



# Strategia «Pericoli naturali» Svizzera

Attuazione del piano d'azione PLANAT 2005 - 2008

Progetto A 1.1

## Piano di gestione dei rischi per i pericoli naturali



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT  
Plate-forme nationale «Dangers naturels»  
Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»  
National Platform for Natural Hazards

Rapporto conclusivo della 2a fase  
Versione sperimentale  
Febbraio 2009

## Nota editoriale

### Committente

Piattaforma nazionale „Pericoli naturali“ PLANAT  
c/o Divisione prevenzione dei pericoli  
Ufficio federale dell'ambiente UFAM  
3003 Berna

Telefono: 031 324 17 81

Fax: 031 324 19 10

[planat@bafu.admin.ch](mailto:planat@bafu.admin.ch)

[www.planat.ch](http://www.planat.ch)

### Gruppo direttivo (progetto integrale)

Andreas Götz, UFAM, Presidente PLANAT (direzione)

Dott. Gian Reto Bezzola, UFAM, PLANAT

Dott. Pierre Ecoffey, ECAB, PLANAT

Willy Eyer, Amt für Wald, Wild und Fischerei Kanton Freiburg, PLANAT

Bruno Hostettler, UFPP, PLANAT

Dott. Hans Rudolf Keusen, Geotest AG, PLANAT

### Gruppo di sostegno (progetto integrale)

Dott. Thomas Egli, Egli Engineering AG (direzione)

Dörte Aller, Aller Risk Management

Christoph Werner, UFPP

Cornelia Winkler, Glenz, Walter & Winkler AG (accompagnamento progetto A 1.1)

### Direzione progetto A 1.1

Dott. Michael Bründl, SLF

### Accompagnamento progetto A 1.1

Dott. Monika Frehner, Forstingenieurbüro Sargans

Claudia Guggisberg, ARE

Dott. Hans Rudolf Keusen, Geotest AG

Arthur Sandri, UFAM

Christoph Werner, UFPP

Dott. Christian Wilhelm, Kanton GR

Cornelia Winkler, Glenz, Walter & Winkler AG

### Mandatario progetto A 1.1

WSL-Istituto per lo studio della

neve e della valanghe SLF

Flüelastrasse 11

7260 Davos Dorf

Telefono: 081 417 01 11

Fax: 081 417 01 10

[www.slf.ch](http://www.slf.ch)

### Autori progetto A 1.1

Dott. Michael Bründl, SLF (direzione)

Dörte Aller, Aller Risk Management

Nicole Bischof, SLF

Blaise Duvernay, BAFU

Dott. Thomas Egli, Egli Engineering AG

Giuseppe Franciosi, Geotest AG

André Gauderon, Glenz, Walther & Winkler AG

Dott. Niels Holthausen, Ernst Basler und Partner AG

Dott. Bernhard Kruppenacher, Geotest AG

Hans Merz, Ernst Basler und Partner AG

Dott. Hans Romang, SLF

Daniel Rüttimann, Egli Engineering AG

Maja Stucki, Egli Engineering AG

Daniel Tobler, Geotest AG

Cornelia Winkler, Glenz, Walther & Winkler AG

Yvonne Schaub (layout e redazione)

Vito Rossi, Bellinzona (traduzione)

### Indicazione bibliografica (proposta)

Bründl Michael (Ed.) 2009: Risikokonzept für Naturgefahren - Leitfaden. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern. 416 S.

### Nota

La riproduzione dei testi e dei grafici con indicazione della fonte e copia alla Piattaforma nazionale „Pericoli naturali“ è gradita.

# Indice

<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
Motivazione del progetto . . . . .	1
La posizione della guida per il concetto di rischio nella gestione integrale del rischio . .	1
Le linee guida nel contesto delle altre applicazioni . . . . .	2
Struttura delle linee guida . . . . .	3

## **Parte A: Descrizione generale di piano di gestione dei rischi**

<b>1</b>	<b>Scopo e modello di base del concetto di rischio</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Concetto di rischio e grandezze che lo caratterizzano</b>	<b>3</b>
2.1	Il concetto di rischio . . . . .	3
2.2	La formula del rischio . . . . .	5
2.3	Persone e oggetti minacciati . . . . .	5
2.4	Grandezze del rischio per le vittime umane . . . . .	6
2.4.1	Rischio individuale . . . . .	6
2.4.2	Rischio collettivo . . . . .	6
2.4.2.1	Persone . . . . .	6
2.4.2.2	Beni materiali . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Analisi del rischio</b>	<b>9</b>
3.1	Definizione degli obiettivi, delimitazione e lavori preliminari . . . . .	10
3.1.1	Definizione degli obiettivi . . . . .	10
3.1.2	Delimitazione e descrizione del comprensorio di studio . . . . .	10
3.1.3	Lavori preliminari . . . . .	10
3.1.3.1	Ricerca e studio delle basi di lavoro disponibili . . . . .	10
3.1.3.2	Organizzazione del progetto e competenze . . . . .	11
3.2	Analisi dei pericoli . . . . .	11
3.2.1	Analisi degli eventi . . . . .	11
3.2.2	Analisi degli effetti . . . . .	12
3.3	Analisi dell'esposizione . . . . .	13
3.3.1	Accertamento dei beni immobili (oggetti fissi) . . . . .	14
3.3.2	Accertamento delle persone e dei beni mobili . . . . .	15
3.3.3	Differenziazione delle situazioni di esposizione . . . . .	15
3.3.4	Evoluzione del potenziale di danno . . . . .	19
3.4	Analisi delle conseguenze . . . . .	19

3.4.1	Fattori di calcolo nell'analisi delle conseguenze . . . . .	20
3.4.1.1	Sensibilità al danno . . . . .	20
3.4.1.2	Protezione diretta . . . . .	21
3.4.1.3	Probabilità spaziale di accadimento . . . . .	21
3.4.1.4	Probabilità di presenza . . . . .	21
3.4.1.5	Connessione dei fattori . . . . .	21
3.4.2	Ponderazione dell'entità dei danni (avversione al rischio) . . . . .	22
3.4.3	Determinazione dell'entità dei danni diretti . . . . .	22
3.4.3.1	Entità dei danni agli edifici . . . . .	22
3.4.3.2	Entità dei danni alle persone negli edifici . . . . .	23
3.4.3.3	Entità dei danni agli oggetti fissi (beni immobili) lungo le strade	24
3.4.3.4	Entità dei danni alle persone lungo le strade e sui mezzi mecca- nici di risalita . . . . .	24
3.4.3.5	Entità dei danni lungo le linee ferroviarie . . . . .	25
3.4.3.6	Entità dei danni alle persone lungo le linee ferroviarie . . . . .	30
3.4.3.7	Entità dei danni alle condotte . . . . .	31
3.4.3.8	Entità dei danni all'agricoltura, al bosco e alle zone di svago .	32
3.4.3.9	Entità complessiva dei danni diretti nello scenario <i>j</i> . . . . .	33
3.4.4	Determinazione dell'entità dei danni indiretti . . . . .	33
3.4.5	Entità complessiva dei danni nello scenario <i>j</i> . . . . .	34
3.5	Determinazione e rappresentazione del rischio . . . . .	34
3.5.1	Rischi collettivi . . . . .	35
3.5.2	Rischi individuali . . . . .	37
<b>4</b>	<b>Valutazione del rischio e obiettivi di protezione</b>	<b>39</b>
4.1	Principi generali . . . . .	39
4.2	Obiettivi di protezione contro i rischi per le persone . . . . .	40
4.2.1	Approccio metodico ai criteri relativi agli obiettivi di protezione . . . . .	40
4.2.2	Suddivisione delle categorie di rischio . . . . .	41
4.2.3	Proposta per gli obiettivi di protezione per le persone . . . . .	41
4.3	Obiettivi di protezione per altri tipi di danno . . . . .	43
4.3.1	Beni materiali . . . . .	43
4.3.2	Rischi particolari . . . . .	44
4.4	Avversione al rischio . . . . .	45
4.4.1	I tre effetti parziali dell'avversione al rischio . . . . .	45
4.4.1.1	Espansione qualitativa e aumento sproporzionato degli effetti indiretti negativi degli eventi dannosi . . . . .	45
4.4.1.2	Aumento dell'insicurezza nella stima quantitativa dei rischi . .	46
4.4.1.3	Aumento dell'insicurezza nella stima della probabilità di ac- cadimento . . . . .	46
4.4.1.4	Aumento dell'insicurezza nella previsione dei danni . . . . .	47
4.4.1.5	Responsabilità nel caso di eventi con entità dei danni straordinaria	47
4.4.2	Proposta per i fattori d'avversione . . . . .	47
<b>5</b>	<b>Pianificazione e valutazione delle misure</b>	<b>49</b>
5.1	Obiettivi . . . . .	49

5.2	Possibili misure di prevenzione . . . . .	50
5.3	Evoluzione temporale . . . . .	51
5.4	Procedimento . . . . .	52
5.5	Determinazione dell'efficacia . . . . .	54
5.6	Determinazione dei costi . . . . .	58
5.7	Combinazioni ottimali delle misure . . . . .	59
5.8	Considerazioni finali . . . . .	61

## **Teil B: Anwendung des Risikokonzpts: Prozess Lawine**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Charakterisierung des Prozesses «Lawine» . . . . .	1
1.2	Risikoanalyse beim Prozess Lawine . . . . .	2
1.2.1	Gefahrenanalyse . . . . .	2
1.2.1.1	Ereignisanalyse . . . . .	2
1.2.1.2	Wirkungsanalyse . . . . .	3
1.2.2	Expositionsanalyse . . . . .	4
1.2.3	Konsequenzenanalyse . . . . .	4
1.3	Risikobewertung . . . . .	4
1.4	Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung . . . . .	4
1.4.1	Bestimmen der Wirksamkeit . . . . .	5
1.4.2	Berechnen der Kosten . . . . .	5
1.4.3	Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen . . . . .	5
1.4.4	Bewertung von Massnahmen . . . . .	6
1.4.5	Weitere Einflussfaktoren . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Fallbeispiel Frauentobel, Landschaft Davos, Kanton Graubünden</b>	<b>9</b>
2.1	Einleitung . . . . .	9
2.2	Gefahrenanalyse . . . . .	9
2.2.1	Ereignisanalyse . . . . .	9
2.2.1.1	Grundlagen . . . . .	9
2.2.1.2	Anrissgebiete . . . . .	10
2.2.1.3	Sturzbahn . . . . .	10
2.2.1.4	Auslaufgebiet . . . . .	11
2.2.2	Wirkungsanalyse . . . . .	12
2.2.2.1	Grundlagen . . . . .	12
2.2.2.2	Bestimmung der Intensitätszonen . . . . .	12
2.2.2.3	Interpretation der Ergebnisse . . . . .	13
2.3	Expositionsanalyse . . . . .	14
2.3.1	Ermittlung der exponierten fixen Objekte . . . . .	14
2.3.2	Ermittlung der exponierten Personen . . . . .	14
2.4	Konsequenzenanalyse . . . . .	17
2.4.1	Darstellung mit Durchschnittswerten . . . . .	17
2.4.2	Darstellung mit Expositionssituationen . . . . .	18
2.5	Risikoermittlung . . . . .	20
2.5.1	Kollektive Risiken . . . . .	20

2.5.1.1	Darstellung mit Durchschnittswerten . . . . .	20
2.5.1.2	Darstellung mit Expositionssituationen . . . . .	20
2.5.2	Individuelle Risiken . . . . .	22
2.6	Risikobewertung . . . . .	22
2.6.1	Kollektive Risiken . . . . .	22
2.6.2	Individuelle Risiken . . . . .	23
2.7	Mögliche Schutzmassnahmen . . . . .	23
2.7.1	Technische Massnahmen . . . . .	24
2.7.1.1	Variante 1: Verbau Gebiete 305, 307, 308 . . . . .	24
2.7.1.2	Variante 2: Verbau Gebiet 308 . . . . .	24
2.7.1.3	Variante 3: Verbau Gebiet 305 . . . . .	24
2.7.2	Raumplanerische Massnahmen . . . . .	24
2.7.3	Biologische Massnahmen - Schutzwald . . . . .	25
2.7.4	Organisatorische Massnahmen . . . . .	25
2.7.4.1	Variante 4: Sperrung und Evakuierung . . . . .	25
2.7.4.2	Variante 5: Künstliche Lawinenauslösung . . . . .	25
2.8	Wirksamkeit . . . . .	25
2.8.1	Variante 2-3: Kombination Variante 2 und Variante 3 . . . . .	25
2.8.2	Variante 4: Sperrung und Evakuierung . . . . .	26
2.8.3	Variante 5: Künstliche Lawinenauslösung . . . . .	26
2.9	Kosten . . . . .	27
2.10	Massnahmenbewertung . . . . .	27
2.10.1	Bewertung nach Grenzkostenkriterium . . . . .	27
2.10.2	Bewertung bezüglich Akzeptanz . . . . .	28
2.11	Weitere Einflussfaktoren . . . . .	28
2.12	Realisierte Massnahmen . . . . .	29
<b>3</b>	<b>Fazit</b>	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>Richtwerte EconoMe</b>	<b>33</b>

## **Teil B: Anwendung des Risikokonzpts: Prozess Hochwasser**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Charakterisierung des Prozesses «Hochwasser» . . . . .	1
1.2	Risikoanalyse beim Prozess Hochwasser . . . . .	2
1.2.1	Gefahrenanalyse . . . . .	3
1.2.1.1	Ereignisanalyse . . . . .	3
1.2.1.2	Wirkungsanalyse . . . . .	3
1.2.2	Expositionsanalyse . . . . .	4
1.2.3	Konsequenzenanalyse . . . . .	4
1.3	Risikobewertung beim Prozess Hochwasser . . . . .	5
1.4	Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung beim Prozess Hochwasser . . . . .	5
1.4.1	Bestimmen der Wirksamkeit . . . . .	6
1.4.2	Berechnen der Kosten . . . . .	6
1.4.3	Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen . . . . .	6

1.4.4	Bewertung von Massnahmen . . . . .	7
1.4.5	Weitere Einflussfaktoren . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Fallbeispiel Lonza, Gemeinden Gampel und Steg, Kanton Wallis</b>	<b>9</b>
2.1	Einleitung . . . . .	9
2.2	Gefahrenanalyse . . . . .	10
2.2.1	Grundlagen . . . . .	10
2.2.2	Ereignisanalyse . . . . .	10
2.2.2.1	Situation vor jeglichen Massnahmen «VOR» . . . . .	10
2.2.2.2	Aktuelle Situation «AKTUELL» . . . . .	11
2.2.3	Wirkungsanalyse . . . . .	11
2.2.3.1	Situation vor jeglichen Massnahmen «VOR» . . . . .	11
2.2.3.2	Aktuelle Situation «AKTUELL» . . . . .	11
2.3	Expositionsanalyse . . . . .	13
2.3.1	Schadenpotential vor jeglichen Massnahmen «VOR» . . . . .	14
2.3.2	Schadenpotential Aktuelle Situation «AKTUELL» . . . . .	14
2.4	Konsequenzenanalyse . . . . .	14
2.4.1	Situation vor jeglichen Massnahmen «VOR» . . . . .	14
2.4.2	Aktuelle Situation «AKTUELL» . . . . .	15
2.5	Risikoermittlung . . . . .	15
2.6	Risikobewertung . . . . .	17
2.6.1	Situation vor jeglichen Massnahmen . . . . .	17
2.6.2	Aktuelle Situation «AKTUELL» . . . . .	17
2.7	Mögliche Schutzmassnahmen . . . . .	17
2.8	Wirksamkeit . . . . .	18
2.9	Kosten . . . . .	19
2.10	Massnahmenbewertung . . . . .	20
2.11	Weitere Einflussfaktoren . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Fazit</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>Richtwerte EconoMe</b>	<b>25</b>

## Teil B: Anwendung des Risikokonzepts: Prozess Murgang

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Charakterisierung des Prozesses «Murgang» . . . . .	1
1.2	Risikoanalyse beim Prozess Murgang . . . . .	2
1.2.1	Gefahrenanalyse . . . . .	2
1.2.1.1	Ereignisanalyse . . . . .	2
1.2.1.2	Wirkungsanalyse . . . . .	3
1.2.2	Expositionsanalyse . . . . .	3
1.2.3	Konsequenzenanalyse . . . . .	4
1.3	Risikobewertung beim Prozess Murgang . . . . .	4
1.4	Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung beim Prozess Murgang . . . . .	4
1.4.1	Bestimmen der Wirksamkeit . . . . .	4

1.4.2	Berechnen der Kosten . . . . .	5
1.4.3	Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen . . . . .	5
1.4.4	Bewertung von Massnahmen . . . . .	6
1.4.5	Weitere Einflussfaktoren . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Fallbeispiel Chummerbach, Landschaft Davos, Kanton Graubünden</b>	<b>7</b>
2.1	Einleitung . . . . .	7
2.2	Gefahrenanalyse . . . . .	7
2.2.1	Ereignisanalyse . . . . .	7
2.2.1.1	Topographie . . . . .	7
2.2.1.2	Geologie - Geomorphologie - Vegetation . . . . .	8
2.2.1.3	Niederschlag . . . . .	9
2.2.1.4	Ereigniskataster . . . . .	9
2.2.1.5	Abflussbestimmung . . . . .	9
2.2.1.6	Feststoffpotential . . . . .	9
2.2.1.7	Beurteilungsszenarien . . . . .	10
2.2.2	Wirkungsanalyse . . . . .	10
2.3	Expositionsanalyse . . . . .	11
2.3.1	Ermittlung der exponierten fixen Objekte . . . . .	11
2.3.2	Ermittlung der exponierten Personen in Gebäuden . . . . .	12
2.3.3	Ermittlung der exponierten Personen auf Verkehrswegen . . . . .	13
2.3.4	Schadenpotential im Beurteilungsperimeter . . . . .	13
2.4	Konsequenzenanalyse . . . . .	13
2.5	Risikoermittlung . . . . .	14
2.5.1	Kollektive Risiken . . . . .	14
2.5.2	Individuelle Risiken . . . . .	14
2.6	Risikobewertung . . . . .	15
2.6.1	Kollektive Risiken . . . . .	15
2.6.2	Individuelle Risiken . . . . .	16
2.7	Mögliche Schutzmassnahmen . . . . .	16
2.7.1	Raumplanerische Massnahmen . . . . .	16
2.7.2	Biologische Massnahmen . . . . .	16
2.7.3	Organisatorische Massnahmen . . . . .	16
2.7.4	Technische Massnahmen . . . . .	17
2.7.4.1	Variante 1: Sperrenverbau im Mittellauf . . . . .	17
2.7.4.2	Variante 2: Längsverbau im Mittellauf . . . . .	18
2.7.4.3	Variante 3: Geschiebesammler . . . . .	18
2.7.4.4	Variante 4: Objektschutz . . . . .	19
2.7.4.5	Variante 5: Geschiebesammler maximal . . . . .	19
2.8	Wirksamkeit . . . . .	20
2.8.1	Variante 1: Sperrenverbau im Mittellauf . . . . .	20
2.8.2	Variante 2: Längsverbau im Mittellauf . . . . .	21
2.8.3	Variante 3: Geschiebesammler . . . . .	21
2.8.4	Variante 4: Objektschutz . . . . .	22
2.8.5	Variante 5: Geschiebesammler maximal . . . . .	23
2.8.6	Variante 6: Kombination Geschiebesammler und Objektschutz . . . . .	23

2.9	Kosten . . . . .	23
2.9.1	Variante 1 . . . . .	24
2.9.2	Variante 2 . . . . .	25
2.9.3	Variante 3 . . . . .	25
2.9.4	Variante 4 . . . . .	25
2.9.5	Variante 5 . . . . .	26
2.9.6	Variante 6 . . . . .	26
2.10	Massnahmenbewertung . . . . .	26
2.11	Realisierte Massnahmen . . . . .	27
<b>3</b>	<b>Fazit</b>	<b>29</b>
<b>4</b>	<b>Richtwerte EconoMe</b>	<b>31</b>

## **Teil B: Anwendung des Risikokonzpts: Prozess Sturz**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Charakterisierung von Sturzprozessen . . . . .	1
1.2	Risikoanalyse bei Sturzprozessen . . . . .	2
1.2.1	Gefahrenanalyse . . . . .	3
1.2.1.1	Ereignisanalyse . . . . .	3
1.2.1.2	Wirkungsanalyse . . . . .	3
1.2.2	Expositionsanalyse . . . . .	4
1.2.3	Konsequenzenanalyse . . . . .	4
1.3	Risikobewertung . . . . .	5
1.4	Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung . . . . .	5
1.4.1	Bestimmen der Wirksamkeit . . . . .	5
1.4.2	Berechnen der Kosten . . . . .	6
1.4.3	Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen . . . . .	6
1.4.4	Bewertung von Massnahmen . . . . .	7
1.4.5	Weitere Einflussfaktoren . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Fallbeispiel Meiggerli, Gemeinde Saas-Balen, Kanton Wallis</b>	<b>9</b>
2.1	Einleitung . . . . .	9
2.2	Gefahrenanalyse . . . . .	9
2.2.1	Ereignisanalyse . . . . .	9
2.2.2	Wirkungsanalyse . . . . .	10
2.3	Expositionsanalyse . . . . .	11
2.3.1	Ermittlung der exponierten fixen Objekte . . . . .	11
2.3.2	Ermittlung der exponierten Personen . . . . .	11
2.4	Konsequenzenanalyse . . . . .	12
2.5	Risikoermittlung . . . . .	12
2.5.1	Kollektive Risiken . . . . .	12
2.5.2	Individuelle Risiken . . . . .	13
2.6	Risikobewertung . . . . .	13
2.6.1	Kollektive Risiken . . . . .	13

2.6.2	Individuelle Risiken . . . . .	13
2.7	Mögliche Schutzmassnahmen . . . . .	14
2.7.1	Raumplanerische Massnahmen . . . . .	14
2.7.2	Technische Massnahmen . . . . .	14
2.7.2.1	Variante A: Langer Schutzdamm . . . . .	14
2.7.2.2	Variante B: Kurzer Schutzdamm . . . . .	14
2.7.2.3	Variante C: Ufermauer mit Netz . . . . .	15
2.7.3	Biologische Massnahmen . . . . .	15
2.7.4	Organisatorische Massnahmen . . . . .	15
2.8	Wirksamkeit . . . . .	16
2.8.1	Variante A . . . . .	16
2.8.2	Variante B . . . . .	17
2.8.3	Variante C . . . . .	18
2.8.4	Variante D . . . . .	19
2.9	Kosten . . . . .	20
2.10	Massnahmenbewertung . . . . .	20
2.11	Weitere Einflussfaktoren . . . . .	21
2.12	Realisierte Massnahmen . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Fazit</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>Richtwerte EconoMe</b>	<b>25</b>

## **Teil B: Anwendung des Risikokonzepts: Prozess spontane Rutschung**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Charakterisierung von Rutschprozessen . . . . .	1
1.1.1	Einteilung der Rutschungen im weiteren Sinne . . . . .	2
1.1.2	Klassifikation nach der Form der Gleitfläche . . . . .	3
1.2	Risikoanalyse beim Prozess der spontanen flachgründigen Rutschungen und Hangmuren . . . . .	4
1.2.1	Gefahrenanalyse . . . . .	4
1.2.1.1	Ereignisanalyse . . . . .	4
1.2.1.2	Wirkungsanalyse . . . . .	4
1.2.2	Expositionsanalyse . . . . .	6
1.2.3	Konsequenzenanalyse . . . . .	6
1.3	Risikobewertung . . . . .	8
1.4	Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung . . . . .	8
1.4.1	Bestimmen der Wirksamkeit . . . . .	9
1.4.2	Berechnen der Kosten . . . . .	9
1.4.3	Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen . . . . .	10
1.4.4	Bewertung von Massnahmen . . . . .	11
1.4.5	Weitere Einflussfaktoren . . . . .	11
<b>2</b>	<b>Fallbeispiel Bantigental, Gemeinde Bolligen, Kanton Bern</b>	<b>13</b>
2.1	Einleitung . . . . .	13

2.2	Gefahrenanalyse . . . . .	13
2.2.1	Ereignisanalyse . . . . .	13
2.2.1.1	Grundlagen . . . . .	13
2.2.1.2	Geländebefunde . . . . .	13
2.2.1.3	Das Ereignis 2006 . . . . .	15
2.2.1.4	Ereignisszenarien . . . . .	15
2.2.2	Wirkungsanalyse . . . . .	15
2.2.2.1	Grundlagen . . . . .	15
2.2.2.2	Intensitätskarten . . . . .	15
2.3	Expositionsanalyse . . . . .	16
2.3.1	Ermittlung der exponierten fixen Objekte . . . . .	16
2.3.2	Ermittlung der exponierten Personen . . . . .	17
2.4	Konsequenzenanalyse . . . . .	17
2.5	Risikoermittlung . . . . .	17
2.5.1	Kollektive Risiken . . . . .	17
2.5.2	Individuelle Risiken . . . . .	18
2.6	Risikobewertung . . . . .	18
2.6.1	Kollektive Risiken . . . . .	18
2.6.2	Individuelle Risiken . . . . .	18
2.7	Mögliche Schutzmassnahmen . . . . .	19
2.7.1	Raumplanerische Massnahmen . . . . .	19
2.7.2	Biologische Massnahmen . . . . .	19
2.7.3	Organisatorische Massnahmen . . . . .	19
2.7.4	Technische Massnahmen . . . . .	19
2.8	Wirksamkeit . . . . .	20
2.8.1	Konsequenzenanalyse nach Massnahmen . . . . .	20
2.8.2	Risikoermittlung nach Massnahmen . . . . .	20
2.9	Kosten . . . . .	21
2.10	Massnahmenbewertung . . . . .	21
2.11	Realisierte Massnahmen . . . . .	21
2.12	Weitere Einflussfaktoren . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Fazit</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>Richtwerte EconoMe</b>	<b>25</b>

## **Teil B: Anwendung des Risikokonzepts: Prozess permanente Rutschung**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Charakterisierung der Prozesse der permanenten, tiefgründigen Rutschungen . . .	1
1.2	Risikoanalyse beim Prozess der permanenten, tiefgründigen Rutschungen . . . .	4
1.2.1	Gefahrenanalyse . . . . .	4
1.2.1.1	Ereignisanalyse . . . . .	4
1.2.1.2	Wirkungsanalyse . . . . .	5
1.2.2	Expositionsanalyse . . . . .	8
1.2.3	Konsequenzenanalyse . . . . .	8

1.3	Risikobewertung . . . . .	8
1.4	Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung . . . . .	9
1.4.1	Bestimmen der Wirksamkeit . . . . .	10
1.4.2	Berechnen der Kosten . . . . .	10
1.4.3	Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen . . . . .	11
1.4.4	Bewertung von Massnahmen . . . . .	11
1.4.5	Weitere Einflussfaktoren . . . . .	12
<b>2</b>	<b>Fallbeispiel Ollon-Villars, Gemeinde Villars, Kanton Waadt</b>	<b>13</b>
2.1	Einleitung . . . . .	13
2.2	Gefahrenanalyse . . . . .	13
2.2.1	Grundlagen . . . . .	13
2.2.2	Geländebefunde . . . . .	14
2.2.3	Ereignisanalyse und -szenarien . . . . .	15
2.2.4	Wirkungsanalyse . . . . .	15
2.2.4.1	Grundlagen . . . . .	15
2.2.4.2	Intensitätskarten . . . . .	15
2.3	Expositionsanalyse . . . . .	16
2.3.1	Ermittlung der exponierten fixen Objekte . . . . .	16
2.3.2	Ermittlung der exponierten Personen . . . . .	16
2.4	Konsequenzenanalyse . . . . .	17
2.5	Risikoermittlung . . . . .	17
2.5.1	Kollektive Risiken . . . . .	17
2.5.2	Individuelle Risiken . . . . .	17
2.6	Risikobewertung . . . . .	17
2.6.1	Kollektive Risiken . . . . .	17
2.6.2	Individuelle Risiken . . . . .	18
2.7	Mögliche Schutzmassnahmen . . . . .	18
2.8	Wirksamkeit . . . . .	18
2.9	Kosten . . . . .	19
2.10	Massnahmenbewertung . . . . .	19
2.11	Weitere Einflussfaktoren . . . . .	19
<b>3</b>	<b>Fazit</b>	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>Richtwerte EconoMe</b>	<b>23</b>

## **Teil B: Anwendung des Risikokonzpts: Prozess Erdbeben**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Charakterisierung des Prozesses Erdbeben . . . . .	1
1.2	Risikoanalyse beim Prozess Erdbeben . . . . .	6
1.2.1	Gefahrenanalyse . . . . .	6
1.2.1.1	Ereignisanalyse . . . . .	6
1.2.1.2	Wirkungsanalyse . . . . .	7
1.2.2	Expositionsanalyse . . . . .	14

1.2.3	Konsequenzenanalyse . . . . .	14
1.2.4	Risikoermittlung . . . . .	17
1.3	Risikobewertung . . . . .	17
1.4	Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung . . . . .	18
1.4.1	Mögliche Schutzmassnahmen . . . . .	18
1.4.1.1	Raumplanerische Massnahmen . . . . .	18
1.4.1.2	Organisatorische Massnahmen . . . . .	18
1.4.1.3	Technische Massnahmen . . . . .	19
1.4.2	Bestimmen der Wirksamkeit . . . . .	19
1.4.3	Berechnen der Kosten . . . . .	19
1.4.4	Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen . . . . .	19
1.4.5	Bewertung von Massnahmen . . . . .	20
<b>2</b>	<b>Risikobasierte Beurteilung von bestehenden Gebäuden gemäss Merkblatt SIA 2018</b>	<b>21</b>
<b>3</b>	<b>Anwendungsbeispiel des Merkblattes SIA 2018</b>	<b>27</b>
3.1	Risikoermittlung und Risikobewertung . . . . .	28
3.2	Massnahmenkonzept und Massnahmenbewertung . . . . .	28
<b>4</b>	<b>Fazit</b>	<b>31</b>

