



Rue de l'Industrie 35b  
1030 Bussigny  
Suisse

# Riskko

Calcolatore di rischio per pericoli naturali basato su EconoMe 5.1

Manuale d'utilizzo dell'applicativo Riskko

Versione 1.0 del 5 febbraio 2024

Da: Thierry Oppikofer e Clément Michoud

Per: Ispettorato cantonale delle foreste del Canton Vaud

Ufficio dei pericoli naturali, degli incendi e dei progetti del Cantone Ticino

Servizio foreste e natura del Canton Friburgo

Ufficio dell'ambiente del Canton Giura



## Clienti

Canton Vaud, Dipartimento dell’Ambiente, Ispettorato forestale cantonale, seguito da Sébastien Lévy

Repubblica e Cantone Ticino, Ufficio dei pericoli naturali, degli incendi e dei progetti (UPIP, seguito da Andrea Pedrazzini

Canton Friburgo, Servizio Foreste e Natura, seguito da Benoît Mazotti

Repubblica e Canton Giura, Ufficio dell’ambiente, seguito da Laurent Chaignat

## Autori

Dr Thierry Oppikofer, geologo, Terranum Sàrl

Dr Clément Michoud, ingegnere geologo, Terranum Sàrl

## Nota

Questo applicativo è messo a disposizione in libero accesso e gratuitamente. Ogni utente è responsabile del controllo e della verifica dei risultati ottenuti. Gli sviluppatori e i cantoni promotori non si assumono alcuna responsabilità per l’accuratezza delle formule utilizzate o dei risultati ottenuti. Gli aggiornamenti vengono effettuati periodicamente, ma possono permanere delle differenze. È responsabilità dell’utente contattare preventivamente il cantone di referenza per verificare lo stato d’aggiornamento dell’applicativo.

## Riassunto

Riskko è un calcolatore di rischi per la valutazione del rapporto benefici-costi delle misure di protezione in relazione ai pericoli naturali. L'applicazione è disponibile sul sito web <https://riskko.ch/it> e messa a disposizione dai Cantoni di Vaud, Ticino, Friburgo e Giura. Lo strumento si basa sui concetti, sulle equazioni e sui valori standardizzati di EconoMe 5.1 sviluppato dall'UFAM e di Valdorisk 2.1 sviluppato dall'Università di Losanna.

Riskko consente di valutare rapidamente il rischio per le persone e gli oggetti esposti a vari processi di pericolo naturale. Calcolando il rischio prima e dopo eventuali misure di protezione, è possibile valutare l'efficacia di tali misure e determinarne il rapporto costi-benefici.

Le equazioni utilizzate in Riskko provengono dalla raccolta di equazioni EconoMe con alcune modifiche e semplificazioni descritte in questo manuale, che è adattato dal manuale Valdorisk 2.0 scritto da Pierrick Nicolet e Michel Jaboyedoff dell'Università di Losanna.

## Indice dei contenuti

<b>1. Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>2. Utilizzazione di Riskko</b>	<b>2</b>
2.1. Accesso all'applicazione	2
2.2. Interfaccia e navigazione	2
2.3. Lingue	2
2.4. Salvataggio dei dati, esportazione e importazione di progetti	3
2.5. Descrizione dei parametri	4
2.6. Parametri standard	4
2.7. Controllo dei dati	4
2.8. Controllo dei risultati	4
<b>3. Equazioni in Riskko</b>	<b>5</b>
3.1. Probabilità di un evento (frequenza)	5
3.1.1. Correzione lineare	5
3.1.2. Frequenza di occorrenza in un luogo determinato	6
3.2. Potenziale di danno e rischio per beni materiali	7
3.2.1. Danni potenziali	7
3.2.2. Vulnerabilità	7
3.2.3. Rischio materiale	7
3.3. Potenziale di danno e rischio alle persone	8
3.3.1. Danni potenziali	8
3.3.2. Rischio individuale	10
3.3.3. Rischio umano	10
3.4. Rischio collettivo	10
3.5. Misure di protezione	11
3.5.1. Costo annuale delle misure	11
3.5.2. Rapporto benefici/costi	11
3.6. Adattamenti e modifiche rispetto a EconoMe	11
3.6.1. Rischio umano per il <i>Traffico ferroviario</i>	11
3.6.2. Rischio per oggetti fissi	11
3.6.3. Rischio per <i>Traffico stradale</i>	12
<b>4. Bibliografia</b>	<b>13</b>

## 1. Introduzione

---

Riskko è un'applicazione web per il calcolo dei rischi associati ai pericoli naturali e per la valutazione del rapporto benefici-costi delle misure di protezione (<https://riskko.ch/it>). Lo strumento si basa sui concetti, sulle equazioni di rischio e sui valori standardizzati di EconoMe 5.1 messo a disposizione dall'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM 2024) e di Valdorisk sviluppato dal 2013 al 2020 da Pierrick Nicolet e Michel Jaboyedoff dell'Università di Losanna (UNIL 2020).

