

DEFINITION VON RISIKO (R)

Unter Risiko versteht man die Wahrscheinlichkeit eines Objekts oder Subjekts einen bestimmten Schaden aus einem Ereignis mit definiertem Ausmaß innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne zu erleiden, und zwar bezogen auf einen vordefinierten Straßenabschnitt:

$$R = H \times D$$

H = Gefahr (vom englischen hazard): Es handelt sich um die Wahrscheinlichkeit dass sich ein Ereignis in einer vorgegebenen Zeitspanne ereignet.

D = beinhaltet die zu erwartende Schadenshöhe im Zuge des Eintretens eines bestimmten Ereignisses entlang eines definierten Straßenabschnitts.

Die Gefahr (H) ergibt sich durch Anwendung der Richtlinien zur Erstellung der Gefahrenzonenpläne der Gemeinden (RICHTLINIEN ZUR ERSTELLUNG DER GEFAHRENZONENPLÄNE UND ZUR KLASSIFIZIERUNG DES SPEZIFISCHEN RISIKOS gemäß Landesraumordnungsgesetz, Landesgesetz vom 11. August 1997 Nr. 13, Artikel 22bis, inklusive nachfolgender Änderungen sowie gemäß des Dekrets des Landeshauptmanns vom 5. August 2008, Nr. 42 DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG BETREFFEND DIE GEFAHRENZONENPLÄNE) enthalten sind. Die Gefahreneinstufung erfolgt durch einen Wert zwischen 0 und 100, welcher auch eventuell vorhandene Schutzbauten berücksichtigt (H*), und welcher gemäß der Art des Schutzbaus und des analysierten Gefahrenereignisses auf die Intensität des Phänomens und/oder der Wiederkehrzeit des Ereignisses einwirkt.

$$H^* \phi (I; PA)$$

I = Slope Event Intensity (S.E.I.)

PA = Eintrittswahrscheinlichkeit = $1/Tr$

Tr = Wiederkehrzeit

Die Risikoliste für Steinschlag ergibt sich aufgrund der Zuweisung eines Risikokoeffizienten (r) an alle Straßenabschnitte, die von Steinschlag bzw. anderen Massenbewegungsereignissen mit vergleichbarem Sturz- bzw. Rutschmechanismus betroffen sind und dem Amt für Geologie und Baustoffprüfung bekannt sind.

$$r = H^* \times d$$

H* = Gefahr bei vorhandenen Schutzbauten

d = Koeffizient des geschätzten Schadens gemäß der Art des zu erwarteten Ereignisses sowie der Gegebenheiten des Straßenabschnitts mittels eines auf die maximale zu erwartende Schadenshöhe auf dem Straßennetz der gesamten Provinz normalisierten Werts.

DEFINITION DER GEFAHR (H*)

Nachdem die einzelnen zu untersuchenden Straßenabschnitte durch die Anwendung von Steinschlag-Gefahrenhinweiskarten¹, die auf DEM-gestützten Berechnungen basieren, definiert wurden, ergibt sich die Gefahr H* folgendermaßen:

$$H^* = \left(50 - Tr \cdot \frac{5}{9} \right) + \frac{S.E.I.}{3} + O$$

S.E.I. = Intensität mit welcher das Gefahrenereignis auf die Fahrbahn trifft

Tr = Wiederkehrzeit

Funktion des Schutzbaus (O), die zwischen -33.33 bei optimaler Funktionalität der Bauten bis 0 bei keiner Beeinflussung der Gefahr und +11.11 bei Verschlechterung der Gefahrensituation liegt.

Um die Darstellung innerhalb der geografischen Informationssysteme zur erleichtern, wird jeder Straßenabschnitt mit einheitlicher Gefahr mit einem zentralen Punkt versehen.

S.E.I. (SLOPE EVENT INTENSITY)

Die Definition der Intensität des Ereignisses (S.E.I.) erfolgt mittels Geländeerhebungen durch Abschätzung von einfach definierbaren Parametern von einem ausgebildeten Techniker in Form einer speeditiven Analyse.

Zur Einschätzung der Intensität des Phänomens werden sowohl Parameter welche den Abbruchbereich (G.E.I. – Geomechanical Event Intensity) beschreiben, als auch Kriterien entlang der Sturzbahn (also zwischen Abbruchbereich und Fahrbahn), herangezogen (S.C.). Letztgenannte können den G.E.I.-Wert verbessern.

Jeder oben genannte Parameter wird durch einen numerischen Koeffizient ausgedrückt und deren Summe ergibt schlussendlich die Intensität des Ereignisses S.E.I. (die entsprechenden Werte liegen zwischen 23 und 150).

$$S.E.I. = G.E.I. + S.C.$$

G.E.I. (GEOMECHANICAL EVENT INTENSITY)

Der Parameter G.E.I. erhält bereits im Vorhinein 50 Punkte; diesem werden die Punkte, welche aus der Bewertung von den Parameter der nachstehenden Tabelle hervorgehen, addiert:

¹ Methoden basieren auf DEM im Quellenverzeichnis

Bewertungskriterium	Klassenintervalle				Punktezahl
Volumen Einzelblöcke (m³)	>1	0.5÷1	0.1÷0.5	<0.1	
Zwischensumme	15	10	5	2	A
Max. pro Event mobilisierbares Volumen (m³)	>100	10÷100	5÷10	<5	
Zwischensumme	20	15	10	2	B
Entfestigung des Gebirges	erheblich	mittelmäßig	niedrig	kompakt	
Zwischensumme	50	20	10	2	C
Orientierung der Trennflächen	sehr ungünstig	wenig ungünstig	keinen Einfluss, nicht vorhanden	günstig	
Zwischensumme	15	10	0	-6	D

$$\text{G.E.I. (Geomechanical Event Intensity)} = A+B+C+D+50$$

Die Bewertungskriterien „Volumen Einzelblöcke (m³)“ und „Maximales pro Event mobilisierbares Volumen“ beinhalten einerseits Informationen bezüglich der kinetischen Energie, welche die Gesteinsmassen auf ihrer Sturzbahn akkumulieren können und umfasst andererseits auch die gesamte Materialmenge die sich bei einem einzelnen Ereignis mobilisieren kann. Diese Parameter widerspiegeln also auch die Möglichkeit, dass sich bei einem Ereignis mehrere Einzelblöcke gleichzeitig lösen und die Fahrbahn erreichen können. Das Kriterium „Volumen Einzelblöcke“ wird durch am Sturzhang befindliche Sturzblockfragmente oder durch Betrachtung der Trennflächenabstände bei Felsaufschlüssen abgeschätzt.

Das „Maximal pro Event mobilisierbare Volumen“ ist durch die Schätzung des Volumens von mehreren Einzelabbrüchen gleichzeitig oder durch den Absturz von größeren Fels- und/oder Hangpartien, die aus mehreren Blöcken bestehen, definiert.

Die Parameter „Entfestigung des Gebirges“ und „Orientierung der Trennflächen“ bewirken in diesem Zusammenhang eine Erhöhung der Ereignisintensität, da beide Kriterien den Abbruch von mehreren Einzelblöcken gleichzeitig fördern, sodass innerhalb kurzer Zeit mehrere Ereignisse stattfinden können, ohne dass rechtzeitig entsprechende Schutzmaßnahmen definiert und umgesetzt werden können.

Die Beschreibung des Kriteriums „Entfestigung des Gebirges“ variiert zwischen kompakt (ohne Klüftung oder mit weitständigen Druckklüften) und erheblich (sehr zerlegt, mit offenen Klüften und eventuell Austreten von Wasser). Die Teilstufen (mittelmäßig, niedrig) können für Zwischenlösungen angewandt werden und beeinflussen mehr oder weniger die Hangstabilität.

Die „Orientierung der Trennflächen“ bewertet im Verhältnis zur räumlichen Ausrichtung der Klüftung gegenüber der Hangneigung die Neigung zum Abbruch. Die Teilstufe (sehr ungünstig) bezeichnet hangparallele Trennflächen oder Rutschflächen mit steilem Einfallswinkel ähnlich dem Hangeinfallen. Mit „günstig“ werden Situationen mit Trennflächen oder Rutschflächen entgegengesetzt zur Hangneigung beschrieben und nicht durch weitere Klüftungen durchzogen sind. Auch hier gelten die Teilstufen (wenig ungünstig; keinen Einfluss, nicht vorhanden), die dem technischen Experten zur Auswahl stehen. Dieser kann aufgrund der sichtbaren Geländegegebenheiten oder aufgrund seiner Ortskenntnis bewerten, ob bei gegebener Klüftung oder vorhandene Rutschflächen weitere Trennflächen einen positiven oder negativen Effekt auf das Eintreten eines Sturz- oder Rutschungsereignisses haben.