## **Teil B: Anwendung des Risikokonzepts: Prozess Sturm**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Charakterisierung des Prozesses Sturm . . . . .	1
1.2	Risikoanalyse beim Prozess Sturm . . . . .	2
1.2.1	Gefahrenanalyse . . . . .	2
1.2.1.1	Ereignisanalyse . . . . .	2
1.2.1.2	Wirkungsanalyse . . . . .	4
1.2.2	Expositionsanalyse . . . . .	8
1.2.3	Konsequenzenanalyse . . . . .	9
1.3	Risikobewertung . . . . .	11
1.4	Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung . . . . .	11
1.4.1	Mögliche Massnahmen . . . . .	11
1.4.1.1	Verstärkungsmassnahmen . . . . .	11
1.4.1.2	Abschirmungen . . . . .	12
1.4.2	Bestimmen der Wirksamkeit . . . . .	12
1.4.3	Berechnen der Kosten . . . . .	12
1.4.4	Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen . . . . .	12
1.4.5	Bewertung von Massnahmen . . . . .	13
<b>2</b>	<b>Fallbeispiel Sturmauswirkungen auf Industriebetrieb im Mittelland</b>	<b>15</b>
2.1	Einleitung . . . . .	15
2.2	Gefahrenanalyse . . . . .	15
2.2.1	Ereignisanalyse . . . . .	15
2.2.2	Wirkungsanalyse . . . . .	15

2.3	Expositionsanalyse . . . . .	16
2.3.1	Ermittlung der exponierten fixen Objekte . . . . .	16
2.3.2	Ermittlung der exponierten Personen . . . . .	16
2.4	Konsequenzenanalyse . . . . .	16
2.5	Risikoermittlung . . . . .	17
2.5.1	Kollektive Risiken . . . . .	17
2.5.2	Individuelle Risiken . . . . .	17
2.6	Risikobewertung . . . . .	18
2.6.1	Kollektive Risiken . . . . .	18
2.6.2	Individuelle Risiken . . . . .	18
2.7	Mögliche Schutzmassnahmen . . . . .	18
2.8	Wirksamkeit . . . . .	18
2.9	Kosten . . . . .	18
2.10	Massnahmenbewertung . . . . .	19
<b>3</b>	<b>Fazit</b>	<b>21</b>

## **Teil B: Anwendung des Risikokonzepts: Prozess Hagel**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Charakterisierung des Prozesses Hagel . . . . .	1
1.2	Risikoanalyse beim Prozess Hagel . . . . .	2
1.2.1	Einleitung . . . . .	2
1.2.2	Gefahrenanalyse . . . . .	2
1.2.2.1	Ereignisanalyse . . . . .	2
1.2.2.2	Wirkungsanalyse . . . . .	3
1.2.3	Expositionsanalyse . . . . .	6
1.2.4	Konsequenzenanalyse . . . . .	6
1.2.4.1	Grundlagen für die Empfindlichkeit von Gebäudehüllen . . . . .	7
1.2.4.2	Schadenausmass von Gebäudehüllen . . . . .	7
1.2.4.3	Schadenausmass für Sachwerte auf Parkplätzen und Verkehrsachsen (Autos) . . . . .	7
1.2.4.4	Schadenausmass Landwirtschaft . . . . .	8
1.3	Risikoermittlung . . . . .	9
1.4	Risikobewertung . . . . .	9
1.5	Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung . . . . .	9
1.5.1	Mögliche Schutzmassnahmen bei Gebäuden . . . . .	9
1.5.1.1	Verstärkung . . . . .	9
1.5.1.2	Abschirmung . . . . .	10
1.5.1.3	Organisatorische Massnahmen (Wegstellen) . . . . .	10
1.5.2	Mögliche Schutzmassnahmen in der Landwirtschaft . . . . .	10
1.5.2.1	Abschirmung . . . . .	10
1.5.2.2	Hagelabwehr . . . . .	10
1.5.3	Mögliche Schutzmassnahmen bei Autos . . . . .	10
1.5.3.1	Abschirmung . . . . .	10
1.5.3.2	Organisatorische Massnahme . . . . .	11

1.5.4	Bestimmen der Wirksamkeit . . . . .	11
1.5.5	Berechnen der Kosten . . . . .	11
1.5.6	Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen . . . . .	11
1.5.7	Bewertung von Massnahmen . . . . .	12
<b>2</b>	<b>Fallbeispiel Hagelgefährdung eines Sportzentrums in Luzern</b>	<b>13</b>
2.1	Einleitung . . . . .	13
2.2	Gefahrenanalyse . . . . .	13
2.2.1	Ereignisanalyse . . . . .	13
2.2.2	Wirkungsanalyse . . . . .	13
2.3	Expositionsanalyse . . . . .	14
2.4	Konsequenzenanalyse . . . . .	14
2.4.1	Dachflächen Faserzement . . . . .	14
2.4.2	Fassade gewellter GFK-UP . . . . .	14
2.4.3	Fassade Glasfenster . . . . .	15
2.5	Risikoermittlung . . . . .	15
2.6	Risikobewertung . . . . .	15
2.7	Mögliche Schutzmassnahmen . . . . .	16
2.8	Wirksamkeit . . . . .	16
2.9	Kosten . . . . .	16
2.10	Massnahmenbewertung . . . . .	17
<b>3</b>	<b>Fazit</b>	<b>19</b>

## Teil B: Anwendung des Risikokonzepts: Hitzewelle

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Charakterisierung des Prozesses Hitzewelle . . . . .	1
1.2	Risikoanalyse beim Prozess Hitzewelle . . . . .	2
1.2.1	Einleitung . . . . .	2
1.2.2	Gefahrenanalyse . . . . .	2
1.2.2.1	Ereignisanalyse . . . . .	3
1.2.2.2	Wirkungsanalyse . . . . .	3
1.2.3	Expositionsanalyse . . . . .	6
1.2.4	Konsequenzenanalyse . . . . .	8
1.2.5	Risikoermittlung . . . . .	8
1.3	Risikobewertung . . . . .	8
1.3.1	Individuelle Risiken . . . . .	8
1.3.2	Kollektive Risiken . . . . .	9
1.4	Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung . . . . .	9
1.4.1	Mögliche Schutzmassnahmen . . . . .	9
1.4.1.1	Verhalten / Organisation . . . . .	9
1.4.1.2	Bauliche Massnahmen an Gebäuden und Nutzungsverhalten in Gebäuden . . . . .	10
1.4.2	Bestimmen der Wirksamkeit . . . . .	10
1.4.3	Berechnen der Kosten . . . . .	10

1.4.4	Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen . . . . .	11
1.4.5	Bewertung von Massnahmen . . . . .	11
<b>2</b>	<b>Fallbeispiel Altersheim Bern</b>	<b>13</b>
2.1	Einleitung . . . . .	13
2.2	Gefahrenanalyse . . . . .	13
2.2.1	Ereignisanalyse . . . . .	13
2.2.2	Wirkungsanalyse . . . . .	14
2.3	Expositionsanalyse . . . . .	14
2.3.1	Ermittlung der fixen Objekte . . . . .	14
2.3.2	Ermittlung der exponierten Personen . . . . .	14
2.4	Konsequenzenanalyse . . . . .	15
2.5	Risikoermittlung . . . . .	16
2.5.1	Kollektive Risiken . . . . .	16
2.5.2	Individuelle Risiken . . . . .	16
2.6	Risikobewertung . . . . .	16
2.6.1	Kollektive Risiken . . . . .	16
2.6.2	Individuelle Risiken . . . . .	17
2.7	Mögliche Schutzmassnahmen . . . . .	17
2.7.1	Raumplanerische Massnahmen . . . . .	17
2.7.2	Biologische Massnahmen . . . . .	17
2.7.3	Organisatorische Massnahmen . . . . .	17
2.7.4	Technische Massnahmen . . . . .	17
2.7.4.1	Massnahme 1: Einbau von Klappenöffnungen für die Nach- tauskühlung . . . . .	18
2.7.4.2	Massnahme 2: Dach- und Wandisolation des Gebäudes . . . . .	18
2.8	Wirksamkeit . . . . .	18
2.8.1	Wirksamkeit Massnahme 1 . . . . .	18
2.8.2	Wirksamkeit Massnahme 2 . . . . .	19
2.9	Kosten . . . . .	19
2.10	Massnahmenbewertung . . . . .	20
2.11	Realisierte Massnahmen . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Fazit</b>	<b>23</b>

**Literaturverzeichnis**

**Glossar**

# Prefazione

Sollecitato dalla mozione Daniöth (1999) il Consiglio federale ha dato mandato alla Piattaforma nazionale «Pericoli naturali» PLANAT di elaborare una strategia globale e integrata con obiettivo di migliorare la sicurezza contro i pericoli naturali. Il Consiglio federale faceva rilevare che la protezione contro i pericoli della natura non deve essere garantita unicamente alle popolazioni dell'arco alpino ma a tutta la popolazione svizzera. Esprimeva inoltre l'intenzione di voler raggiungere, nell'ambito di una gestione globale dei rischi, standard di sicurezza comparabili a livello nazionale con lo scopo di proteggere l'uomo, le basi naturali della vita e i beni materiali considerevoli.

Finora PLANAT ha elaborato, in una prima tappa, un concetto per una strategia globale e integrata per la sicurezza contro i pericoli naturali<sup>1</sup>. Questa strategia è in sintonia con la politica per uno sviluppo sostenibile perseguita dal Consiglio federale e con il concetto di sicurezza unitaria saldamente ancorato fra gli obiettivi del Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni (DATEC). Nella seconda tappa PLANAT ha analizzato<sup>2</sup> la situazione attuale nel settore dei pericoli naturali e ha proposto un piano d'azione con misure da mettere in atto in una terza tappa (2005-2008).

Il presente rapporto descrive i risultati del progetto singolo A1.1 «Linee guida per il concetto di rischio», realizzato nell'ambito del piano d'azione 2005 – 2008.

Andreas Götze  
Presidente PLANAT

Ittigen, febbraio 2008

---

<sup>1</sup>PLANAT (2004): Sicherheit vor Naturgefahren - Vision und Strategie.

<sup>2</sup>Strategie Naturgefahren Schweiz (2005). Synthesebericht.



# Considerazioni generali

Queste linee guida illustrano l'applicazione del concetto di rischio nel settore dei pericoli naturali che si manifestano in Svizzera. Esse dovrebbero rappresentare, nell'ambito della futura gestione integrale del rischio, l'opera di consultazione e le basi di lavoro per la pianificazione e la valutazione delle misure di protezione basate sul rischio. Il rapporto comprende una parte introduttiva, la parte A e la parte B. Nella parte A viene esposto il concetto di rischio valido per tutti i processi. La parte B approfondisce l'applicazione del citato concetto per le valanghe, le inondazioni, i flussi di detriti, i processi di crollo, gli scivolamenti spontanei e permanenti, i terremoti, gli uragani, la grandine e le ondate di calura. Per tutti i processi menzionati viene presentato un caso pratico.

Il rapporto di sintesi di PLANAT, elaborato nel 2005, costituisce la base per la descrizione generale del concetto di rischio esposta nella parte A. Conformemente ai principi formulati nel citato documento vengono illustrate e rappresentate l'analisi e la valutazione del rischio come pure la pianificazione integrale e la valutazione delle misure. La conoscenza e la comprensione degli elementi fondamentali esposti nella parte A è indispensabile per poter seguire i casi concreti presentati nella parte B. Le parti A e B sono caratterizzate da una struttura analoga e da frequenti rimandi alle corrispondenti posizioni del testo, ciò che facilita la consultazione del documento.

Uno degli scopi essenziali delle linee guida consisteva nel verificare se il concetto di rischio formulato nella strategia di PLANAT poteva trovare una valida applicazione pratica. A questa domanda si può dare una risposta essenzialmente affermativa anche se, fra i diversi processi, sussiste qualche sostanziale differenza. La determinazione dei rischi derivanti da eventi naturali richiede un numero non indifferente di ipotesi, che nella maggior parte dei casi poggiano su basi poco sicure. Le formule di calcolo proposte in queste linee guida, derivate dalle conoscenze scientifiche del momento, consentono un procedimento di valutazione uniforme, caratterizzato tuttavia da inevitabili insicurezze.

La convivenza con le insicurezze è una componente del concetto di rischio, concetto che permette tuttavia di valutarle quantitativamente e di descriverle con la dovuta trasparenza. In nessun caso i risultati di un'analisi del rischio possono pertanto venir definiti «giusti» o «sbagliati»; essi rappresentano piuttosto una stima dei danni attesi in funzione delle ipotesi formulate. Un'approfondita conoscenza dei processi riveste un'importanza fondamentale per la valutazione delle insicurezze. Affinchè queste, nell'analisi del rischio, vengano ridotte al minimo si rendono necessari, nel prossimo futuro, ulteriori sforzi: per la definizione degli scenari e dei parametri d'entrata della formula del rischio è infatti necessario acquisire conoscenze di base più approfondite. La necessità di nuovi studi è particolarmente sentita per i processi ancor poco conosciuti come gli uragani, la grandine e le ondate di calura.

La valutazione del rischio rispecchia indirettamente i criteri di giudizio della società in rapporto ai rischi. In queste linee guida le proposte della strategia di PLANAT sono state riprese e completate sulla base di studi in corso e di nuove conoscenze, con la consapevolezza che gli obiettivi di protezione formulati per l'individuo e per la società rappresentano il pensiero del momento. I criteri di giudizio che stanno alla base degli obiettivi di protezione devono di conseguenza essere verificati periodicamente; ciò potrebbe comportare, in futuro, un adeguamento dei criteri decisionali proposti dal concetto di rischio.

La pianificazione integrale delle misure e la valutazione economica delle combinazioni di misure rappresenta una sfida per gli operatori del settore. Da una parte la valutazione dell'efficacia delle singole misure in funzione della riduzione del rischio risulta assai impegnativa; dall'altra la pianificazione integrale delle misure (tutte le misure conosciute e sensate possono venir combinate) rappresenta l'abbandono di criteri di premunizione sperimentati negli ultimi anni e decenni. Nella pratica vige la consuetudine di considerare intere combinazioni di misure e di valutare l'efficacia (rapporto benefici/costi) del loro insieme e non della singola misura. Con la valutazione del rapporto benefici/costi derivante da combinazioni di misure si arriva spesso ad una soluzione non proprio ottimale. Ciò comporta un utilizzo irrazionale dei mezzi finanziari a disposizione, in contrasto con quanto previsto dalla strategia di PLANAT. Nei casi pratici specifici la valutazione delle misure è avvenuta attraverso l'applicazione del criterio dei costi limite. A questo proposito bisogna tuttavia tener presente che tale procedimento richiede ulteriori esperienze.

Per concludere si rende necessaria qualche osservazione a proposito dell'impegno richiesto. Una pianificazione delle misure dettagliata e fondata sul rischio come illustrato nelle linee guida può comportare, specialmente in presenza di un numero importante di oggetti da valutare, un carico di lavoro che non può essere sottovalutato. L'entità dell'impegno che deve essere dedicato a un determinato problema di sicurezza deve venir discusso e accordato con il committente. L'elaborazione delle carte delle intensità per tutte le misure, rispettivamente le combinazioni di misure valutate, è molto onerosa. Per questo motivo è indispensabile sin dall'inizio, stabilire con il committente le varianti che devono essere analizzate e considerate nell'ambito della pianificazione integrale delle misure. In molti casi il maggior impegno richiesto da uno studio approfondito delle varianti e dalla definizione di una soluzione ottimale dal punto di vista economico, conformemente al criterio dei costi limite, dovrebbe essere compensato, entro pochi anni, dal maggior beneficio conseguito con una «miglior soluzione», più efficace rispetto a una soluzione meno valida.

Nell'ambito di questo progetto non è stato possibile dimostrare in modo esplicito la necessità di un maggior approfondimento della pianificazione delle misure. Queste linee guida rappresentano comunque la base per acquisire, nei prossimi tempi, ulteriori esperienze al proposito.

# Introduzione

## Motivazione del progetto

Queste linee guida sono il risultato del progetto A1.1 «Linee guida per il concetto di rischio», portato a termine nel periodo 2006-2008 nell'ambito del piano d'azione di PLANAT «Sicurezza contro i pericoli della natura»<sup>3</sup>. Il piano d'azione PLANAT 2005-2008 ha rappresentato lo continuazione degli sforzi iniziati in seguito alla mozione Danioth dopo gli eventi del 1999 e intesi a sviluppare una strategia per far fronte ai pericoli naturali. Con questo e altri progetti del piano d'azione si è cercato di rimediare alle lacune riscontrate nella strategia.

Queste linee guida sono orientate innanzitutto alla valutazione della sicurezza. Altri aspetti, come ad esempio l'accettabilità del rischio da parte della società, la fattibilità politica e la compatibilità ambientale possono svolgere, nella pianificazione delle misure, un ruolo più o meno importante. Per una loro trasparente considerazione occorre far riferimento ai metodi e ai criteri di valutazione dei rispettivi settori (ad es. protezione della natura).

Lo scopo principale della valutazione unitaria dei rischi naturali consiste nel conseguimento della garanzia di comparabilità delle diverse valutazioni. Gli specialisti del settore, con le conoscenze scientifiche attuali e i metodi di lavoro finora applicati, non sempre sono in grado di definire le ipotesi determinanti attraverso criteri unitari. Per creare un maggior equilibrio nel campo delle insicurezze sono state elaborate le basi di valutazione illustrate in queste linee guida.

## La posizione della guida per il concetto di rischio nella gestione integrale del rischio

La strategia di PLANAT e il concetto di rischio che sta alla base delle linee guida si fondano sul principio fondamentale della gestione integrale dei rischi. Questi devono essere identificati, valutati sulla base di criteri riconosciuti e ridotti mediante una razionale combinazione di misure tecniche, pianificatorie, biologiche e organizzative. La gestione integrale dei rischi tende a parificare l'importanza della prevenzione, della realizzazione di misure di protezione e della ricostruzione.

La pianificazione del territorio è una componente determinante della gestione integrale del rischio. Attraverso il piano direttore, il piano regolatore e le procedure relative alle autorizzazioni a costru-

---

<sup>3</sup>Ringraziamo Walter Ammann e Thomas Schneider per il costruttivo scambio di vedute durante la fase preliminare del progetto.

ire cerca di garantire un'utilizzazione del territorio adeguata alle esigenze e rispettosa delle zone di pericolo. Contribuisce quindi a ridurre i rischi conosciuti e ad evitarne dei nuovi (1). La pianificazione del territorio rappresenta un'importante misura di prevenzione contro i pericoli naturali, sulla quale si fondano tutti gli altri provvedimenti di sicurezza. Ciò è prescritto anche dalla legge forestale federale e dalla legge federale sulla sistemazione dei corsi d'acqua nonché dalle relative ordinanze.

Queste linee guida possono per principio venir utilizzate per tutti i problemi relativi alla sicurezza nell'ambito dei pericoli naturali. Devono innanzitutto trovare applicazione laddove, malgrado i provvedimenti di ordine pianificatorio, sono supposti alti rischi e occorre verificare se questi possono venir ridotti con un investimento finanziario proporzionato. Le linee guida affrontano in particolare quelle situazioni per le quali sussiste un deficit di protezione. Per la riduzione del rischio entrano in considerazione misure organizzative, biologiche e tecniche che possono venir messe in atto con successo in tempi relativamente brevi. Oltre a questi provvedimenti rivestono un ruolo importante le già citate misure di pianificazione, in particolar modo le modifiche di utilizzazione del territorio e il trasferimento di edifici soggetti a pericolo.

Oltre alla presente guida, negli ultimi anni sono stati elaborati altri strumenti per un approccio strutturato alla problematica del rischio derivante dagli eventi naturali. Per una migliore comprensione degli intendimenti e degli scopi delle linee guida, nel capitolo che segue vengono descritti altri metodi per l'aiuto alla decisione.

## **Le linee guida nel contesto delle altre applicazioni**

A dipendenza degli scopi che si intendono raggiungere, la valutazione del rischio può avvenire attraverso approcci metodologici e gradi di approfondimento differenti. Oltre ai parametri d'entrata, disponibili in quantità e qualità diversa, assumono un ruolo importante l'esperienza e le conoscenze dell'operatore nonché l'elaborazione dei risultati derivanti dall'analisi. Infine non sono da sottovalutare i vantaggi che possono scaturire dalla sensibilizzazione delle autorità, degli specialisti e della popolazione circa le possibilità e i limiti derivanti dall'applicazione del concetto di rischio.

In questo contesto, caratterizzato da valutazioni con scopi ed esigenze differenziati, negli ultimi anni sono stati creati diversi programmi di calcolo per l'analisi e la valutazione del rischio come pure per la pianificazione e la valutazione delle misure.

**RiskPlan2:** Riskplan 2 online è il successore del programma Riskplan, uno strumento di calcolo e di gestione per la stima dei rischi in zone d'azione definite e per la determinazione del rapporto benefici / costi delle misure di protezione. Con Riskplan 2 è possibile analizzare diverse zone soggette a pericolo e diversi processi per ottenere una visione, a livello regionale, dei rischi incombenti. I dati di base per la determinazione dell'entità dei danni vengono stimati. Il programma di calcolo Riskplan 2 ha pertanto un carattere generico; in particolare non contempla un'analisi del rischio dettagliata. Oltre che per i rischi derivanti dai pericoli naturali, questo strumento è adatto anche per la valutazione di rischi tecnici e sociali. L'accesso a Riskplan 2 avviene attraverso il Link [www.riskplan.admin.ch](http://www.riskplan.admin.ch).

**EconoMe:** EconoMe è un programma di calcolo per la determinazione del rapporto benefici/costi di singoli progetti ed è inteso principalmente quale supporto per la valutazione dei progetti e per le relative decisioni di finanziamento da parte delle autorità sussidiarie. EconoMe consente l'analisi del rischio basata su valori medi e su ipotesi semplificate come pure la valutazione del rapporto benefici/costi. L'accesso a EconoMe avviene attraverso il Link [www.econome.admin.ch](http://www.econome.admin.ch).

**RIKO:** il concetto presentato da RIKO costituisce la documentazione e la base metodologica per i due programmi di calcolo testè citati. Queste linee guida mettono a disposizione le basi per una pianificazione delle misure basata sul rischio ed elaborata attraverso l'analisi del rischio, la valutazione del rischio e la pianificazione delle misure. Nell'ambito dei pericoli naturali che si manifestano in Svizzera con una certa frequenza consentono un elevato grado di approfondimento, per raggiungere il quale è necessaria la valutazione dei singoli oggetti. Le ipotesi semplificate proposte da EconoMe per la sensibilità al danno, per la letalità delle persone e per la probabilità di accadimento spaziale possono essere adottate, in mancanza di dati più precisi e come primo approccio, anche nei procedimenti previsti da queste linee guida.

L'impiego è previsto in primo luogo per le inondazioni, le valanghe, i flussi di detriti, gli scivolamenti spontanei e permanenti e i processi di crollo. In secondo luogo vengono proposte delle riflessioni sull'applicazione del concetto di rischio per altri processi come i terremoti, gli uragani, la grandine e le ondate di calore. La guida è destinata agli esperti del settore dei pericoli naturali, sia liberi professionisti che funzionari degli enti pubblici cui compete il potere decisionale.

Le linee guida per il concetto di rischio sono connesse con altri progetti elaborati nell'ambito del piano d'azione di PLANAT 2005-2008. La figura 1 descrive le diverse connessioni.

## Struttura delle linee guida

La presente guida si compone di due parti:

**La parte A.** Descrive i principi fondamentali del concetto di rischio che devono venire applicati per la valutazione di tutti i pericoli naturali. Espone, in modo valido per tutti i processi, i procedimenti per l'analisi e per la valutazione del rischio nonché le condizioni e i procedimenti per la pianificazione e per la valutazione delle misure di protezione. Di conseguenza la parte A rappresenta il documento di base per la comprensione delle nozioni necessarie ai fini dell'applicazione concreta del concetto di rischio.

**Nella parte B,** con esempi pratici, viene illustrato come deve venire applicato il concetto di rischio per le valanghe, le inondazioni, i flussi di detriti e i processi di crollo. Per altri processi come gli uragani, la grandine, le temperature estreme e i terremoti viene dimostrato come il concetto di rischio può venire applicato. Nella parte B i capitoli relativi ai singoli processi sono indipendenti: presuppongono tuttavia la comprensione e la conoscenza delle nozioni descritte nella parte A. Le ipotesi e i parametri necessari per l'analisi del rischio e per la pianificazione delle misure di protezione vengono descritti di volta in volta a dipendenza dei diversi processi.

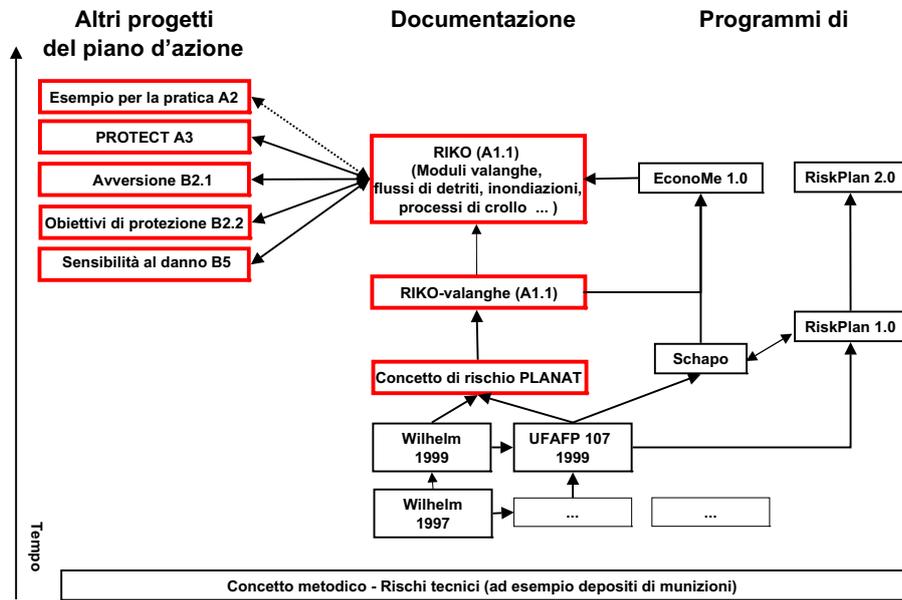


Figura 1: Progetti, chiusi e in corso, connessi alle linee guida per il concetto di rischio.



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

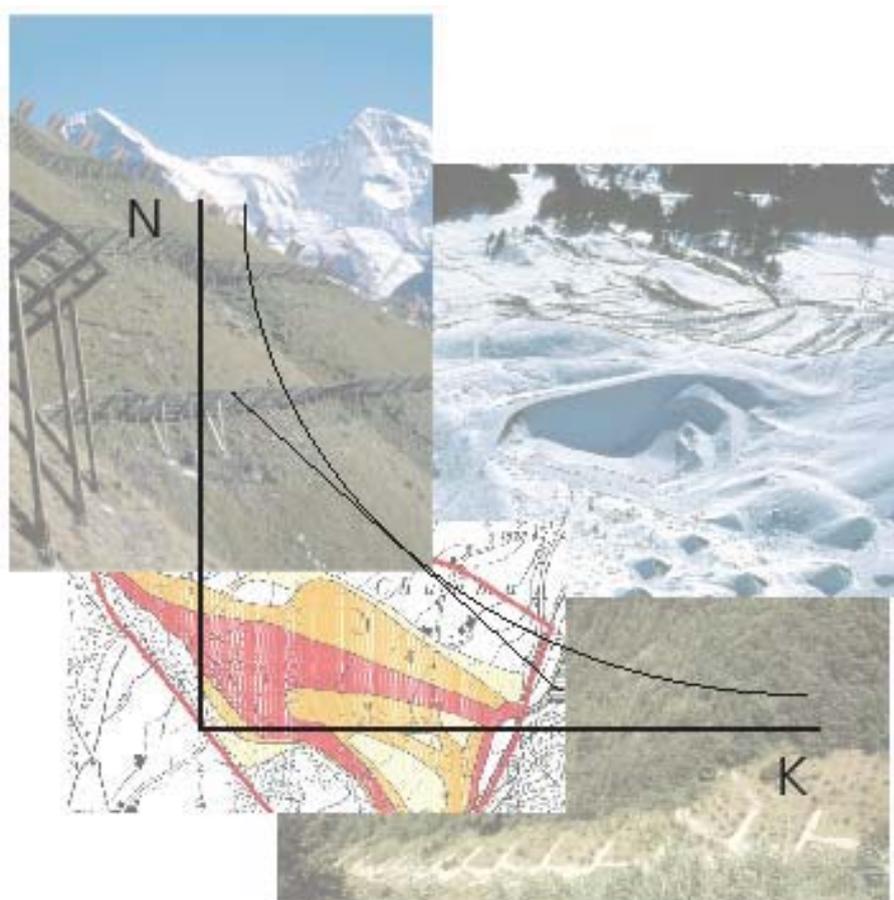
**Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT**  
**Plate-forme nationale «Dangers naturels»**  
**Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»**  
**National Platform for Natural Hazards**

Piano di gestione dei rischi per i pericoli naturali

## PARTE A:

### DESCRIZIONE GENERALE DI PIANO DI GESTIONE DEI RISCHI

Michael Bründl, Hans Romang, Niels Holthausen, Hans Merz, Nicole Bischof



Questo rapporto parziale è parte integrante del rapporto generale comprendente:

Parte A: Descrizione generale del piano di gestione dei rischi

Parte B: Applicazione del piano di gestione dei rischi

Processo valanga

Processo acqua alta

Processo colata detritica

Processo caduta massi

Processo frana spontanea

Processo frana continua

Processo terremoto

Processo tempesta

Processo grandine

Processo ondata di calura



# Capitolo 1

## Scopo e modello di base del concetto di rischio

Il concetto di rischio è un modello sviluppato per l'analisi e per la valutazione di problemi di sicurezza complessi e della conseguente pianificazione delle misure di protezione. Come ogni modello rispecchia la realtà solo in parte. Tenendo conto di questo dato di fatto, il concetto di rischio rappresenta un procedimento ampiamente concordato che, nell'ambito di una cultura del rischio vissuta in modo consapevole, consente un esame uniforme e comparabile dei problemi legati alla sicurezza.