In considerazione dei problemi di manutenzione e aggiornamento dello strumento Valdorisk 2.1 (legati in particolare alle diverse versioni di Excel), Terranum ha ricevuto l'incarico dai cantoni di Vaud, Ticino, Friburgo e Giura per creare l'applicazione Riskko con le stesse funzionalità dello strumento Valdorisk esistente.

## 2. Utilizzazione di Riskko

---

### 2.1. Accesso all'applicazione

L'applicazione Riskko è accessibile direttamente dal sito web <https://riskko.ch/it> senza creare un profilo utente. L'applicazione non richiede alcuna installazione specifica da parte dell'utente, mantenendo la possibilità di importare ed esportare i dati, visualizzare i risultati online, generare grafici o esportare il rapporto di sintesi in formato PDF.

### 2.2. Interfaccia e navigazione

L'interfaccia di Riskko è suddivisa in sette sezioni:

1. **Progetto:** contiene informazioni di base sul progetto (informazioni sul progetto, Processi pericolosi considerati, ecc.)
2. **Misure:** specificare eventuali misure di protezione e calcolarne il costo.
3. **Oggetti:** consente di inserire i vari oggetti considerati nel progetto (categorie e tipi di oggetti secondo EconoMe) e le loro caratteristiche (numero, valore, occupazione, esposizione, vulnerabilità, letalità, ecc.)
4. **Intensità:** utilizzata per definire il livello di intensità prima e dopo le misure di protezione per ogni oggetto e per tutti i processi e gli scenari di pericolo (tempo di ritorno) considerati.
5. **Rischi:** presenta i risultati del calcolo dei rischi prima e dopo le misure di protezione per ogni oggetto, processo di pericolo e scenario.
6. **Grafici:** generare vari grafici utilizzando i menu a tendina ed esportarli per utilizzarli in una relazione tecnica.
7. **Riassunto:** genera automaticamente un riassunto dell'analisi del rischio e dei parametri utilizzati e lo esporta in formato PDF.

Le diverse sezioni devono essere compilate una dopo l'altra, ma è possibile tornare a una sezione precedente e apportare delle modifiche. Ad esempio, è possibile lasciare vuota la sezione "Misure" per calcolare prima il rischio senza misure e poi definire da 1 a un massimo di 3 varianti o di combinazioni di misure.

È possibile navigare tra le varie sezioni utilizzando i pulsanti "Seguente" o "Precedente" a piè di pagina, oppure facendo clic direttamente sulla sezione desiderata nell'intestazione. Le sezioni **Intensità** e **Rischi** contengono delle sottosezioni per i diversi processi pericolosi selezionati, mentre le sezioni **Misure**, **Oggetti** e **Intensità** utilizzano maschere di input per guidare l'utente nella parametrizzazione.

### 2.3. Lingue

L'applicazione Riskko è disponibile in diverse lingue (italiano, francese e tedesco) che possono essere cambiate utilizzando l'icona in alto a destra (Figura 1). **Se si cambia la lingua, tutti i dati vengono mantenuti.**

Riskko.ch è un applicativo che permette di realizzare una valutazione quantitativa del rischio e dell'efficacia delle misure di protezione in relazione ai pericoli naturali.

Questo applicativo è stato sviluppato in maniera congiunta dai Cantoni di Vaud, Ticino, Friburgo e Giura. L'approccio generale e le equazioni si basano sui valori standardizzati di EconoMe 5.1 della Confederazione e Valdorisk 2.1 sviluppato all'Università di Losanna. Si ricorda che questo strumento non può essere utilizzato per calcolare il rischio per il traffico ferroviario, per il quale si raccomanda di far capo direttamente a EconoMe.

L'applicativo salva automaticamente tutte le modifiche effettuate fintanto che la sessione del navigatore rimane aperta. Per salvare e archiviare in maniera sicura i dati, il progetto deve essere esportato prima di chiudere il navigatore.

↑ Importare

+ Nuovo progetto

Figura 1: Schermata della pagina iniziale di Riskko. L'icona "It" in alto a destra permette di cambiare la lingua dell'applicazione (italiano, francese o tedesco). I pulsanti "Esportare" e "Importare" consentono rispettivamente di esportare e importare un progetto Riskko in formato JSON.

## 2.4. Salvataggio dei dati, esportazione e importazione di progetti

L'applicativo salva automaticamente tutte le modifiche effettuate fintanto che la sessione del navigatore rimane aperta, ma nessun dato viene memorizzato sul server che ospita Riskko. Segnaliamo che non è possibile annullare una modifica utilizzando il comando Ctrl+Z o la freccia indietro del navigatore.