S.C. (SLOPE COEFFICIENT)

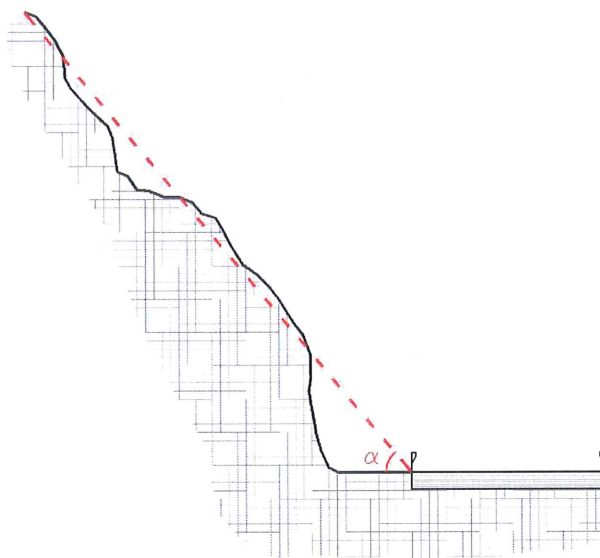
Zur Errechnung des Koeffizienten S.C. (Slope Coefficient) werden die in der untenstehenden Tabelle eingetragenen Punktezahlen angewandt:

Bewertungskriterium	Klassenintervalle				Punktezahl
Mittlere Böschungsneigung	90° - 75°	75° - 60°	60° - 45°	< 45°	
Zwischensumme	0	-5	-10	-15	E
Böschungsmorphologie und Rückmeldung des Bodens	Begünstigt den des "run-out" Sturzes	Begünstigt teilweise den "run-out" des Sturzes	Begünstigt teilweise das Anhalten des Sturzes	Begünstigt deutlich das Anhalten des Sturzes	
Zwischensumme	0	-2	-4	-6	F
Vegetation	Wiesen, Weiden	Strauchwald	Nadelwald	Ausschlagswald	
Zwischensumme	0	-2	-4	-6	G

$$\text{S.C. (slope coefficient)} = E+F+G$$

Handwritten signature

Alle diese Parameter bewirken eine Abschwächung des Sturzereignisses vom Abbruchbereich bis zum betroffenen Straßenabschnitt. Je kleiner die durchschnittliche Hangneigung (diese errechnet sich indem man eine virtuelle Linie vom höchsten Punkt des Abbruchbereichs bis zum bergseitigen Straßenrand zieht und den Winkel zur Horizontalen abmisst), desto geringer ist die Intensität des Sturzereignisses.



Die Bodennutzung beeinflusst in anderer Weise die Abschwächung des Steinschlagphänomens. Wiesen und Weiden bewirken im Wesentlichen keine Dämpfung der kinetischen Energie des Phänomens, während der Ausschlagswald eine größere Absorption von kinetischer Energie aufweist und somit rollende oder springende Sturzblöcke durchaus gebremst und aufgehalten werden können.

Unter "Böschungswinkel und Rückmeldung des Bodens" entlang der Sturzbahn versteht man die Fähigkeit des Bodens aufgrund seiner mehr oder weniger elastischen Eigenschaften kinetische Energie aufzunehmen (hohe Werte für Hangschutt/Lockermaterial und kleine Werte für Felsaufschlüsse); hier spielen auch die Bodenrauigkeit (Verhältnis der Größe der Blöcke im Hang zur Größe der Sturzblöcke) und die morphologischen Gegebenheiten eine zentrale Rolle. Es ist logisch nachvollziehbar, dass eventuell vorhandene ebene Abschnitte oder tal förmige Vertiefungen zwischen dem Abbruchbereich und dem Straßenabschnitt, sowie die Präsenz von großen Blöcken oder hoher Rauigkeit entlang der Sturzbahn, Parameter darstellen, welche das Anhalten der Sturzblöcke erleichtert.

BEWERTUNG DER SCHUTZMASSNAHME (O)

Die Erhebung der Eigenschaften des Schutzbaus besteht in der Definition des Status, der Nützlichkeit und der Positionierung gemäß der Intensität und der Geometrie des Phänomens, das sich entlang des entsprechenden Hangs ergeben kann. Dies erfolgt durch eine so genannte Schnell-Analyse, unabhängig von der vorhergehenden Definition der Ereignisintensität.

Der Parameter O, welcher die Bewertung der Funktionalität des Schutzbaus erlaubt (A-B-C-D-E - A bedeutet in diesem Fall höchste Dringlichkeit).

Die Definition der Nützlichkeit des Schutzbaus (P.S.U. – Protection System Utility) ergibt sich aus deren korrekten Positionierung im Gelände (P.S.L.) sowie aus der richtigen statischen Bemessung (P.S.D.).

Dimensionierung des Schutzsystems - P.S.D.	falsch	5	5	5	5
	nicht angemessen	4	4	4	5
	unsicher	2	3	4	5
	gut	1	2	4	5
		angemessen	unsicher	nicht angemessen	falsch
		Positionierung des Schutzbaus - P.S.L.			

Handwritten signature: d. ker

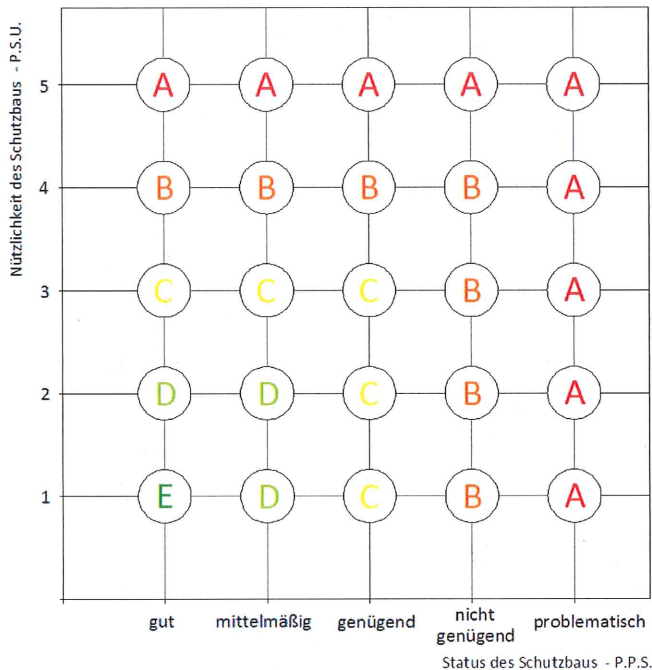
Gemäß der Positionierung des Schutzbaus am Hang (P.S.L. – Protection System Location), muss eine der folgenden Klassen ausgewählt werden:

- angemessen: die erhobene Positionierung des Schutzbaus ist angemessen
- unsicher: es ist aus den Geländeerhebungen nicht möglich die angemessene Positionierung des Schutzbaus festzustellen
- nicht angemessen: der Schutzbau hat keinen Einfluss auf die Hangstabilität
- falsch: die falsche Positionierung des Schutzbaus am Hang führt zu einer Verschlechterung der Hangstabilität und/oder der Gleichgewichts- bzw. Sicherheitsbedingungen, sodass sich die Gefahr erhöht.

Im Bezug auf die Dimensionierung des Schutzsystems (P.S.D. – Protection System Design) muss einer der nachfolgenden Kategorien ausgewählt werden:

- angemessen: die Dimensionierung des Schutzbaus entspricht den Erfordernissen um das potenziell zu erwartende Event aufzuhalten
- unsicher: die Geländeerhebung ermöglicht keine genaue Einschätzung über die angemessene Dimensionierung des Schutzbaus
- nicht angemessen: das Schutzbaussystem ist zweifellos unterdimensioniert oder mangelhaft
- falsch: die falsche strukturelle Dimensionierung verschlechtert sogar die Hangstabilität

Die Bewertung des Schutzbaus (P.S.E. – Protection System Evaluation) ergibt sich aus dem Vergleich der Werte der Nützlichkeit des Schutzsystems P.S.U. wie oben beschrieben mit jenen des Status der Schutzmaßnahme (P.P.S.).



Bezüglich der Einstufung des Status des Schutzbaus (P.P.S. – Preservation Protection System) wird eine der folgenden Klassen ausgewählt:

- gut: keine Art von Instandhaltungsarbeiten ist notwendig; und/oder die Instandhaltungszertifizierung sieht keine Eingriffe vor
- mittelmäßig: Austausch/Instandhaltung von nicht strukturellen Elementen ist erforderlich; oder eine geringfügige Ausräumung ist notwendig
- genügend: Instandhaltung/Austausch von strukturellen Elementen, die die Effizienz des Schutzbaus nicht beeinträchtigen, ist erforderlich; oder es ist eine umfassendere Ausräumung des Schutzbaus notwendig (im Gegensatz zum vorherigen Punkt)
- nicht genügend: der Status reicht nicht aus, um die Funktionalität des Schutzbaus zu garantieren; verschiedene Schäden, auch lokal begrenzt, beeinträchtigen die Funktionalität des gesamten Systems
- problematisch: der Grad der Beschädigung ist weit fortgeschritten und beeinträchtigt sogar die Hangstabilität, sodass im Falle eines Steinschlagereignisses die Gefahr höher ist als im Falle der Abwesenheit des Schutzbaus (zum Beispiel wenn im Falle eines Steinschlagschutzzauns das durch Steinschlag mobilisierte Material auf einen bergseitig stark verfüllten Zaun trifft → das vom Schutzzaun zurückgehaltene Material wird durch das aktuelle Ereignis sogar mitgerissen, also erneut mobilisiert).

