

VALUTAZIONE DELLA RESILIENZA OTTIMALE DELLE INFRASTRUTTURE  
VULNERABILI - STUDIO SULLA RIDUZIONE SOSTENIBILE DELLA  
VULNERABILITÀ DEL CORRIDOIO DI TRANSITO DEL SAN GOTTARDO

Mirko BARUFFINI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Istituto Scienze della Terra IST-SUPSI, C.P. 72, CH-6902, Canobbio

**SOMMARIO**

La presenza di reti infrastrutturali affidabili è una premessa indispensabile per il buon funzionamento di una società e di una economia moderne. Eventi come un black out sulla rete ferroviaria delle FFS o la chiusura dell'autostrada del San Gottardo a causa di frane e smottamenti lo hanno dimostrato anche al largo pubblico. Il progetto intende studiare i vari rischi naturali in base ad un approccio interdisciplinare, valutando i possibili danni per mezzo di criteri di rischio e andando a rilevare la fattibilità di possibili misure destinate a ridurre i danni potenziali. Sul piano metodologico il progetto consta di una parte geoscientifica e di una parte applicativa. La parte geoscientifica studia i pericoli (naturali) e i relativi rischi sotto il profilo della vulnerabilità delle infrastrutture. Nella parte applicativa le diverse aree di pericolo (intersecate logicamente con le infrastrutture di trasporto) vengono messe a confronto con i valori esposti per l'ottenimento di un'indicazione del deficit. Sono proposte anche analisi di tipo quantitativo (anche se solo a scopo accademico) secondo quanto esposto nelle direttive federali esaminate. In tal modo il progetto sviluppa una metodologia che rende possibile una analisi di rischio in vista di una ottimizzazione della vulnerabilità delle infrastrutture.

Lavoro svolto nell'ambito del progetto  PNR 54 «Sviluppo sostenibile dell'ambiente costruito».

## **1 INTRODUZIONE**

Il trasporto di merci e di persone attraverso le Alpi, da sempre considerate un ostacolo naturale per gli scambi tra il nord e il sud Europa, subisce in questi anni un'evoluzione radicale. Nuovi investimenti, forme di regolazione e problemi quotidiani rendono difficile una visione chiara delle condizioni attuali e future di viabilità in questa regione.

Le Alpi rappresentano infatti un importantissimo ecosistema naturale, che deve essere necessariamente gestito secondo principi di sviluppo sostenibile, per una tutela efficace degli interessi economici, sociali e culturali delle popolazioni residenti, oltre che degli interessi propriamente “ambientali”, che muova verso una fusione delle diverse specificità in una identità necessariamente definita da caratteri sovranazionali.

In aggiunta, le Alpi rivestono una notevole importanza anche per le regioni limitrofe, in maniera essenziale appunto in quanto esse sono attraversate storicamente da grandi e importanti vie di comunicazione.

D'altra parte le Alpi hanno, da sempre, un rapporto conflittuale con il traffico. La necessità di sviluppare collegamenti efficienti in un territorio difficile urta infatti con l'esigenza di garantire la sicurezza dei viaggiatori e la salute della popolazione residente.

Recenti eventi di interruzione del flusso di traffico nel territorio alpino, con conseguenti gravi effetti negativi sul sistema socio-economico interessato, dimostrano che la valutazione della resilienza delle infrastrutture di trasporto assume un interesse prioritario per la gestione sostenibile del sistema di trasporto transalpino.

## **2 IL CORRIDOIO DEL SAN GOTTARDO: UN'AREA CRITICA**

Nella scorsi decenni gli insediamenti e le infrastrutture di trasporto hanno conosciuto una forte crescita e per il loro sviluppo sono stati investiti miliardi.

Per tutti i maggiori progetti concernenti i trasporti sono stati eseguiti studi sulle valutazioni preliminari dell'impatto futuro di ciascuno di essi, seguendo per lo più i modelli in uso rappresentati molto spesso dalla cosiddetta valutazione ex-ante.

Tali valutazioni sono molto spesso incentrate sulle tematiche dell'economia, dell'ambiente e dell'andamento del traffico ma molto raramente, almeno nel quadro delle mere valutazioni preliminari, vengono considerati i possibili effetti di vasta scala dovuti ad un'interruzione, anche solo parziale, dell'infrastruttura di trasporto. Solo la considerazione delle effettive ripercussioni permette infatti di comprendere le relazioni esistenti tra le diverse componenti del territorio considerato, comprensione che risulta essere necessaria per la formulazione di raccomandazioni affidabili per la pianificazione di opere future o, ancor più, per la gestione di quelle esistenti.