Il concetto di rischio costituisce un'impostazione universale e sistematica che, attraverso procedimenti strutturati, consente la valutazione dei problemi legati alla sicurezza. Elaborato per una pianificazione della sicurezza basata sul rischio, è suddiviso nelle seguenti fasi: analisi del rischio, valutazione del rischio, pianificazione delle misure e valutazione delle misure.

L'origine del concetto di rischio va ricercata nel settore tecnologico. Negli anni sessanta divenne sempre più manifesta la necessità di verificare la sicurezza di sistemi tecnici molto complessi. In questo ambito il concetto di rischio serviva soprattutto a rendere comprensibili, sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo, le complesse interazioni derivanti dalla pianificazione di questi sistemi. Su questa base sono state valutate la loro sicurezza e la tollerabilità dei rischi che derivano dagli stessi, e sono state dimostrate anche la razionalità e l'affidabilità delle teorie di sicurezza proposte. Il concetto di rischio è poi stato introdotto in misura sempre maggiore anche per consentire la valutazione della concretezza e dell'efficacia di queste teorie.

Oggi il concetto di rischio rappresenta lo strumento che descrive in modo trasparente lo svolgimento delle procedure di valutazione richieste per motivare con chiarezza gli investimenti legati alla sicurezza. Queste procedure sono state elaborate da gruppi di persone assai eterogenei composti da esperti, da rappresentanti delle istituzioni e da persone interessate.

Il concetto di rischio applicato al settore dei pericoli naturali costituisce uno schema di base per la valutazione della sicurezza in campi di applicazione assai diversificati. Ciò consente uno scambio di esperienze ed un confronto, seppur limitato, fra i rischi derivanti dai pericoli naturali e quelli legati ad altri settori.

L'idea di fondo del concetto di rischio è suddivisa in tre parti, che possono essere descritte con le seguenti domande: «Cosa può capitare?», «Cosa possiamo accettare?», «Cosa occorre intrapren-

dere?». Per dare una risposta a queste domande si rende necessaria l'elaborazione delle seguenti fasi di studio:

**Analisi del rischio:** l'analisi del rischio comprende l'analisi dei pericoli, l'analisi dell'esposizione al pericolo, l'analisi delle conseguenze e infine la determinazione vera e propria del rischio. In base a scenari predefiniti vengono individuati i fattori e le circostanze che determinano il rischio complessivo. Nel caso in cui vengono tenuti in considerazione gli effetti derivanti dalle misure di protezione esistenti, l'analisi del rischio serve anche per la valutazione dell'efficacia delle stesse.

**Valutazione del rischio:** la valutazione del rischio indica se i rischi accertati sono superiori, rispettivamente inferiori, ai criteri di valutazione (obiettivi di protezione) fissati e se sussiste un deficit di protezione. La verifica degli obiettivi di protezione contro i rischi collettivi può avvenire unicamente dopo la pianificazione delle misure.

**Pianificazione integrale delle misure:** se i rischi sono troppo elevati si rende opportuna una pianificazione integrale delle misure di protezione, la quale indica le misure e i mezzi necessari per conseguire una determinata riduzione del rischio e specifica la soluzione ottimale (che, in genere, consiste in un pacchetto di misure) per il raggiungimento degli obiettivi di protezione prefissati.

Il procedimento sistematico dell'analisi del rischio è descritto nella figura 1.1. Il significato dei termini usati nel testo che segue è spiegato nel glossario.

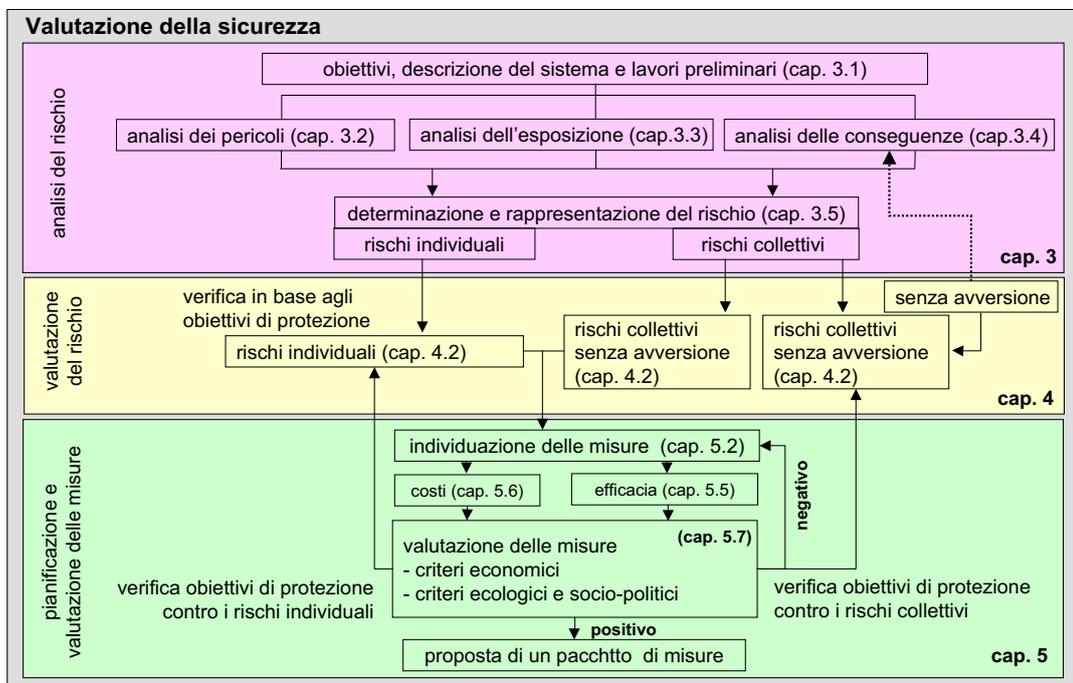


Figura 1.1: Elementi di una pianificazione delle misure di protezione basata sul rischio.

## Capitolo 2

# Concetto di rischio e grandezze che lo caratterizzano

### 2.1 Il concetto di rischio

Da un punto di vista generale il rischio definisce la possibilità di accadimento di una situazione con effetti indesiderati, ossia di un danno se ci riferiamo al settore tecnico o a quello delle scienze naturali. Il rischio può pertanto essere definito come la misura del grado di sicurezza, valutata ed espressa mediante le relative grandezze. Compongono il rischio:

- **la frequenza o la ricorrenza** di un evento pericoloso, e
- **l'entità del danno**, determinata dal numero di persone e dal valore dei beni materiali soggetti ad un evento pericoloso nel momento in cui si manifesta nonché dalla sensibilità al danno delle persone e dei beni materiali coinvolti. Questi beni possono avere dimensioni economiche, ecologiche o sociali.

Tra la nozione di frequenza e quella di ricorrenza esiste un rapporto che è descritto nella figura 2.1 e che deriva dalla funzione di densità di probabilità dell'ampiezza di un evento [12]. Questa funzione può essere ricavata da una serie di dati riferiti ad un lungo intervallo di tempo. La ricorrenza definisce un intervallo di tempo entro il quale viene raggiunto o superato un determinato valore che provoca un danno (ad esempio altezza di distacco nel caso di valanghe, livello idrometrico nel caso di inondazioni, dimensione dei blocchi nel caso di caduta di sassi). Nella figura 2.1 (a) è rappresentato un livello idrometrico avente una determinata ricorrenza che viene raggiunto o superato ogni  $T^*$  anni.

Nella figura 2.1 (b) è rappresentata la frequenza di un evento. Nella funzione di densità di probabilità eventi con livello idrometrico  $= T^*$  possono essere assegnati a scenari diversi: uno scenario con livello idrometrico compreso fra  $T^*$  e  $T^1$ , uno con livello idrometrico compreso fra  $T^1$  e  $T^2$ , come pure uno con livello idrometrico compreso fra  $T^2$  e  $T^{max}$ . Le frequenze di questi tre scenari sono rappresentate dalle corrispondenti superfici tratteggiate nella funzione di densità di probabilità. La frequenza può pertanto essere definita approssimativamente come la differenza fra due ricorrenze contigue. Se nella figura 2.1(b)  $T^*$  corrisponde a 30 anni ( $p_{30} = 0.033$ ) e  $T^1$

corrisponde a 100 anni ( $p_{100} = 0.01$ ), la frequenza dello scenario compreso fra  $T = 30$  e  $T = 100$  è pari a  $p_{30} - p_{100} = 0.023$ .

I rischi derivanti dai pericoli naturali vengono definiti come «**valore atteso del danno**». Il rischio può essere espresso come valore atteso del danno per unità di tempo (ad es. CHF/anno) o per evento.

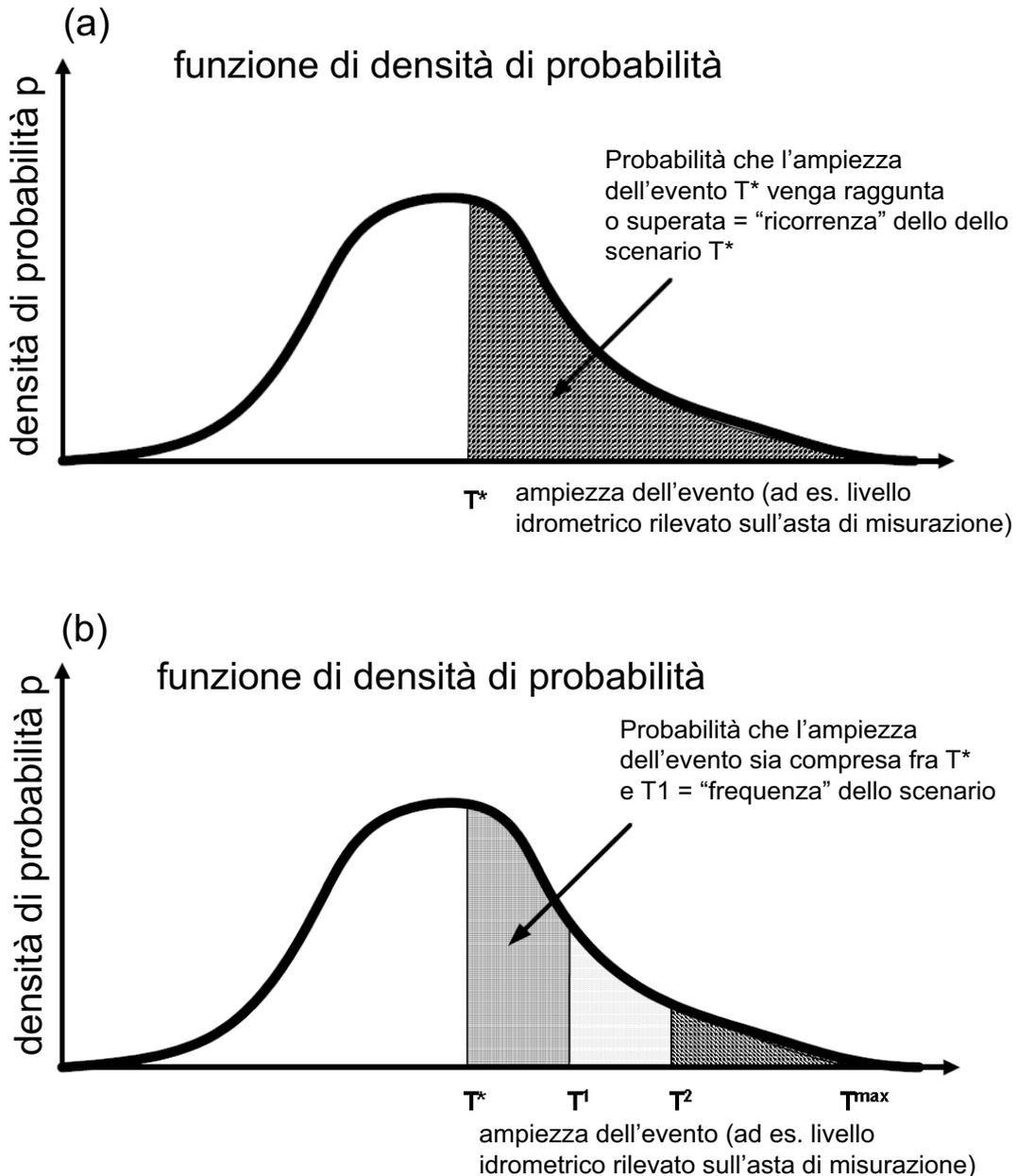


Figura 2.1: Rappresentazione della ricorrenza (a) e della frequenza (b) nella funzione di densità di probabilità (documentazione: [12])

## 2.2 La formula del rischio

Un rischio, rispettivamente un danno, si manifesta quando un oggetto è esposto ad un'azione pericolosa e può subire dei danni, a dipendenza della sua sensibilità. La formula del rischio, che rappresenta queste relazioni, è la seguente:

$$R_{i,j} = p_j \cdot p_{i,j} \cdot A_i \cdot v_{i,j} \quad (2.1)$$

$$R_j = \sum_i R_{i,j} \quad (2.2)$$

$$R = \sum_j R_j \quad [\text{c.m./a o CHF/a}] \quad (2.3)$$

$R$  = rischio collettivo, inteso quale somma di tutti gli scenari  $j$  e di tutti gli oggetti  $i$  [CHF/a resp c.m./a].

$p_j$  = probabilità dello scenario  $j$  [-].

$p_{i,j}$  = probabilità che l'oggetto  $i$  sia compreso nello scenario  $j$  [-].

$A_i$  = valore dell'oggetto  $i$  [CHF].

$v_{i,j}$  = sensibilità al danno dell'oggetto  $i$  in funzione dello scenario  $j$  [-].

Dalle formule risulta che, in presenza di un medesimo grado di pericolosità, il rischio varia in funzione della sensibilità al danno. Nella valutazione dei rischi occorre sempre tenere in considerazione le grandezze e le relazioni citate. Ciò anche se, a dipendenza del grado di approfondimento richiesto dall'applicazione del concetto di rischio, la loro quantificazione non è sempre possibile o può avverire solo in modo parziale.

## 2.3 Persone e oggetti minacciati

Nell'analisi del rischio, per principio, devono essere considerati gli oggetti determinanti ai fini della decisione relativa alle misure di sicurezza da adottare in caso concreto. Un determinato evento può interessare delle persone o degli oggetti, oppure, contemporaneamente, sia delle persone che degli oggetti. La strategia di PLANAT «Sicurezza contro i pericoli naturali in Svizzera» [55] ha come scopo principale la protezione della vita umana; la protezione dei beni materiali è invece subordinata allo scopo principale. Nella strategia di PLANAT è inoltre indicata la necessità di proteggere infrastrutture, beni culturali, comunità politiche e sistemi socio-economici.

Grande importanza viene perciò data alle persone, che in caso di evento naturale possono subire ferite o perdere la vita. Particolare attenzione deve essere rivolta ai feriti e ai costi necessari per il loro ristabilimento, che in circostanze particolari possono risultare elevati. Per principio non è possibile quantificare in denaro i danni subiti dalle persone. Tuttavia, al fine di poter determinare il rischio complessivo, comprendente i beni materiali e le persone, ai danni subiti da queste ultime viene assegnato un valore monetario, il quale corrisponde all'investimento che la comunità è disposta a sopportare per evitare incidenti mortali (confronta anche capitolo 4.2.3).

Gli oggetti minacciati sono suddivisi per categorie quali edifici (case d'abitazione, fabbriche di piccole e grandi industrie, edifici pubblici ecc.), oggetti particolari (centrali idroelettriche, disca-

riche, serbatoi d'acqua potabile ecc), infrastrutture (strade, ferrovie, impianti di risalita, condotte d'approvvigionamento, ecc), zone agricole, zone di svago e bosco. I danni subiti dai beni materiali vengono di regola quantificati direttamente con un corrispondente valore monetario, il quale corrisponde all'investimento necessario per riportare l'oggetto danneggiato nella situazione in cui si trovava prima dell'evento. Questo tipo di danno viene anche denominato danno diretto.

Gli eventi naturali causano anche danni o effetti indiretti, specialmente quando comportano interruzioni di esercizio o perdite di guadagno. La quantificazione dei danni indiretti comprende spesso svariati aspetti e può risultare difficoltosa o addirittura impossibile. Problemi possono anche sorgere a proposito della distinzione fra danni economici e danni sociali. Questi motivi fanno sì che, nell'analisi del rischio, i danni indiretti vengono spesso considerati in modo insufficiente o non vengono considerati del tutto.

Oltre ai tipi di danno citati, ai quali è più o meno possibile assegnare un valore monetario, occorre menzionare quelli subiti da oggetti il cui valore non è sempre facilmente quantificabile. A questa categoria appartengono, ad esempio, i beni culturali: in caso di danno possono essere ripristinati solo parzialmente o, nella peggiore delle ipotesi, sono da considerare definitivamente persi.

## **2.4 Grandezze del rischio per le vittime umane**

### **2.4.1 Rischio individuale**

Il rischio individuale definisce il rischio per la persona singola e specifica la probabilità annua di perdere la vita in una determinata situazione di rischio. Esprime quindi una probabilità di morte accidentale che va aggiunta a quella naturale. Rappresentato nella matrice del rischio (tabella 3.5), il rischio individuale di una persona risulta dalla somma dei rischi in tutti i possibili scenari nei quali può venire a trovarsi. L'unità di misura del rischio individuale è di regola la probabilità di decesso per anno o per un'unità di una determinata attività (ad es. per km di percorrenza in automobile).

### **2.4.2 Rischio collettivo**

#### **2.4.2.1 Persone**

Il rischio collettivo per le persone definisce il rischio per un determinato gruppo di persone o per una comunità. Riportato nella matrice del rischio (tabella 3.5, pagina 36), corrisponde al rischio  $R$  e rappresenta il prodotto fra la frequenza di uno scenario e l'entità dei danni attesa (danni alle persone).

La figura 2.2 illustra la differenza fra il rischio individuale e quello collettivo. In entrambi i casi il rischio collettivo  $R$ , vale a dire il numero atteso di vittime, è identico. Nel caso (a) si tratta di tre persone, che concorrono al rischio collettivo  $R$  con un rischio individuale (in questo caso equivalente) elevato o addirittura molto elevato (ed esempio persone che soggiornano in un edificio molto esposto). Nel caso (b) si tratta invece di un gran numero di persone con un rischio individuale basso (ed esempio persone lungo una strada). Nel caso (a) le vittime potenziali sono

conosciute, mentre nel caso (b) si tratta di vittime casuali fra una moltitudine di persone potenzialmente coinvolte. La situazione di rischio viene perciò sempre caratterizzata da due grandezze: dal rischio collettivo  $R$  e dalla distribuzione del rischio individuale, rispettivamente dalla forma della superficie del rischio risultante. Per la valutazione dei rischi questa differenziazione è determinante. I rischi devono pertanto sempre essere determinati e valutati da questi due punti di vista.

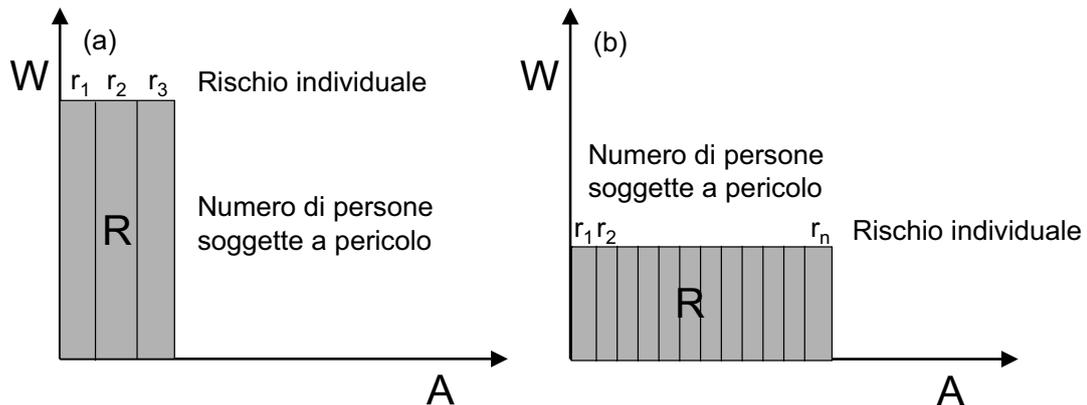


Figura 2.2: Differente entità del rischio individuale in presenza di un medesimo rischio collettivo  $R$ .

#### 2.4.2.2 Beni materiali

A dipendenza del tipo d'evento l'entità del rischio può essere influenzata in maggior misura dai beni materiali che non dalle persone (ad es. nei casi di inondazione). Il rischio collettivo relativo ai beni materiali è determinato dalla somma dell'entità dei danni causati ad ogni oggetto presente nel comprensorio di studio correlata alla frequenza dello scenario. Nella matrice del rischio, per principio, è possibile rappresentare l'entità dei danni dei singoli oggetti. A seconda della situazione, può essere conveniente rappresentare separatamente il rischio di un oggetto particolarmente significativo. Il rischio relativo ai beni materiali, formulato come valore atteso del danno, viene espresso con un valore monetario per anno (CHF per anno).



## Capitolo 3

# Analisi del rischio

L'analisi del rischio ha lo scopo di determinare, nel modo più obiettivo possibile, l'entità del rischio per un evento dannoso concreto, per un oggetto specifico o per una determinata zona. Si tratta di analizzare sia la situazione iniziale, quindi senza tener conto delle misure di protezione, sia gli effetti derivanti da queste ultime. L'analisi degli effetti riveste un ruolo rilevante, in particolare ai fini della valutazione delle misure (vedi capitolo 5).

L'analisi del rischio è suddivisa nelle seguenti fasi:

- **Obiettivi, delimitazione e lavori preliminari:** definizione degli obiettivi dell'analisi del rischio, delimitazione della zona di studio e lavori preliminari.
- **Analisi dei pericoli:** analisi degli eventi (per la definizione degli scenari determinanti e della relativa probabilità di accadimento) e analisi degli effetti (per la definizione delle intensità e del grado di pericolosità).
- **Analisi dell'esposizione:** identificazione della tipologia e dell'ubicazione degli oggetti minacciati (persone, beni materiali) nonché della loro presenza nel tempo e nello spazio (situazioni di esposizione).
- **Analisi delle conseguenze:** definizione dell'entità dei danni per i singoli oggetti mettendo in relazione il numero e il valore degli stessi, della sensibilità al danno (letalità), della probabilità di accadimento spaziale del processo, della probabilità di presenza di persone e beni materiali come pure di eventuali protezioni dirette. Definizione e rappresentazione dell'entità dei danni non ponderata e ponderata (tenuto conto dell'avversione al rischio).
- **Determinazione e rappresentazione del rischio:** analisi dell'entità dei rischi determinanti (rischio individuale e rischio collettivo) e rappresentazione.

La configurazione pratica dell'analisi del rischio, in particolare il grado di approfondimento e di quantificazione, dipende sostanzialmente dal tipo e dalla situazione di pericolo, dagli obiettivi, dai requisiti previsti dal mandato, dal livello di preparazione degli operatori e dalla qualità dei dati di base. La metodologia presentata deve essere applicata in tutti i casi, indipendentemente dalle esigenze richieste all'analisi.

### **3.1 Definizione degli obiettivi, delimitazione e lavori preliminari**

Prima di iniziare l'analisi del rischio occorre definire il comprensorio di studio (contenuti e delimitazione) e gli obiettivi dell'analisi. Dopo di che è necessario procurarsi le basi di lavoro necessarie per le singole fasi intermedie.

Prima della valutazione vera e propria della sicurezza occorre fissare gli obiettivi (compreso il grado di approfondimento) e delimitare il comprensorio di studio con l'ente responsabile (committente). Altri lavori preliminari consistono nella descrizione del comprensorio, nella ricerca delle basi di lavoro disponibili e nell'esame delle stesse. Inoltre occorre definire l'organizzazione del progetto (partecipanti, competenze e modalità di collaborazione).

#### **3.1.1 Definizione degli obiettivi**

Lo scopo della valutazione è determinato dalla rilevanza del problema e dai risultati attesi. Quali sono le incertezze che gravano sul processo decisionale? Con che grado di preoccupazione è considerata la situazione? Si tratta di elaborare unicamente una stima approssimativa, intesa quale base decisionale per la definizione delle esigenze di protezione e degli approfondimenti ancora necessari, oppure si tratta di elaborare subito una pianificazione dettagliata, con relativa valutazione, delle misure di protezione? Quali sono i fattori che influenzano il processo decisionale? Lo scopo della valutazione deve essere definito sulla base di queste domande.

In funzione degli obiettivi fissati e dell'analisi della situazione devono poi essere definiti il grado di approfondimento e l'impegno necessari e adeguati agli scopi. Occorre in particolare valutare se l'onere richiesto da un'analisi accurata, elaborata secondo le metodologie previste da queste linee guida, è giustificato dall'ottimizzazione dei costi delle misure conseguita. Il grado di approfondimento appropriato e la necessaria accuratezza dell'analisi sono stabiliti anche dalle vigenti condizioni quadro giuridiche (obbligo di diligenza).

#### **3.1.2 Delimitazione e descrizione del comprensorio di studio**

La delimitazione e la descrizione del comprensorio di studio è strettamente collegata con l'analisi della situazione e con la definizione degli obiettivi. Detta descrizione deve avvenire dal punto di vista:

- geografico (estensione spaziale del comprensorio di studio), e
- dei contenuti (fonti di pericolo, oggetti, tipi di danni, effetti collaterali).

#### **3.1.3 Lavori preliminari**

##### **3.1.3.1 Ricerca e studio delle basi di lavoro disponibili**

I documenti di base che devono essere acquisiti ai fini della valutazione della sicurezza comprendono piani, cartine, foto aeree, catasto degli eventi, rapporti tecnici e perizie (riguardanti anche

situazioni analoghe), articoli pubblicati sulla stampa, testimonianze verbali ecc. Inoltre è necessario disporre di dati relativi alle attività umane svolte nel comprensorio di studio e di previsioni circa il loro potenziale sviluppo. Sono da considerare basi di lavoro anche le informazioni sulle peculiarità naturalistiche (vegetazione, dati meteorologici ecc.) della zona.

### 3.1.3.2 Organizzazione del progetto e competenze

Le valutazioni che riguardano la sicurezza avvengono in un contesto particolare, che comprende non solo gli operatori incaricati ma anche persone con interessi di vario genere. I rapporti nell'ambito dell'organizzazione del progetto e quelli con le persone coinvolte nella valutazione devono essere chiariti fin dall'inizio.

Occorre in particolare precisare a chi spetta la competenza decisionale relativa alla valutazione e al procedimento generale. Di regola questo compito spetta al committente. Bisogna inoltre decidere se è il caso di coinvolgere altri enti o persone e le eventuali modalità di collaborazione. Infine è necessario stabilire a chi possono, rispettivamente devono, essere rilasciate informazioni.

## 3.2 Analisi dei pericoli

I parametri determinati o definiti in sede di analisi dei pericoli costituiscono la base per l'analisi dei rischi. L'analisi dei pericoli è composta dall'analisi degli eventi e dall'analisi degli effetti. L'analisi degli eventi identifica i pericoli che devono essere considerati e definisce gli scenari determinanti. L'analisi degli effetti determina il tipo, l'estensione e l'intensità degli effetti pericolosi. Il risultato di queste due fasi intermedie, vale a dire dell'analisi dei pericoli, sono rappresentati dalle carte delle intensità relative a ogni scenario determinante (rappresentazione degli effetti per scenario).

### 3.2.1 Analisi degli eventi

Nell'analisi degli eventi, sulla base di documenti e dati di diverso genere (ad es. catasto degli eventi, interpretazione di fotografie aeree, analisi del terreno), vengono innanzitutto identificati i pericoli rilevanti. Lo studio approfondito della documentazione citata e l'acquisizione di informazioni integrative consentono poi, applicando le conoscenze scientifiche del momento, di definire gli scenari dell'evento determinanti, che rappresentano il risultato dell'analisi degli eventi. Per principio fa stato la situazione attuale. Possibili modifiche del decorso dei processi possono essere tenute in considerazione, ma devono essere chiaramente segnalate come tali. Bisogna inoltre esaminare eventuali interazioni con infrastrutture tecniche (ad es. ostruzioni d'alveo). La definizione degli scenari può avvenire in modi differenti (figura 3.1):

- Sulla base dei dati del catasto degli eventi è possibile determinare la probabilità di uno scenario ( $p = 0.083$ ) attraverso la ricorrenza  $T$  di un processo (ad esempio il numero di valanghe osservate durante un dato intervallo di tempo lungo un tratto stradale dà  $T = 12$  anni) (figura 3.1(a)).