BERECHNUNG DER WIEDERKEHRZEIT (T_r)

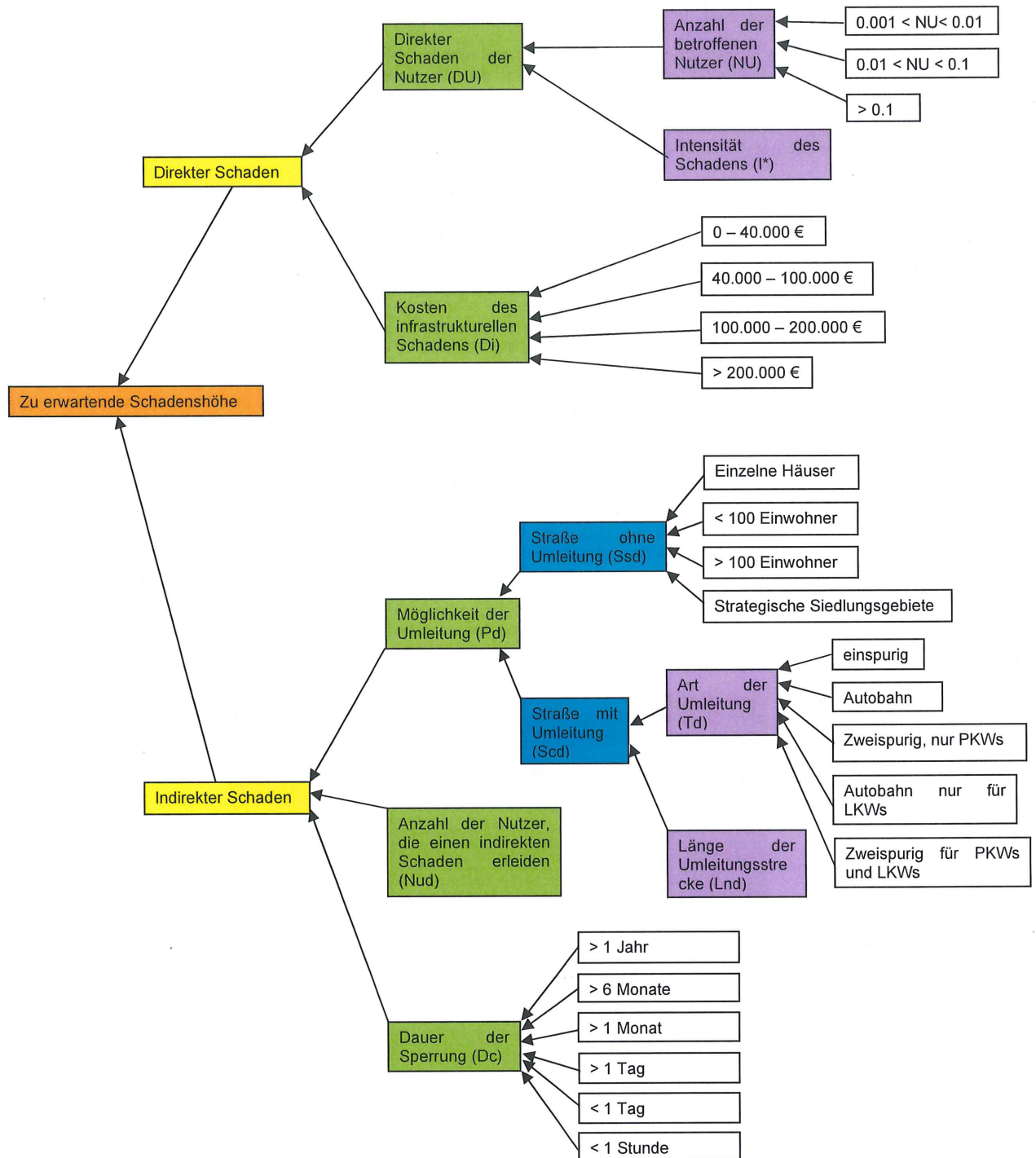
Die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit ($1/T_r$) basiert auf der Anzahl der registrierten Massenbewegungsereignisse (Begehungsprotokolle, welche im Amt für Geologie und Baustoffprüfung archiviert sind) entlang eines Straßenabschnitts zwischen den nominalen Kilometersteinen (im Normalfall 500 m) seit dem Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1998 (also Beobachtungszeitraums seit 1998). Diese Anwendung, obwohl sie einige Ungenauigkeiten aufgrund der Schwierigkeiten der präzisen geographischen Lokalisierung der älteren Protokolle beinhaltet und auch nicht bei jedem Steinschlagereignis ein Begehungsprotokoll des Amtes abgefasst wurde, widerspiegelt im Großen und Ganzen gut die effektive Wiederkehrzeit eines Events innerhalb des Provinzgebiets. Natürlich ergibt sich für einzelne Straßenabschnitte eine gewisse Fehlerquote und in der Folge eine Unter- bzw. Überschätzung.

Handwritten signature/initials

ABLEITUNG DES KOEFFIZIENTEN ZUR BESCHREIBUNG DER ZU ERWARTENDEN SCHADENSHÖHE (d)

Zur Definition der zu erwartenden Schadenshöhe wird die Methodik nach Tacnet J.M. und Button-Hubert M. Dezert angewandt: der multikriterielle Prozess. Anhand dieser Methode wird ein Koeffizient ermittelt, welcher innerhalb eines gewissen Intervalls liegt und auf die maximale, im Landesstraßennetz mögliche Schadenshöhe normalisiert ist. Der Koeffizient beschreibt keinen "absoluten" Wert, wie beispielsweise die Kostenschätzung eines Schadens; er setzt vielmehr die einzelnen Straßenteilstücke zueinander in Beziehung um schlussendlich die Erstellung einer Prioritätenliste zur Planung neuer Eingriffe zu ermöglichen.

Anhand der multikriteriellen Methode wird den einzelnen Parametern, welche die zu erwartende Schadenshöhe beeinflussen, eine Gewichtung gegeben. Bei der Auswahl der entsprechenden Parameter wurde einerseits auf den Grad der Beeinflussung, also auf deren Wichtigkeit geachtet, sowie andererseits auch auf die Verfügbarkeit der notwendigen Daten über das gesamte Straßennetz der Provinz. Die ausgewählten Parameter wurden dann in Form eines Baumdiagramms dargestellt, um deren Hierarchie und Abhängigkeit zueinander zu verdeutlichen:



Handwritten signature

Die Hauptparameter, die zur Beschreibung der zu erwartenden Schadenshöhe angewandt wurden, sind:

1) Schäden betreffend Objekte und Personen, die sich unmittelbar aus dem Ereignis ergeben (**direkte Schäden**):

- Direkte Schäden an den Infrastrukturnutzern (Tote, Verletzte, Invaliden, Schäden an Fahrzeugen)
- Direkte Schäden an der Infrastruktur (Brücken, Leitplanken, Asphalt...)

2) Schäden, die sich aus der Unterbrechung der Verkehrsverbindung ergeben (**indirekte Schäden**):

- Indirekter Schaden, der sich aufgrund der Umleitung bzw. wegen der Unzugänglichkeit von Ortschaften ergibt
- Anzahl der Infrastrukturnutzer, welche eine Umleitung in Kauf nehmen müssen bzw. eine Ortschaft nicht erreichen können
- Anzahl der Nutzer im Bezug zur Dauer der Sperrung

In diesem Organigramm kann jeder Parameter (farbige Felder) in weitere Faktoren oder Klassen zerlegt werden (weiße Felder). Jedem Faktor bzw. jeder Klasse wurde entsprechend der statistischen multikriteriellen Prozesse eine **Gewichtung $W_1 - W_n$** gegeben.

Die einzigen nicht unterteilbaren Klassen sind die **Anzahl der Nutzer, die einen indirekten Schaden erleiden (NU)** und die **maximale Länge der Umleitungsstrecke (Ldn)**; diese sind auf den im Straßennetz der Provinz auftretenden Maximalwert normalisiert und können sich also zeitlich verändern.

Der **direkte Schaden an den Infrastrukturnutzern (DU)** ergibt sich aus der Summe der Gesamtnutzeranzahl **NU** entlang des vom Ereignis betroffenen Straßenteilstücks und aus der Intensität des zu erwartenden Schadens (Tote, Verletzte, Schäden an Fahrzeugen...).

NU wird anhand der durchschnittlichen Wahrscheinlichkeit geschätzt, so dass ein Fahrzeug mit zwei Insassen an Bord innerhalb von 24 Stunden von einem Ereignis getroffen wird. Das Ereignis selbst wird als fix angenommen.

$$NU = \frac{2 \times L \times TGM^*}{V}$$

$TGM^* = TGM^2$ ausgedrückt in Fahrzeugen/Sekunde

V = durchschnittliche Geschwindigkeit entlang des Straßenteilstücks ausgedrückt in m/sec

L = Länge des vom Ereignis betroffenen Straßenteilstücks

Die **Intensität des Schadens (I^*)** wird als Funktion der Gefahr berechnet und berücksichtigt auch eventuell vorhandene Schutzbauten zur Schadensreduzierung.

Die **potentiellen Kosten an der Infrastruktur (Di)** werden von den Technikern in Abhängigkeit des Ausmaßes und der Art des erwarteten Ereignisses sowie der vorhandenen infrastrukturellen Gegebenheiten (Asphalt, Leitplanken, Brücken...), die einen Schaden erleiden können, geschätzt.

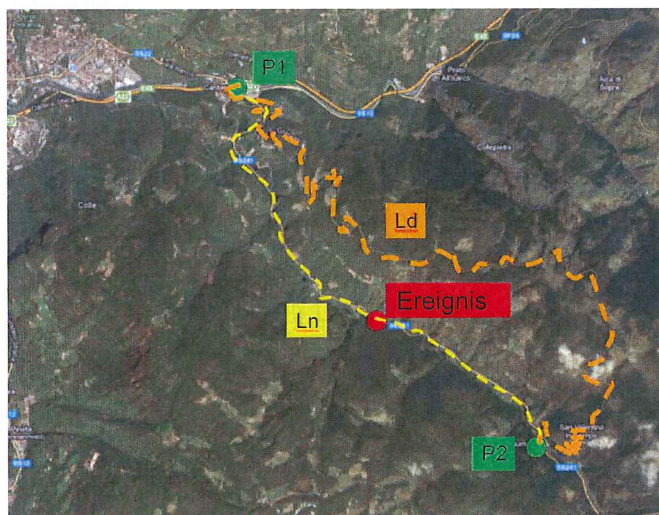
Möglichkeit der Umleitung (Pd): je nachdem, ob eine Umleitung vorhanden ist:

Wenn keine Umleitung vorhanden ist (**Straße ohne Umleitung Ssd**), so hängt die Bedeutung der Straße von der Verbindungsart ab, sprich ob die Straße eine bewohnte Ortschaft anbindet oder ob nur einzelne Häusergruppen von der Unterbrechung betroffen sind.

Falls eine Umleitung vorhanden ist (**Straße mit Umleitung Scd**), so ergibt sich die Bedeutung der Straße aus der Länge der normalisierten Umleitungsstrecke (**Ldn**) sowie deren **Art (Td)** (einspurig, Autobahn usw.).

