	
P2-23	mmt/fmt	5/10	te	Bloc dimensionnant 5 m³
	emt/temt	2/5	e	côté 1,75m
P2-24	mmt/fmt	5/10	te	(ou 10 m³ mais risque modéré)
P2-28	mmt/fmt	5/10	te	
P2-29	mmt/fmt	0,5/5	m/e	Bloc dimensionnant 5 m³ (côté 1,75 m)
P2-32	mmt	1/2	F	Bloc dimensionnant 2 m³ (côté 1,25 m) mais risque faible

Exemple : tableau de synthèse "Vallée de la Tarentaise - Savoie – Secteur d'étude n° 2".

III.2.4.8 Risques résultants (recensement exhaustif)

La caractérisation du risque résultant consiste à faire l'inventaire et déterminer la sensibilité des vulnérabilités situées dans l'aire couverte par les trajectoires des aléas. Cette démarche et la problématique de sécurisation qui en découle : stabilisation des aléas en place, définition, dimensionnement et mise en œuvre de parades actives, zonages réglementaires, etc., ne sont pas abordées dans le présent document.