- Le possibili dimensioni di un evento sono suddivise in categorie, assegnandole a scenari aventi una determinata ricorrenza. Per motivi di comparabilità le categorie definite in Svizzera hanno una ricorrenza da 0 a 30 anni, da 30 a 100 anni, da 100 a 300 anni e da 300 e oltre anni. Per il processo «inondazioni» viene talvolta preso in considerazione anche lo scenario EHQ, che rappresenta l'evento estremo, la cui ricorrenza varia grosso modo fra i 500 e i 1000 anni (figura 3.1(b)).
- Le complesse situazioni derivanti dall'azione combinata dei possibili sviluppi di un evento possono essere modellizzate mediante un diagramma ad albero (figura 3.1(c)).
- Gli scenari vengono definiti secondo il parere degli esperti.

Quest'ultima possibilità è particolarmente importante quando si intende affrontare la problematica attraverso un approccio pragmatico; può tuttavia essere impiegata anche per la verifica degli scenari modellizzati. L'approccio pragmatico, nell'ambito dei pericoli naturali, è un procedimento che porta ad una valutazione grossolana della distribuzione del rischio in una determinata regione mediante incontri e discussioni fra esperti e rappresentanti dei diversi settori interessati [12, 3].

### 3.2.2 Analisi degli effetti

Con l'analisi degli effetti vengono determinati, in funzione degli scenari definiti, il tipo di pericolo, la sua estensione e la sua intensità. L'intensità corrisponde all'effetto fisico del processo, che differisce a seconda del tipo di evento (ad esempio, nel caso di inondazione, l'intensità può essere rappresentata dall'altezza dell'acqua o dal prodotto fra l'altezza dell'acqua e la velocità di deflusso).

Nei diversi scenari le intensità vengono stimate facendo capo alle informazioni reperite nel catasto degli eventi oppure mediante modellizzazioni e simulazioni, basate su una rappresentazione semplificata del sistema naturale. Il risultato è rappresentato nelle carte delle intensità, strumento praticamente indispensabile per un'analisi del rischio dettagliata. Questi documenti possono essere sostituiti, ma solo in modo molto limitato, dalle carte dei pericoli, nelle quali l'intensità e la frequenza non vengono riportate separatamente. Per l'analisi del rischio è invece indispensabile sapere dove, con che frequenza e con quale intensità il processo si manifesta.

Per motivi di semplificazione, nella maggior parte dei casi è opportuno suddividere in classi le intensità stimate o calcolate. Una possibilità di suddivisione, che segue la prassi ormai ancorata nella letteratura riguardante il settore dei pericoli naturali, consiste nel definire tre classi di intensità: bassa, media e alta. In questo contesto è importante operare con classi uniformi, al fine di garantire la comparabilità dei risultati. Per quanto riguarda le valanghe, le inondazioni, i processi di crollo e gli scivolamenti di pendio i criteri per la classificazione delle intensità sono stati fissati da direttive e raccomandazioni della Confederazione [8, 45, 43].

Per i processi non gravitativi risultano importante, come nel caso del vento, la velocità e la durata; per la grandine il diametro dei chicchi. Per i processi influenzati dalla temperatura (ondate di calura e gelo) il numero di giorni con temperatura media giornaliera superiore, rispettivamente inferiore, a un determinato valore rappresenta un importante criterio di delimitazione.

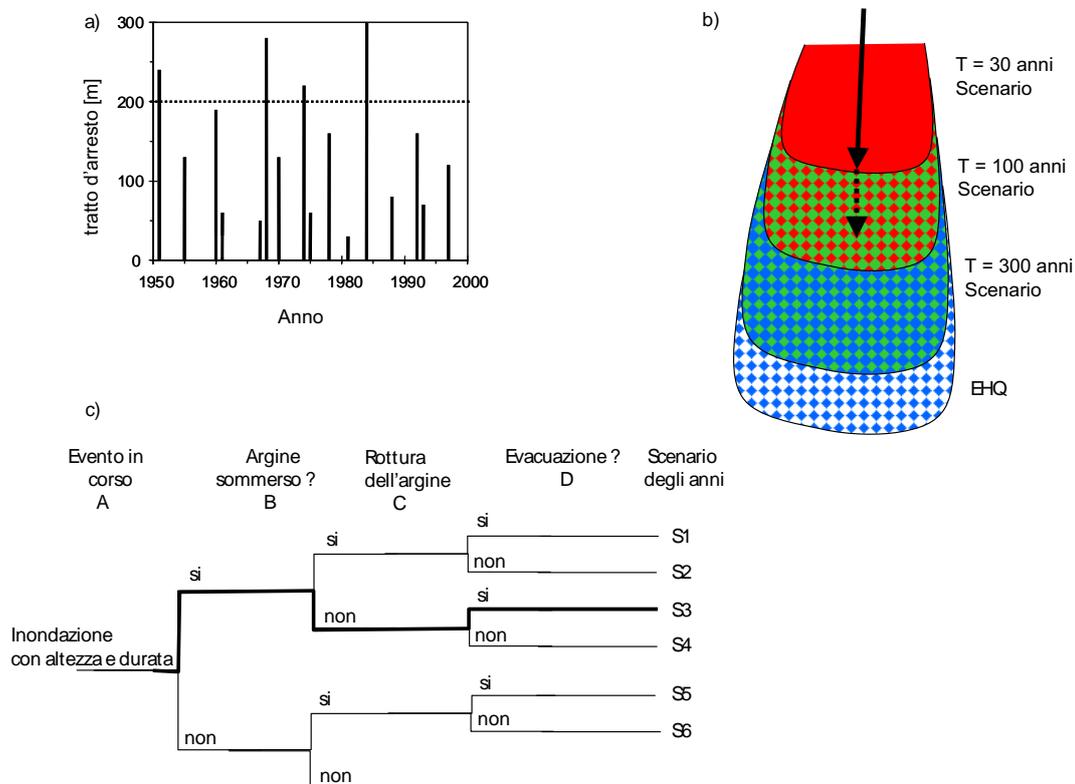


Figura 3.1: Metodi per la definizione degli scenari. Nel caso (a) la ricorrenza di un evento può essere determinata ricorrendo a un determinato periodo di osservazione. Nell'esempio è rappresentato il caso in cui, durante un periodo di 48 anni, sono stati osservati diverse cadute di valanghe lungo un asse di traffico qualsiasi. Complessivamente sono state osservate 16 valanghe, quattro delle quali avevano una lunghezza d'arresto di oltre 200 m. Per queste ultime risulta una ricorrenza di 12 anni (secondo Wilhelm [82]). Nel caso (b) vengono definiti 3 scenari con ricorrenza  $T = 30$  anni,  $T = 100$  anni e  $T = 300$  anni. La zona oltre la ricorrenza trecentennale non viene più considerata. Nel caso (c) gli scenari sono definiti mediante un diagramma ad albero dell'evento.

### 3.3 Analisi dell'esposizione

Nell'analisi dell'esposizione gli oggetti potenzialmente soggetti a pericolo sono identificati e descritti, sia in termini qualitativi che quantitativi, con l'indicazione della posizione, del numero, dell'utilizzo e del valore. L'analisi del rischio tiene conto, per principio, dello stato attuale: sono cioè considerati unicamente gli oggetti presenti al momento della valutazione. Il potenziale di danno non rimane tuttavia costante nel tempo e può quindi subire delle variazioni. Cinque o dieci anni dopo lo studio, ad esempio, le zone edificabili assegnate alla zona blu potrebbero essere edificate: ciò comporterebbe un possibile aumento del potenziale di danno, che a sua volta influenzerebbe nuovamente il rischio. In casi particolari è possibile, nell'ambito della pianificazione, considerare separatamente, nella loro situazione attuale, le zone interessate da questa situazione. Ciò consentirebbe di valutare l'evoluzione del rischio e i suoi effetti, che potrebbero essere tenuti in considerazione per la pianificazione delle misure. Il possibile sviluppo futuro deve tuttavia essere specificato con chiarezza come tale.

Gli oggetti e le zone da valutare sono suddivisi nei seguenti gruppi:

- Oggetti il cui numero e la cui posizione non mutano nel tempo (beni immobili, oggetti fissi).
- Oggetti (beni) mobili nel tempo e nello spazio (veicoli, installazioni mobili), che al momento della valutazione devono essere considerati presenti.
- Persone che soggiornano in oggetti fissi o mobili, da considerare presenti al momento della valutazione.
- Sviluppo futuro (aumento o riduzione) di oggetti fissi e persone, quali parametri d'entrata separati per la valutazione dell'evoluzione del rischio.

### 3.3.1 Accertamento dei beni immobili (oggetti fissi)

Per i beni immobili potenzialmente soggetti a pericolo è necessario rilevare le grandezze e le caratteristiche esposte nella tabella 3.1. Questi dati rappresentano la base per la determinazione dell'entità dei danni, trattata al capitolo 3.4. I danni risultanti corrispondono ai danni diretti attesi in funzione degli scenari predefiniti.

*Tabella 3.1: Grandezze e caratteristiche per la determinazione dei danni diretti ai beni immobili potenzialmente soggetti a pericolo.*

<b>Categoria di beni</b>	<b>Grandezze e caratteristiche per i danni diretti</b>
Edifici, oggetti particolari	Posizione, numero edifici, numero di persone per edificio, valore venale
Infrastrutture	Posizione, utilizzazione, tipologia di costruzione, protezione diretta, valore venale
Strade, ferrovie	Posizione, lunghezza, grado d'occupazione
Impianti di risalita	Tipo, valore venale, protezione diretta
Condotte di approvvigionamento	Posizione, lunghezza, valore venale, protezione diretta
Agricoltura	Posizione, superficie, valore venale
Bosco	Posizione, superficie, valore venale
Superfici di svago	Posizione, superficie, valore venale

Oltre ai danni diretti, la maggior parte gli eventi naturali causa anche danni indiretti. Questi derivano dalla ridotta funzionalità di un oggetto (ad esempio asse di traffico danneggiato o interrotto, edificio industriale o artigianale danneggiato) e sono a carico dei proprietari o dei gestori. Per alcuni oggetti i danni indiretti sono assai più importanti di quelli diretti. Un esempio al riguardo è rappresentato dalle ferrovie, che per legge devono osservare l'orario pubblicato e che quindi, in caso di interruzione, devono provvedere a un servizio sostitutivo assai oneroso. I danni diretti, ad esempio i guasti di scarsa entità alla linea causati da una valanga e i relativi costi di sgombero, sono praticamente irrilevanti. Dal momento che i danni indiretti sono generalmente difficili da quantificare è indispensabile che le relative valutazioni siano accompagnate da una documentazione chiara e verificabile delle ipotesi considerate. Nella tabella 3.2 sono riportati alcuni esempi di danni indiretti.

### 3.3.2 Accertamento delle persone e dei beni mobili

Per gli oggetti mobili come veicoli, tende, installazioni per feste campestri ecc. occorre innanzitutto verificare la loro effettiva presenza nel periodo in cui può verificarsi un evento dannoso.

Tabella 3.2: Grandezze e caratteristiche per la determinazione dei danni indiretti ai beni immobili potenzialmente soggetti a pericolo.

Categoria di beni	Grandezze e caratteristiche per i danni indiretti
Edifici, oggetti particolari, artigianato, industria	Costi derivanti dall'interruzione d'esercizio
Infrastrutture	Costi derivanti dall'interruzione
Strade, ferrovie, impianti di risalita	Costi derivanti dall'interruzione
Condotte di approvvigionamento	Costi derivanti dall'interruzione
Agricoltura	Perdita d'esercizio o perdita del raccolto
Bosco	Perdita della funzione di protezione contro i pericoli naturali
Superfici di svago	Perdita di profitto

Se ciò è confermato e se in caso d'evento possono verificarsi danni importanti, questi oggetti devono essere considerati nell'analisi del rischio.

Trattandosi di persone occorre innanzitutto stabilire se queste, in funzione del processo analizzato, rivestono un ruolo determinante. Successivamente occorre stabilire se l'ipotesi di un'occupazione media degli edifici garantisce una sufficiente precisione della valutazione oppure se l'occupazione varia sensibilmente nel tempo.

Se si prendono in considerazione valori medi, oltre all'occupazione media dei rispettivi edifici ( $N(P)$ ) occorre determinare anche la probabilità di presenza ( $p(pr)$ ) negli stessi. Quest'ultimo concetto esprime la probabilità, per le persone, di trovarsi negli edifici soggetti a pericolo durante un evento dannoso. Il prodotto fra l'occupazione dell'edificio ( $N(P)$ ) e la probabilità di presenza ( $p(pr)$ ) rappresenta l'occupazione effettiva degli edifici. Ad esempio, se si suppone che in ogni abitazione vivono in media 2.24 persone ( $N(P) = 2.24$ ), che queste vi soggiornano per 12 ore al giorno e che l'evento può verificarsi durante tutto l'anno, abbiamo una probabilità di presenza pari a 0.5 ( $p(pr) = 0.5$ ). Di conseguenza il numero supposto delle persone effettivamente presenti per abitazione è pari a 1.12 ( $N(P) \cdot p(pr) = 1.12$ ).

### 3.3.3 Differenziazione delle situazioni di esposizione

Se, nel periodo di tempo considerato (ad esempio cinque mesi durante l'inverno), il numero delle persone potenzialmente esposte varia sensibilmente e se il rischio per queste ultime assume un ruolo determinante (ad esempio in caso di valanghe, flussi di detriti o processi di crollo), la variabilità del numero di persone può essere modellizzata ricorrendo alle cosiddette situazioni di esposizione. Negli altri casi si prende generalmente in considerazione un numero medio di persone per oggetto.

Per situazione d'esposizione si intende la presenza di un numero costante di persone in una determinata zona di pericolo durante un dato intervallo di tempo.<sup>1</sup> Una situazione di esposizione è quindi caratterizzata da una determinata durata (durata dell'intervallo) nel tempo e dal numero effettivo di persone ( $N(Peff)$ ) presenti nell'oggetto. Normalmente le situazioni di esposizione sono suddivise in una **situazione di base** e in una o più **situazioni particolari**. La situazione di base comprende un numero costante di persone (ad es. le persone nelle loro abitazioni) durante un lungo intervallo di tempo, che ricopre la maggior parte del periodo considerato. La durata di una situazione di base è relativamente lunga, ad esempio può corrispondere al 75 per cento del periodo in questione.

La **situazione di base** comprende un numero costante di persone (ad esempio le persone nelle loro abitazioni) durante un lungo intervallo di tempo, che ricopre la maggior parte del periodo considerato. La durata di una situazione di base è relativamente lunga, ad esempio può corrispondere al 75 per cento del periodo considerato.

Le **situazioni particolari** comprendono invece quei casi in cui, durante un intervallo di tempo relativamente breve, sono esposte contemporaneamente molte persone. Esempi di situazioni particolari sono: transiti di treni, di torpedoni completi, veicoli in colonna lungo le strade, passaggi di folti gruppi di gitanti, manifestazioni all'aria aperta con la presenza di centinaia o addirittura di migliaia di persone, scuole con allievi, colonie di vacanza, alberghi, matrimoni in chiesa ecc. Se un evento si manifesta nel momento e nel luogo in cui è in corso questa situazione particolare, a dipendenza delle circostanze bisogna tener conto di un numero considerevole di vittime, numero assai più elevato rispetto a quello espresso dal puro calcolo matematico dell'entità dei danni attesa. Per le istituzioni e per le comunità responsabili questo tipo di evento rappresenta situazioni estremamente critiche.

La valutazione di queste situazioni elaborata sulla base di un numero medio di persone presenti porterebbe a risultati fuorvianti. La quota dei rischi derivanti dalle situazioni particolari, rapportata al rischio complessivo, fornisce importanti indicazioni per la pianificazione delle misure. Ad esempio, se una determinata situazione di esposizione influenza in modo importante il rischio complessivo, la riduzione del rischio derivante da questa particolare situazione deve essere valutata in modo approfondito.

La sovrapposizione di diverse situazioni particolari alle situazioni di base porta alla differenziazione di diverse situazioni di esposizione, caratterizzate dalla loro durata e dal numero delle persone presenti. La durata delle situazioni di esposizione risulta dalla combinazione fra le situazioni particolari e le situazioni di base.

La determinazione della durata delle singole situazioni di esposizione in rapporto al periodo considerato può essere derivata e rappresentata mediante un diagramma ad albero dell'evento (figura 3.2).

La figura 3.2 illustra, partendo da un esempio qualsiasi, le diverse combinazioni risultanti. Queste sono contraddistinte dal numero delle persone presenti nei diversi oggetti durante i corrispondenti intervalli di tempo e dalla durata di questi intervalli di tempo. Dall'esempio si può desumere che, considerando numerose situazioni particolari, il numero complessivo delle situazioni di esposizione può aumentare rapidamente. Nella maggior parte dei casi risulta pertanto opportuno rappre-

<sup>1</sup>Una descrizione semplificata di una situazione di esposizione potrebbe essere rappresentata da una fotografia: la durata dell'illuminazione corrisponde alla durata della situazione.

sentare la realtà con una situazione di base e un numero limitato di situazioni particolari. Normalmente ne dovrebbero bastare da una a tre: in tal modo il dispendio di tempo risulta proporzionato alle esigenze poste alla valutazione.<sup>2</sup> La decisione circa il numero di situazioni particolari da considerare deve essere presa a seconda del caso pratico esaminato.

Per molti casi dovrebbe risultare conveniente la considerazione delle seguenti situazioni:

1. Occupazione normale degli edifici abitati, frequenza normale del traffico, presenza di poche persone all'aperto (lunga durata, ad esempio 0.75 o 75 per cento: ciò significa che questa situazione è determinante per 75 giorni su 100 giorni).
2. Forte presenza di persone nelle case, sulle strade (valore elevato di DTV) e all'aperto durante i fine settimana o durante la notte, rispettivamente durante il tempo libero per quanto riguarda le zone turistiche (durata da corta a media, ad esempio  $SD_k = 0.23$  o 23 per cento: ciò significa che questa situazione è determinante per 23 giorni su 100).
3. Situazione particolare. Esempio: transito di treni oppure di torpedoni turistici o di linea attraverso una zona di pericolo. Se un treno o un torpedone vengono a trovarsi, per un intervallo di tempo (durata di transito) relativamente breve, in una zona pericolosa significa che un numero elevato di persone è soggetto a pericolo. Viene quindi a formarsi una situazione di rischio massimo. Altre possibili situazioni particolari sono le colonne di autoveicoli o le manifestazioni all'aria aperta con numerosi visitatori e con una durata di qualche ora (durata molto bassa, ad esempio  $SD_k = 0.02$  o 0.02 per cento: ciò significa che questa situazione è determinante per 2 giorni su 100).

Dopo la definizione delle diverse situazioni sono accertati, per i singoli oggetti, i valori caratteristici per ogni situazione:

**Edifici:** numero delle persone effettivamente presenti nelle singole situazioni  $N(Peff)$ .

**Strada:** frequenza del traffico  $DTV_k$ , grado d'occupazione dei veicoli  $\beta_k$ , velocità dei veicoli lungo il tratto soggetto a pericolo  $v$  nelle singole situazioni.

**Ferrovia:** frequenza dei treni  $Fz_k$ , lunghezza dei treni  $l(z)$ , grado d'occupazione  $\beta_k$  e velocità del treno  $v$  nel tratto soggetto a pericolo nelle singole situazioni.

**Persone all'aperto o in strutture particolari:** numero delle persone  $N(Peff)$  effettivamente presenti nelle singole situazioni.

Come descritto nella figura 3.2, dalla combinazione di queste situazioni risultano diverse situazioni di esposizione. La durata di tutte le situazioni di esposizione equivale al periodo (completo) di tempo considerato; ciò significa che la somma della durata delle singole situazioni di esposizione è pari a 1 o al 100 per cento.

La durata delle situazioni di esposizione ( $SD_k$ ) relativa alle persone in oggetti fissi (edifici, luoghi fissi di soggiorno all'aperto) è il rapporto fra le ore, i giorni, le settimane di presenza effettiva e

<sup>2</sup>L'uso appropriato di un programma di calcolo può semplificare notevolmente l'esame di parecchie situazioni di esposizione. Esempi al proposito sono reperibili nel settore dei depositi di munizione (programma di calcolo RIMANA, versione 4.)

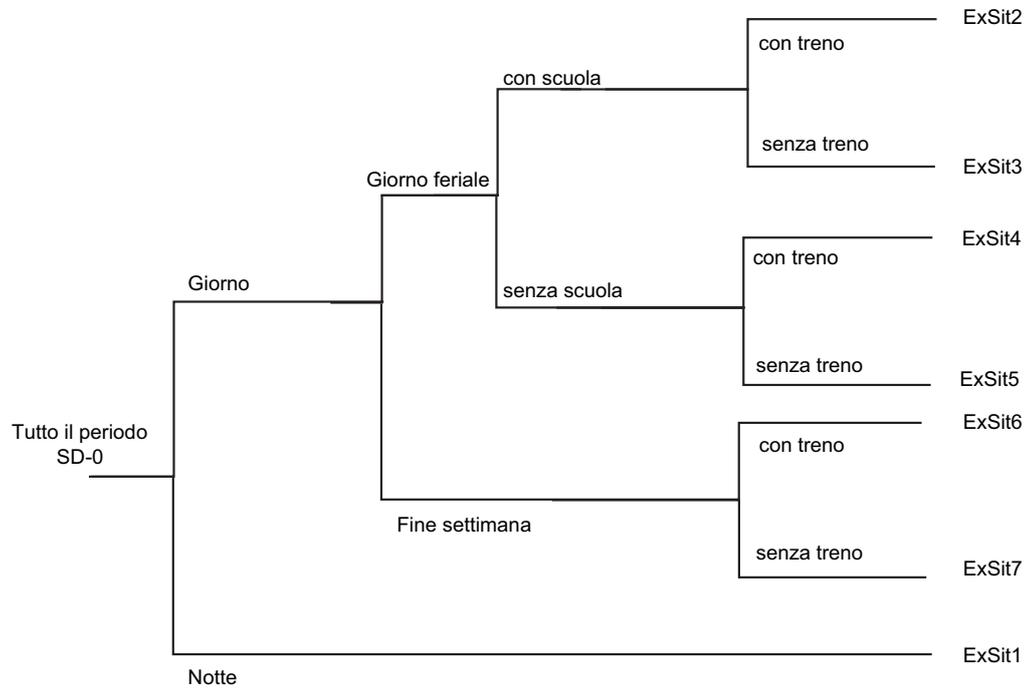


Figura 3.2: Rappresentazione grafica delle situazioni di esposizione.

il periodo di tempo considerato (ad esempio i sei mesi estivi). Essa viene calcolata mediante la formula:

$$SD_k = \frac{t(pr)_k}{t(ha)} \quad [-] \quad (3.1)$$

$SD_k$  = durata (intervallo di tempo) di un'esposizione  $k$ .

$t(pr)_k$  = soggiorno in ore, giorni o settimane nella situazione d'esposizione  $k$ .

$t_{ha}$  = periodo di tempo (ore, giorni, settimane), in cui un processo può aver luogo. Questo parametro varia da processo a processo.

Ad esempio, trattandosi di valanghe, si possono prendere in considerazione i sei mesi invernali mentre che per i flussi di detriti entrano in considerazione specialmente i mesi estivi.

Nelle situazioni in cui le persone vengono a trovarsi in oggetti mobili, la durata di una situazione viene determinata in funzione della frequenza dei transiti, della lunghezza del tratto soggetto a pericolo e della velocità. La durata della situazione particolare «transito di un treno» è calcolata applicando la formula che segue:

$$SD(B)_k = \frac{F_{zk} \cdot (g + l(z))}{v} \cdot \frac{t(pr)_k}{t(ha)} \quad [-] \quad (3.2)$$

$SD(B)_k$	=	durata (intervallo di tempo) della situazione particolare «transito di un treno» durante una situazione $k$ .
$Fz_k$	=	frequenza giornaliera dei treni [1/d].
$g$	=	lunghezza del tratto soggetto a pericolo [m].
$l(z)$	=	lunghezza del treno [m].
$v$	=	velocità media del treno [km/h].
$t(pr)_k$	=	tempo di presenza in ore, giorni o settimane nella situazione d'esposizione $k$ .
$t(ha)$	=	periodo di tempo (ore, giorni, settimane), in cui un processo può aver luogo.

Per motivi di semplificazione le autovetture e i torpedoni turistici vengono considerati come oggetti puntuali e la loro lunghezza non viene pertanto presa in considerazione. Il calcolo della durata della situazione  $SD_k$  avviene comunque secondo lo stesso principio.

### 3.3.4 Evoluzione del potenziale di danno

Come già affermato all'inizio del capitolo, il potenziale di danno varia con il tempo e non può quindi essere considerato come una grandezza costante. Ai fini della pianificazione delle misure è possibile, a dipendenza della situazione, tener conto in una determinata zona dell'evoluzione del potenziale di danno e quindi del rischio. Per questo, oltre al rilievo della situazione attuale, può essere opportuno considerare le grandezze elencate nel seguito:

- Variazione del numero di edifici e di oggetti particolari.
- Variazioni delle infrastrutture.
- Variazione del numero e della lunghezza degli assi di traffico (strade e ferrovia).
- Variazioni riguardanti le condotte per il trasporto di energia, le telecomunicazioni, l'acqua potabile e la rete di fognatura.
- Variazione della frequenza dei veicoli, rispettivamente dei convogli ferroviari, lungo gli assi di traffico.
- Scadenza della prevista variazione.

## 3.4 Analisi delle conseguenze

L'analisi delle conseguenze<sup>3</sup> determina l'entità dei danni in caso d'evento per ogni oggetto (comprese le persone presenti), per tutti gli scenari e per tutte le situazioni di esposizione considerati. Ciò avviene sovrapponendo le carte delle intensità a quelle degli oggetti potenzialmente soggetti a pericolo e tenendo in considerazione la sensibilità al danno (la letalità per quanto riguarda le persone), la probabilità spaziale di accadimento e la probabilità di presenza.

<sup>3</sup>nelle direttive tecniche riguardanti i depositi di munizione, (TLM) viene definita come analisi degli effetti.

### 3.4.1 Fattori di calcolo nell'analisi delle conseguenze

#### 3.4.1.1 Sensibilità al danno

In questa guida il concetto di **sensibilità al danno** indica l'entità del danneggiamento subito da un oggetto (ad esempio un edificio o un'infrastruttura) in seguito agli effetti di un determinato processo. La sensibilità al danno (SE) varia a seconda del tipo di processo e dell'intensità. Essa è quantificata con valori compresi fra 0 (nessun danno) e 1 (danno totale). Il termine «sensibilità al danno» è spesso usato come sinonimo di «vulnerabilità».

Il concetto di vulnerabilità ha un significato più ampio e comprende, oltre al danneggiamento subito dagli oggetti, anche quello subito da sistemi tecnici o sociali [36]. La vulnerabilità può quindi essere suddivisa in «tecnica» o «sociale» [46]. Il concetto di «vulnerabilità tecnica» è usato soprattutto per il deterioramento di sistemi tecnici.

Con il termine «vulnerabilità tecnica» si intende il deterioramento di sistemi come ad esempio gli impianti d'allarme, le infrastrutture per l'approvvigionamento di elettricità, di energia o di acqua, le reti di comunicazione e le reti di traffico. Il deterioramento può anche essere circoscritto ad una piccola parte dell'intero sistema. In questo ambito, bisogna tener conto anche di una componente temporale, che esprime il tempo necessario per riportare il sistema al pieno funzionamento (resilienza del sistema).

Per vulnerabilità dei sistemi sociali si intende il deperimento di una comunità, rispettivamente di una parte della comunità (ad esempio abitanti di una regione, di una vallata, di un comune). In questo contesto la vulnerabilità rappresenta il divario fra la situazione venutasi a creare e una situazione definita normale. Il deperimento generato, ad esempio, dal susseguirsi di più eventi naturali può causare un sentimento generale di paura e una perdita di attrattività per una regione, che gli abitanti tendono poi ad abbandonare. La resilienza di una comunità (ad esempio la popolazione di una valle) influisce in modo rilevante sul grado di vulnerabilità.

Sarebbe ideale che per tutti gli oggetti, rispettivamente per tutti i sistemi potenzialmente minacciati, fossero a disposizione delle norme condivise comprendenti una scala di valori o di funzioni per la sensibilità al danno e per la vulnerabilità in funzione dell'intensità prevista. Nella gestione attuale dei pericoli naturali, purtroppo, ciò o non è possibile o lo è solo in parte. Nella maggior parte dei casi occorre quindi far capo a ipotesi, che tuttavia devono essere descritte in modo chiaro e verificabile. Nell'ambito del progetto EconoMe [6] i valori della vulnerabilità per i diversi oggetti sono stati definiti sulla base delle conoscenze scientifiche del momento. Ad ogni processo corrispondono valori ben precisi (cfr. anche parte B).

Il concetto di **letalità** definisce la probabilità di esito letale per una persona in seguito agli effetti derivanti da una determinata intensità di un processo. La letalità dipende dall'esposizione della persona (all'aperto, in un edificio, su un'autovettura ecc.). Se una persona, nel momento in cui si verifica un evento, si trova in un determinato oggetto, la probabilità di esito letale è rappresentata dal prodotto fra la sensibilità al danno dell'oggetto e la letalità. La letalità viene quantificata con valori compresi fra 0 e 1.

### 3.4.1.2 Protezione diretta

La vulnerabilità di un oggetto è influenzata in modo determinante dalle misure costruttive di protezione attuate sull'oggetto stesso al fine di evitare danni nel caso di un evento pericoloso. L'effetto di questa misura è considerato nel calcolo dell'entità dei danni introducendo un fattore di protezione diretta ( $\varepsilon$ ). Se questa misura è considerato nel calcolo dell'entità dei danni introducendo un fattore di protezione diretta  $\varepsilon$  è pari a 0 non sussiste alcuna protezione diretta, se questa misura viene considerato nel calcolo dell'entità dei danni introducendo un fattore di protezione diretta  $\varepsilon$  è pari a 1 la protezione è totale.