Die Länge der normalisierten Umleitungsstrecke (**Ldn**) **errechnet sich** durch Vergleich (in Beziehung stellen) der Länge der normalen Strecke (**Ln**) von der letzten Kreuzung vor der Unterbrechung (P_1) bis zur ersten Kreuzung nach der Unterbrechung (P_2) mit der Länge der kürzesten Umleitung (**Ld**). Die Autobahn wird nur in Extremfällen als Umleitungsstrecke herangezogen, da in diesem Fall die öffentliche Verwaltung dem Autobahnbetreiber die Mautgebühr rückerstatten muss.

Das Verhältnis **Ln/Ld** wird auf den maximal zu erwartenden Wert normalisiert.



Sobald eine mögliche Umleitungsstrecke besteht, muss auch deren **Art (Td)** bestimmt werden (einspurig, Autobahn usw.).

² Tägliches durchschnittliches Verkehrsaufkommen gemäß installierter Fixstationen, mobiler Stationen und Schätzungen der Straßenzonendirektoren

U. Ker

Die **Anzahl der Nutzer, die einen indirekten Schaden erleiden (Nud)** ergibt sich aus dem Verhältnis des TGM zum maximal in der Autonomen Provinz Bozen möglichen TGM.

Die **Dauer der Sperrung (Dc)** wird von den Technikern aufgrund von vergangenen Ereignissen im selben Straßenteilstück und aufgrund des Ausmaßes des Ereignisses geschätzt.

Basierend auf den vorhergehenden Überlegung setzt sich der **Koeffizient der zu erwartenden Schadenshöhe** nach folgender Formel zusammen:

$$d = W_{DU} \times DU + W_{Di} \times Di + W_{Pd} \times PD + W_{Nud} \times Nud + W_{Dc} \times Dc$$

$$Pd = W_{Ssd} \times Ssd + W_{Scd} \times Scd$$

$$SCD = W_{Td} \times Td + W_{Ldn} \times Ldn$$

$$DU = W_{NU} \times NU + W_{I^*} \times I^*$$

Die den Faktoren (rot) und Klassen (hellblau) zugeordnete Gewichtung sind in der folgenden Tabelle ersichtlich:

Zu erwartende Schadenshöhe (d)	Gewichtung	
Direkter Schaden an Personen (DU)	0,490	W_{DU}
Direkter Schaden an der Infrastruktur (Di)	0,107	W_{Di}
Indirekter Schaden in Bezug auf die Möglichkeit der Umleitung (Pd)	0,189	W_{Pd}
Direkter Schaden an den Infrastrukturnutzern (Nud)	0,107	W_{Nud}
Indirekter Schaden in Bezug auf die Dauer der durch das Event hervorgerufenen Unterbrechung (Dc)	0,107	W_{Dc}

Direkter Schaden an den Infrastrukturnutzern DU	Gewichtung	
Anzahl der betroffenen Nutzer (NU)	0,500	W_{NU}
Schadensintensität (I^*)	0,500	W_{I^*}

Klassen der Anzahl der betroffenen Nutzer NU	Gewichtung
> 0.1	0.54
0.01 < NU < 0.1	0.30
NU < 0.01	0.16

Klassen des direkten Schadens an der Infrastruktur (Di)	Gewichtung
> 200.000 €	0,489
100.000 – 200.000 €	0,269
40.000 – 100.000 €	0,147
0 – 40.000 €	0,095

Indirekter Schaden wenn keine Umleitung vorhanden ist (Pd)	Gewichtung	
Straße ohne Umleitung (Ssd)	0,800	W_{Ssd}
Straße mit Umleitung (Scd)	0,200	W_{Scd}

Schaden in Bezug auf die Art der abgeschnittenen Ortschaft (Ssd)	Gewichtung
Strategisches Siedlungsgebiet	0,489
Ortschaft mit über 100 Einwohnern	0,269
Ortschaft mit weniger als 100 Einwohnern	0,147
Einzelne Häusergruppen	0,095

Handwritten signature

Indirekter Schaden in Bezug auf die Eigenschaften der Umleitung (Scd)	Gewichtung	
Länge der Umleitungsstrecke (Ldn)	0,667	W_{Ldn}
Art der Umleitung (Td)	0,333	W_{Td}

Art der Umleitung (Td)	Gewichtung
Autobahn	0,319
Einspurige Umleitung	0,319
Zweispurige Umleitung für PKWs	0,184
Zweispurige Umleitung für PKWs – LKWs müssen auf die Autobahn	0,110
Zweispurige Umleitung für PKWs und LKWs	0,069

Klassen des indirekten Schadens im Bezug auf die Dauer der durch das Ereignis hervorgerufenen Unterbrechung (Dc)	Gewichtung
Sperrung zwischen einem Tag und 30 Tage	0,321
Sperrung > 1 Jahr	0,183
Sperrung zwischen 6 Monaten und 1 Jahr	0,183
Sperrung zwischen 1 Monat und 6 Monaten	0,183
Sperrung zwischen 1 Stunde und 24 Stunden	0,066
Sperrung von weniger als 1 Stunde	0,066

ABLEITUNG DES RISIKOS ENTLANG DER JEWEILIGEN STRASSENABSCHNITTE

Das Risiko eines Straßenabschnitts mit homogenen Bewertungskriterien wird in Form eines zentralen Punkts auf dem Straßennetz dargestellt.

Die zu erwartende Schadenshöhe wird innerhalb des definierten Straßenabschnitts zwischen zwei Kreuzungen von Landes- und Staatsstraßen oder von bewohnten Gebieten als homogen angesehen.

Die Wiederkehrzeit bleibt innerhalb der nominalen Kilometersteine von 500 m konstant.

Die Gefahr wird als homogen betrachtet, wenn entlang der Strecke eine einzige Gefahrenquelle mit konstanter Intensität und einem einzigen Schutzbau besteht.

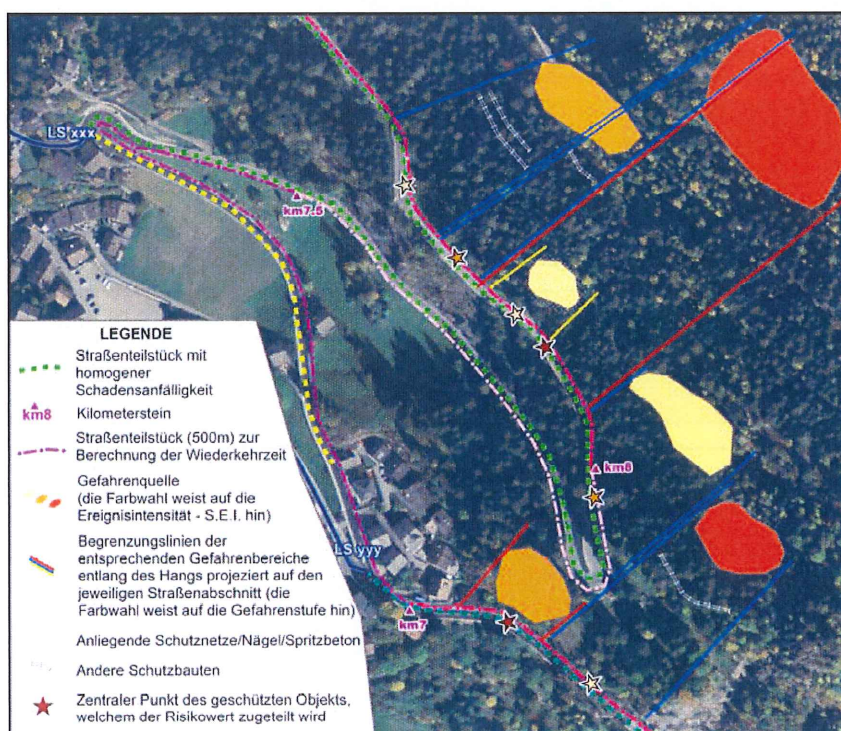


Fig. 1 – Ableitung des Risikos entlang eines Straßenabschnitts

V. Ker

QUELLENVERZEICHNIS

Christopher P. Russell, Dr. Paul Santi, Dr. Jerry D. Higgins (2008) – Modification and statistical analysis of the Colorado rockfall hazard rating system. Report No. CDOT-2008-7. Final Report, 124 pp.

Autonome Provinz Bozen – Beschluss der Landesregierung nr. 712 vom 14/05/2014 - Richtlinien zur Erstellung der Gefahrenzonenpläne (GZP) und zur Klassifizierung des spezifischen Risikos (KSR) im Sinne von Artikel 22bis des Landesgesetzes vom 11. August 1997, Nr. 13 und des Dekrets des Landeshauptmanns vom 5. August 2008, Nr. 42.

EOTA, 2008. Guideline for European technical approval of falling rock protection kits (ETAG 027).

Gottardi G., Govoni L., Mentani A., Ranalli M. and Strada C. (2011). The effectiveness of protection systems toward rockfall risk mitigation. 3rd International Symposium on Geotechnical Safety and Risk (ISGSR 2011), pp. 157 – 164

Mottironi M., Strada C., Tagnin S.: Projekt VISO: Geologischer Leitfaden – internes Dokument des Resorts für öffentliche Bauten der Autonomen Provinz Bozen - Südtirol

Berdica K. (2002): An introduction to road vulnerability: what has been done, is done and should be done, Transport Policy, vol. 9, 117-127

BUWAL (1998): Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren. Umweltmaterialien nr. 85 .

CLISP Project, A. Zischg, Abenis AG

Jenelius E., Petersen T. (2005): Importance and exposure in road network vulnerability analysis: A case study of northern Sweden, 8th Nectar Conference. Las Palmas, Spain

Jenelius E., Petersen T., and Mattsson L.G. (2006): Importance and exposure in road network vulnerability analysis, Transportation Research Part A, vol. 40, 537-560.