Un esempio di corridoio viabilistico toccato da tale importante problematica è sicuramente quello del Gottardo.

Esso costituisce un ampio sistema infrastrutturale, generalmente omogeneo per caratteri tecnici e localizzativi ed idealmente collegato nei singoli elementi in un vasto sistema trasportistico di scala transnazionale. Tale corridoio, logicamente determinato dal contesto geografico scelto, rappresenta l'area presa in esame nel presente lavoro.

## *2.1 La definizione del problema*

Gli argomenti relativi alla vulnerabilità delle infrastrutture hanno ricevuto grande attenzione in particolar modo dopo gli eventi tragici del settembre 2001 (attacco terroristico alle Torri gemelle) ma più specificatamente l'interesse verso le infrastrutture di trasporto, a livello europeo, è cresciuto dopo gli eventi del marzo 1999 (incendio nel tunnel del Monte Bianco), dell'ottobre 2001 (incendio nel tunnel del san Gottardo) e, perlomeno a livello svizzero, del giugno 2006 (caduta massi sulla A2 con vittime poco dopo l'uscita nord del tunnel autostradale del Gottardo).

In Europa la necessità di ottenere degli approfondimenti nello studio delle infrastrutture critiche è stato riconosciuto negli ultimi anni anche a livello politico.

Un paper recentemente presentato dalla Commissione Europea (Commissione Europea, 2005) tratta le diverse opzioni politiche per ottenere un Programma per la protezione delle infrastrutture critiche. La sicurezza e la vulnerabilità delle infrastrutture critiche sono in ogni caso viste come elementi fondamentali della sicurezza nazionale svizzera (Bundesamt für Bevölkerungsschutz, 2005).

Nel recente passato grandi progressi sono stati fatti nella valutazione dei pericoli naturali perlomeno a scala naturale, in particolare per alluvioni e frane.

Sono stati analizzati rischi individuali di tipo naturale o tecnologico (Bundesamt für Bevölkerungsschutz, 2003). Esempi di analisi di vulnerabilità del sistema trasportistico a scala regionale sono stati presentati da (Verter, Kara, 2001).

Anche la Regione Lombardia, con il Programma Regionale di Prevenzione e Previsione, previsto dalla recente legge l.r. n. 16/04, che coordina le politiche regionali per la prevenzione dei rischi sul territorio, intende nei fatti costituire un nuovo "Sistema Integrato di Sicurezza" sul territorio lombardo (Consiglio Regionale Regione Lombardia, 2005, p. 38).

«Con il PRIM la Regione costruisce su nuove basi le politiche regionali e necessarie in materia di sicurezza e individua alcune grandi scelte: confrontarsi in forme più appropriate con le caratteristiche del contesto in cui le politiche di sicurezza sono esercitate, rispondere alla sollecitazione presente nelle società complesse e avanzate, come quella lombarda [...] fare della sicurezza una politica esercitata e sostenuta da un ampio e articolato fronte interistituzionale» (Consiglio Regionale Regione Lombardia, 2008, p.32).

In particolare, la situazione viabilista sull'asse del Gottardo è divenuta negli ultimi anni specialmente intensa. Tutto ciò ha generato, come è ovvio, una situazione di maggiore esposizione di valore di beni sulla rete trasportistica relativa.

Un nodo particolarmente critico del corridoio sembra essere il tunnel autostradale del San Gottardo che, nei suoi 17 km di lunghezza, viene attraversato ogni giorno da più di 10.000 veicoli, tra cui 3.500 camion. Nei weekend si contano addirittura tra i 12.000 e i 13.000 veicoli al giorno e nel periodo tra luglio e agosto passano quotidianamente dal Gottardo tra i 40.000 e 50.000 veicoli.

Il peggior scenario potrebbe essere rappresentato dal collasso con relativa chiusura dell'A2 dall'inizio dell'estate fino a settembre: gli altri assi alpini (alternative al Gottardo sono offerte dalla A13 del San Bernardino, dal Monte Bianco, dal Sempione e dal Gran San Bernardo) dovrebbero assorbire i 40-50 mila veicoli circolanti lungo l'autostrada del San Gottardo. Tale scenario, anche se caratterizzato da una probabilità di accadimento molto bassa, è tuttavia possibile e gli effetti che potrebbe avere sarebbero sicuramente devastanti per una grossa fetta del sistema economico dell'area compresa tra la Baviera e il Baden-Württemberg a nord e la pianura padana a sud.