Poiché lo strumento Riskko non prevede la gestione del profilo utente, non è possibile avere una cronologia dei progetti per ogni singolo utente. Il salvataggio e l'archiviazione dei progetti sono quindi affidati all'utente, che deve esportare il progetto prima di chiudere il navigatore utilizzando il pulsante "Esportare" (Figura 1). Il file JSON contiene tutti i parametri e i dati utilizzati.

Nella pagina iniziale di Riskko è possibile importare il file JSON di un progetto precedente (Figura 1). **Attenzione: questa operazione sovrascriverà i dati di un progetto aperto nel navigatore.**

## 2.5. Descrizione dei parametri

L'interfaccia dell'applicazione Riskko contiene tutti i campi necessari per calcolare il rischio e valutare l'efficacia delle misure di protezione. I termini utilizzati sono generalmente identici a quelli utilizzati in EconoMe 5.1 dell'UFAM ([www.econome.ch](http://www.econome.ch)). Tuttavia, i tooltips ⓘ forniscono maggiori dettagli sulle varie tipologie di campi.

## 2.6. Parametri standard

Per la maggioranza dei parametri, l'utente può scegliere tra la parametrizzazione automatica, che utilizza i valori standard di EconoMe 5.1, e la parametrizzazione manuale, che consente di adattare i valori alle specificità del progetto. **Nel riassunto del progetto, i valori modificati dall'utente sono contrassegnati con un asterisco \***.

I parametri e i valori predefiniti e utilizzati in Riskko sono accessibili nella sezione "Documentazione" (link a piè di pagina):

- Costi delle misure di protezione: valori predefiniti per le misure di protezione, insieme alla durata del loro effetto protettivo, ai costi operativi e ai costi di manutenzione e riparazione.
- Vulnerabilità e letalità: valori unitari, parametri di occupazione, vulnerabilità e letalità (a seconda del livello di intensità) per tutti i tipi di oggetti.
- Evento spaziale: valori standard delle probabilità di accadimento spaziale per i diversi processi e scenari di pericolo (tempo di ritorno).

## 2.7. Controllo dei dati

L'applicazione controlla che i valori specificati dall'utente siano conformi all'intervallo di valori previsto. Se necessario, viene visualizzato un messaggio di errore direttamente sotto il campo interessato.

## 2.8. Controllo dei risultati

Lo strumento Riskko è disponibile gratuitamente e in accesso libero. **Ogni utente è responsabile del controllo e della verifica dei risultati ottenuti.** Gli sviluppatori e i cantoni promotori non si assumono alcuna responsabilità per l'accuratezza delle formule utilizzate o dei risultati ottenuti. Gli aggiornamenti vengono effettuati periodicamente, ma possono permanere differenze tra i risultati ottenuti con Riskko e quelli ottenuti con gli strumenti EconoMe dell'UFAM. È responsabilità dell'utente contattare preventivamente il cantone di referenza per verificare lo stato d'aggiornamento dell'applicativo.

### 3. Equazioni in Riskko

---

Le equazioni utilizzate in Riskko provengono dalla raccolta di equazioni EconoMe (Bründl et al. 2015, UFAM 2020) con alcuni adattamenti e semplificazioni descritti nella sezione 3.6.

#### 3.1. Probabilità di un evento (frequenza)

Per ogni processo di pericolosità, vengono generalmente definiti diversi scenari  $i$ . Ogni scenario  $i$  è caratterizzato da un periodo di ritorno  $T(i)$  (generalmente 30, 100 e 300 anni), che consente di calcolare la frequenza o la probabilità di un evento  $Frequency(i)$ . In generale, la frequenza è l'inverso del periodo di ritorno. Tuttavia, per tenere conto del fatto che uno scenario  $i$  è incluso nello scenario con il periodo di ritorno maggiore  $i+1$ , la frequenza del periodo di ritorno maggiore viene sottratta (Eq. 1):

$$Frequency(i) = \begin{cases} 1/T(i) - 1/T(i+1), & i < \max i \\ 1/T(i), & i = \max i \end{cases} \quad (1)$$

Anche lo scenario trentennale, che corrisponde all'evento maggiore che si verifica, in media, una volta ogni 30 anni, include eventi che superano la soglia di intensità fissata per lo scenario centenario. Pertanto, per non considerare più volte gli scenari nel calcolo del rischio, la frequenza utilizzata per lo scenario trentennale diventa (Eq. 2):

$$Frequency(30) = 1/30 - 1/100 = 0.0233 \quad (2)$$

Per lo scenario con il periodo di ritorno massimo, questa correzione non viene effettuata e la frequenza corrisponde direttamente all'inverso del periodo di ritorno.