Jenelius E. (2007): Approaches to Road Network Vulnerability Analysis, Dept. of Transport and Economics, KTH Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden

Piacentini D. & Soldati M. (2008): Application of empiric models for the analysis of rock-fall run-out at a regionale scale in mountain areas: Examples from the Dolomites and the Northern Apennines (Italy), 9 pp.

REGIONE LOMBARDIA. (2011): Linee di indirizzo per la progettazione delle opere di difesa del suolo in Regione Lombardia. Regione Lombardia territorio e urbanistica, 165 pp.

Spiegel M. R., Schiller J., Srinivasan R.A. (2000): Probability and Statistics, Schaum's outlines, Mc-Graw Hill, third edition

Sullivan J.L., Novak D.C., Aultman-Hall L., Scott D.M. (2010): Identifying critical road segments and measuring system-wide robustness in transportation net-works with isolating links: a link-based capacity-reduction approach', Transportation Research Part A, vol. 44, 323-336.

U.S. Department of Commerce (1964): Bureau of Public Roads, Traffic Assignment Manual

Tacnet J.M., Button- Hubert M. Dezert J: A two-step fusion process for multi-criteria decision applied to natural hazards in mountains. arXiv:1005.0896v1 [cs.AI] 6 May 2010

Datum 13-06-2014

Unterschriften:

X IL DIRETTORE DI RIPARTIZIONE REGG.
DER GESCH. ABTEILUNGSDIREKTOR
DR. ING. GUSTAV MISCHI RLP./AOT. 10

X DER GESCHÄFTSFÜHRENDE ABTEILUNGSDIREKTOR
IL DIRETTORE DI RIPARTIZIONE REGGENTE
Dr. Arch. Robert Camper

X DER DIREKTOR DES AMTES 11.6
IL DIRETTORE DELL'UFFICIO 11.6
Amt für Geologie und Baustoffprüfung
Ufficio geologia e prove materiali
Dr. Volkmar Mair

DEFINIZIONE DEL RISCHIO (R)

Il Rischio è definito come la probabilità che si verifichi un determinato danno, causato da un evento di entità definita in un tempo definito e per ogni tratta stradale:

$$R = H \times D$$

H = PERICOLO; probabilità che si verifichi un certo evento in un determinato periodo

D = DANNO ATTESO; danno atteso per quel tipo di fenomeno sulla specifica tratta

La pericolosità (H) è stimata in funzione di quanto previsto dalla normativa per la redazione dei piani di pericolo comunali (DIRETTIVE PER LA REDAZIONE DEI PIANI DELLE ZONE DI PERICOLO (PZP) E PER LA CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO SPECIFICO -CRS- ai sensi dell'articolo 22bis della legge provinciale 11 agosto 1997, n. 13, recante "Legge urbanistica provinciale", e successive modifiche, e del decreto del Presidente della Provincia 5 agosto 2008, n. 42, recante "Regolamento d'esecuzione concernente i piani delle zone di pericolo") ed è riportata in una scala da 0 a 100 considerando anche la funzione delle opere di protezione (H*) che incide sull'intensità del fenomeno e/o sul tempo di ritorno, a seconda del tipo di opera e del tipo di fenomeno analizzati.

$$H^* \phi (I ; PA)$$

I = Slope Event Intensity (S.E.I.)

PA = Probabilità d'accadimento = $1/Tr$

Tr = tempo di ritorno

La lista del rischio da caduta massi è ottenuta valutando un coefficiente di rischio (r), su tutte le tratte stradali soggette a fenomeni di crollo o fenomeni che raggiungono la carreggiata stradale con cinematismi simili al crollo a conoscenza dell'Ufficio Geologia e Prove Materiali:

$$r = H^* \times d$$

H* = pericolosità in presenza di opere di protezione

d = coefficiente di danno stimato in funzione al tipo d'evento atteso e alle caratteristiche della tratta stradale normalizzato sul massimo danno atteso su tutta la rete provinciale

DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ (H*)

La pericolosità H* su una tratta stradale individuata da una preliminare consultazione di carte di suscettibilità¹ e da un rilievo speditivo di campagna ed è definita dalla seguente formula:

$$H^* = \left(50 - Tr \cdot \frac{5}{9} \right) + \frac{S.E.I.}{3} + O$$

S.E.I. (SLOPE EVENT INTENSITY) = Intensità con cui il fenomeno investe la sede stradale

Tr = Tempo di ritorno

O = Funzione dell'opera di protezione; varia da -33.33 se l'opera è valida a 0 se non influisce sulla pericolosità a +11.11 se la situazione è aggravata dalla presenza dell'opera (opera pericolante).

Per semplificare la rappresentazione sui Sistemi Informativi Geografici ogni tratta stradale in cui la pericolosità risulta omogenea è attribuita al punto mediano della stessa.

S.E.I. (SLOPE EVENT INTENSITY)

L'intensità del fenomeno (S.E.I.- Slope Event Intensity), è determinata in campagna in base ad alcuni parametri facilmente stimabili in maniera speditiva da un tecnico esperto.

Sono considerati sia parametri che individuano l'intensità del fenomeno che si può sviluppare sul versante (G.E.I. - Geomechanical Event Intensity), sia parametri legati alle caratteristiche del percorso tra nicchia di distacco e sede stradale (S.C. - Slope Coefficient) che rappresentano i fattori d'attenuazione o amplificazione del G.E.I.

Ad ognuna delle misure di cui sopra, sono attribuiti dei coefficienti numerici, che sommati tra loro individuano l'intensità del fenomeno S.E.I. (il cui valore varia tra 23 e 150).

$$S.E.I. = G.E.I. + S.C.$$

G.E.I. (GEOMECHANICAL EVENT INTENSITY)

Al parametro G.E.I. sono attribuiti di base 50 punti, ai quali si sommano i punteggi che derivano dalla valutazione dei parametri riportati nella seguente tabella:

¹ Metodologie basate sul DEM citate in bibliografia

Parametri di giudizio	Intervallo dei valori				Punteggio
Volume dei blocchi (m3)	>1	0.5÷1	0.1÷0.5	<0.1	
Punteggio parziale	15	10	5	2	A
Volume massimo mobilizzabile (m3)	>100	10÷100	5÷10	<5	
Punteggio parziale	20	15	10	2	B
Stato di decomposizione	notevole	discreto	basso	compatto	
Punteggio parziale	50	20	10	2	C
Assetto giaciturale	molto sfavorevole	poco sfavorevole	ininfluente assente	favorevole	
Punteggio parziale	15	10	0	-6	D

$$G.E.I. \text{ (Geomechanical Event Intensity)} = A+B+C+D+50$$

Il "volume dei blocchi" ed il "volume massimo mobilizzabile per singolo evento", sono coefficienti che racchiudono informazioni sull'energia cinetica che i massi possono acquisire durante il loro percorso, nonché sulla quantità di materiale che può distaccarsi per ogni singolo evento; essi ci forniscono dati riferiti alla possibilità che il distacco sia costituito da più blocchi che raggiungono contemporaneamente la sede stradale.

Il "volume dei blocchi" è determinabile dall'osservazione dei frammenti che si trovano sul versante o dalla spaziatura delle discontinuità sulle pareti (affioramenti rocciosi).

Il "volume massimo mobilizzabile per singolo evento" è ottenibile da una stima dei volumi di materiale derivanti da distacchi multipli o dal distacco di porzioni rilevanti di parete e/o versante costituite da più blocchi singoli.

I coefficienti "stato di decomposizione dell'ammasso roccioso" e "assetto giaciturale" contribuiscono in questo contesto ad aumentare l'intensità del fenomeno, in quanto entrambi favoriscono il verificarsi di distacchi multipli, non sincroni, ma abbastanza vicini nel tempo da non permettere le operazioni d' intervento.

La caratterizzazione dello "stato di decompressione dell'ammasso roccioso" varia da compatto (senza fratture serrate e distanziate) a notevole (molto de-tensionato, con fratture beanti ed eventuale presenza d'acqua). I termini intermedi (discreto, basso) sono da prendere in causa in presenza di situazioni intermedie che influiscono più o meno sull'instabilità del versante.

L'"assetto giaciturale" valuta, in base alla disposizione della fratturazione riscontrabile rispetto al versante, la propensione al distacco. Il termine "molto sfavorevole" indica giaciture o piani di scivolamento a franapoggio, con un'inclinazione elevata prossima a quella del pendio; con il termine "favorevoli" sono individuate quelle condizioni di giaciture o piani di scivolamento a reggipoggio, non delimitate da altri giunti. Anche in questo caso i valori "sfavorevole" ed "ininfluente" sono da utilizzare a discrezione dell'operatore esperto che, a vista e conoscendo il territorio, può valutare in che misura un aumento di inclinazione di una giacitura o di un piano di scivolamento, o la presenza di ulteriori discontinuità, rappresentino un fattore più o meno predisponente al verificarsi di fenomeni di scivolamento o ribaltamento.