Basti dire che durante il periodo di chiusura della A2 nel 2006 (per circa un mese) il traffico pesante che attraversava la Svizzera dovette essere assorbito per metà dagli assi di transito austriaci e francesi. Il San Bernardino fu sfruttato al 200% e gli altri passi (Sempione e Gran San Bernardo) registrarono un traffico pesante fino a sei volte superiore alla norma.

Anche il traffico ferroviario può essere interessato da black out che determinerebbero effetti altamente negativi. Durante l'estate del 2005 sugli assi del San Gottardo e del Lötschberg il traffico ferroviario rimase bloccato a causa di una violenta ondata di maltempo. Gli effetti della sospensione dell'operatività della linea nord-sud ebbero dei riflessi altamente negativi sulla circolazione ferroviaria nell'intera area compresa tra Zurigo e Milano.

Non è da dimenticare poi che l'apertura delle nuove direttrici previste (rappresentate essenzialmente dalle Nuove trasversali ferroviarie alpine, costituite in particolare dalle gallerie di base del Lötschberg e del San Gottardo) avverrà però solo gradualmente, a cominciare dal binario unico sul nuovo traforo del Lötschberg già inaugurato nel giugno 2007 e successivamente del San Gottardo e Monte Ceneri, probabilmente solo nel 2017-2018.

Pertanto, al momento attuale, una valutazione chiara e precisa della resilienza non è disponibile ad un livello approfondito.

Si può quindi descrivere sinteticamente il problema che è stato affrontato nell'applicazione pratica come segue:

*l'accadimento di fenomeni di tipo catastrofico, che potrebbero portare ad un black out della rete viabilistica del corridoio del San Gottardo, interagendo con il particolare sistema infrastrutturale e viabilistico che caratterizza in particolare la regione compresa tra Lucerna*

*a nord e Chiasso a Sud, potrebbe generare tutta una serie di conseguenze negative sulle cose, le attività e l'ambiente del sistema socioeconomico e territoriale di una vasta regione, di difficile stima e quantificazione a causa delle molteplici modalità attraverso le quali i fenomeni catastrofici si possono manifestare o delle diverse politiche e azioni che possono essere messe in pratica dalla molteplicità dei soggetti decisionali coinvolti per prevenire, ove possibile, o far fronte all'accadimento di tali fenomeni.*

La situazione futura relativa alla chiara definizione di tali importanti implicazioni permane, infatti, malgrado gli sforzi compiuti a diversi livelli istituzionali e politici, nebulosa e quindi insoddisfacente per molti degli attori coinvolti nella definizione delle scelte future, che non possono valutare puntualmente gli effetti delle azioni proposte e che si trovano quindi addirittura a volte in una situazione di stallo decisionale.

«Allo scopo di rendere effettive le previsioni di sviluppo infrastrutturale è essenziale costruire adeguate sinergie con tutte le politiche che producono effetti sul territorio e che costituiscono opportunità di crescita delle comunità lombarde.» (Consiglio Regionale Regione Lombardia, 2005, p. 38).

Nei fatti tramite una coordinazione basata su analisi di tipo scientifico, è possibile porre rimedio a tali lacune conoscitive.

L'analisi e la valutazione di questo problema consiste quindi nel proporre e nel testare metodi per il calcolo del rischio e della vulnerabilità del sistema e nella descrizione di alcune azioni possibili di intervento, che possano in qualche modo creare una conoscenza di base interpretabile come un aiuto alla decisione per il miglioramento della condizione futura.

Lo scopo della parte applicativa è dunque stato quello di sperimentare le nuove tecniche di valutazione del rischio basate anche sull'utilizzo di strumenti informatici per l'analisi territoriale, studiando esemplificativi casi concreti.

### **3 IL SAN GOTTARDO E GLI IMPATTI DAL CARATTERE STRAORDINARIO DOVUTI A PERICOLI NATURALI**

La drammatica caduta massi di Gurtnehlen del 2006 è solamente un esempio di quanto il corridoio viabilistico del San Gottardo sia potenzialmente vulnerabile ad eventi naturali di forte intensità che, anche se caratterizzati da elevati periodi di ritorno e pertanto da basse probabilità di accadimento, possono causare importanti e dannosissimi black out sul corridoio viabilistico in esame.