### 3.4.1.3 Probabilità spaziale di accadimento

Rappresenta la probabilità con la quale un determinato punto del comprensorio di studio viene raggiunto dal processo pericoloso. La considerazione della probabilità spaziale di accadimento tiene in considerazione il fatto che spesso un evento non invade l'intera zona ritenuta pericolosa. Questa probabilità può essere considerata in svariati modi:

1. Stimando un valore del fattore  $p(rA)$ , variabile da 0 a 1, che determina mediamente la porzione del settore interessata dall'evento. Questo fattore varia a seconda del processo e dello scenario.
2. Mediante una stima fatta sulla base di un grafico ad albero dell'evento. Questo procedimento consente di considerare le caratteristiche locali del terreno e la posizione dell'oggetto.

### 3.4.1.4 Probabilità di presenza

Come descritto al paragrafo 3.3.3, la probabilità di presenza  $p(pr)$  risulta dalla durata media della presenza di una persona o di un bene mobile nel settore soggetto a pericolo. Dal momento che le persone non sono presenti in una determinata zona durante tutto il periodo di tempo considerato, rispettivamente sono presenti solo per un breve intervallo di tempo (per esempio transito di un'auto o di un treno), la probabilità di presenza riduce la probabilità di accadimento di un danno.

In presenza di diverse situazioni di esposizione, il calcolo dell'entità dei danni deve tenere in considerazione l'intervallo di tempo che caratterizza la durata della situazione  $SD_k$ . Dal momento che in situazioni di esposizione particolari l'entità (effettiva, non ponderata) dei danni può risultare elevata, la considerazione della durata riduce in modo sensibile la probabilità di accadimento di un danno.

### 3.4.1.5 Connessione dei fattori

Per la determinazione dell'entità dei danni i citati fattori sono messi in relazione con gli oggetti minacciati. Per ogni situazione di esposizione occorre verificare:

- se l'oggetto è interessato dall'evento (probabilità di accadimento spaziale  $p(rA)$ ), e
- in quale zona di intensità esso è ubicato.

Per ogni oggetto viene determinata, sulla base di queste indicazioni e applicando le formule che seguono, l'entità dei danni e l'entità dei danni attesa (per le definizioni vedi capitolo 3.4.3). I risultati del calcolo vengono poi riportati nella matrice dell'entità dei danni (tabella 3.5). Per i sistemi tecnici e sociali, al momento attuale, non sono ancora disponibili le relative funzioni di vulnerabilità. Se questi sistemi sono interessati da un evento pericoloso le funzioni di vulnerabilità devono essere stimate in modo adeguato con l'aiuto di esperti.

### 3.4.2 Ponderazione dell'entità dei danni (avversione al rischio)

Un ulteriore elemento che, per motivi di metodo, è necessario menzionare a questo punto è la ponderazione di un'entità dei danni rilevante (considerazione di una funzione di avversione al rischio). La ponderazione di un'entità dei danni rilevante è una componente della valutazione del rischio. Questo compito spetta alla comunità, rispettivamente al responsabile di un'infrastruttura. Dal momento che oggetto di ponderazione è l'entità dei danni (e non il rischio), per motivi di chiarezza è opportuno menzionare questo elemento già sin d'ora. I motivi che richiedono una ponderazione dell'entità dei danni sono illustrati con maggior precisione al paragrafo 4.4. Nell'analisi del rischio, nei casi in cui si rende necessaria una ponderazione dei danni, viene determinata e rappresentata sia l'entità dei danni effettiva (non ponderata) sia l'entità dei danni ragionata (ponderata). Oggetto di ponderazione è sempre l'entità dei danni in caso d'evento (paragrafo 3.4.3).

### 3.4.3 Determinazione dell'entità dei danni diretti

Nel calcolo dell'entità dei danni possono essere fatte due distinzioni.

1. «L'entità dei danni in caso d'evento» esprime l'entità dei danni nel caso in cui l'oggetto viene effettivamente colpito. Nel seguito, per semplicità, viene denominata «entità dei danni».
2. «L'entità dei danni attesa» esprime l'entità dei danni tenendo in considerazione la probabilità di accadimento spaziale e la probabilità di presenza di un oggetto o di una persona. In taluni casi il suo valore può essere equivalente a quello dell' «entità dei danni in caso d'evento».

L' «entità dei danni in caso d'evento» è quindi maggiore o uguale all' «entità dei danni attesa» e rappresenta il valore che viene ponderato quando si rende necessaria la considerazione dell'avversione al rischio.

Nei paragrafi che seguono vengono presentate le fasi più importanti e le relative formule per il calcolo dell'entità dei danni. Il tutto è basato sulle formule di calcolo riportate nella pubblicazione n. 107 dell'UFAFO [10]. Queste formule rappresentano la base per il calcolo dell'entità dei danni derivanti da tutti i tipi di processi.

#### 3.4.3.1 Entità dei danni agli edifici

$$A(G)_{i,j} = (1 - \varepsilon_i) \cdot W(G)_i \cdot SE(G)_{i,j} \quad [\text{CHF}] \quad (3.3)$$

considerando la probabilità di accadimento spaziale si ottiene l'entità attesa dei danni agli edifici

$$Aw(G)_{i,j} = p(rA)_j \cdot (1 - \varepsilon_i) \cdot W(G)_i \cdot SE(G)_{i,j} \quad [\text{CHF}] \quad (3.4)$$

### 3.4.3.2 Entità dei danni alle persone negli edifici

$$A(PG)_{i,j,k} = (1 - \varepsilon_i) \cdot N(P)_{i,k} \cdot \lambda_{i,j} \quad [\text{c.m.}] \quad (3.5)$$

considerando la probabilità di accadimento spaziale del processo si ottiene l'entità attesa dei danni alle persone

$$Aw(PG)_{i,j,k} = p(rA)_j \cdot p(pr)_{i,k} \cdot (1 - \varepsilon_i) \cdot N(P)_{i,k} \cdot \lambda_{i,j} \quad [\text{c.m.}] \quad (3.6)$$

- $A(G)_{i,j}$  = entità dei danni materiali in caso di evento per un edificio  $i$  in uno scenario  $j$  [CHF].
- $Aw(G)_{i,j}$  = entità attesa dei danni materiali per un edificio  $i$  in uno scenario  $j$  [CHF].
- $A(PG)_{i,j,k}$  = entità dei danni alle persone in caso di evento (numero di casi mortali) per un edificio  $i$  in uno scenario  $j$  e in una situazione d'esposizione  $k$  [c.m.].
- $Aw(PG)_{i,j,k}$  = entità attesa dei danni alle persone (numero di casi mortali) per un edificio  $i$  in uno scenario  $j$  e in una situazione d'esposizione  $k$  [c.m.].
- $\varepsilon_i$  = fattore di protezione diretta dell'edificio  $i$  in funzione del processo e dell'intensità [-]. Il valore varia da 0 a 1. Il valore 1 significa che l'edificio dispone di una protezione totale e che non sono da attendere danni.
- $W(G)_i$  = valore dell'edificio  $i$  [CHF].
- $SE(G)_{i,j}$  = sensibilità al danno dell'edificio in funzione del processo e dell'intensità [-]. Il valore varia da 0 a 1. Il valore 1 significa danno totale.
- $N(P)_{i,k}$  = numero delle persone mediamente presenti in un edificio  $i$  nella situazione d'esposizione  $k$  [-].
- $\lambda_{i,j}$  = letalità delle persone nell'edificio  $i$  in funzione del processo e dell'intensità [-]. Il valore varia da 1 a 0. Il valore 1 significa che tutte le persone coinvolte perdono la vita.
- $p(rA)_j$  = probabilità di accadimento spaziale in funzione del processo e dello scenario definito  $j$  [-].
- $p(pr)_{i,k}$  = probabilità di presenza per una persona  $i$  nella situazione d'esposizione  $k$  [-].

L'entità attesa complessiva dei danni agli edifici  $AwS_{i-fO}$  in uno scenario  $j$  si calcola nel modo seguente:

$$Aw(G)_j = \sum_i Aw(G)_{i,j} \quad [\text{CHF}] \quad (3.7)$$

mentre che l'entità attesa complessiva dei danni alle persone presenti in tutti gli edifici  $AwP_j$  in uno scenario  $j$  e in una situazione d'esposizione  $k$  è data dalla formula:

$$Aw(PG)_{j,k} = \sum_i Aw(PG)_{i,j,k} \quad [\text{c.m.}] \quad (3.8)$$

L'entità dei danni comprendente tutte le situazioni d'esposizione è la somma dell'entità dei danni delle singole situazioni di esposizione:

$$Aw(PG)_j = \sum_k Aw(PG)_{j,k} \quad [\text{c.m.}] \quad (3.9)$$

### 3.4.3.3 Entità dei danni agli oggetti fissi (beni immobili) lungo le strade

L'entità dei danni agli oggetti fissi lungo le strade viene calcolata come segue:

$$A(S)_j = SE(S)_j \cdot W(S) \cdot g_j \quad [\text{CHF}] \quad (3.10)$$

considerando la probabilità di accadimento spaziale si ottiene l'entità attesa dei danni:

$$Aw(S)_j = p(rA)_j \cdot SE(S)_j \cdot W(S) \cdot g_j \quad [\text{CHF}] \quad (3.11)$$

La sensibilità al danno determinante per il calcolo corrisponde alle sensibilità al danno risultanti dalla media della lunghezza del tratto per intensità, secondo la formula:

$$SE(S)_j = \frac{(SE(S)_s \cdot g_s) + (SE(S)_m \cdot g_m) + (SE(S)_{st} \cdot g_{st})}{g_s + g_m + g_{st}} \quad [-] \quad (3.12)$$

- $SE(S)_j$  = sensibilità al danno della strada in funzione del processo e dell'intensità [-].
- $SE(S)_{s,m,st}$  = sensibilità al danno a intensità bassa ( $SE_s$ ), media ( $SE_m$ ) e alta ( $SE_{st}$ ).
- $W(S)$  = valore della strada al metro lineare [CHF].
- $g_j$  = lunghezza dell'intero tratto soggetto a pericolo per scenario  $j$  quale somma dei tratti indipendentemente dall'intensità [m].  
È calcolata quale somma dei tratti soggetti a pericolo a intensità bassa ( $g_s$ ), media ( $g_m$ ) e alta ( $g_{st}$ ).

### 3.4.3.4 Entità dei danni alle persone lungo le strade e sui mezzi meccanici di risalita

Nel caso di incidenti stradali causati da eventi naturali occorre il linea di massima distinguere due quadri di danno:

1. Il veicolo è colpito direttamente dall'evento. Questo quadro è determinante specialmente per i processi gravitativi definiti «brutali». La probabilità di accadimento di questo quadro di danno dipende dalla frequenza dei veicoli, dalla velocità media e dalla lunghezza del tratto soggetto a pericolo.
2. Il veicolo urta contro il materiale depositato precedentemente dal processo.

La necessità di considerare questa distinzione dipende dalla situazione del tratto soggetto a pericolo e dalle condizioni di visibilità. Dal momento che gli autoveicoli, torpedoni compresi, hanno uno spazio di frenata assai più ridotto di quello dei treni, questa suddivisione si rende necessaria solamente in pochi casi particolari. Viene tuttavia menzionata per ragioni di completezza.

**Impatto valanga - veicolo:** nel quadro di danno «impatto valanga - veicolo» l'entità dei danni alle persone che si trovano sui veicoli lungo le strade o sui mezzi meccanici di risalita viene determinata come segue:

$$A(PS)_{j,k} = \lambda_j \cdot \beta_k \quad [\text{c.m.}] \quad (3.13)$$

considerando la probabilità di accadimento spaziale e la probabilità di presenza si ottiene l'entità attesa dei danni alle persone lungo le strade o sui mezzi meccanici di risalita  $Aw(PS)_{j,k}$ :

$$Aw(PS)_{j,k} = p(rA)_j \cdot \frac{DTV_k \cdot g_j}{v} \cdot \lambda_j \cdot \beta_k \quad [\text{c.m.}] \quad (3.14)$$

La letalità determinante per il calcolo corrisponde alla letalità risultante dalla media della lunghezza del tratto per intensità, secondo la formula:

$$\lambda_j = \frac{(\lambda_s \cdot g_s) + (\lambda_m \cdot g_m) + (\lambda_{st} \cdot g_{st})}{g_s + g_m + g_{st}} \quad [-] \quad (3.15)$$

dove:

$A(PS)_{j,k}$	=	entità dei danni alle persone lungo le strade e sui mezzi meccanici di risalita in caso di evento nello scenario $j$ e nella situazione d'esposizione $k$ [c.m.].
$DTV_k$	=	traffico giornaliero medio nella situazione d'esposizione $k$ [1/d]. Per i mezzi meccanici di risalita DTV esprime il numero giornaliero medio dei passeggeri trasportati.
$\lambda_j$	=	letalità media nel veicolo lungo il tratto soggetto a pericolo, calcolata con intensità bassa, media e alta.
$\beta_k$	=	grado di occupazione medio dei veicoli nella situazione d'esposizione $k$ .
$p(rA)_j$	=	probabilità di accadimento spaziale sul luogo considerato in funzione del processo e dello scenario $j$ .
$g_j$	=	lunghezza dell'intero tratto soggetto a pericolo per scenario quale somma dei tratti indipendentemente dall'intensità. È calcolata quale somma dei tratti soggetti a pericolo a intensità bassa ( $g_s$ ), media ( $g_m$ ) e alta ( $g_{st}$ ).
$v$	=	velocità media degli autoveicoli, risp. dei mezzi di risalita, nel tratto soggetto a pericolo [km/h].

L'entità complessiva dei danni alle persone lungo le strade è la somma dell'entità dei danni lungo i singoli tratti soggetti a pericolo in ogni zona di intensità e nelle diverse situazioni di esposizione.

$$Aw(PS)_j = \sum_k Aw(PS)_{j,k} \quad [\text{c.m.}] \quad (3.16)$$

### 3.4.3.5 Entità dei danni lungo le linee ferroviarie

Per il calcolo dell'entità dei danni lungo le linee ferroviarie, a seconda del processo, essere distinti due quadri di danno.

1. Il treno può essere colpito direttamente da un processo pericoloso. Questo caso è particolarmente rilevante per i processi gravitativi «brutali» quali valanghe, flussi di detriti, caduta di sassi e scivolamenti superficiali (flussi detritici di pendio). La probabilità che ciò avvenga dipende dalla frequenza e dalla lunghezza dei treni, dalla loro velocità media nella zona soggetta a pericolo e dalla lunghezza del tratto esposto.
2. Un'ulteriore possibilità di danno derivante dai processi citati poc'anzi è l'impatto del treno con il materiale da essi depositato.

Gli oggetti che possono essere colpiti lungo una linea ferroviaria vengono suddivisi in oggetti fissi e in oggetti mobili. Tra gli oggetti mobili sono compresi anche i treni con i rispettivi passeggeri.

**Entità dei danni agli oggetti fissi (beni immobili):** l'entità dei danni agli oggetti fissi considerati come oggetti puntiformi (ad esempio scambi, impianti elettrici) viene calcolata applicando la formula:

$$A(BPO)_{i,j} = SE(BPO)_{i,j} \cdot W(BPO)_i \quad [\text{CHF}] \quad (3.17)$$

considerando la probabilità di accadimento spaziale si ottiene l'entità attesa dei danni

$$Aw(BPO)_{i,j} = p(rA)_j \cdot SE(BPO)_{i,j} \cdot W(BPO)_i \quad [\text{CHF}] \quad (3.18)$$

L'entità dei danni agli oggetti lineari come binari ecc. viene determinata come segue:

$$A(BLO)_j = SE(BLO)_j \cdot W(BLO) \cdot g_j \quad [\text{CHF}] \quad (3.19)$$

considerando la probabilità di accadimento spaziale si ottiene l'entità attesa dei danni

$$Aw(BLO)_j = p(rA)_j \cdot SE(BLO)_j \cdot W(BLO) \cdot g_j \quad [\text{CHF}] \quad (3.20)$$

La sensibilità al danno determinante per il calcolo corrisponde alle sensibilità al danno risultanti dalla media della lunghezza del tratto per intensità, secondo la formula:

$$SE(BLO)_j = \frac{(SE(BLO)_s \cdot g_s) + (SE(BLO)_m \cdot g_m) + (SE(BLO)_{st} \cdot g_{st})}{g_s + g_m + g_{st}} \quad [-] \quad (3.21)$$

dove:

- $SE(BPO)_{i,j}$  = sensibilità al danno di un oggetto puntiforme  $i$  nello scenario  $j$  [-].
- $SE(BLO)_j$  = sensibilità al danno media di un oggetto lineare  $i$  lungo il tratto soggetto a pericolo[-].
- $W(BPO)_i$  = valore degli oggetti puntiformi  $i$  [CHF].
- $W(BLO)$  = valore della linea ferroviaria per metro lineare [CHF].
- $g_j$  = lunghezza dell'intero tratto soggetto a pericolo per scenario  $j$  quale somma del tratto indipendentemente dall'intensità [m].  
È calcolata quale somma dei tratti soggetti a pericolo a intensità bassa ( $g_s$ ), media ( $g_m$ ) e alta ( $g_{st}$ ).
- $Aw(BPO)_{i,j}$  = entità attesa dei danni all'oggetto puntiforme  $i$  nello scenario  $j$  [CHF].
- $Aw(BLO)_j$  = entità attesa dei danni all'oggetto lineare  $i$  nello scenario  $j$  [CHF].

**Entità dei danni agli oggetti mobili (locomotive e materiale rotabile):** l'entità dei danni agli oggetti mobili lungo le linee ferroviarie comprende le conseguenze derivanti dai due quadri di danno citati, ossia «impatto valanga - treno» e «impatto treno - valanga» (figura 3.3).

**Impatto valanga - treno:** Il treno può essere colpito direttamente nell'ambito di un processo pericoloso. Un simile caso è importante soprattutto in presenza di processi gravitativi definiti «brutali», come valanghe, colate detritiche, cadute di massi e smottamenti in superficie (colate detritiche di versante). La probabilità che un treno venga colpito varia a seconda della frequenza del passaggio di treni, della loro velocità media nella zona interessata, della loro lunghezza e dell'estensione della zona soggetta a pericolo. Se il processo è in corso, la probabilità che la valanga colpisca il treno viene calcolata con la formula:

$$p(DT)_{j,k} = p(rA)_j \cdot \frac{Fz_k \cdot g_j}{v} \cdot \left( \frac{l(z)}{g} + 1 \right) \quad [-] \quad (3.22)$$

dove  $\left( \frac{g}{l(z)} \leq 1 \right)$  e:

- $p(DT)_{j,k}$  = probabilità di impatto valanga - treno nella situazione di esposizione  $k$  [-].
- $p(rA)_j$  = probabilità di accadimento spaziale nel luogo considerato nello scenario  $j$  [-].
- $Fz_k$  = numero dei transiti giornalieri (frequenza) [-].
- $g_j$  = lunghezza dell'intero tratto soggetto a pericolo per scenario  $j$  quale somma del tratto indipendentemente dall'intensità [m].  
È calcolata quale somma dei tratti soggetti a pericolo a intensità bassa ( $g_s$ ), media ( $g_m$ ) e alta ( $g_{st}$ ).
- $v$  = velocità media dei treni nel tratto pericoloso [km/h].
- $l(z)$  = lunghezza media dei treni [m].

L'entità dei danni agli oggetti mobili nel caso di impatto valanga - treno è:

$$A(BDT)_j = SE(BDT)_j \cdot W(B) \quad [\text{CHF}] \quad (3.23)$$

considerando la probabilità di impatto si ottiene l'entità attesa dei danni  $Aw(BDT)_{j,k}$ :

$$Aw(BDT)_{j,k} = p(DT)_{j,k} \cdot SE(BDT)_j \cdot W(B) \quad [\text{CHF}] \quad (3.24)$$

La sensibilità al danno determinante per il calcolo corrisponde alle sensibilità al danno risultanti dalla media della lunghezza del tratto per intensità, secondo la formula:

$$SE(BDT)_j = \frac{(SE(BDT)_s \cdot g_s) + (SE(BDT)_m \cdot g_m) + (SE(BDT)_{st} \cdot g_{st})}{g_s + g_m + g_{st}} \quad [-] \quad (3.25)$$

dove:

- $A(BDT)_j$  = entità dei danni agli oggetti mobili nel caso di impatto valanga - treno nello scenario  $j$  [CHF].

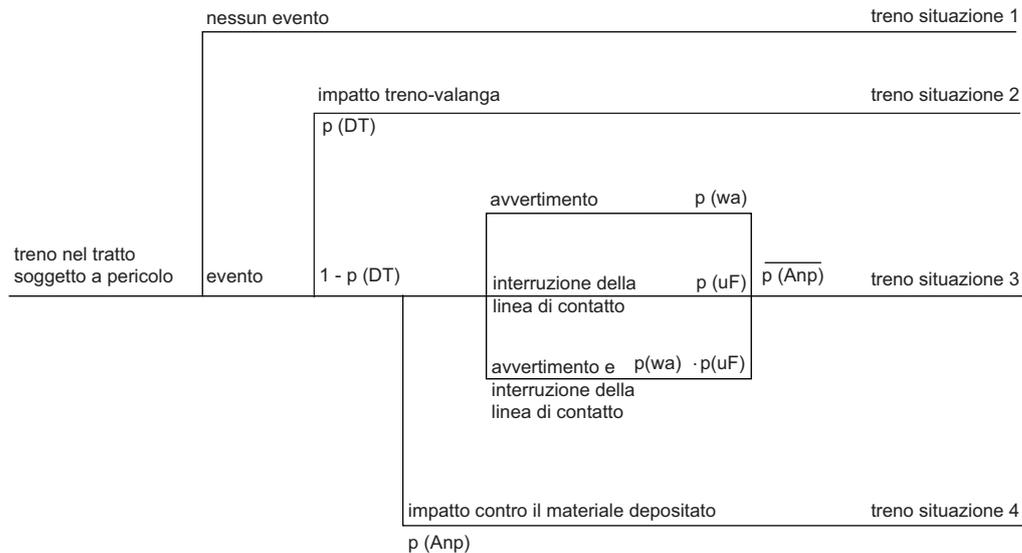


Figura 3.3: Raffigurazione di diversi danni subiti da un treno con relativo schema.

- $SE(BDT)_j$  = la sensibilità al danno media lungo il tratto soggetto a pericolo a dipendenza del processo e dell'intensità in seguito a un impatto diretto [-].  
 $SE(BDT)_{s,m,st}$  = sensibilità al danno in caso di intensità bassa, media e alta .  
 $W(B)$  = valore degli oggetti mobili [CHF].  
 $Aw(BDT)_{j,k}$  = entità attesa dei danni nel caso di impatto valanga - treno nello scenario  $j$  e nella situazione d'esposizione  $k$  [CHF].  
 $g_{s,m,st}$  = lunghezza del tratto soggetto a pericolo a intensità bassa ( $g_s$ ), media ( $g_m$ ) e alta ( $g_{st}$ ).

**Impatto treno - valanga:** nell'ambito del quadro di danno «impatto treno - valanga», per quanto riguarda gli oggetti mobili vengono determinate le seguenti diverse probabilità [83]:

$$p(Anp)_{j,k} = (1 - p(DT)_{j,k}) \cdot (1 - \overline{p(Anp)}) \quad [-] \quad (3.26)$$

$$\overline{p(Anp)} = p(wa) \cdot (1 - p(uF)) + p(uF) \cdot (1 - p(wa)) + p(wa) \cdot p(uF) \quad [-] \quad (3.27)$$

dove:

- $\overline{p(Anp)}$  = probabilità che il treno eviti la collisione [-].  
 $p(wa)$  = probabilità che il macchinista possa essere avvertito in tempo utile.  
 $p(uF)$  = probabilità che la linea di contatto sia interrotta.

Per la probabilità di avvertimento  $p(wa)$  e per la probabilità di interruzione della linea di contatto  $p(uF)$  vengono proposti i seguenti valori indicativi:

Tabella 3.3: Valori empirici per la probabilità di avvertimento  $p(wa)$  e per la probabilità di interruzione della linea di contatto  $p(uF)$ .

	Valanga	Caduta massi	Inondazione	Flusso di detriti	Processi di crollo	Scivolamenti	Flussi detritici di pendio
$p(wa)$	0.3	0.1	0.3	0.2	0.05	0.2	0.2
$p(uF)$	0.5	0.1	0.5	0.2	0.5	0.2	0.2

L'entità dei danni si calcola con la formula:

$$A(BAnp) = SE(BAnp) \cdot W(B) \cdot k \quad [\text{CHF}] \quad (3.28)$$

Tenendo conto della probabilità di un impatto si ottiene la formula:

$$Aw(BAnp)_{j,k} = p(Anp)_{j,k} \cdot SE(BAnp) \cdot W(B) \cdot k \quad [\text{CHF}] \quad (3.29)$$

dove:

$A(BAnp)$	=	entità del danno ai beni mobili nel caso di impatto treno - valanga nello scenario $j$ [CHF].
$SE(BAnp)$	=	sensibilità al danno del materiale rotabile in funzione del processo e dell'intensità [-].
$W(B)$	=	valore del materiale rotabile [CHF].
$k$	=	fattore d'impatto in funzione della velocità; esso tiene conto del fatto che solo la locomotiva e i primi vagoni sono interessati dall'impatto. I valori sono definiti nella tabella 3.4.
$Aw(BAnp)_{j,k}$	=	entità attesa dei danni ai beni mobili nel caso di impatto treno - valanga nello scenario $j$ e nella la situazione di esposizione $k$ [CHF].

Tabella 3.4: Fattore  $k$ : tiene conto del fatto che in caso di impatto contro il materiale depositato sono interessati solo i vagoni di testa. Il fattore riduce il numero dei vagoni, rispettivamente dei passeggeri coinvolti, in funzione della velocità.

Velocità del treno					
v [km/h]	30-50	50-80	80-100	100-120	> 120
k	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8

L'entità attesa complessiva dei danni ai beni mobili lungo una linea ferroviaria  $Aw(mB)_j$  è la somma delle entità attese dei danni derivanti dai quadri di danno «impatto valanga - treno» e «impatto treno - valanga»:

$$Aw(mB)_j = \sum_k Aw(BDT)_{j,k} + \sum_k Aw(BAnp)_{j,k} \quad [\text{CHF}] \quad (3.30)$$

**Somma dell'entità dei danni agli oggetti fissi e mobili lungo una linea ferroviaria:** l'entità attesa complessiva dei danni agli oggetti fissi e mobili è la somma dell'entità attesa dei danni derivanti dai due quadri di danno descritti («impatto valanga - treno» e «impatto treno - valanga»).

$$Aw(B)_j = Aw(mB)_j + Aw(BPO)_j + Aw(BLO)_j \quad [CHF] \quad (3.31)$$

dove:

- $Aw(B)_j$  = entità attesa dei danni lungo la linea ferroviaria nello scenario  $j$ .  
 $Aw(mB)_j$  = entità attesa dei danni nel caso di impatto valanga - treno e nel caso di impatto treno - valanga nello scenario  $j$ .  
 $Aw(BPO)_j$  = entità attesa dei danni agli oggetti puntuali in uno scenario  $j$ .  
 $Aw(BLO)_j$  = entità attesa dei danni agli oggetti lineari in uno scenario  $j$ .

### 3.4.3.6 Entità dei danni alle persone lungo le linee ferroviarie

**Impatto valanga - treno:** l'entità dei danni alle persone nel quadro di danno «impatto valanga - treno» nello scenario  $j$  viene calcolata con la formula:

$$A(PBDT)_{j,k} = \lambda(DT)_j \cdot \beta_k \quad [c.m.] \quad (3.32)$$

considerando la probabilità di impatto si ottiene l'entità attesa dei danni  $Aw(PBDT)_{j,k}$ :

$$Aw(PBDT)_{j,k} = p(DT)_{j,k} \cdot \lambda(DT)_j \cdot \beta_k \quad [c.m.] \quad (3.33)$$

Per il calcolo della probabilità si veda anche la formula 3.22.

La letalità determinante per il calcolo corrisponde alla letalità risultante dalla media della lunghezza del tratto per intensità, secondo la formula:

$$\lambda(DT)_j = \frac{(\lambda(DT)_s \cdot g_s) + (\lambda(DT)_m \cdot g_m) + (\lambda(DT)_{st} \cdot g_{st})}{g_s + g_m + g_{st}} \quad [-] \quad (3.34)$$

dove:

- $\lambda(DT)_j$  = letalità delle persone nel caso di impatto diretto risultante dalla media della lunghezza del tratto soggetto a pericolo [-].  
 $\lambda(DT)_{s,m,st}$  = letalità a intensità bassa, media e alta.  
 $g_{s,m,st}$  = tratti soggetti a pericolo a intensità bassa ( $g_s$ ), media ( $g_m$ ) e alta ( $g_{st}$ ).  
 $\beta_k$  = grado d'occupazione del treno secondo la situazione d'esposizione  $k$ , dove  $\frac{g}{l} \leq 1.0$ .  
 $Aw(PBDT)_{j,k}$  = entità attesa dei danni alle persone nel caso di impatto valanga - treno sulla linea ferroviaria nello scenario  $j$  e nella situazione d'esposizione  $k$  [c.m.].