S.C. (SLOPE COEFFICIENT)

Al coefficiente S.C. sono attribuiti i punteggi che derivano dalla valutazione dei parametri della seguente tabella:

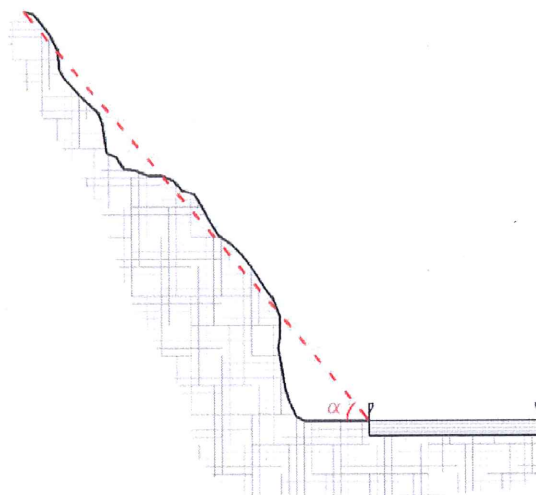
Parametri di giudizio	Intervallo dei valori				Punteggio
Pendenza del versante	90° - 75°	75° - 60°	60° - 45°	< 45°	
Punteggio parziale	0	-5	-10	-15	E
Morfologia del versante e risposta del terreno	sfavorisce nettamente l'arresto dei massi	sfavorisce in parte l'arresto dei massi	favorisce in parte l'arresto dei massi	favorisce nettamente l'arresto dei massi	
Punteggio parziale	0	-2	-4	-6	F
Vegetazione	prati, pascoli, roccia nuda	cespugliato	bosco di conifere	bosco ceduo	
Punteggio parziale	0	-2	-4	-6	G

$$S.C. \text{ (slope coefficient)} = E+F+G$$

Tutti questi parametri valutano la tendenza del fenomeno ad attenuarsi o amplificarsi nel tratto di transito tra la nicchia di distacco e la sede stradale.

v.l.s

Più la pendenza media del versante (ottenuta tracciando idealmente un segmento che unisce il punto più alto dell'affioramento fonte del pericolo, con il ciglio della carreggiata stradale, e misurando l'angolo che tale segmento forma con l'orizzontale) è bassa, e più è elevato il grado di smorzamento dell'intensità dell'evento.



L'uso del suolo influisce in maniera differente sulla mitigazione del fenomeno di caduta massi. Prati e pascoli non condizionano sostanzialmente lo smorzamento dell'energia cinetica di un fenomeno, mentre il bosco ceduo è caratterizzato da una maggior capacità d'assorbimento e di trattenuta dei massi che procedono con cinatismi di rimbalzo o rotolamento.

Per "incidenza delle caratteristiche della superficie e della morfologia" sul tratto di transito si intende in sostanza quanto la capacità di assorbimento elastico del terreno (valori elevati per detrito sciolto di falda e valori minimi per roccia affiorante), l'asperità (intesa come granulometria dei blocchi presenti lungo il versante in rapporto ai massi in caduta) e le caratteristiche morfologiche del pendio lungo l'eventuale linea di caduta, influiscano sull'arresto dei massi che compongono il corpo di frana. E' evidente che la presenza di eventuali tratti piani o avvallamenti presenti tra la nicchia di frana e la carreggiata stradale, così come la presenza di grossi blocchi o asperità lungo la linea di caduta, sono da considerarsi fattori che favoriscono l'arresto dei massi.

VALUTAZIONE DELL'OPERA PROTETTIVA (O)

Il rilievo delle caratteristiche dell'opera protettiva comporta la definizione del suo stato di conservazione, della sua utilità e del suo posizionamento in funzione dell'intensità e della geometria del fenomeno che si può sviluppare sul versante. Esso è condotto in maniera speditiva e non può prescindere dalla pregressa definizione dell'intensità del fenomeno.

Il parametro O che permette di definire la funzionalità dell'opera di protezione (A-B-C-D-E, dove se il parametro assume il valore A rappresenta la massima urgenza) è ottenibile in sede di sopralluogo attraverso l'osservazione di alcune caratteristiche.

La definizione dell'utilità del Sistema di Difesa (P.S.U. - Protection System Utility), in relazione alla sua più o meno ineccepibile collocazione sul territorio (P.S.L.) (talvolta l'inefficienza del sistema deriva dall'errato posizionamento dell'opera) e al corretto dimensionamento statico dell'opera (P.S.D.).

dimensionamento sistema di difesa - P.S.D.	scorretto	5	5	5	5
	inadeguato	4	4	4	5
	incerto	2	3	4	5
	buono	1	2	4	5
		adeguato	incerto	inadeguato	scorretto
		posizione del sistema di difesa - P.S.L.			

Vh

In relazione al corretto posizionamento del sistema di difesa (P.S.L. - Protection System Location) sul versante, dovrà essere selezionata una delle seguenti classi:

- adeguato: la posizione dell'opera indagata è certamente corretta;
- incerto: non è possibile affermare la piena adeguatezza del posizionamento dell'opera protettiva;
- inadeguato: l'opera di protezione è influente ai fini della stabilità del versante;
- scorretto: lo scorretto posizionamento dell'opera sul versante modifica in maniera negativa la stabilità e/o le condizioni di sicurezza dello stesso, aumentando il pericolo.

In relazione al dimensionamento del sistema di difesa (P.S.D. - Protection System Design), dovrà essere individuata una delle seguenti categorie (i dati contenuti nell'eventuale certificazione del sistema di difesa, in un'eventuale relazione di calcolo od in un collaudo, possono agevolare l'operatore nella scelta della categoria più adeguata):

- buono: dimensionamento degli elementi del sistema adeguato all'evento che potenzialmente potrebbe verificarsi;
- incerto: l'esame visivo non consente di affermare che il sistema è adeguatamente dimensionato;
- inadeguato: sistema di difesa indubbiamente sottodimensionato o carente;
- scorretto: l'inadeguatezza strutturale peggiora la stabilità del versante.

La valutazione dell'opera protettiva (P.S.E. - Protection System Evaluation) è ottenuta dal confronto fra i valori dell'utilità del Sistema di difesa P.S.U. di cui sopra, e quelli rappresentativi dello stato conservativo dell'opera.

utilità del sistema di difesa - P.S.U.	5	A	A	A	A	A
	4	B	B	B	B	A
	3	C	C	C	B	A
	2	D	D	C	B	A
	1	E	D	C	B	A
		buono	discreto	sufficiente	insufficiente	problematico
		stato di conservazione - P.P.S.				

In relazione allo stato di conservazione dell'opera (P.P.S. - Preservation Protection System), dovrà essere selezionata una delle seguenti classi:

- buono: quando non necessita alcun tipo di manutenzione, e/o il certificato di manutenzione non prevede interventi;
- discreto: quando è richiesta la sostituzione/manutenzione di parti non strutturali, o per esempio è necessaria una modesta pulizia;
- sufficiente: quando è richiesta la sostituzione/manutenzione di parti strutturali, che non pregiudicano tuttavia l'efficienza del sistema, o quando per esempio è necessaria una pulizia più profonda rispetto al caso precedente;
- insufficiente: stato conservativo inadeguato rispetto alla funzione che il sistema di difesa deve assolvere; danneggiamenti, anche locali, che compromettono la funzionalità dell'intero sistema;
- problematico: lo stato di degrado avanzato pregiudica addirittura la stabilità del versante rendendo il possibile evento di caduta o crollo ancora più pericoloso dell'eventualità in cui l'opera non ci fosse (per esempio, nel caso delle barriere paramassi, quando un volume mobilitato investe una barriera già colma di materiale: la massa del volume originariamente trattenuto, si somma a quella del distacco più recente).

DEFINIZIONE DEL TEMPO DI RITORNO (T_r)

Il calcolo della probabilità di accadimento ($1/T_r$) si basa sul conteggio degli eventi di caduta massi (protocolli di sopralluogo archiviati presso l'Ufficio Geologia e Prove Materiali) su una tratta tra due cippi distanti nominalmente 500 m nel tempo massimo di osservazione (dal 1998 in poi). Questo metodo, nonostante l'apparente imprecisione dovuta alla difficoltà di raccogliere dati precisi di ubicazione dei protocolli più antichi e del fatto che non sempre ad un evento di caduta massi segue un protocollo dell'Ufficio Geologia, rispecchia piuttosto bene l'effettivo tempo di ritorno di un evento, per le tratte del nostro territorio. Ovviamente alcune porzioni della tratta sono sovrastimate e altre sottostimate.

DEFINIZIONE DEL COEFFICIENTE DI DANNO ATTESO (d)

Per definire il danno atteso si è utilizzata la metodologia statistica proposta da Tacnet J.M. Button- Hubert M. Dezert J: il metodo multicriteriale. Il metodo permette di ottenere un coefficiente che caratterizza il danno atteso in una scala definita e normalizzata in base al massimo danno atteso previsto nell'intera rete provinciale. Tale coefficiente non esprime un valore "assoluto", come ad es. la monetizzazione di tale danno, ma è in grado di differenziare il suo valore sulle varie tratte stradali al fine di redigere una lista di priorità d'intervento.