##### 3.1.1. Correzione lineare

La correzione di frequenza presentata sopra è abbastanza corretta e ci permette di lavorare in modo paragonabile con un numero variabile di scenari. Tuttavia, l'utilizzo di tempi di ritorno di 30, 100 e 300 anni invece delle classi 0-30, 30-100 e 100-300 anni tende a sottostimare il rischio, poiché il potenziale di danno dello scenario  $i$  viene utilizzato per l'intero periodo fino allo scenario  $i+1$ . Questo effetto è illustrato nella Figura 2, dove si può notare che l'ammontare del danno dello scenario trentennale si applica per il periodo da 30 a 100 anni, quello dello scenario centenario si applica tra 100 e 300 anni, e quello dello scenario trecentenario si applica oltre i 300 anni (area definita in giallo).

Attivando la modalità "Correzione lineare" nella sezione **Progetto** di Riskko si aggiungono le aree delineate in rosso nella Figura 2, definite da un'interpolazione lineare tra i punti definiti per i rispettivi scenari. Questa correzione lineare viene utilizzata per calcolare i rischi nelle equazioni 5, 12 e 13 con un operatore booleano  $c_{lin}$  (0 = falso, 1 = vero). **Va notato che l'uso di questa correzione lineare non è conforme a EconoMe e non è attualmente raccomandato dai cantoni sviluppatori.**

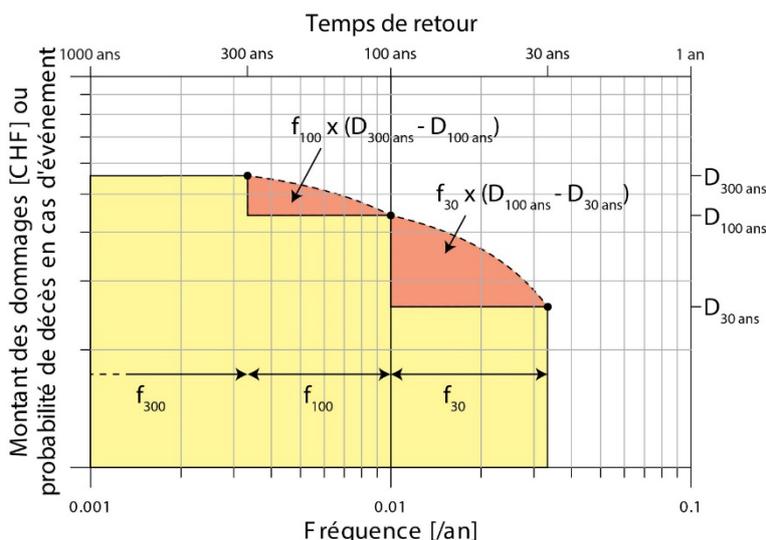


Figura 2: Illustrazione della sottostima del rischio derivante dall'uso di tempi di ritorno di 30, 100 e 300 anni e della correzione lineare proposta. Si veda il testo per le spiegazioni dettagliate (Figura tratta dal manuale Valdorisk 2.0, UNIL 2020).

### 3.1.2. Frequenza di occorrenza in un luogo determinato

Il tempo di ritorno dello scenario corrisponde generalmente al tempo di ritorno iniziale, ma la zona di intensità delimitata non è necessariamente interessata nella sua totalità. Per approssimare la frequenza di accadimento, si utilizza la probabilità di accadimento spaziale (PrA) (Figura 3).

I valori tipici di probabilità di accadimento spaziale forniti da EconoMe sono utilizzati in modalità automatica, mentre in modalità manuale l'utente può specificare i valori di PrA per ogni oggetto, scenario e variante di misura di protezione nella sezione **Intensità**. La pagina di [documentazione di EconoMe](#) (UFAM 2024) fornisce ulteriori informazioni, esempi e un metodo dettagliato per la PrA dei processi di crollo.

La probabilità di accadimento spaziale viene utilizzata per calcolare il rischio materiale (Eq. 3) e il rischio umano (Eq. 6, 7 e 10).

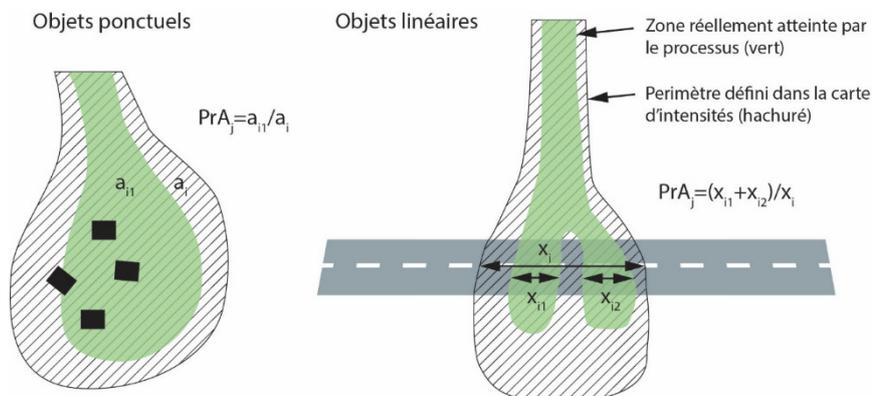


Figura 3: Probabilità di accadimento spaziale per oggetti puntuali e lineari (Figura tratta dal manuale Valdorisk 2.0, UNIL 2020).