**Entità dei danni alle persone nel caso di impatto treno - valanga:** l'entità del danno per il quadro di danno «impatto treno - valanga» viene determinata nel modo seguente:

$$A(PBAnp)_k = \lambda(Anp) \cdot \beta_k \cdot k \quad [\text{c.m.}] \quad (3.35)$$

considerando la probabilità di impatto si ottiene l'entità attesa dei danni nel caso di impatto treno - valanga  $Aw(PBAnp)_{j,k}$ :

$$Aw(PBAnp)_{j,k} = p(Anp)_{j,k} \cdot \lambda(Anp) \cdot \beta_k \cdot k \quad [\text{c.m.}] \quad (3.36)$$

dove:

- $p(Anp)_{j,k}$  = probabilità di impatto [-]  
 $\lambda(Anp)$  = letalità per le persone sul treno nel caso di impatto valanga - treno (proposta:  $\lambda(Anp) = 0.02$ ).  
 $k$  = fattore k per il caso di impatto valanga - treno;  
 $k$  tiene conto del fatto che solo i vagoni di testa sono interessati dall'impatto. I valori sono definiti nella tabella 3.4

L'entità probabile dei danni alle persone lungo una linea ferroviaria per una situazione di esposizione  $k$  è calcolata sommando l'entità attesa dei danni nel caso di «impatto valanga - treno» e nel caso di «impatto treno - valanga».

$$Aw(PB)_{j,k} = Aw(PBDT)_{j,k} + Aw(PBAnp)_{j,k} \quad [\text{c.m.}] \quad (3.37)$$

L'entità complessiva dei danni è calcolata sommando l'entità dei danni nelle differenti situazioni di esposizione.

$$Aw(PB)_j = \sum_k Aw(PB)_{j,k} \quad [\text{c.m.}] \quad (3.38)$$

dove:

- $Aw(PB)_{j,k}$  = entità attesa dei danni alle persone lungo una linea ferroviaria nello scenario  $j$  e nella situazione d'esposizione  $k$ .  
 $Aw(PB)_j$  = entità attesa dei danni alle persone lungo una linea ferroviaria nello scenario  $j$ .  
 $Aw(PBDT)_{j,k}$  = entità attesa dei danni alle persone lungo una linea ferroviaria nel caso di impatto valanga - treno nello scenario  $j$  e nella situazione d'esposizione  $k$  [c.m.].  
 $Aw(PBAnp)_{j,k}$  = entità attesa dei danni alle persone nel caso di impatto treno - valanga nello scenario  $j$  e nella situazione d'esposizione  $k$  [c.m.].

### 3.4.3.7 Entità dei danni alle condotte

Per i beni immobili a forma lineare l'entità dei danni è data dalla formula:

$$A(L)_j = SE(L)_j \cdot W(L) \cdot g_j \quad [\text{CHF}] \quad (3.39)$$

considerando la probabilità si ottiene l'entità attesa dei danni

$$Aw(L)_j = p(rA)_j \cdot SE(L)_j \cdot W(L) \cdot g_j \quad [\text{CHF}] \quad (3.40)$$

La sensibilità al danno determinante per il calcolo corrisponde alle sensibilità al danno risultanti dalla media della lunghezza del tratto per intensità, secondo la formula:

$$SE(L)_j = \frac{(SE(L)_s \cdot g_s) + (SE(L)_m \cdot g_m) + (SE(L)_{st} \cdot g_{st})}{g_s + g_m + g_{st}} \quad [-] \quad (3.41)$$

dove:

- $SE(L)_j$  = sensibilità al danno della condotta in funzione dell'intensità [-].  
 $SE(L)_{s,m,st}$  = sensibilità al danno in caso di intensità bassa, media e alta [-].  
 $W(L)$  = valore della condotta al metro lineare [CHF].  
 $g_j$  = lunghezza del tratto esposto a pericolo in ogni zona di intensità [m]  
È calcolata quale somma dei tratti soggetti a pericolo a intensità bassa ( $g_s$ ),  
media ( $g_m$ ) e alta ( $g_{st}$ ).  
 $Aw(L)_j$  = entità probabile dei danni alla condotta nello scenario  $j$  [CHF].

### 3.4.3.8 Entità dei danni all'agricoltura, al bosco e alle zone di svago

Per le aree agricole, il bosco e le zone di svago l'entità dei danni è data dalla formula:

$$A(F)_j = SE(F)_j \cdot W(F) \cdot F_j \quad [\text{CHF}] \quad (3.42)$$

considerando la probabilità si ottiene l'entità attesa dei danni alle aree citate  $Aw(F)_j$ :

$$Aw(F)_j = p(rA)_j \cdot SE(F)_j \cdot W(F) \cdot F_j \quad [\text{CHF}] \quad (3.43)$$

La sensibilità al danno determinante per il calcolo corrisponde alle sensibilità al danno risultanti dalla media della lunghezza del tratto per intensità, secondo la formula:

$$SE(F)_j = \frac{(SE(F)_s \cdot F_s) + (SE(F)_m \cdot F_m) + (SE(F)_{st} \cdot F_{st})}{F_s + F_m + F_{st}} \quad [-] \quad (3.44)$$

dove:

- $SE(F)_j$  = sensibilità al danno dell'oggetto in funzione dell'intensità  
nello scenario  $j$  [-].  
 $SE(F)_{s,m,st}$  = sensibilità al danno in caso di intensità bassa, media e alta.  
 $W(F)$  = valore dell'oggetto [CHF/ara].  
 $F_j$  = superficie soggetta a pericolo in ogni zona di intensità [are].  
È calcolata quale somma delle superfici soggette a pericolo  
a intensità bassa ( $F_s$ ), media ( $F_m$ ) e alta ( $F_{st}$ ).

### 3.4.3.9 Entità complessiva dei danni diretti nello scenario $j$

L'entità dei danni materiali, espressa con un valore monetario (CHF o EUR), non può essere sommata direttamente all'entità dei danni alle persone. Questa operazione è possibile unicamente se l'entità dei danni alle persone, espressa con il numero di vittime, viene quantificata in denaro. Ciò avviene applicando l'importo che la comunità è disposta ad investire per impedire un caso mortale. In Svizzera, conformemente alla strategia di PLANAT e di altri programmi di calcolo disponibili [6, 3], viene proposto un valore pari a 5 milioni di CHF per vittima evitata. L'entità dei danni diretti alle persone e ai beni materiali viene calcolata applicando la formula che segue:

$$Aw_j = Aw(G)_j + Aw(S)_j + Aw(B)_j + Aw(L)_j + Aw(F)_j \quad [\text{CHF}] \quad (3.45)$$

$$Aw(P)_j = 5 \cdot 10^6 \cdot (Aw(PG)_j + Aw(PS)_j + Aw(PB)_j) \quad [\text{CHF}] \quad (3.46)$$

### 3.4.4 Determinazione dell'entità dei danni indiretti

Come accennato al paragrafo 3.3.1 e rappresentato nella tabella 3.2, vari oggetti, in caso di eventi naturali dannosi, oltre ai danni diretti quantificabili o constatabili possono subire anche conseguenze indirette. Queste implicano di regola dei costi, definiti «costi indiretti». In alcuni casi i costi indiretti possono superare in modo significativo quelli diretti.

Ciò è il caso soprattutto per le società ferroviarie, che hanno l'obbligo di garantire l'orario pubblicato. In caso di interruzioni devono provvedere, con costi supplementari non indifferenti, ad organizzare servizi alternativi o deviazioni. Questi oneri, che senza l'evento dannoso non si sarebbero resi necessari, sono da considerare come danni indiretti e possono essere inglobati nell'analisi del rischio.

Per i settori con attività particolarmente competitive le interruzioni di lunga durata possono avere come conseguenza l'impossibilità, per l'impresa, di soddisfare precisi termini di fornitura. Ciò potrebbe causare una grave perdita d'immagine e, in caso estremo, anche la cessazione dell'attività. Questo vale soprattutto per le piccole e medie imprese, che hanno maggiori difficoltà a sopportare un'interruzione d'esercizio.

Ai fini di un accertamento esauriente dei danni causati da eventi naturali, le conseguenze indirette (o i costi indiretti) derivanti da un'interruzione d'esercizio dovrebbero essere considerate separatamente dai danni diretti. Di regola, per la determinazione dei costi indiretti è determinante la durata dell'interruzione. Gli elementi di base utilizzati per il calcolo dei costi indiretti devono in ogni caso essere specificati e documentati in modo chiaro. La determinazione dei danni indiretti può avvenire mediante la seguente formula semplificata:

$$A(id)_j = K(ub) \cdot d_j \quad [\text{CHF}] \quad (3.47)$$

dove:

- $A(id)_j$  = entità dei danni indiretti nello scenario  $j$  [CHF].  
 $K(ub)$  = costi giornalieri derivanti dall'interruzione d'esercizio [CHF].  
 $d_j$  = durata dell'interruzione d'esercizio [d].

A questo punto occorre far notare che l'entità dei danni non aumenta linearmente con l'aumento della durata dell'interruzione d'esercizio. Di regola, infatti, i costi indiretti giornalieri derivanti dall'interruzione d'esercizio tendono ad aumentare subito dopo l'evento, ma a partire da un determinato momento iniziano a decrescere. L'entità dei danni indiretti ha un ruolo importante nei seguenti settori:

- società ferroviarie con l'obbligo di garantire l'orario pubblicato;
- approvvigionamento di energia;
- telecomunicazioni;
- imprese artigianali e industriali con termini di consegna regolari e impegnativi;
- vallate con un'unica via d'accesso;
- agricoltura.

I danni indiretti devono essere determinati separatamente per i singoli scenari e possono in seguito essere sommati con l'entità dei danni diretti. È raccomandabile calcolare e rappresentare separatamente l'entità dei danni diretti ed indiretti nonché la loro somma.

### 3.4.5 Entità complessiva dei danni nello scenario $j$

L'entità complessiva dei danni ai beni materiali (diretti e indiretti) e dei danni alle persone viene calcolata come segue:

$$A_j = Aw_j + A(id)_j + Aw(P)_j \quad [\text{CHF}] \quad (3.48)$$

dove:

- $A_j$  = entità dei danni diretti e indiretti nello scenario  $j$ .  
 $Aw_j$  = entità dei danni materiali diretti nello scenario  $j$ .  
 $A(id)_j$  = entità dei danni indiretti nello scenario  $j$ .  
 $Aw(P)_j$  = entità monetizzata dei danni alle persone nello scenario  $j$ .

## 3.5 Determinazione e rappresentazione del rischio

Nella parte conclusiva dell'analisi del rischio sono definite le grandezze determinanti del rischio. Devono essere stabiliti i rischi per le persone e per i beni materiali. Il rapporto fra i rischi per le persone e i rischi per i beni materiali varia da processo a processo. Per questo motivo queste due componenti devono sempre essere rappresentate separatamente.

I rischi per le persone sono suddivisi in rischi collettivi e rischi individuali: anche questi devono essere rappresentati separatamente. Per la pianificazione delle misure di protezione sono determinanti i rischi collettivi identificati nel comprensorio di studio. È consigliabile rappresentare

separatamente anche le quote di rischio relative ai singoli scenari e alle singole situazioni d'esposizione, che possono assumere un ruolo importante nella pianificazione delle misure. Le quote dei singoli scenari e delle singole situazioni di esposizione sono rappresentate in una matrice del rischio.

I rischi individuali sono determinati soprattutto per le persone che si trovano permanentemente in luoghi soggetti a pericolo e che sono particolarmente esposte. Una volta conosciuti i valori dei rischi individuali è possibile stabilire se questi sono superiori ai valori limite fissati e risultano quindi «determinanti».

### 3.5.1 Rischi collettivi

Nell'accertamento del rischio l'entità dei danni calcolata per i diversi oggetti viene correlata alla frequenza degli scenari determinanti conformemente alla formula 3.49.

$$R_j = p_j \cdot A_j \quad (3.49)$$

$$p_j = P_j - P_{j+1} \quad (3.50)$$

$$R = \sum_j R_j \quad [\text{CHF/a}] \quad (3.51)$$

dove:

$R_j$  = rischio collettivo nello scenario  $j$  [CHF/a].

$p_j$  = frequenza dello scenario  $j$ , che approssimativamente è rappresentata dalla differenza fra le probabilità di ricorrenza di due scenari contigui  $P_j$  e  $P_{j+1}$  [-].

$R$  = rischio collettivo espresso in CHF all'anno o in numero di vittime all'anno [CHF/a].

La rappresentazione basilare dei risultati ottenuti è la matrice dell'entità dei danni subiti dai diversi oggetti nei diversi scenari e nelle diverse situazioni di esposizione. Con questa rappresentazione la determinazione del rischio collettivo può essere verificata in modo ottimale; inoltre è possibile rilevare facilmente la quota dell'entità dei danni di determinati oggetti rispetto all'entità complessiva dei danni. (tabella 3.5)

Le righe di questa matrice riportano l'entità dei danni ai singoli oggetti, rispettivamente alle categorie di oggetti, negli scenari dell'evento  $j$  e nelle relative situazioni di esposizione  $k$ , nonché la corrispondente somma. Nelle colonne viene invece riportata la somma di tutte le situazioni di esposizione e di tutti gli scenari dell'evento. Con questa rappresentazione è possibile rilevare la quota dei danni ai singoli oggetti, rispettivamente categorie di oggetti, in uno scenario dell'evento  $j$ . La rappresentazione consente infine anche il confronto del potenziale di danno nel comprensorio di studio.

Tabella 3.5: Matrice con la rappresentazione dell'entità dei danni di tutti gli scenari dell'evento e di tutte le situazioni di esposizione. Se l'entità dei danni viene ponderata occorre creare una matrice supplementare con l'entità dei danni ponderata.

Entità dei danni	SZ30				SZ100				SZ300				Somma
	ExSit1	ExSit2	ExSit3	ExSit4	ExSit1	ExSit2	ExSit3	ExSit4	ExSit1	ExSit2	ExSit3	ExSit4	
senza / con avversione													
$Aw(PGm)_{j,k}$ <sup>a</sup>													$\sum_{i,k} Aw(PGm)_{j,k}$
$Aw(G)_j$ <sup>b</sup>													$\sum_j Aw(G)_j$
$Aw(PSm)_{j,k}$ <sup>c</sup>													$\sum_{i,k} Aw(PSm)_{j,k}$
$Aw(S)_j$ <sup>d</sup>													$\sum_j Aw(S)_j$
$Aw(PBm)_{j,k}$ <sup>e</sup>													$\sum_{i,k} Aw(PBm)_{j,k}$
$Aw(BPO)_j$ <sup>f</sup>													$\sum_j Aw(BPO)_j$
$Aw(BLO)_j$ <sup>g</sup>													$\sum_j Aw(BLO)_j$
$Aw(B)_j$ <sup>h</sup>													$\sum_j Aw(B)_j$
$Aw(L)_j$ <sup>i</sup>													$\sum_j Aw(L)_j$
$Aw(F)_j$ <sup>j</sup>													$\sum_j Aw(F)_j$
somma ExSit <sup>k</sup>													
somma scenario <sup>l</sup>	AsZ30				AsZ100				AsZ300				
potenziale dei danni													

<sup>a</sup> Entità dei danni alle persone negli edifici (monetizzata) nello scenario  $j$  e nella situazione d'esposizione  $k$ ;

<sup>b</sup> Entità dei danni agli edifici nello scenario  $j$ ;

<sup>c</sup> Entità dei danni alle persone (monetizzata) lungo la strada nello scenario  $j$  e nella situazione d'esposizione  $k$ ;

<sup>d</sup> Entità dei danni ai beni materiali nello scenario  $j$ ;

<sup>e</sup> Entità dei danni alle persone (monetizzata) lungo la linea ferroviaria nello scenario  $j$  e nella situazione d'esposizione  $k$ ;

<sup>f</sup> Entità dei danni agli oggetti puntuali nello scenario  $j$ ;

<sup>g</sup> Entità dei danni agli oggetti lineari nello scenario  $j$ ;

<sup>h</sup> Entità dei danni ai beni materiali nello scenario  $j$ ;

<sup>i</sup> Entità dei danni agli impianti di approvvigionamento dell'energia nello scenario  $j$ ;

<sup>j</sup> Entità dei danni all'agricoltura e al bosco nello scenario  $j$ ;

<sup>k</sup> Entità dei danni delle situazioni d'esposizione;

<sup>l</sup> Entità dei danni degli scenari.

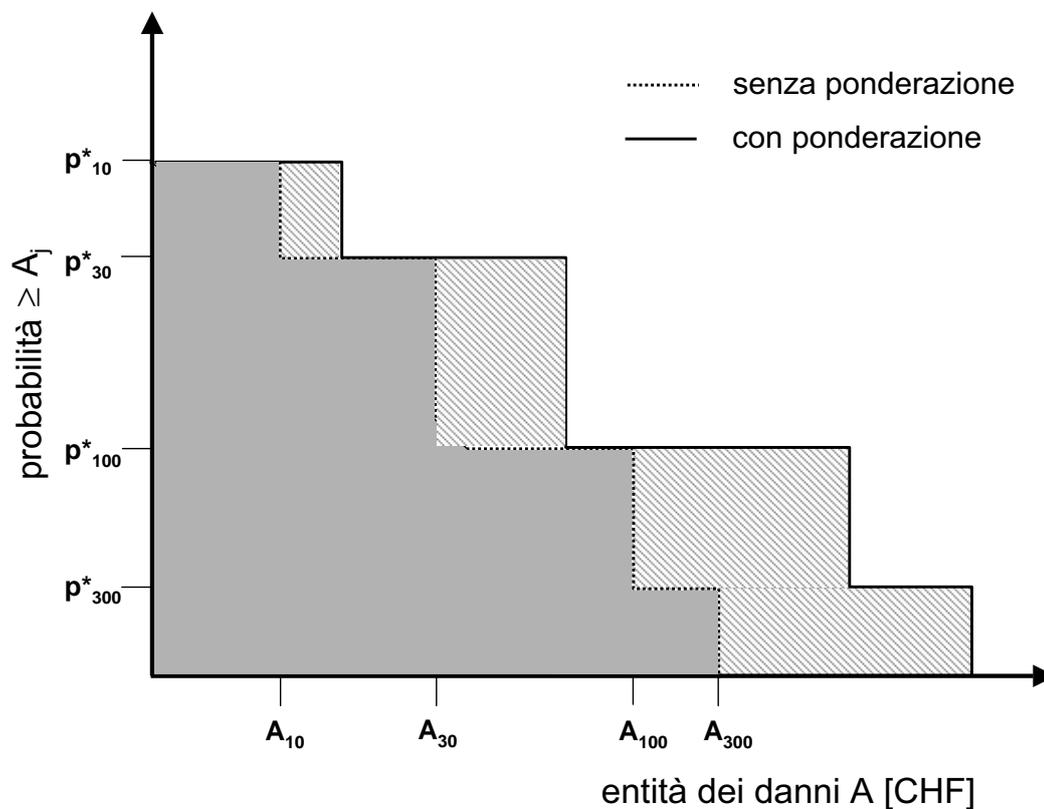


Figura 3.4: Esempio di un diagramma «Probabilità - entità dei danni» senza e con ponderazione (avversione). La superficie grigia sotto la funzione scalare corrisponde al rischio effettivo (non ponderato), la superficie grigia e quella tratteggiata corrispondono al rischio ponderato [46].

Il rischio derivante da diversi scenari può essere rappresentato con un diagramma «probabilità - entità» (diagramma PE, figura 3.4). A questo risultato si perviene riportando in un diagramma i diversi scenari di danno ordinati secondo la loro ampiezza, con la loro probabilità e la relativa entità dei danni. La rappresentazione della somma delle probabilità degli scenari (probabilità cumulativa) con la corrispondente entità dei danni ha come risultato una funzione scalare (figura 3.4). Questo diagramma viene definito «diagramma probabilità - entità», dal quale si può dedurre la probabilità con la quale una determinata entità dei danni può venire raggiunta o superata.

Il rischio collettivo corrisponde alla superficie situata sotto la scala. La forma della curva scalare mostra la quota dell'entità dei danni relativi agli scenari definiti in rapporto al rischio complessivo. Il rischio collettivo, oltre che essere espresso con un valore (unico) cumulativo, dovrebbe anche venire rappresentato con un diagramma PE [46].

### 3.5.2 Rischi individuali

Per la determinazione dei rischi individuali entrano in considerazione le persone che per lunghi intervalli di tempo sono soggette a forte pericolo. Non occorre quindi determinare a priori i rischi individuali di tutte le persone ma basta limitarsi a quelli con ampiezza rilevante o eventualmente critica. Di regola, si tratta di persone abitanti in zone soggette a pericolo, in edifici particolarmente

esposti. Altre persone che sono potenzialmente soggette a un alto rischio individuale sono gli addetti alla manutenzione delle vie di traffico, che devono transitare più volte al giorno lungo i tratti pericolosi, e le persone che si trovano all'aperto.

Il rischio individuale per le persone negli edifici è calcolato con la formula:

$$A(PG)_{i,j} = p(rA)_j \cdot p(pr)_i \cdot (1 - \varepsilon_i) \cdot \lambda_j \quad [-] \quad (3.52)$$

$$r_{i,j} = p_j \cdot A(PG)_{i,j} \quad (3.53)$$

$$r_i = \sum_j r_{i,j} \quad (3.54)$$

Il rischio individuale per le persone lungo le vie di traffico è calcolato con la formula:

$$A(PS)_{i,j} = p(rA)_j \cdot \frac{g_j \cdot z_i}{v} \cdot \lambda_j \quad [-] \quad (3.55)$$

$$r_{i,j} = p_j \cdot A(PS)_{i,j} \quad (3.56)$$

$$r_i = \sum_j r_{i,j} \quad (3.57)$$

La letalità determinante per il calcolo corrisponde alla letalità risultante dalla media della lunghezza del tratto per intensità, secondo la formula:

$$\lambda_j = \frac{(\lambda_s \cdot g_s) + (\lambda_m \cdot g_m) + (\lambda_{st} \cdot g_{st})}{g_s + g_m + g_{st}} \quad [-] \quad (3.58)$$

dove:

$A(PG)_{i,j}$	=	entità dei danni individuali per una persona $i$ in un edificio nello scenario $j$ .
$p(rA)_j$	=	probabilità di accadimento spaziale del processo nello scenario $j$ .
$\varepsilon_i$	=	fattore di protezione diretta dell'edificio $i$ .
$A(PS)_{i,j}$	=	entità dei danni individuali per una persona $i$ lungo una via di traffico nello scenario $j$ .
$g_j$	=	lunghezza del tratto soggetto a pericolo [m].
$z_i$	=	numero dei passaggi giornalieri delle persone maggiormente esposte.
$v$	=	velocità media nel tratto soggetto a pericolo [km/h].
$\lambda_j$	=	letalità per una persona $i$ a bordo di un veicolo calcolata sulla base della letalità a intensità bassa ( $\lambda_s$ ), media ( $\lambda_m$ ) e alta ( $\lambda_{st}$ ).
$r_{i,j}$	=	rischio individuale per una persona $i$ nello scenario $j$ .
$p_j$	=	frequenza dello scenario $j$ .
$r_i$	=	rischio individuale per una persona $i$ .

## Capitolo 4

# Valutazione del rischio e obiettivi di protezione

I contenuti di questo capitolo si riferiscono ancora alla strategia di PLANAT 2005 [55]. Nell'ambito del progetto B 2.1 «Obiettivi di protezione» [23] è stato elaborato e proposto un nuovo concetto che tuttavia, al momento della stampa di queste linee guida, non aveva ancora carattere definitivo. Per questo motivo i risultati del citato progetto non sono integrati in queste linee guida.

### 4.1 Principi generali

Dopo un'analisi dei rischi oggettiva, sistematica e trasparente viene verificato, attraverso la valutazione del rischio, se la società può tollerare i rischi accertati o se questi devono essere ridotti. Questa valutazione rappresenta la base per la pianificazione delle misure di protezione. Occorre tuttavia ricordare che solo dopo la pianificazione delle misure è possibile stabilire se i rischi possono essere diminuiti con un investimento proporzionato e se quindi gli obiettivi di protezione possono venire raggiunti. In questo contesto l'obiettivo di protezione viene definito come il valore limite della portata delle misure di protezione per l'individuo e per la comunità.

La valutazione del rischio si propone di individuare sia criteri chiari e verificabili per la gestione dei rischi individuali e collettivi per le persone sia un modo di procedere per la gestione dei rischi ingenti ma rari.

Dal momento che la valutazione del rischio si basa su un giudizio espresso dalla società, sorge la domanda a sapere chi deve dare questo giudizio: i criteri di valutazione possono essere basati sulle opinioni di persone esperte oppure ci si deve affidare alle sensazioni della collettività? La valutazione del rischio si muove quindi in un zona di tensione nella quale si contrappongono le scienze naturali e ingegneristiche da una parte e le scienze sociali dall'altra.

Una soluzione pragmatica potrebbe consistere nell'integrare il procedimento tecnico-naturalistico con la percezione intuitiva del rischio, al fine di ricavare criteri giudiziari per la valutazione [46]. Il più delle volte, detti criteri sono definiti implicitamente attraverso trattative concrete.

Il procedimento per una valutazione globale del rischio esposto nel seguito, con obiettivi di protezione validi per tutti i casi, è basato su un modello di base logico e su valori empirici derivati dagli atteggiamenti finora avuti dalla società. Si può quindi ammettere che questo procedimento può essere applicato alla maggior parte dei rischi, quindi in particolar modo anche ai rischi derivanti dai pericoli naturali [65]. Dal momento che una decisione teorica, quindi implicita e poco comprensibile, non può essere ritenuta coerente, l'interpretazione dei citati valori empirici risulta indispensabile.

## 4.2 Obiettivi di protezione contro i rischi per le persone

Sia nel settore dei pericoli naturali che in quello dei pericoli tecnici la protezione della vita umana assume un'importanza particolare. Si tratta infatti di un bene molto importante, degno di protezione e difficilmente valutabile.

### 4.2.1 Approccio metodico ai criteri relativi agli obiettivi di protezione

Per principio la valutazione deve concernere l'entità dei rischi individuali e dei rischi collettivi. Il fatto che queste due grandezze comportano esigenze di sicurezza completamente differenti assume un'importanza determinante.

1. **Esigenza di sicurezza per l'individuo:** il rischio individuale esprime l'entità del rischio per una singola persona, quindi la probabilità di perdere la vita in seguito ad una situazione pericolosa. Il valore  $r_i$  del rischio individuale descrive questa probabilità. A questo punto si pone la domanda quale sia il rischio tollerabile e per risolvere il problema occorre definire un valore limite per la grandezza  $r_i$ .
2. **Esigenza di sicurezza per la collettività:** anche se i rischi individuali di tutte le persone soggette a pericolo sono sufficientemente bassi, per la collettività può ancora sussistere un elevato rischio collettivo (elevato numero di vittime). Questo caso si presenta quando molte persone sono soggette ad un rischio individuale basso (vedi anche la figura 2.2, pagina 7). Anche se tutte le persone sono soggette a un rischio individuale sufficientemente basso, l'esigenza di sicurezza non è ancora soddisfatta. In questo caso le vittime sono persone pressoché «casuali ed anonime» e non persone che, a causa del loro alto rischio individuale, erano «predestinate».

La società ha interesse a limitare il numero complessivo delle vittime indipendentemente dall'entità del rischio individuale delle persone interessate. Per quanto riguarda la collettività non si tratta quindi di definire il rischio tollerabile per le singole situazioni di rischio bensì di conseguire, con tutti i mezzi a disposizione, una sensibile riduzione del numero di vittime in un determinato sistema (ad esempio un abitato). Si tratta di un tipico lavoro di ottimizzazione.<sup>1</sup>

Questa ottimizzazione richiede che, per tutte le situazioni di rischio, la portata delle misure di protezione raggiunga i medesimi costi limite (importo stabilito per ogni caso mortale evitato o valore di una vittima statistica<sup>1</sup>). Per quanto riguarda il rischio collettivo, i costi limite per i provvedimenti di sicurezza possono quindi essere ritenuti il criterio di base per la definizione degli

<sup>1</sup>in inglese denominato «value of statistical life (VSL).»

obiettivi di protezione. Questi costi corrispondono all'importo che deve essere raggiunto dagli interventi di sicurezza, importo che non deve essere interpretato come un tentativo di dare un valore monetario alla vita umana. I costi che la società è disposta (o è in grado di) ad assumersi per evitare un caso mortale non hanno nulla a che vedere con il valore di una vita umana. Anche se questa avesse un valore infinito, la società non può investire una somma infinita per salvarla. Ciò è dimostrato dalla realtà dei fatti. Con il criterio dei costi limite, nell'ambito delle risorse disponibili, viene evitato il maggior numero possibile di casi mortali.

Questo aspetto è particolarmente significativo nel caso in cui i rischi per le persone, nell'ambito della pianificazione delle misure, devono essere espressi con un valore monetario al fine di poter avvalersi delle stesse unità di misura (unità monetarie, ad esempio CHF) dei rischi per i beni materiali. In questo ambito la quantificazione in denaro dei danni subiti dalle persone non deve quindi essere considerata come la valutazione della vita umana bensì come la valutazione dell'impegno destinato all'impedimento di un caso mortale.

#### **4.2.2 Suddivisione delle categorie di rischio**

Prima di affrontare la quantificazione degli obiettivi di protezione citati è necessario introdurre un ulteriore elemento, determinante ai fini della definizione dei citati obiettivi. Ciò anche in relazione al fatto che non tutti i tipi di rischio possono essere considerati allo stesso modo.

Negli anni sessanta, fu introdotto per la prima volta il concetto di «rischio volontario», rispettivamente di «rischio involontario», che, per quanto riguarda l'accettazione, divergono di un fattore pari a 1000 [73]. Ciò concerne i rischi individuali. Partendo da questo primo criterio venne poi sviluppato un concetto differenziato di categorie di rischio, secondo il quale l'accettazione del rischio dipende dal grado di autodeterminazione e dall'immediatezza della sensazione di beneficio delle persone coinvolte.