C. P.

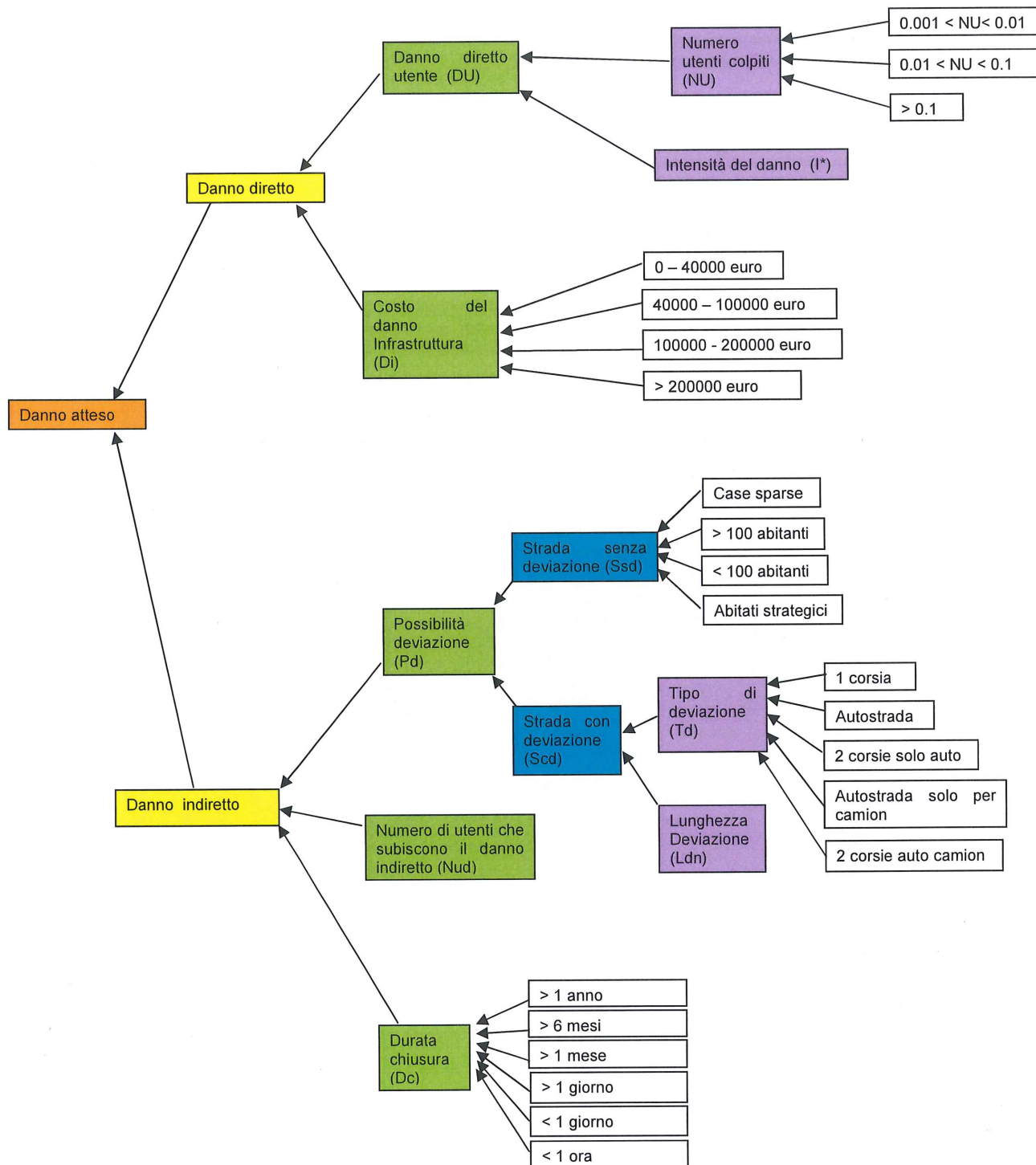
Il metodo multicriteriale permette di attribuire pesi ai vari fattori che si ritiene influiscano sul danno atteso. Per la scelta dei fattori da prendere in considerazione ha influito sia l'importanza di tali fattori che la loro reperibilità su tutta la rete stradale. Tali fattori sono stati inseriti in un diagramma ad albero che visualizza i rapporti gerarchici e di dipendenza fra gli stessi. I fattori principali che caratterizzano il danno atteso sono suddivisibili in:

1) danni immediati su cose e persone causati direttamente dall'evento (**danni diretti**):

- danno diretto agli utenti (morti; feriti; invalidi; danni ai mezzi di trasporto)
- costo del danno all'infrastruttura (ponti, paracarri, asfalto etc.)

2) conseguenze della chiusura dell'arteria dovuta all'evento (**danni indiretti**):

- danno dovuto alla chiusura e alla possibilità di una deviazione
- numero di utenti che subiscono una deviazione o non possono raggiungere un luogo
- danno agli utenti dovuto alla durata della chiusura



Nel diagramma ogni fattore (caselle colorate) è suddivisibile in altri fattori o classi (caselle bianche). Ad ogni fattore e classe sono stati attribuiti dei **pesi** $W_1 - W_n$ in base al metodo statistico (multicriteriale).

Gli unici fattori non suddivisi in classi sono il **numero di utenti che subiscono il danno indiretto (Nud)** e la lunghezza massima della deviazione (**Ldn**), essi sono normalizzati in funzione del valore massimo riscontrabile nella rete per cui possono variare nel tempo.

Il **danno diretto agli utenti (DU)** è la somma del numero di utenti **NU** investiti nella tratta colpita dall'evento e l'intensità del probabile danno (morti, feriti, danni agli automezzi) I^* .

NU è stato stimato considerando la probabilità media nell'arco di 24 ore che un veicolo con due utenti a bordo sia investito da un evento, stimando l'evento come certo.

$$NU = \frac{2 \times L \times TGM^*}{V}$$

$TGM^* = TGM^2$ espresso in mezzi/sec;

V = Velocità media di percorrenza del tratto stradale in m/sec;

L = lunghezza della tratta stradale interessata dal singolo evento;

L'**intensità del danno (I^*)** è calcolata in funzione della pericolosità dell'evento tenendo così conto anche dell'effetto di eventuali opere di mitigazione.

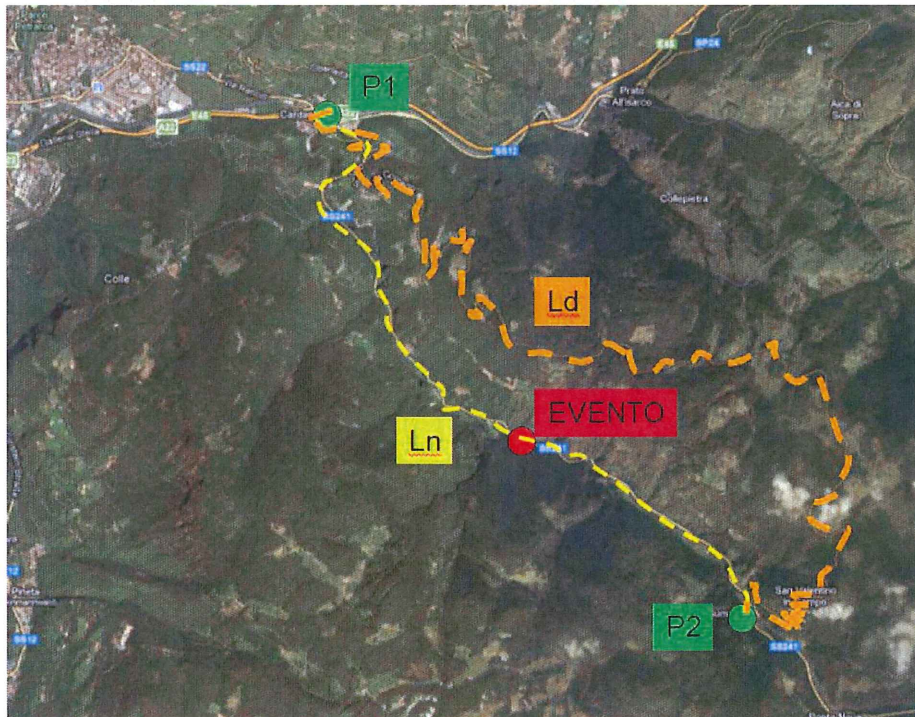
Il **costo del danno potenziale all'infrastruttura (Di)** è stimato dai tecnici in base all'entità e il tipo d'evento atteso e alla presenza di manufatti quali asfalto, paracarri, ponti etc..che potrebbero subire danni dallo stesso.

Possibilità di deviazione (Pd): dipende se la strada ha una deviazione o meno.

Se non ha una deviazione (**strada senza deviazione Ssd**) l'importanza della tratta stradale dipende dal tipo di collegamento ovvero se la tratta collega un abitato più o meno popolato o gruppi di case sparse.

Se la strada ha deviazione (**strada con deviazione Scd**) essa è calcolata in base alla **lunghezza della deviazione** normalizzata (**Ldn**) e il **tipo della deviazione (Td)** (ad una corsia o in autostrada etc.).

La **lunghezza della deviazione** normalizzata (**Ldn**) è calcolata confrontando la lunghezza della tratta normale (**Ln**) dall'ultimo incrocio prima dell'interruzione (**P1**) al primo incrocio dopo l'interruzione (**P2**) con la lunghezza della deviazione più corta possibile non in autostrada³ tra gli stessi due punti (**Ld**). Il rapporto Ln/Ld è stato normalizzato secondo il massimo atteso.



Il **numero di utenti che subiscono il danno indiretto (Nud)** è calcolato semplicemente come rapporto tra TGM nella tratta considerata e TGM massimo atteso nella rete gestita dalla Provincia autonoma di Bolzano.

La **durata della chiusura (Dc)** è stimata dai tecnici in base ad eventi precedenti nella stessa tratta e all'entità e tipo di fenomeno atteso.