## 3.2. Potenziale di danno e rischio per beni materiali

Per calcolare il rischio materiale, si utilizza lo stesso approccio per tutte le categorie di oggetti (edifici, strade, linee elettriche, terreni agricoli, ecc.). Le equazioni riportate nelle sezioni successive sono valutate separatamente per ogni scenario  $i$  e per ogni oggetto  $j$ .

### 3.2.1. Danni potenziali

In accordo con le equazioni di EconoMe, in primo luogo è necessario calcolare il potenziale di danno materiale  $DamageMat(i,j)$  (Eq. 3) :

$$DamageMat(i,j) = PrA(i,j) \cdot Vulnerability(i,j) \cdot (1 - PrProt(i,j)) \cdot ValueUnit(j) \cdot NbUnits(j) \quad (3)$$

Con  $PrA(i,j)$  = probabilità di accadimento spaziale dell'oggetto  $j$  nello scenario  $i$ ,  $Vulnerability(i,j)$  = vulnerabilità dell'oggetto  $j$  nello scenario  $i$ ,  $ValueUnit(j)$  = valore unitario dell'oggetto  $j$ ,  $NbUnits(j)$  = numero di unità considerate per l'oggetto  $j$ <sup>1</sup> e  $PrProt(i,j)$  = fattore di protezione o probabilità di protezione dell'oggetto  $j$  nello scenario  $i$ <sup>2</sup>.

### 3.2.2. Vulnerabilità

Il parametro  $Vulnerability(i,j)$  è indicato per ogni oggetto e scenario (valore predefinito o manuale). Per gli oggetti lineari e di superficie utilizzando la modalità composita, la vulnerabilità è calcolata come media ponderata delle vulnerabilità  $Vuln$  per intensità bassa, media e alta per la lunghezza  $L(x)$  (o rispettivamente la superficie  $S(x)$ ) di ciascuno di questi livelli di intensità  $x$  (Eq. 4):

$$Vulnerability(i,j) = \frac{Vuln(low) \cdot L(low) + Vuln(medium) \cdot L(medium) + Vuln(high) \cdot L(high)}{L(low) + L(medium) + L(high)} \quad (4)$$

### 3.2.3. Rischio materiale

Infine, il rischio materiale  $RiskMat(i,j)$  dell'oggetto  $j$  nello scenario  $i$  è calcolato moltiplicando il potenziale di danno materiale  $DamageMat(i,j)$  con la frequenza dello scenario  $Frequency(i)$ . Quando si attiva la correzione lineare (si veda il capitolo 3.1.1), si utilizza il danno materiale medio degli scenari  $i$  e  $i+1$  (Eq. 5):

$$RiskMat(i,j) = \begin{cases} Frequency(i) \cdot \frac{DamageMat(i,j) + c_{lin} \cdot DamageMat(i+1,j)}{1 + c_{lin}} & \text{si } i < \max i \\ Frequency(i) \cdot DamageMat(i,j) & \text{si } i = \max i \end{cases} \quad (5)$$

Con  $Frequency(i)$  = frequenza dello scenario  $i$  (secondo l'Eq. 1) e  $c_{lin}$  = operatore booleano per la correzione lineare (0 = falso, 1 = vero).

<sup>1</sup> Per gli oggetti lineari non si prende in considerazione la lunghezza totale, ma la somma delle lunghezze delle sezioni con intensità bassa, media o alta, ossia  $L(low) + L(medium) + L(high)$  (come nell'equazione 4).

<sup>2</sup> La probabilità di protezione  $ProbProt(i,j)$  non è attualmente implementata in Riskko ed è impostata a 0 per definizione (si veda la sezione 3.6.2).

### 3.3. Potenziale di danno e rischio alle persone

Per il calcolo del rischio umano, viene utilizzato lo stesso principio di calcolo per tutte le categorie di oggetti con presenza di persone (cioè tutte tranne *Traffico ferroviario*<sup>3</sup>, *Linee e condotte e Agricoltura, foreste e spazi verdi*, per i quali il rischio individuale e umano è uguale a 0 per definizione secondo EconoMe). Il modo in cui vengono calcolate la letalità e l'esposizione (probabilità di presenza) delle persone differisce tra le categorie di oggetti, come descritto di seguito.