### *3.1 Pericoli naturali e corridoio del San Gottardo: l'incidente di Gurnellen*

Un grave incidente avvenne il 31 maggio 2006 a sud della galleria del Gütli, nei pressi del portale nord del tunnel autostradale del San Gottardo, durante il quale dalla parete rocciosa si staccarono circa 10.000 metri cubi di massi, alcuni dei quali si riversarono sull'autostrada A2 e sulla strada cantonale; i tratti stradali interessati vennero chiusi al traffico per motivi di sicurezza. Due turisti tedeschi diretti a sud morirono carbonizzati all'interno della loro auto, colpita da un sasso che scatenò le fiamme. Rimasero illesi invece due camionisti italiani.

Dopo i necessari lavori preliminari, il 23 giugno 2006 si procedette al brillamento della parete rocciosa pericolante presso il Gütli. Successivamente alle operazioni di controllo e di sgombero, il 30 giugno 2006 il tratto di A2 e la strada cantonale vennero nuovamente aperti al traffico. Tra l'8 e il 30 giugno 2006, tra le ore 6 e le ore 21, solo alcuni veicoli furono autorizzati a percorrere il tratto a rischio della strada cantonale, mentre, considerato il volume di traffico, tali modalità di circolazione furono ritenute (e lo sono tuttora) impossibili da realizzare sulla A2 che pertanto rimase completamente chiusa al traffico dal 31 maggio al 30 giugno 2006.



*Figura 1* Un'immagine del drammatico incidente accaduto a Gurnellen il 31 maggio 2006. Il masso che ha causato vittime è quello presente sulla destra della foto. Fonte: <http://www.meteoradar.ch>, visitato 06/2009

I giorni successivi al crollo si manifestarono anche grossi disagi lungo la corsia est dell'autostrada dei laghi (A9) a seguito della chiusura a singhiozzo della dogana commerciale di Brogeda.

I mezzi pesanti diretti in Svizzera furono obbligati ad uscire a Como sud per raggiungere il piazzale LarioTir di Lazzago (insufficiente per la gestione dell'emergenza). Oltre duecento furono i mezzi pesanti bloccati in autostrada fra Lomazzo e il casello di Grandate. Per evitare di appesantire la situazione i mezzi pesanti vennero bloccati anche a Milano, lungo le tangenziali del capoluogo lombardo.

### *3.2 La vulnerabilità del corridoio del San Gottardo*

Il corridoio viabilistico del San Gottardo ha subito negli ultimi anni, come detto, soprattutto per quanto riguarda il traffico stradale sulla A2, un importante aumento dei passaggi giornalieri di persone e merci. L'evoluzione osservata dimostra che il valore dei beni esposti (valutabili in termini monetari o in termini delle ben più importanti vite umane) ha raggiunto oramai un livello critico che ha portato ad un aumento non indifferente della vulnerabilità del sistema viabilistico considerato.

L'importanza delle infrastrutture presenti nella valli che salgono verso il massiccio del Gottardo fa sì che la vulnerabilità di questa regione sia elevata e che le conseguenze dell'accadimento di un evento distruttivo sarebbero ingenti. Un danneggiamento grave dell'infrastruttura provocherebbe dei danni materiali che necessiterebbero di interventi di riparazione o ripristino straordinarie. L'inattività dei servizi, a seguito di problemi di funzionamento o di accessibilità, genererebbe delle importanti perdite finanziarie e dei problemi di approvvigionamento in servizi essenziali della regione.

### *3.3 L'analisi del rischio che caratterizza il corridoio del San Gottardo*

L'entità e l'importanza delle infrastrutture presenti nel corridoio infrastrutturale del Gottardo, la possibilità che le stesse siano interessate dall'accadimento di fenomeni naturali di tipo distruttivo e il regime di utilizzo presente che lascia spazio ad ulteriori futuri aumenti di traffico che ne aumenterebbero la vulnerabilità sono degli elementi che giustificano un'analisi del rischio di questa regione.