² Traffico Giornaliero medio calcolato in base alle stazioni fisse, alle stazioni mobili o alla stima dei tecnici responsabili

³ La deviazione in autostrada non è considerata "vantaggiosa" in quanto è necessario pagare l'ente gestore della stessa per lasciare nella tratta interessata il passaggio senza pedaggio

Handwritten signature

In base alle precedenti considerazioni il **coefficiente di danno atteso** è dato così dalla seguente formula:

$$d = W_{DU} \times DU + W_{DI} \times DI + W_{Pd} \times PD + W_{Nud} \times Nud + W_{Dc} \times Dc$$

$$Pd = W_{Ssd} \times SSD + W_{Scd} \times SCD$$

$$SCD = W_{Td} \times Td + W_{Ldn} \times Ldn$$

$$DU = W_{NU} \times NU + W_{I^*} \times I^*$$

I pesi da attribuire ai fattori (rosso) e alle classi (azzurro) così ottenuti sono riportati nelle seguenti tabelle:

Danno atteso (d)	Peso	
Danno diretto agli utenti (DU)	0.490	W_{DU}
Costo del danno all'infrastruttura (Di)	0.107	W_{DI}
Danno indiretto legato alla possibilità di deviazione (Pd)	0.189	W_{Pd}
Danno indiretto agli utenti (Nud)	0.107	W_{Nud}
Danno indiretto legato alla durata dell'interruzione dovuta all'evento (Dc)	0.107	W_{Dc}

Danno diretto agli utenti DU	Peso	
Numero di utenti colpiti (NU)	0.500	W_{NU}
Intensità del danno (I^*)	0.500	W_{I^*}

Classi di numero di utenti colpiti NU	Peso
> 0.1	0.54
$0.01 < NU < 0.1$	0.30
$NU < 0.01$	0.16

Classi di danno diretto alle infrastrutture (Di)	Peso
> 200000 euro	0.489
100000 - 200000 euro	0.269
40000 - 100000 euro	0.147
0 - 40000 euro	0.095

Danno indiretto legato all'assenza di deviazione (Pd)	Peso	
strada senza deviazione (Ssd)	0.800	W_{Ssd}
strada con deviazione (Scd)	0.200	W_{Scd}

Danno legato alla tipologia del luogo isolato dall'interruzione della strada (Ssd)	Peso
abitato strategico	0.489
abitato con più di 100 abitanti	0.269
abitato con meno di 100 abitanti	0.147
case sparse	0.095

Danno indiretto legato alle caratteristiche della deviazione (Scd)	Peso	
lunghezza deviazione (Ldn)	0.667	W_{Ldn}
tipo di deviazione (Td)	0.333	W_{Td}

V. G.

Tipo di deviazione (Td)	Peso
deviazione su autostrada	0.319
Deviazione su strada a 1 corsia	0.319
Deviazione su strada a due corsie solo per auto	0.184
Deviazione strada a due corsie solo per auto - camion in autostrada	0.110
Deviazione su strada a due corsie auto e camion	0.069

Classi di danno indiretto legato alla durata dell'interruzione dovuta all'evento (Dc)	Peso
chiusura tra 1 giorno e 30 giorni	0.321
chiusura > 1 anno	0.183
chiusura tra 6 mesi e 1 anno	0.183
chiusura tra 1 mese e 6 mesi	0.183
chiusura tra 1 ora e 24 ore	0.066
chiusura minore 1 ora	0.066

PROIEZIONE DEL RISCHIO SULLA TRATTA STRADALE

Il rischio di una tratta stradale in cui i parametri di caratterizzazione dello stesso sono omogenei è attribuito al punto mediano della stessa sulla rete.

Il danno atteso è considerato omogeneo per una tratta stradale da incrocio ad incrocio con strade provinciali e statali o con un abitato significativo.

Il tempo di ritorno è considerato omogeneo tra due cippi distanti nominalmente 500 m.

La pericolosità si considera omogenea se su di essa incide una sola fonte di pericolo ad intensità costante ed una sola opera di protezione.

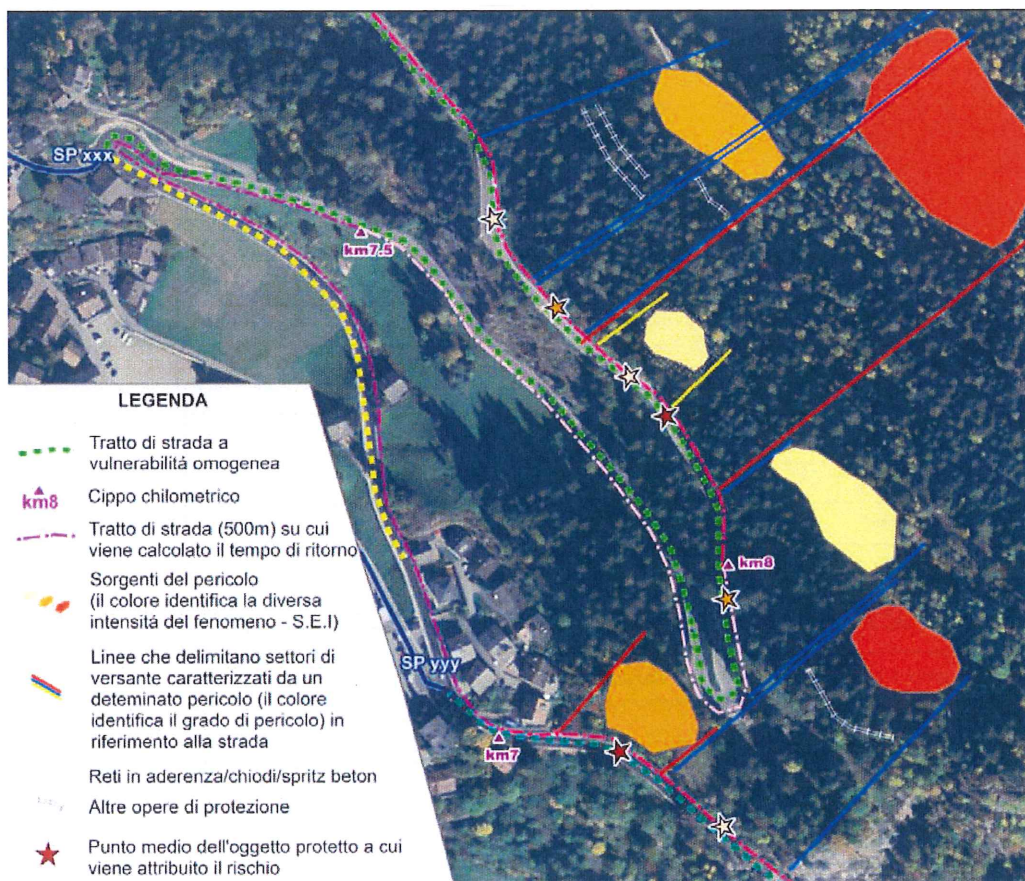


Figura 1 – Proiezione del Rischio su una tratta stradale

V. L.

BIBLIOGRAFIA

CHRISTOPHER P. RUSSELL, DR. PAUL SANTI, DR. JERRY D. HIGGINS (2008) – *Modification and statistical analysis of the Colorado rockfall hazard rating system*. Report No. CDOT-2008-7. Final Report, 124 pp.

Provincia Autonoma di Bolzano – Deliberazione della Giunta Provinciale nr. 712 del 14/05/2014 - Direttive per la redazione dei piani delle zone di pericolo (PZP) e per la classificazione del rischio specifico (CRS) ai sensi dell'articolo 22bis della legge provinciale 11 agosto 1997, n. 13 e del decreto del Presidente della Provincia 5 agosto 2008, n. 42.

EOTA, 2008. Guideline for European technical approval of falling rock protection kits (ETAG 027).

Gottardi G., Govoni L., Mentani A., Ranalli M. and Strada C. (2011). The effectiveness of protection systems toward rockfall risk mitigation. *3rd International Symposium on Geotechnical Safety and Risk (ISGSR 2011)*, pp. 157 – 164

Mottironi M., Strada C., Tagnin S.: Progetto VISO: Il Quaderno del Geologo – documento interno del Dipartimento Lavori Pubblici della Provincia Autonoma di Bolzano - Alto Adige

Berdica K. (2002): An introduction to road vulnerability: what has been done, is done and should be done, *Transport Policy*, vol. 9, 117-127

BUWAL (1998): Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren. *Umweltmaterialien* nr. 85.

Christopher P. Russell, Dr. Paul Santi, Dr. Jerry D. Higgins (2008): *Modification and statistical analysis of the Colorado rockfall hazard rating system*. Report No. CDOT-2008-7. Final Report, 124 pp.

CLISP Project, A. Zischg, Abenis AG

Jenelius E., Petersen T. (2005): Importance and exposure in road network vulnerability analysis: A case study of northern Sweden, 8th Nectar Conference. Las Palmas, Spain

Jenelius E., Petersen T., and Mattsson L.G. (2006): Importance and exposure in road network vulnerability analysis, *Transportation Research Part A*, vol. 40, 537-560.

Jenelius E. (2007): *Approaches to Road Network Vulnerability Analysis*, Dept. of Transport and Economics, KTH Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden

Piacentini D. & Soldati M. (2008): Application of empiric models for the analysis of rock-fall run-out at a regionale scale in mountain areas: Examples from the Dolomites and the Northern Apennines (Italy), 9 pp.

Provincia Autonoma di Bolzano (1998): *Linee Guida alla redazione di piani del pericolo (Regolamento di esecuzione alla legge urbanistica provinciale)* Decreto del Presidente della Giunta Provinciale, 23 febbraio 1998

REGIONE LOMBARDIA. (2011): *Linee di indirizzo per la progettazione delle opere di difesa del suolo in Regione Lombardia*. Regione Lombardia territorio e urbanistica, 165 pp.

Spiegel M. R., Schiller J., Srinivasan R.A. (2000): *Probability and Statistics*, Schaum's outlines, Mc-Graw Hill, third edition

Sullivan J.L., Novak D.C., Aultman-Hall L., Scott D.M. (2010): Identifying critical road segments and measuring system-wide robustness in transportation networks with isolating links: a link-based capacity-reduction approach, *Transportation Research Part A*, vol. 44, 323-336.

U.S. Department of Commerce (1964): *Bureau of Public Roads, Traffic Assignment Manual*

Tacnet J.M., Button- Hubert M. Dezert J: A two-step fusion process for multi-criteria decision applied to natural hazards in mountains. arXiv:1005.0896v1 [cs.AI] 6 May 2010

Data 13-06-2014

Firme:

X IL DIRETTORE DI RIPARTIZIONE REGG.
DER GESCH. ABTEILUNGSDIREKTOR
DR. ING. GUSTAV MISCH R.I.P. / Abt. 10

X DER GESCHÄFTSFÜHRENDE ABTEILUNGSDIREKTOR
IL DIRETTORE DI RIPARTIZIONE REGGENTE
Dr. Arch. Robert Gamper

X DER DIREKTOR / IL DIRETTORE
DES AMTES 11.6 / DELL'UFFICIO 11.6
Amt für Geologie und Ufficio geologia e prove
Baustoffprüfung materiali
Dr. Volkmair Mair