#### 3.3.1. Danni potenziali

Per analogia con il rischio materiale, in primo luogo è necessario calcolare il potenziale di danno individuale secondo l'Eq. 6 per tutti gli oggetti puntuali o secondo l'Eq. 7 per il *Traffico stradale* e gli *Impianti di risalita*:

$$DamageInd(i,j) = PrA(i,j) \cdot \lambda(i,j) \cdot Exp(i,j) \cdot (1 - PrEvac(i,j)) \quad (6)$$

Con  $PrA(i,j)$  = probabilità di accadimento spaziale dell'oggetto  $j$  nello scenario  $i$ ,  $\lambda(i,j)$  = letalità delle persone nell'oggetto  $j$  nello scenario  $i$ ,  $Exp(i,j)$  = probabilità che una persona si trova nell'oggetto  $j$  al momento dell'evento  $i$ ,  $PrEvac(i,j)$  = probabilità di evacuazione o chiusura preventiva dell'oggetto  $j$  nello scenario  $i$ <sup>4</sup>.

$$DamageInd(i,j) = (PrA(i,j) \cdot \lambdaDir(i,j) \cdot ExpDir(i,j) + \lambdaColl(i,j) \cdot ExpCollTot(i,j)) \cdot (1 - PrEvac(i,j)) \quad (7)$$

Con  $\lambdaDir(i,j)$  = letalità delle persone in un impatto diretto,  $ExpDir(i,j)$  = esposizione di una persona a un impatto diretto,  $\lambdaColl(i,j)$  = letalità delle persone in una collisione con l'evento,  $ExpCollTot(i,j)$  = esposizione di una persona a una collisione con l'evento.

#### Letalità

Per gli oggetti puntuali (edifici, ecc.), la letalità  $\lambda(i,j)$  è un parametro dell'oggetto che può essere modificato dall'utente nella sezione **Oggetti** di Riskko. I valori standard di EconoMe sono proposti per default.

Per il *Traffico stradale*, la letalità è determinata per due scenari:

- 1) L'impatto diretto del pericolo sul veicolo: la letalità diretta  $\lambdaDir(i,j)$  è indicata nelle tabelle dei valori standard di EconoMe per i diversi processi di pericolo e livelli di intensità. Questi valori possono essere modificati dall'utente nella sezione **Oggetti** di Riskko. Per le strade a modalità composita, la letalità  $\lambdaDir(i,j)$  è calcolata come media ponderata delle sezioni con diverse intensità, allo stesso modo della vulnerabilità per il rischio materiale (Eq. 4).

<sup>3</sup> L'attuale strumento Riskko non consente il calcolo del rischio individuale e umano per il traffico ferroviario, che richiede l'uso di EconoMe (si veda la sezione 3.6.1).

<sup>4</sup> La probabilità di evacuazione o di chiusura preventiva  $ProbEvac(i,j)$  non è attualmente implementata in Riskko ed è impostata a 0 per definizione (cfr. sezione 3.6.3).

- 2) La collisione (urto) di un veicolo contro l'accumulo di materiale: secondo EconoMe 5.1 la letalità da collisione  $\lambda_{Coll}(i,j)$  è fissata a 0.0066 per le intensità medie o alte e a 0 per le intensità basse o nulle, tranne che per i fenomeni di scivolamenti permanenti (SP I) dove è sempre uguale a 0. Per le strade in modalità composita, la letalità  $\lambda_{Coll}(i,j)$  è anch'essa calcolata come media ponderata delle sezioni con diverse intensità, allo stesso modo della vulnerabilità per il rischio materiale (Eq. 4).

Per gli *Impianti di risalita*, si considera solo la letalità da impatto diretto  $\lambda_{Dir}(i,j)$ . La letalità da collisione  $\lambda_{Coll}(i,j)$  è quindi impostata a 0.

### Esposizione

Per gli oggetti puntuali (edifici ecc.), l'esposizione  $Exp(j)$  è un parametro dell'oggetto che può essere modificato dall'utente nella sezione **Oggetti** di Riskko. Per gli edifici residenziali, il valore standard di EconoMe è 0.8.

Per il *Traffico stradale*, l'esposizione delle persone nei veicoli è calcolata per due scenari:

- 1) L'impatto diretto del pericolo sul veicolo: l'esposizione diretta  $ExpDir(i,j)$  corrisponde alla percentuale di un giorno in cui un veicolo si trova nella zona di impatto diretto secondo l'equazione 8:

$$ExpDir(i,j) = \frac{L(low)+L(medium)+L(high)}{v(j) \cdot 24000} \quad (8)$$

Con  $L(x)$  = lunghezza della strada esposta all'intensità  $x$  in m,  $v(j)$  = velocità in km/h