Nella figura 4.1 è rappresentata la sequenza dai rischi assunti volontariamente fino a quelli assunti involontariamente. Le quattro categorie di rischio sono valide sia per i rischi individuali che per quelli collettivi. Esse implicano una concezione differenziata del rapporto fra la responsabilità della società e quella dell'individuo nelle situazioni di rischio, problematica assai ben conosciuta anche nel settore dei pericoli naturali. Come base per la differenziazione di questi obiettivi di protezione sono a disposizione le citate categorie di rischio.

#### **4.2.3 Proposta per gli obiettivi di protezione per le persone**

Gli obiettivi di protezione possono essere definiti attraverso un approccio qualitativo, rispettivamente metodico, che non comporta la definizione di un valore numerico. Ciò è invece richiesto dalla valutazione quantitativa di questi obiettivi. La proposta di PLANAT è basata su considerazioni e basi di lavoro sviluppate nell'ambito dei rischi tecnici [47] e vale fondamentalmente per tutti i tipi di rischio. Infatti, è lecito supporre che non sussistono validi motivi per differenziare i danni e le vittime derivanti da tipi di eventi diversi.

I valori limite, rispettivamente gli obiettivi di protezione proposti da PLANAT per il rischio di morte individuale e per i costi limite relativi al rischio collettivo, sono riportati nella tabella 4.1 (obiettivi di protezione PLANAT).

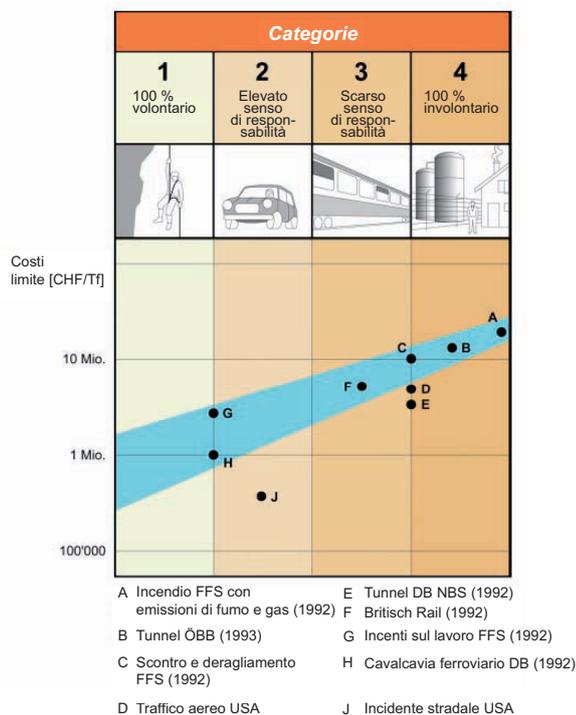


Figura 4.1: Categorie di rischio e definizione dei costi limite per i rischi tecnici quale base per il metodo di valutazione nel settore dei pericoli naturali [1].

Per l'applicazione ai casi pratici, gli obiettivi di protezione illustrati nella tabella 4.1 richiedono un'ulteriore semplificazione. Per la pianificazione delle misure a favore delle zone residenziali e degli assi di traffico la categoria 1 può essere tralasciata; determinanti sono soprattutto le categorie di rischio da 2 a 4, premesso che fra la categoria 3 e la categoria 4 è quasi impossibile fare delle distinzioni. In pratica, per i rischi individuali, possono quindi essere definite due categorie (tabella 4.2).

La definizione dei valori limite proposti nella tabella 4.2 è basata sulla proposta di PLANAT (tabella 4.1 e sugli obiettivi di protezione fissati in alcuni Cantoni (Canton Berna<sup>2</sup>, Canton Ticino). Nell'ambito dei rischi collettivi la suddivisione nelle categorie di rischio risulta più difficoltosa poiché, nel medesimo comprensorio, la protezione delle persone secondo obiettivi di protezione differenziati non è praticamente realizzabile. Per quanto riguarda i rischi collettivi si propone pertanto di attribuire indistintamente alla categoria 3 (vedi obiettivi di protezione PLANAT) tutte le persone potenzialmente soggette a pericolo. **I costi limite per l'impedimento di un caso mortale sono fissati uniformemente, per questa categoria, a 5 milioni di franchi.**

Una pianificazione sistematica della sicurezza deve avere come obiettivi l'ottimizzazione delle risorse, conseguita mediante l'applicazione coerente di obiettivi di protezione unitari, e la garanzia di uno standard di sicurezza uniforme. Ciò corrisponde ai due obiettivi principali del concetto e della strategia di PLANAT [55]. Una sicurezza unitaria può essere garantita applicando i valori

<sup>2</sup>Strategia dei rischi naturali: protocollo della seduta della seduta di chiusura del Consiglio di Stato del 10 agosto 2005.

limite fissati per il rischio individuale ed assicurando il medesimo impegno per tutti gli interventi di protezione relativi ai rischi collettivi (osservanza del criterio dei costi limite) [47].

### 4.3 Obiettivi di protezione per altri tipi di danno

#### 4.3.1 Beni materiali

I beni materiali comprendono edifici, infrastrutture, assi di traffico e veicoli, come pure superfici utilizzate a scopo agricolo e forestale.

Per quanto riguarda i danni materiali, compresi i danni indiretti, vale per principio la regola secondo la quale, per evitare un franco di danno, non bisogna investire più di un franco in misure di sicurezza. Per la valutazione dei danni indiretti devono essere tenute in considerazione le prestazioni assicurative. L'applicazione di questa regola può creare dei problemi, causati dal fatto che spesso i danni materiali calcolati non comprendono i danni indiretti, a volte assai onerosi; con le misure

Tabella 4.1: Obiettivi di protezione PLANAT per i rischi individuali e collettivi per le persone.

<b>Categoria di rischio</b>	<b>Rischio di morte individuale Valore massimo per anno della probalità di morte</b>	<b>Rischio collettivo Valore limite per caso di de- cesso evitato [milione di CHF]</b>	<b>Esempio</b>
Categoria 1 100 % volontario	$10^{-2} - 10^{-3}$	1 - 2	Persone che volutamente non osservano gli sbarramenti in caso di di forte pericolo
Categoria 2 Elevato senso di responsabilità	$10^{-3} - 2 \cdot 10^{-4}$	2 - 5	Persone in grado di giudicare la situazione di pericolo e di affrontarla consapevolmente
Categoria 3 Scarso senso di responsabilità	$2 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-5}$	5 - 10	Persone molto o totalmente indifferenti al problema; affrontano i rischi più a meno involontariamente
Categoria 4 100 % involontario	$3 \cdot 10^{-5} - 4 \cdot 10^{-6}$	10 - 20	

Tabella 4.2: Proposta per gli obiettivi di protezione relativi ai rischi individuali in base agli obiettivi di protezione PLANAT e a quelli vigenti nei diversi Cantoni.

<b>Categoria di rischio</b>	<b>Rischio di morte individuale</b> valore massimo per anno	<b>Esempio</b>
Elevata responsabilità personale	$\leq 1 \cdot 10^{-4}$	Autista di professione, sgombero neve ecc.
Responsabilità personale scarsa o nulla	$\leq 1 \cdot 10^{-5}$	Abitante, automobilista, utente ferrovia ecc.

di protezione pianificate in base al rapporto 1:1 non viene così raggiunto un sufficiente grado di sicurezza. Per i casi con conseguenze indirette particolarmente importanti è possibile aumentare proporzionalmente il citato rapporto. In tal modo, si tiene conto del fatto che:

- spesso, in sede di calcolo dei danni potenziali, risulta difficile quantificare i danni indiretti, e
- in determinate situazioni è preferibile evitare un danno che impegnarsi nei lavori di ripristino.

Conformemente agli obiettivi di protezione proposti dalla strategia di PLANAT, per la pianificazione di misure si propone un rapporto 1:1 fra i costi delle misure e i danni materiali. Se sono prevedibili importanti danni indiretti si propone di descriverli chiaramente come tali e di considerarli nell'analisi del rischio e nella pianificazione delle misure. Esempi di danni indiretti sono riportati al paragrafo 3.4.4 (pagina 33). Nell'ambito del progetto A2 «Avversione al rischio» è stato abbozzato un procedimento per la valutazione e la considerazione dei danni indiretti attraverso un fattore di integrazione dei danni [22].

### 4.3.2 Rischi particolari

La strategia di PLANAT prevede che le infrastrutture particolari e i beni culturali devono essere protetti secondo criteri globali. I concetti di protezione devono tenere in considerazione la loro funzione, in particolare se si tratta di infrastrutture vitali come gli ospedali e i sistemi di approvvigionamento di acqua potabile e di energia. Nei rispettivi concetti di protezione i pericoli naturali rappresentano solo uno dei possibili rischi. Le ipotesi di pericolosità per questo tipo di oggetti devono essere elaborate sulla base di criteri unitari. A dipendenza dell'importanza di queste infrastrutture potrebbe essere necessario un investimento superiore a quello risultante dalla valutazione dell'entità dei danni prevedibili. Le conseguenze indirette che potrebbero derivare da un mancato funzionamento delle strutture di approvvigionamento dovrebbero pertanto poter essere quantificate con una precisione adeguata. Se ciò non fosse possibile l'introduzione del fattore di integrazione dei danni potrebbe rappresentare una buona soluzione.

Anche per i beni culturali i pericoli naturali rappresentano solo uno dei possibili fattori di rischio. La stessa cosa vale per i siti naturalistici particolarmente pregiati.

Come menzionato nella strategia di PLANAT, la protezione di comunità politiche e di sistemi socio-economici è un tema che richiede particolare attenzione. Questo problema è oggetto delle considerazioni finora fatte e trattate unitamente agli aspetti dell'avversione al rischio. Riflessioni approfondite non sono finora state documentate e attualmente non sono disponibili i documenti di base necessari per la quantificazione di queste esigenze di protezione. L'unica possibilità consiste quindi in una considerazione qualitativa e in una valutazione generale.

In ogni caso, al fine di garantire una pianificazione delle misure trasparente, è necessario che le ipotesi considerate vengano definite e descritte in modo chiaro.

## **4.4 Avversione al rischio**

Con il concetto di avversione al rischio si intende la ponderazione dell'entità dei danni. In questo ambito sono stati finora riassunti diversi concetti. Secondo le più recenti opinioni [2] si distinguono tre effetti parziali, descritti in modo più dettagliato nel seguito:

1. Espansione qualitativa e aumento sproporzionato degli effetti indiretti negativi di eventi dannosi, che nella maggior parte dei casi non sono considerati per mezzo di indicatori di danno (danni complessivi ai sistemi socio-economici);
2. Insicurezza nella stima della frequenza e dell'entità;
3. Atteggiamento intrinseco nei confronti del rischio: rifiuto di prendere in considerazione eventi che comportano danni potenzialmente molto elevati.

La ponderazione determinata dal 1° effetto serve alla stima dell'entità dei danni e sarebbe, in senso stretto, parte integrante dell'analisi del rischio. Occorre far capo a questa ponderazione quando non è possibile calcolare in modo esatto, per ogni scenario, i danni diretti e indiretti. Partendo da singoli indicatori di danno si perviene all'entità complessiva dei danni tramite estrapolazione.

La ponderazione determinata dal 2° e dal 3° aspetto può anche essere definita «avversione al rischio» e rappresenta una componente della valutazione del rischio adottata dalla società, rispettivamente dalle persone con competenze decisionali. Questa operazione deve però avvenire già a livello di analisi del rischio poiché oggetto di ponderazione è il rischio derivante dai diversi scenari, che viene poi computato per la definizione del rischio collettivo.

### **4.4.1 I tre effetti parziali dell'avversione al rischio**

#### **4.4.1.1 Espansione qualitativa e aumento sproporzionato degli effetti indiretti negativi degli eventi dannosi**

Le catastrofi che generano danni la cui entità aumenta in modo evidente trascinano con sé anche sistemi non coinvolti direttamente e si ripercuotono in modo sempre più complesso sul tessuto socio-economico di una società. Oltre a ciò i costi di ripristino e di rigenerazione aumentano in modo sproporzionato. Questa espansione qualitativa e questo aumento sproporzionato del danno viene considerato mediante un fattore di integrazione dei danni, che consente una valutazione

approssimazione dell'effettiva entità degli stessi. La valutazione del danno complessivo, dal punto di vista teorico, può essere oggettiva poiché fondata su analisi tecnico-economiche. Come base di partenza potrebbe entrare in considerazione la valutazione dei danni di eventi effettivamente avvenuti. A questo punto occorre tuttavia far notare che l'estensione delle categorie di danno dipende per principio dal sistema allo studio e che il fattore d'integrazione dei danni varia da sistema a sistema.

#### **4.4.1.2 Aumento dell'insicurezza nella stima quantitativa dei rischi**

Quando la frequenza diminuisce e l'entità dei danni aumenta, aumenta di regola anche l'insicurezza nella quantificazione dei rischi. I valori empirici concreti vengono sempre più messi in disparte per far posto a stime analitiche o a stime fatte da esperti in modo del tutto intuitivo. I responsabili dei diversi sistemi, come pure i politici e la collettività, esprimono sovente scetticismo ed esortano alla prudenza. Ciò corrisponde al principio di precauzione, che è ancorato nella legislazione e che, di fronte alle considerevoli insicurezze derivanti da rischi elevati, impone di agire con particolare prudenza.

Per soddisfare questa esigenza di prudenza è opportuno ponderare le valutazioni facendo capo ad un fattore di sicurezza uniforme o stabilito in funzione delle caratteristiche del sistema interessato. Nella valutazione dei rischi questo procedimento risulta più appropriato delle stime cosiddette «conservative», cioè tendenzialmente orientate alla considerazione del caso peggiore. Uno dei vantaggi della ponderazione eseguita mediante un fattore di sicurezza consiste nel fatto che nell'analisi può essere fissato l'intervallo di confidenza che si intende adottare. Quest'ultimo esprime la probabilità con quale il rischio effettivo non viene sottostimato. Si tratta di una valutazione di carattere sociale (grado di prudenza [o, appunto, avversione] di fronte a eventi catastrofici), che in questo modo può essere effettuata con la massima trasparenza e per la quale gli incaricati dell'analisi del rischio non devono addossarsi la responsabilità.

#### **4.4.1.3 Aumento dell'insicurezza nella stima della probabilità di accadimento**

Nel caso in cui le misure di sicurezza non fossero in grado di ridurre in modo soddisfacente l'entità dei danni derivante da eventi potenzialmente molto pericolosi o addirittura catastrofici, occorre cautelarsi che questi siano sufficientemente improbabili. La maggior parte dei sistemi può comunque essere interessata da eventi potenziali con conseguenze gravi o addirittura in grado di minacciarne l'esistenza. A causa della loro rarità, questi eventi possono essere definiti «sufficientemente improbabili» (ad esempio catastrofe generata da un terremoto di elevata intensità). Spesso eventi del genere non vengono nemmeno più considerati nell'analisi.

Di regola, con l'aumento della rarità degli eventi diminuisce l'affidabilità della determinazione delle loro frequenze. La frequenza di eventi ricorrenti è generalmente basata su dati statistici, mentre che quella di eventi molto rari che possono risultare particolarmente critici e dannosi può essere stimata unicamente attraverso ragionamenti teorici o stime fatte da specialisti.

#### 4.4.1.4 Aumento dell'insicurezza nella previsione dei danni

L'insicurezza aumenta con l'aumentare dell'ampiezza dell'evento anche per quanto riguarda la previsione dell'entità dei danni. In particolare i quadri di danno diventano sempre più complicati e le lacune conoscitive sul piano tecnico-scientifico (ad esempio gradi di vulnerabilità) si accumulano, ripercuotendosi in modo sempre maggiore. Anche in questi casi diventa sempre più difficile far capo alle esperienze e alle analisi fatte in occasione di eventi precedenti. Talvolta occorre considerare effetti di danni per i quali finora non sussiste alcun modello di calcolo riconosciuto. Bisogna quindi operare con calcoli eseguiti secondo modelli semplificati e basati necessariamente su ipotesi e stime elaborate da specialisti. Conformemente al concetto dell'analisi del rischio queste stime non devono avvenire tenendo semplicemente in considerazione il caso peggiore: applicando con coscienza le migliori conoscenze scientifiche dovrebbero invece rappresentare l'entità dei danni attesa per i rispettivi scenari.

#### 4.4.1.5 Responsabilità nel caso di eventi con entità dei danni straordinaria

Questo effetto deriva, secondo la teoria delle decisioni, dall'avversione in senso stretto, definita anche «atteggiamento intrinseco nei confronti del rischio». Questa teoria stabilisce che le persone avverse al rischio preferiscono una perdita sicura di poco conto ad una situazione di rischio con un valore atteso equivalente. Questo modo di pensare deriva dal fatto che il valore, generalmente basso, atteso come conseguenza di eventi rilevanti ma rari viene considerato come sopportabile; per contro, la possibilità che un evento si verifichi effettivamente è collegata ad un'entità dei danni non tollerabile. La preferenza per il danno sicuro ma tollerabile rappresenta una garanzia di sicurezza dimostrabile anche dal punto di vista razionale. Un esempio in questo ambito è rappresentato dalla sempre più diffusa assicurazione privata di responsabilità civile.

L'atteggiamento intrinseco nei confronti del rischio diventa particolarmente importante di fronte ad eventi rari, che comportano danni enormi o addirittura in grado di minacciare l'esistenza. Le conseguenze di questi eventi vanno ben oltre le conoscenze empiriche derivanti da eventi conosciuti e non possono essere determinate tramite modelli statistici, come nel caso del valore atteso  $R = \sum p_j \cdot A$  relativo a eventi molto rari con gravi conseguenze.

#### 4.4.2 Proposta per i fattori d'avversione

La suddivisione dell'avversione al rischio, così come descritta, è stata sviluppata nell'ambito del piano d'azione PLANAT, progetto B 2.1 «Avversione al rischio». Tuttavia, dal momento che la messa in atto di questo concetto non è ancora stata discussa in modo definitivo, in queste linee guida si suggerisce di continuare a far capo, per il momento, ad un fattore di avversione. Quest'ultimo corrisponde alla quantificazione proposta nel progetto B 2.1. Nella figura 4.2 è rappresentata questa nuova proposta per la funzione di avversione al rischio, che tiene conto del fattore di integrazione dei danni  $f$ .

Dal punto di vista matematico, questi fattori sono espressi dalle formule:

**Funzione per il fattore parziale  $f$ :**

$$f = 10^{0.001 \log x^4 - 0.0119 \log x^3 + 0.0208 \log x^2 + 0.1931 \log x - 0.0001} \quad (4.1)$$

**Funzione per tutti i fattori parziali  $f$ ,  $\phi_{1+2}$  e  $\phi_3$ :**

$$y(f, \phi_{1+2}, \phi_3) = 10^{\frac{1}{\log(300)} \cdot \log(x)} \quad \text{für } 1 < x < 300 \quad (4.2)$$

$$y(f, \phi_{1+2}, \phi_3) = 10^{-0.0418 \log x^2 + 0.5515 \log x - 0.1064} \quad \text{für } 300 < x < 1'000'000 \quad (4.3)$$

**Funzione per tutti i fattori parziali  $f$  (elementi propri dell'avversione):**

$$\phi(\phi_{1+2}, \phi_3) = 10^{-0.0036 \log x^3 + 0.02011 \log x^2 + 0.186 \log x} \quad (4.4)$$

La funzione dell'avversione si riferisce attualmente all'indicatore di danno «vittime umane». Si propone di far capo a questa funzione, nella sua stessa forma, anche per altri tipi di danno. Ciò fintanto che non saranno acquisite conoscenze più approfondite relative ad altri indicatori di danno. Il numero delle vittime deve essere moltiplicato per il valore dei costi limite, che viene adeguato di volta in volta.

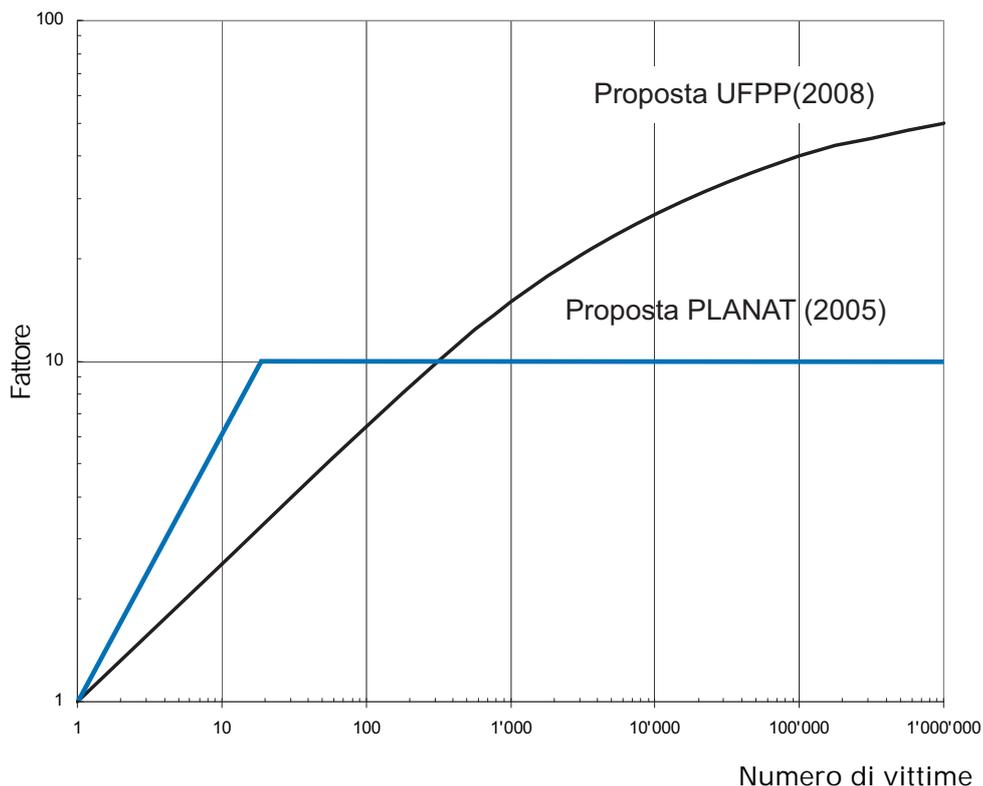


Figura 4.2: Proposta per una nuova funzione di avversione al rischio basata su fattori parziali (non indicati, linea nera) e la funzione secondo la strategia di PLANAT (linea blu).

## Capitolo 5

# Pianificazione e valutazione delle misure

### 5.1 Obiettivi

I risultati derivanti dall'analisi e dalla valutazione del rischio costituiscono le basi per l'elaborazione della terza fase del concetto di rischio, consistente nella pianificazione e nella valutazione delle misure. In questa fase sono progettate le possibili misure di protezione, rispettivamente le possibili combinazioni (pacchetti di misure), che in seguito vengono analizzate in funzione della loro efficacia e dei loro costi.

Lo scopo della pianificazione delle misure consiste nell'individuare le misure o le combinazioni di misure che

1. comportano una riduzione ottimale dei rischi collettivi tenendo in considerazione l'efficienza economica secondo il principio dei costi limite e,
2. se necessario, sono in grado di ridurre i rischi individuali al di sotto di una probabilità di decesso annua pari a  $1 \cdot 10^{-4}$ , rispettivamente a  $1 \cdot 10^{-5}$  (vedi paragrafo 4.2.3).

Le misure di protezione, rispettivamente le combinazioni di misure, devono inoltre essere esaminate sotto altri punti di vista. È quindi necessario che:

- le misure soddisfino i criteri dell'ecocompatibilità (ad esempio protezione del paesaggio);
- le misure non comportino costi insopportabili per le generazioni future (concetto di sviluppo sostenibile<sup>1</sup>);
- gli oneri derivanti, come ad esempio le prescrizioni per le evacuazioni e gli sbarramenti degli assi di traffico, siano ragionevoli e proporzionati<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup>Rapporto Brundtland, 1987: sviluppo sostenibile significa «soddisfare le necessità delle generazioni presenti senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni».

<sup>2</sup>Ragionevolezza e proporzionalità sono concetti assai diffusi. Se sono applicati a un caso concreto per giustificare un'elevata necessità di protezione devono in ogni caso essere descritti dettagliatamente. Nella strategia del rischio del Canton Berna si propone, nel caso delle vie di comunicazione, di stabilire, a seconda della loro importanza, delle cosiddette «esigenze di percorribilità». Un'esigenza di percorribilità potrebbe essere «l'asse ferroviario può rimanere interrotto al massimo durante poche ore ogni dieci anni e durante una settimana ogni trenta anni».

La pianificazione è essenzialmente un processo creativo e non può quindi essere realizzata in modo puramente sistematico. Ciò si manifesta specialmente con lo studio e lo sviluppo di combinazioni di misure ottimali. Attraverso combinazioni adeguate è possibile, ad esempio, fare in modo che i punti deboli delle misure si coprano vicendevolmente e che le insicurezze vengano ridotte dagli effetti in eccesso. È pure possibile ridurre il dimensionamento di misure singole: ciò comporta una riduzione dei costi e una migliore accettabilità da parte della collettività.

Occorre infine ricordare che la qualità della pianificazione delle misure è direttamente proporzionale alla qualità delle basi di lavoro elaborate. Misure non studiate non possono naturalmente essere valutate. Per questo motivo è importante tener conto della competenza degli specialisti, dell'esperienza acquisita e dei suggerimenti delle persone coinvolte.

## 5.2 Possibili misure di prevenzione

Nella pianificazione delle misure entrano per principio in considerazione tutte le misure possibili e sensate<sup>3</sup>, siano esse preventive o costruttive. Le misure possono essere suddivise in quattro gruppi:

- misure di pianificazione: con adeguate norme viene promosso un utilizzo del territorio adeguato alla situazione di pericolo;
- misure costruttive: da una parte, mediante premunizioni, è possibile eliminare o ridurre l'origine, il decorso e l'estensione di un processo pericoloso. Dall'altra è possibile aumentare la resistenza degli oggetti potenzialmente esposti al pericolo;
- misure biologiche: l'effetto stabilizzante derivante dalla presenza di vegetazione arborea può servire ad evitare, rallentare o contenere i movimenti del terreno. Anche la funzione di ritenzione dell'acqua piovana esercitata dal bosco assume una grande importanza;
- misure organizzative: una buona organizzazione per affrontare gli eventi, i servizi di previsione e di allarme e l'intervento in caso di pericolo o di catastrofe possono comportare una significativa riduzione dei danni.

Le misure di pianificazione assumono un ruolo determinante nella gestione e nel controllo del rischio a lungo termine. Nella gestione integrale del rischio rivestono quindi una grande importanza. Queste linee guida si concentrano tuttavia sull'analisi e sulla soluzione di problemi di sicurezza complessi. Per questo motivo entrano in considerazione soprattutto i primi tre gruppi di misure. Il trasferimento di edifici in luoghi sicuri deve essere considerato come un caso particolare. In effetti, si tratta di una misura di pianificazione che in caso di necessità, rende possibili importanti cambiamenti in tempi relativamente brevi. Le protezioni dirette, invece, sono considerate come misure costruttive; ciò anche se di regola, dal punto di vista giuridico, vengono imposte da norme di pianificazione. Un'ulteriore misura di pianificazione è la limitazione dell'utilizzo degli edifici: essa garantisce che, durante il periodo di potenziale pericolo, persone e beni mobili non sono presenti.

---

<sup>3</sup>La ricostruzione è il terzo elemento del ciclo del rischio. Contrariamente alla prevenzione e alle misure costruttive il suo scopo non è di evitare o di ridurre i danni potenziali bensì di organizzare (ed es. tramite assicurazioni, fondi d'aiuto) e di realizzare prontamente, in base alla (nuova) situazione, gli interventi di ricostruzione dopo gli eventi.

La realizzazione di misure di protezione è giustificata quando i rischi, dopo attenta valutazione, risultano essere troppo elevati, rispettivamente quando possono essere ridotti con un investimento proporzionato. Se i rischi individuali sono sufficientemente contenuti oppure se la proporzionalità dell'investimento necessario non è (più) data, le misure di pianificazione rappresentano lo strumento per consentire un'ulteriore utilizzazione del territorio senza nuovi o maggiori rischi. Ciò può manifestarsi quando non viene individuata una combinazione di misure ottimale o quando le misure di protezione non sono necessarie, rispettivamente efficaci. Le misure di pianificazione costituiscono, in un certo senso, le condizioni quadro entro le quali, a lungo termine, può essere assicurata un'utilizzazione del territorio che tenga in giusta considerazione il rischio. Per questo motivo le considerazioni di ordine pianificatorio devono sempre essere parte integrante della pianificazione delle misure. Ciò anche se, in nessun caso, possono essere valutate secondo i criteri validi per le altre misure (costi limite e obiettivi di protezione per i rischi individuali).

### 5.3 Evoluzione temporale

Le analisi del rischio e le pianificazioni delle misure si riferiscono alla situazione attuale. Comprendono tuttavia una marcata componente temporale, rivolta al futuro. Ciò si palesa particolarmente se si opta per misure che con il tempo comportano importanti trasformazioni. Tra queste possiamo citare gli interventi biologici (piantagioni ecc.) o la gestione del territorio attraverso i piani di utilizzazione.