- 2) La collisione (urto) di un veicolo contro i depositi del pericolo: l'esposizione a una collisione è composta da due elementi: a) l'impatto entro la distanza di arresto del veicolo  $ExpCollBrake(j)$  (Eq. 9) e b) l'impatto contro i depositi quando il veicolo non si trovava né nella zona di impatto diretto né nella zona di arresto  $ExpCollOther(i,j)$  (Eq. 10). Queste due esposizioni vengono poi combinate in un'esposizione totale alla collisione  $ExpCollTot(i,j)$  che tiene conto anche della probabilità di avviso a distanza  $pADist$  (Eq. 11):

$$ExpCollBrake(j) = \frac{1+v(j)/(2 \cdot 3.6 \cdot a)}{86400} = \frac{1+v(j)/50.4}{86400} \quad (9)$$

$$ExpCollOther(i,j) = \max(0; 1/AADT - (PrA(i,j) * ExpDir(j) + ExpCollBrake(j))) \quad (10)$$

$$ExpCollTot(i,j) = ExpCollBrake(j) + (1 - pADist) \cdot ExpCollOther(i,j) \quad (11)$$

Con  $v(j)$  = velocità in km/h,  $a$  = decelerazione di frenata (fissata a 7 m/s<sup>2</sup> secondo EconoMe),  $AADT$  = traffico giornaliero medio annuo (*annual average daily traffic*),  $PrA(i,j)$  = probabilità di accadimento spaziale dell'oggetto  $j$  nello scenario  $i$ ,  $pADist$  = probabilità di avviso a distanza (impostata a 0.5 secondo EconoMe per le strade senza sistema di avviso; questo valore era precedentemente impostato a 0.999 in Valdorisk 2.1).

Per gli *Impianti di risalita* viene considerata solo l'esposizione all'impatto diretto  $ExpDir(i,j)$  (Eq. 8). L'esposizione totale a una collisione  $ExpCollTot(i,j)$  è quindi impostata a 0.

### 3.3.2. Rischio individuale

Per calcolare il rischio individuale di una persona dell'oggetto  $j$  nello scenario  $i$ , il potenziale di danno individuale viene combinato con la frequenza dello scenario e il numero di passaggi giornalieri della stessa persona. Quando la correzione lineare è attivata (si veda capitolo 3.1.1), si utilizza la media dei danni individuali degli scenari  $i$  e  $i+1$  (Eq. 12):

$$RiskInd(i,j) = \begin{cases} Frequency(i) \cdot \frac{DamageInd(i,j) + c_{lin} \cdot DamageInd(i+1,j)}{1 + c_{lin}} \cdot NbPassages(j) & \text{si } i < \max i \\ Frequency(i) \cdot DamageInd(i,j) \cdot NbPassages(j) & \text{si } i = \max i \end{cases} \quad (12)$$

Con  $Frequency(i)$  = frequenza dello scenario  $i$  (secondo l'Eq. 1),  $NbPassages(j)$  = numero di passaggi giornalieri della stessa persona e  $c_{lin}$  = operatore booleano per la correzione lineare (0 = falso, 1 = vero).

### 3.3.3. Rischio umano

Il rischio umano, espresso in morti per anno, viene calcolato in modo analogo al rischio individuale (Eq. 12), ma questa volta considerando il numero totale di persone  $HumansTotal(j)$  nell'oggetto  $j$ . Per gli oggetti fissi (edifici ecc.), questo numero viene inserito dall'utente nella sezione **Oggetti**, oppure viene calcolato automaticamente moltiplicando il numero di unità abitative per 2.24 persone/abitazione. Per il *Traffico stradale* e gli *Impianti di risalita*, il numero totale di persone è calcolato da (Eq. 13):

$$HumansTotal(j) = HumansUnit(j) \cdot AADT(j) \quad (13)$$

Con  $HumansUnit(j)$  = numero di persone per unità dell'oggetto  $j$  (ad es. valore predefinito di 1.76 persone per veicolo),  $AADT(j)$  = traffico giornaliero medio sull'oggetto  $j$ .

Per il rischio umano in morti per anno (Eq. 14) e infine per il rischio umano in CHF/anno (Eq. 15) utilizziamo:

$$RiskHuman(i,j) = \begin{cases} Frequency(i) \cdot \frac{DamageInd(i,j) + c_{lin} \cdot DamageInd(i+1,j)}{1 + c_{lin}} \cdot HumansTotal(j) & \text{si } i < \max i \\ Frequency(i) \cdot DamageInd(i,j) \cdot HumansTotal(j) & \text{si } i = \max i \end{cases} \quad (14)$$

$$RiskHumanCHF(i,j) = RiskHuman(i,j) \cdot VSL \quad (15)$$

Con  $Frequency(i)$  = frequenza dello scenario  $i$  (secondo l'Eq. 1),  $HumansTotal(j)$  = numero totale di persone nell'oggetto  $j$ ,  $c_{lin}$  = operatore booleano per la correzione lineare (0 = falso, 1 = vero) e  $VSL$  = valore statistico d'una vita fissato a 6.6 milioni CHF secondo EconoMe 5.1 (*value of statistical life*).

### 3.4. Rischio collettivo

Il rischio totale o collettivo per l'oggetto  $j$  nello scenario  $i$  corrisponde alla somma del rischio materiale  $RiskMat(i,j)$  e del rischio umano  $RiskHumanCHF(i,j)$  (Eq. 16):

$$RiskCollective(i,j) = RiskMat(i,j) + RiskHumanCHF(i,j) \quad (16)$$

### 3.5. Misure di protezione

#### 3.5.1. Costo annuale delle misure

In Riskko, il costo annuale totale di una misura di protezione è calcolato come in EconoMe (Eq. 17):

$$C_{tot} = C_{exp} + C_{maint} + C_{rep} + \frac{(I_0 - I_n)}{n} + \frac{(I_0 + I_n)}{2} \cdot \frac{p}{100} \quad (17)$$

Con  $C_{exp}$  = il costo operativo (ad esempio illuminazione, ventilazione o esplosivi),  $C_{maint}$  = il costo di manutenzione,  $C_{rep}$  = il costo di riparazione,  $n$  = la durata dell'effetto protettivo della misura (durata di vita),  $I_0$  = l'investimento iniziale,  $I_n$  = il valore residuo dopo  $n$  anni e  $p$  = il tasso di interesse (in %).

#### 3.5.2. Rapporto benefici/costi

Per misurare l'efficacia e la redditività economica di una misura di protezione, Riskko utilizza lo stesso approccio di EconoMe. Il rischio collettivo totale per tutti gli oggetti  $j$  e gli scenari  $i$  dopo le misure (rischio residuo  $R_r$ ) viene confrontato con il rischio collettivo totale iniziale ( $R_0$ ) e il costo totale annuo della misura  $C_{tot}$  (Eq. 18):

$$BCR = \frac{R_0 - R_r}{C_{tot}} \quad (18)$$

La misura è considerata efficace dal punto di vista dei costi se  $BCR \geq 1$ . Se  $BCR < 1$ , la misura non è economicamente vantaggiosa, ma può essere necessaria per ridurre il rischio individuale, oppure può essere socialmente giustificata.

### 3.6. Adattamenti e modifiche rispetto a EconoMe

Alcune semplificazioni delle equazioni di Riskko possono causare piccole differenze con i risultati di EconoMe, in particolare per i vari motivi illustrati di seguito.

#### 3.6.1. Rischio umano per il *Traffico ferroviario*

Il calcolo del rischio legato al traffico ferroviario in EconoMe è molto complesso e differisce notevolmente dal calcolo per altri oggetti lineari. Poiché l'uso di EconoMe è sistematicamente richiesto per qualsiasi progetto che coinvolga linee ferroviarie, si è deciso di non implementare il calcolo del rischio umano legato al traffico ferroviario in Riskko. Tuttavia, è ancora possibile calcolare il rischio materiale per gli oggetti ferroviari fissi (binari, strutture ingegneristiche, ecc.).

#### 3.6.2. Rischio per oggetti fissi

Il parametro di EconoMe "Fattore di protezione dell'oggetto fisso (edificio, oggetto speciale) nello scenario  $i$ " è impostato a 0 in Riskko e attualmente non può essere modificato dall'utente.

### 3.6.3. Rischio per *Traffico stradale*

I parametri di EconoMe “Probabilità di chiusura preventiva della strada nello scenario *i*” e “Probabilità di accadimento di un evento nell’area stradale nello scenario *i*” sono impostati rispettivamente a 0 e 1 in Riskko e non possono attualmente essere modificati dall’utente. Il parametro “Probabilità di avviso a distanza” è impostato a 0.5 (corrispondente al valore predefinito in EconoMe 5.1 per le strade senza sistema di allarme).

## 4. Bibliografia

---

Bründl, M., Ettl, L., Burkard, A., Oggier, N., Dolf, F., & Gutwein, P. (2015). EconoMe, Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren, Formelsammlung.

UFAM (2020) Formelsammlung EconoMe, Stand: 7. Juli 2020. Ufficio federale dell'ambiente, Berna, 58 p.

UFAM (2024) EconoMe 5.1, L'efficacia e l'economicità delle misure di protezione contro i pericoli naturali - Documentazione EconoMe-Wiki. Ufficio federale dell'ambiente, Berna, [https://econome.ch/eco\\_work/eco\\_wiki\\_main.php](https://econome.ch/eco_work/eco_wiki_main.php)

UNIL (2020) Valdorisk 2.0, Calculateur de risque pour les dangers naturels basé sur EconoMe 5.0, Manuel. Université de Lausanne, 21 p.