Il concetto di rischio consente per principio una considerazione differenziata dei rischi in funzione del tempo. Si possono ad esempio configurare situazioni di esposizione (vedi paragrafo 3.3.3) valide per il futuro oppure si possono valutare in modo differenziato gli effetti (in aumento o in diminuzione) delle misure di protezione al fine di poter stimare quantitativamente l'entità dei rischi futuri. Queste considerazioni dettagliate non sono escluse in modo esplicito in questa sede. Per i casi normali vengono tuttavia raccomandate le seguenti semplificazioni:

- L'effetto derivante dal trasferimento di edifici, considerato in queste linee guida come una misura di pianificazione particolare, è di per sé facilmente valutabile. Molto più critica è, invece, la valutazione del tempo necessario per la realizzazione dell'operazione: con che celerità potranno essere imposti questi massicci interventi? Verranno trovate delle soluzioni ragionevoli con gli interessati? Nei casi in cui il trasferimento degli edifici viene effettivamente preso in considerazione come possibile soluzione, ciò che presuppone qualche riflessione circa il consenso e la fattibilità, la valutazione della misura dovrebbe premettere che la realizzazione può avvenire negli stessi tempi previsti per le altre varianti di premunizione.
- I costi e gli effetti delle misure costruttive insorgono di regola a partire dalla loro realizzazione<sup>4</sup>. La valutazione è pertanto relativamente semplice. I costi successivi (ed esempio la manutenzione) vengono considerati nell'ambito della determinazione dei costi.

<sup>4</sup>Tra la progettazione e l'effettiva e completa realizzazione delle misure di protezione può, per motivi diversi, intercorrere qualche anno. Durante questo tempo si modificano anche i parametri d'entrata dell'analisi del rischio, in particolare il potenziale di danno. Si suppone tuttavia che queste variazioni fanno parte delle insicurezze insite nell'analisi del rischio. Per la valutazione delle misure è pertanto ammesso far capo alla valutazione del rischio riferita allo status quo.

- Nel caso di misure biologiche i costi subentrano con l'inizio del progetto, mentre che gli effetti si manifestano solo più tardi (ad es. rimboschimenti). Per quanto riguarda l'efficacia, in un primo tempo è pertanto possibile tener conto solo di quelle componenti che garantiscono sicurezza sin dall'inizio (ad es. le misure tecniche/costruttive). Le misure che non danno questa garanzia (ad es. i rimboschimenti), a dipendenza della situazione, non vengono considerate, rispettivamente vengono considerate con un effetto limitato. Ne consegue che i costi si manifestano sin dall'inizio, mentre un effetto tangibile si avrà solo più tardi. Per quanto concerne la determinazione dei costi, questo effetto può eventualmente essere mitigato assumendo una lunga durata d'esercizio.
- Per le misure organizzative valgono di regola le osservazioni fatte in precedenza a proposito delle misure costruttive: i costi e gli effetti si manifestano durante la fase di realizzazione (durata di pochi anni). Perciò, in molti casi, è possibile attendersi un effetto già a breve termine: la sua validità dipende in modo determinante dalla situazione (basi di lavoro, strumenti, esperienza). Con il tempo le misure organizzative possono svilupparsi in modo positivo, specialmente grazie all'aumentato bagaglio di esperienze acquisite. Rimane tuttavia qualche incertezza riguardo alla durata nel tempo dei servizi di prevenzione e di soccorso (disponibilità di persone a lungo termine).

A questo punto ci si può chiedere se è possibile tener conto di un eventuale futuro «maggior beneficio» derivante dalle misure di protezione contro i pericoli naturali consistente in un utilizzo più intensivo del territorio. Questi scenari, se definiti sulla base di ipotesi convenienti, sono, di regola, vantaggiosi dal punto di vista economico, ma devono essere resi chiari sin dall'inizio. Dal punto di vista della valutazione delle misure considerazioni del genere non devono essere escluse a priori. Occorre tuttavia tenere conto del fatto che un simile scenario può trovare una sua giustificazione solo se (a) sussistono buone probabilità di edificazione e, in particolar modo, se (b) non sono disponibili ubicazioni alternative in zone (più) sicure. È tuttavia evidente che quest'ultima condizione può essere accettata dall'ente sussidiante solo in casi particolari. Anche se la figura del beneficiario non è rilevante dal punto di vista sociale, questo modo di agire metterebbe in dubbio l'equità della distribuzione dei mezzi pubblici: è sostenibile favorire in questo modo i proprietari dei fondi o la comunità locale?

Per la scelta della misura dal punto di vista dell'efficienza economica vale il principio secondo il quale questa, in rapporto alla situazione del momento, deve essere finanziariamente proporzionata. Nei casi motivati è possibile considerare i futuri scenari che, in presenza di varianti di misure di egual valore, possono influenzare la decisione. Ciò potrebbe ad esempio essere il caso, quando nel luogo interessato, per motivi diversi, è possibile dimostrare l'opportunità di una più intensiva utilizzazione del territorio.

## 5.4 Procedimento

Per principio vale la premessa che la pianificazione delle misure in senso stretto (tecnico) viene elaborata secondo le conoscenze scientifiche del momento, tenendo in considerazione le basi e le direttive tecniche del settore specifico. Lo svolgimento del lavoro può suddiviso come segue (figura 5.1):

**Basi di partenza:** la pianificazione delle misure è determinata dai risultati dell'analisi e della valutazione del rischio, che dal canto loro sono già stati attivati da un presunto deficit di sicurezza.

**Pianificazione delle misure:** partendo dal rischio attuale vengono progettate le possibili misure, rispettivamente le combinazioni di misure. Affinchè la progettazione possa avvenire con la necessaria precisione si rendono di regola necessari ulteriori studi e rilievi determinati dal tipo di misura considerato. Per le premunizioni, ad esempio, devono essere noti e tenuti in considerazione il tipo di struttura e il relativo dimensionamento, l'estensione della zona da premunire, le caratteristiche del sottosuolo e le condizioni di allacciamento della zona. Questi dati sono necessari anche per l'analisi del rischio a premunizione avvenuta come pure per il calcolo dei costi.

**Determinazione dell'efficacia e dei costi:** occorre determinare l'efficacia, intesa come riduzione del rischio, e i costi della misura. Per la quantificazione delle riduzioni del rischio deve essere ripetuta l'analisi del rischio. A dipendenza della misura, gli scenari e le carte delle intensità sono definiti ed elaborati adattando quelli esistenti oppure vengono definite nuove situazioni di esposizione. In seguito vengono determinate le conseguenze (analisi del rischio a premunizione avvenuta).

**Valutazione delle misure:** la valutazione delle misure progettate dal punto di vista economico avviene secondo il criterio dei costi limite (figura 5.1). Parte integrante della valutazione delle misure è l'analisi dei rischi individuali, che devono essere inferiori ai valori limite menzionati in precedenza.

**Proposta delle misure:** dalle precedenti analisi, sulla base dei principi esposti in queste linee guida, scaturisce la variante di misure più razionale, che in una fase successiva dovrà essere approfondita.

**Fattori difficilmente quantificabili:** spesso, per la scelta delle misure da adottare, non ci si può limitare alla considerazione degli aspetti tecnici ed economici. Fattori come la proporzionalità, l'accettabilità, la compatibilità ecologica ecc. possono assumere una certa importanza. La considerazione sistematica di questi aspetti, in particolare la loro valutazione, risultano difficoltosi nella maggior parte dei casi; ciò è dovuto specialmente all'assenza di metodologie e di basi di lavoro specifiche. Inoltre, le ipotesi fatte non sempre sono facilmente verificabili. La considerazione di questi fattori richiede pertanto la massima trasparenza, in particolare nel caso in cui la proposta della variante migliore può ancora essere modificata in base a questi ultimi. Tra l'altro bisogna dar risposta alle seguenti domande:

- La variante prescelta verrà accettata dalla popolazione interessata?
- La variante prescelta verrà accettata dall'autorità politica competente?
- La misura è sostenibile dal punto di vista ecologico?
- La misura è in contrasto con altri obiettivi pianificatori di maggior peso?
- L'attuazione della misura ostacola notevolmente la funzionalità di una qualche infrastruttura (ad es. transitabilità di un asse di traffico)?
- Sono state considerate le esigenze di protezione della natura e del paesaggio?

**Futuro:** come già accennato, l'utilizzazione del territorio ed i rischi ad essa collegati sono da considerare da un punto di vista dinamico. Le riflessioni riguardanti l'evoluzione del rischio sono pertanto una componente essenziale della pianificazione integrale delle misure. Il procedimento può basarsi sullo schema di base del concetto di rischio che, in teoria, è in grado di rappresentare le situazioni future alla stessa stregua di quelle attuali. A dire il vero, però, non sono ancora state chiarite le modalità concrete per la definizione degli scenari futuri e, in particolare, l'incidenza che questi potranno esercitare sulla scelta delle misure. Difficili da chiarire sono in ogni caso quelle situazioni in cui, dopo alcuni anni o decenni dalla realizzazione delle misure, i rischi iniziano di nuovo ad aumentare. Probabilmente queste situazioni sono viziate da errori commessi nella pianificazione delle misure, in particolare nell'ambito della pianificazione, le quali assumono a lungo termine un'importanza rilevante. A volte potrebbe trattarsi di una strategia basata su una scelta consapevole, derivante da una prevista intensificazione dell'utilizzo del territorio.

**Decisione e messa in atto:** se il giudizio generale sulle misure pianificate risulta positivo anche in seguito ad un'analisi approfondita, viene presa la decisione definitiva e si dà avvio alla messa in atto. In caso contrario è necessaria, di regola, una rielaborazione dello studio poiché la differenza fra la situazione attuale e quella futura risulterebbe troppo marcata.

## 5.5 Determinazione dell'efficacia

L'efficacia di una misura è data alla riduzione del rischio che essa comporta e viene espressa dalla differenza fra il rischio iniziale e quello residuo dopo la realizzazione della misura. Per il calcolo del rischio residuo è necessario stabilire l'effetto esercitato dalla misura sui diversi parametri che entrano in gioco nella formula del rischio. I diversi tipi di misure possono essere classificati a seconda del loro effetto (tabella 5.1).

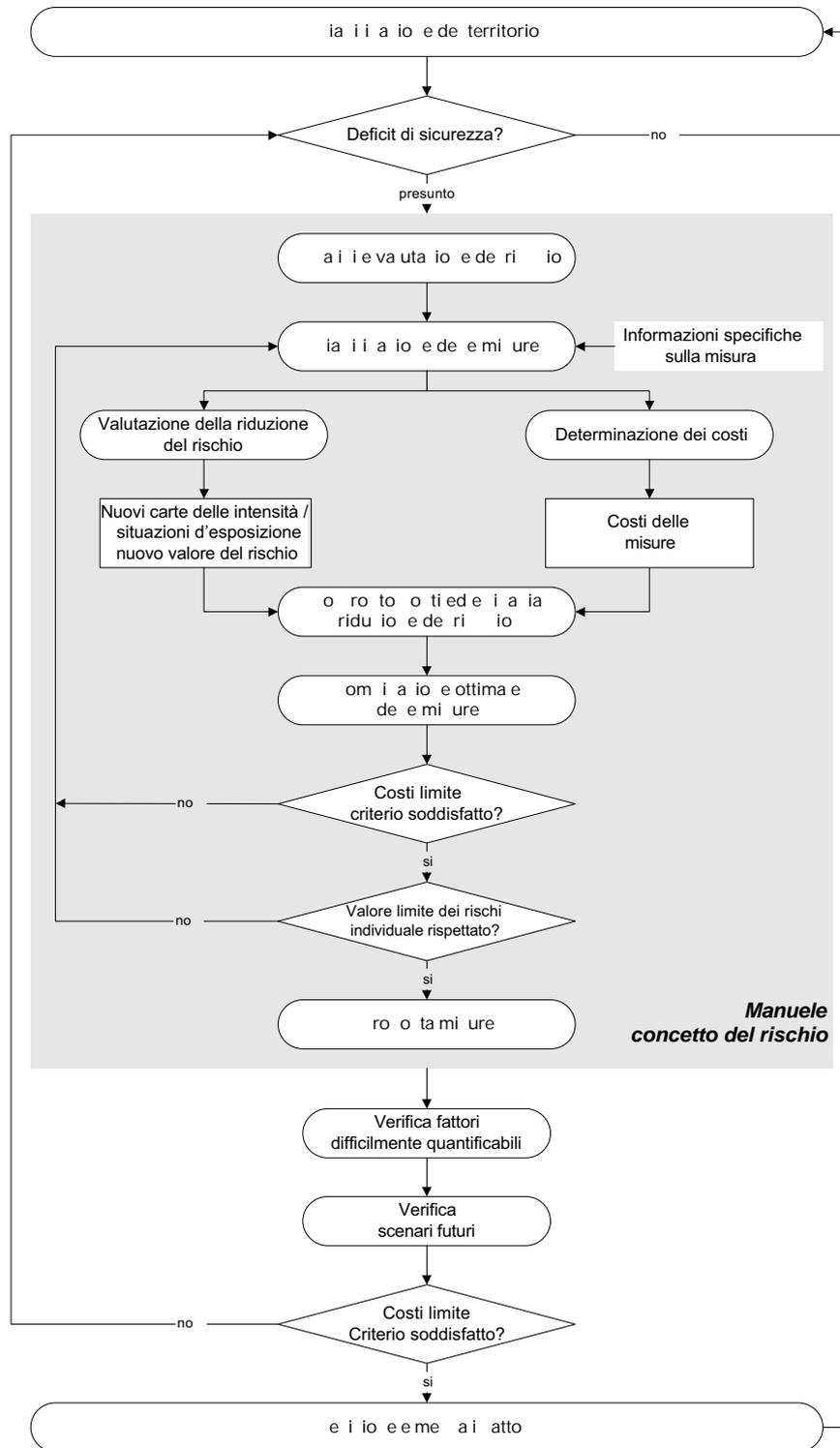


Figura 5.1: Prospetto della pianificazione e della valutazione delle misure.

Tabella 5.1: Effetto delle diverse misure di protezione sul rischio.

		Effetto su ...		
	$P_j$ frequenza dello scenario $j$	$P_{i,j}$ probabilità che l'oggetto $i$ sia compreso nello scenario $j$	$A_i$ valore dell'oggetto $i$	$SE_{i,j}$ sensibilità al danno dell'oggetto $i$ in funzione dello scenario $j$
Misure di pianificazione	Nessun influsso	Riduzione possibile a lungo termine	Riduzione possibile a termine molto lungo	Effeto indiretto, risp. mediante restrizioni pianificatorie
Caso particolare trasferimento edifici	Nessun influsso	Importante riduzione a realizzazione avvenuta	Importante riduzione a realizzazione avvenuta	Nessun influsso
Misure costruttive	Effetto determinante delle premunizioni	Ad esempio costruzione di un riparo sicuro, protezione diretta	Nessun influsso	Da una parte riduzione delle azioni, dall'altra edifici rinforzati
Misure biologiche	Vedi misure costruttive	Nessun effetto	Nessun influsso	Azioni ridotte
Misure organizzative	Effetto come ad esempio: distacco artificiale o deviazione del processo	Effetto tramite sbarramenti, evacuazioni	Nessun influsso	Effetti come ad esempio rinforzi temporanei, primi soccorsi, salvataggio

Di regola, la determinazione dell'efficacia è caratterizzata dalle importanti differenze che si riscontrano fra le diverse misure. Oltre a ciò è quasi sempre necessaria una considerazione specifica della situazione effettiva. Alcuni principi generali possono tuttavia facilitare una prima classificazione:

- **Trasferimento di edifici (misura di pianificazione particolare):** gli edifici in zona soggetta a pericolo sono demoliti o per lo meno destinati ad altri scopi. L'utilizzazione principale viene trasferita in luogo sicuro. Si tratta di casi particolari, che devono essere valutati singolarmente. In generale, occorre chiarire quali sono gli edifici interessati e qual'è la loro effettiva destinazione (ad es. demolizione, cambiamento di destinazione). Se da una parte la messa in atto di questa misura può comportare grosse difficoltà, dall'altra risulta per principio semplice valutarne l'efficacia. Sono interessati solo oggetti puntiformi (edifici), per i quali può essere stimato, con una precisione relativamente alta, il potenziale di danno a trasferimento avvenuto.

Come già accennato, le rimanenti misure di pianificazione non sono esaminate secondo il procedimento proposto da queste linee guida. Il loro effetto dovrebbe essere determinato sulla base di scenari futuri, la definizione dei quali avviene paragonando situazioni con maggiori o minori conseguenze per la pianificazione (ad es. vincoli edificatori, utilizzazione adeguata alla situazione di pericolo).

- **Misure costruttive:** l'efficacia delle opere di premunizione, siano esse destinate alla riduzione dell'ampiezza dei processi o al rinforzo di oggetti potenzialmente minacciati, viene per principio dedotta dal confronto fra le azioni del processo e il comportamento della costruzione in caso di carico. Questo confronto consente di stimare la situazione di pericolo dopo la realizzazione della misura (intensità e probabilità del processo) e la riduzione della sensibilità al danno degli oggetti. In altre parole consente di determinare l'entità del rischio residuo. Per quanto riguarda le opere di premunizione sono disponibili diverse basi di lavoro quali prescrizioni per il dimensionamento o regole generali (norme, direttive). Per quanto riguarda invece le interazioni fra le opere di premunizione e i processi, l'approfondimento delle conoscenze presenta diversi gradi di sviluppo. Per i più importanti tipi di misure nei settori delle valanghe, dei processi di crollo, degli scivolamenti, dei torrenti e dei fiumi, nel progetto PLANAT A3 «Effetti delle misure di protezione» sono stati sviluppati un procedimento generale e guide pratiche [59]. Questo documento dovrebbe servire per la determinazione dell'efficacia delle misure costruttive.
- **Misure biologiche:** fondamentalmente la loro efficacia può venire analizzata con gli stessi principi adottati per le misure costruttive. Le argomentazioni di cui sopra, in modo particolare il rimando al rapporto relativo al progetto A3 «Effetti delle misure di protezione» [59], valgono quindi anche per questo tipo di misure.
- **Misure organizzative:** questo gruppo di misure ricopre un settore molto vasto. Ad esso appartengono gli accorgimenti che facilitano la percezione del rischio e i comportamenti adeguati nei momenti critici, i sistemi di allarme, la messa in atto di sbarramenti e l'intervento in caso di incidente. La valutazione dell'efficacia deve avvenire tenendo in considerazione la situazione specifica e il tipo di misura, fermo restando il principio che le diverse possibilità hanno obiettivi diversi. A dire il vero le basi per la valutazione sono molto differenti e l'efficacia di queste misure non è ancora stata analizzata in modo sistematico.

## 5.6 Determinazione dei costi

I costi sono composti dagli investimenti e dai costi correnti (costi di gestione). L'effettiva suddivisione dei flussi di costo nel tempo non è nota. Per semplificazione viene supposta costante, come costante viene supposto il beneficio (riduzione del rischio) annuo derivante dai progetti di premunizione.

Viene applicato un calcolo dei costi statico [82], che in particolare non tien conto dell'attualizzazione. Ciò è motivato con il fatto che (a) anche il beneficio (cioè la riduzione del rischio) non viene attualizzato e che (b) gli errori sistematici di questo calcolo sono compresi nelle incertezze dell'intera analisi.

$$K(J) = K(b) + K(u) + K(r) + K(a) + K(z) \quad (5.1)$$

con

$$K(a) = \frac{I(0) - L(n)}{n} \quad (5.2)$$

e

$$K(z) = \left[ L(n) + \frac{I(0) - L(n)}{2} \right] \cdot \frac{p}{100} \quad (5.3)$$

$$= \frac{I(0) + L(n)}{2} \cdot \frac{p}{100} \quad (5.4)$$

I costi annui sono determinati con la formula:

$$K(J) = K(b) + K(u) + K(r) + \frac{I(0) - L(n)}{n} + \frac{I(0) + L(n)}{2} \cdot \frac{p}{100} \quad (5.5)$$

dove

$K(J)$	=	costi annui	[CHF/anno]
$K(b)$	=	costi d'esercizio (ad esempio i costi della munizione)	[CHF/anno]
$K(u)$	=	costi di manutenzione	[CHF/anno]
$K(r)$	=	costi di riparazione	[CHF/anno]
$K(a)$	=	costi di ammortamento	[CHF/anno]
$K(z)$	=	interessi	[CHF/anno]
$I(0)$	=	importo investito	[CHF]
$L(n)$	=	valore residuo	[CHF]
$n$	=	durata d'esercizio	[anni]
$p$	=	tasso d'interesse	[per cento]

Questo calcolo permette il confronto economico fra le diverse varianti esaminate<sup>5</sup>. I singoli parametri sono stabiliti di volta in volta in funzione del tipo di misura (cfr. Parte B) e sono definiti come segue:

<sup>5</sup>Al paragrafo 5.4 è stato stabilito che il grado di approfondimento deve corrispondere a quello di uno «studio preliminare». Per questi studi, la circolare n. 7 dell'UFAPF prevede, per quanto riguarda il preventivo, una precisione del +/- 25%. Questo intervallo è determinante per la stima dei costi di investimento e dei costi correnti.

- I costi correnti sono composti dai costi di gestione (ad es. i costi del personale nel caso di un servizio di prevenzione), dai costi di manutenzione (ad es. la manutenzione annuale delle misure tecniche) e dai costi di riparazione (ad es. il riassetto di opere di premunizione). I costi correnti devono essere determinati in modo che, per tutto il periodo considerato, siano garantite sia la funzionalità che la sicurezza della misura. Detti costi possono essere stimati come valori assoluti o come una parte percentuale dei costi di investimento.
- I costi del capitale comprendono gli ammortamenti e gli interessi. Devono essere determinati di volta in volta in funzione dell'intervento considerato. Per quanto riguarda il tasso di interesse viene proposto un valore pari al 2%<sup>6</sup>. La durata d'esercizio e, indirettamente, il valore residuo dipendono dalla durata di vita della misura o dal numero di anni previsti per l'ammortamento. La durata di vita si conclude quando, nonostante gli interventi di manutenzione, la funzionalità e la sicurezza delle opere non è più garantita. Dipende quindi, tra l'altro, dai costi di manutenzione e di riparazione necessari. Più della durata di vita massima possibile è importante il periodo minimo durante il quale, in condizioni normali, è garantito l'effetto prestabilito.

Per quanto concerne i costi d'esercizio, di manutenzione e di riparazione nonché la durata d'esercizio e il valore residuo, la Parte B del manuale propone dei valori indicativi derivanti dall'esperienza finora acquisita. Per fissare valori più realistici sono tuttavia determinanti le condizioni locali.

Nell'ambito delle misure organizzative come gli sbarramenti e le evacuazioni, i costi indiretti assumono un aspetto importante. Dal punto di vista dell'investimento richiesto queste misure risultano apparentemente favorevoli. I costi derivanti da un'attività economica compromessa e la sollecitazione psichica nel caso di evacuazioni non possono tuttavia essere trascurati. Per quanto riguarda gli sbarramenti, Wilhelm (71) ha sviluppato un possibile metodo di valutazione. In generale, per quanto riguarda i costi effettivi delle misure organizzative, non esiste una documentazione consolidata. Come valori empirici sono qui proposti:

- sbarramenti fino a 2 giorni all'anno, ed
- evacuazioni fino ad un massimo di una ogni 10 anni.

Se non intervengono ulteriori conseguenze finanziarie queste proposte sono da considerare tollerabili. In caso di maggior frequenza degli sbarramenti e delle evacuazioni occorre approfondire i costi indiretti nel modo più preciso possibile o rivedere il concetto di protezione della misura.

## 5.7 Combinazioni ottimali delle misure

Per la valutazione delle misure i rischi per i beni materiali e quelli per le persone devono avere una sola unità di misura. Ai rischi per le persone deve perciò essere assegnato un valore monetario. Oggetto di valutazione non è la vita umana bensì i mezzi che la collettività è disposta ad investire, rispettivamente è in grado di sopportare, per evitare incidenti con esito letale.

<sup>6</sup>Wilhelm [80] propone, basandosi sulla rendita delle obbligazioni della Confederazione nel periodo 1981-92, un tasso di interesse pari all'1.65%. Sulla base dei dati 1975-2001 risulterebbe invece 1.9%.

Ciò corrisponde al criterio dei costi limite, secondo il quale gli investimenti sono da ritenere proporzionati fino a un determinato importo limite, fissato a 5 milioni di franchi per ogni decesso evitato (paragrafo 4.2.3). Il rischio iniziale per le persone e la riduzione del rischio derivante dalle rispettive misure, espressi in vittime/anno, vengono monetizzati moltiplicandoli per il citato importo limite.

Scopo della valutazione è la ricerca di una misura ottimale, rispettivamente di una combinazione di misure ottimale, dal punto di vista economico. Per questo scopo le misure sono riportate nel diagramma rischio-costi (figura 5.2).

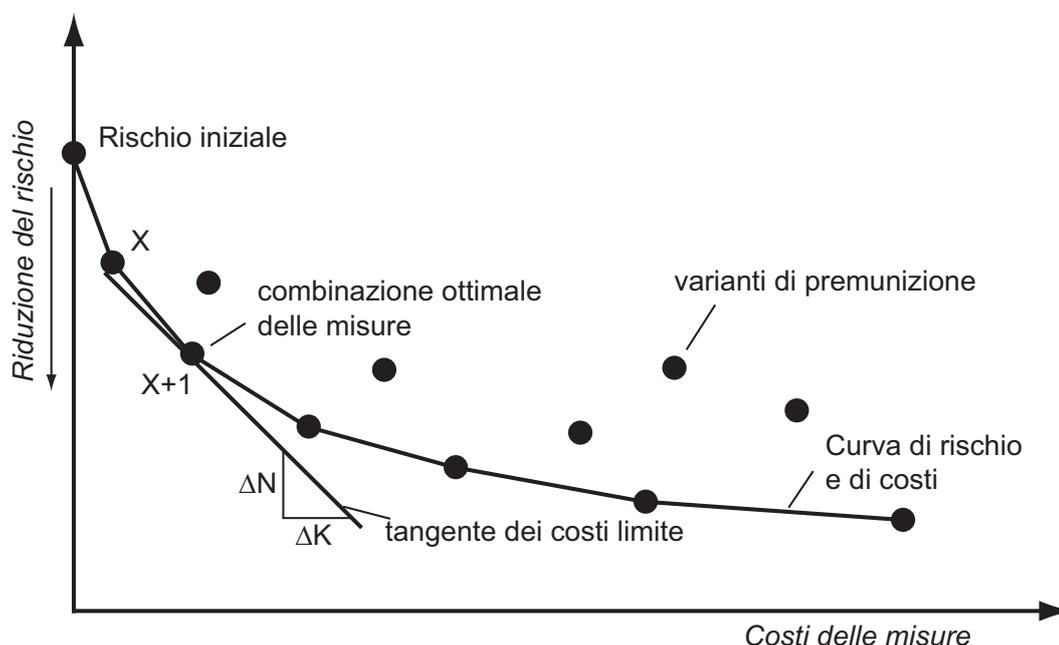


Figura 5.2: Determinazione della combinazione ottimale di misure secondo il criterio dei costi limite.

La valutazione economica delle misure proposte avviene secondo il criterio dei costi limite. Questi descrivono l'unità di costo  $\Delta K$  necessaria per il raggiungimento di un «unità di efficacia» (di beneficio)  $\Delta N$ . Graficamente rappresentano la tangente alla curva teorica dei costi<sup>7</sup>.

Come prima misura viene scelta quella che presenta il miglior rapporto efficacia-costi. Seguono poi, in ordine decrescente, le altre misure. Sono definite ottimali quelle combinazioni di misure la cui linea di congiunzione coincide con la delimitazione inferiore del gruppo di punti che rappresentano le varianti. La portata delle misure di sicurezza deve spingersi fino al raggiungimento dei costi limite. Graficamente questo punto rappresenta il punto di contatto della tangente con una pendenza -1 con la curva rischio-costi nel punto  $X + 1$ , rispettivamente il segmento che congiunge la misura  $X$  con la misura  $X + 1$ . Con una pendenza inferiore della tangente, un'unità di beneficio conseguito (efficacia) richiede più di un'unità di costi. La tangente con pendenza -1 rappresenta pertanto il valore limite determinante ai fini dell'ottimizzazione dal punto di vista economico.

<sup>7</sup>L'andamento della curva deriva dalla legge dei rendimenti decrescenti. Essa stabilisce che, in seguito ad una continua immissione di Input (ad es. mezzi finanziari) in un altro fattore di produzione fisso (ad es. corso delle valanghe) l'output aggiuntivo che si intende raggiungere decresce [62].

La valutazione della misura comprende inoltre la verifica di rischi individuali, che per la variante scelta devono essere inferiori ai valori limite fissati.

## **5.8 Considerazioni finali**

La pianificazione e la valutazione delle misure proposta, attuata secondo il criterio dei costi limite, rappresenta una base decisionale impostata su considerazioni riguardanti la sicurezza e l'impiego proporzionato, dal punto di vista economico, dei mezzi finanziari a disposizione. Dal momento che, secondo questa proposta, la portata degli sforzi destinati alla sicurezza si spinge sempre fino al medesimo punto, si può affermare che con i mezzi a disposizione, pur ammettendo qualche incertezza senz'altro tollerabile, può essere raggiunto un massimo di sicurezza.

Le esperienze pratiche dimostrano tuttavia che l'applicazione del criterio dei costi limite non è sempre possibile. Talvolta il numero delle varianti è troppo esiguo per operare una scelta convincente; in questi casi il criterio economico di scelta è rappresentato dall'efficacia dei costi (criterio della secante nel diagramma rischio-costi).

Nell'ambito della pianificazione integrale delle misure il criterio dei costi limite non rappresenta l'unico criterio di scelta. Pur rivestendo un ruolo molto importante, la sicurezza non è il solo aspetto che deve essere tenuto in considerazione. La pratica, come già affermato, deve tener conto di altre esigenze quali l'agibilità delle vie di comunicazione, l'ecocompatibilità e l'accettazione delle misure da parte della collettività. La considerazione di questi aspetti nella pianificazione delle misure è indispensabile, ma al momento attuale è resa difficoltosa dalla mancanza delle necessarie basi di lavoro. Non può quindi essere effettuata con il metodo descritto per i criteri economici. È tuttavia importante che la considerazione dei fattori citati avvenga sempre in modo chiaro e verificabile.