Gli studi effettuati indicano che delle misure sono già in corso. Del resto, per quanto riguarda l'autostrada, la Confederazione ha ripreso ad inizio 2008 dai cantoni il compito di gestire il traffico sulla rete di strade nazionali. Lo svolgimento congiunto dei compiti in questo settore, in vigore sino all'anno passato, è stato abolito con la nuova impostazione della perequazione finanziaria e della ripartizione dei compiti tra Confederazione e cantoni (NPC). In virtù di questi cambiamenti, la Confederazione sta già realizzando piani di gestione del traffico, che definiscono possibili eventi maggiori, di più lunga durata, e stabiliscono le modalità di gestione del traffico in tali situazioni. I dati raccolti servono già oggi per affrontare casi reali. Non è da dimenticare però che tali dati sono frammentati e in parte lacunosi e comunque non sono assolutamente interfacciati con i sistemi previsti nelle aree confinanti con il corridoio.

Il nostro progetto vuole evidenziare, partendo dagli studi effettuati e i dati disponibili, l'importanza di considerare il rischio nella sua globalità (fenomeno naturale e elementi del sistema umano) e nelle sue interrelazioni con i sistemi viabilistici adiacenti (nord Italia e Svizzera settentrionale).

Il rischio non è una realtà direttamente misurabile, perciò il metodo che abbiamo utilizzato per analizzarlo è l'elaborazione di una applicazione SIG (si veda il cap. 5). L'obiettivo è riunire e strutturare i diversi dati attualmente disponibili per procedere ad un'analisi qualitativa e semi-quantitativa che dia una visione globale del rischio a partire dal corridoio del Gottardo e metta in evidenza possibili carenze conoscitive, tentando di colmarle almeno in piccola parte.

## **4 BASI TEORICHE SULL'ANALISI DI RISCHIO**

Per definire correttamente il piano di lavoro del presente studio è opportuno effettuare una presentazione degli elementi e dei concetti che stanno alla base dello stesso.

Si fornirà quindi una sintetica descrizione dei fenomeni naturali che agiscono maggiormente sull'area in esame e, successivamente, una definizione di quanto è inteso con il concetto di "rischio".

### *4.1 I pericoli naturali*

Con il termine "pericoli naturali" si intendono una serie di eventi che traggono origine da processi naturali di diverso tipo, oppure eventi che risultano essere comunque strettamente legati al manifestarsi degli stessi.

Le frane, le valanghe, le inondazioni o l'erosione dei suoli sono originate dalle forze della natura e si verificherebbero quindi anche senza l'intervento diretto dell'uomo; questi fenomeni naturali hanno però un forte impatto sull'uomo e le sue diverse attività.

Il termine "pericolo" viene infatti a legarsi intimamente al concetto di attività umana, in quanto corrisponde ad esiti disastrosi, rovinosi o addirittura luttuosi nei confronti della comunità.

In particolare, per quanto riguarda il territorio considerato, gli eventi naturali più frequenti possono essere raggruppati in tre categorie principali: instabilità dei pendii (generalmente identificabili con il termine "frane"), alluvioni e valanghe.

Con il termine "instabilità di pendio" o "frana" si intendono tutti quei movimenti, sia profondi, sia superficiali, che si risolvono con la discesa più o meno veloce di masse di terra e roccia di dimensioni anche molto variabili.

Una possibile proposta di classificazione è la seguente:

- Crolli di roccia (caduta sassi): in questo caso il tragitto compiuto dalla massa distaccata avviene prevalentemente nell'aria;
- Ribaltamenti: un fenomeno di ribaltamento è riferito ad una rotazione in avanti di uno o più elementi rocciosi attorno ad un punto, per azione della forza di gravità e/o dell'azione di fluidi e/o delle forze di sollecitazione sismiche;



- Scivolamenti: gli scivolamenti implicano il movimento a blocchi multipli o a blocco singolo per scorrimento lungo una superficie approssimativamente piana o debolmente ondulata (scivolamento traslazionale) oppure lungo una superficie curva (scivolamento rotazionale);
- Espandimenti laterali: gli espandimenti laterali sono movimenti caratterizzati da una modalità di spostamento associabile ad una estensione laterale, realizzata tramite fratture di taglio e/o trazione;
- Deformazioni gravitative profonde di versante (DGPV): la deformazione gravitativa profonda di versante (DGPV) è un movimento di massa complesso, caratterizzato da deformazioni quasi sempre lente e progressive della massa rocciosa, senza la presenza di apprezzabili superfici di rottura continue;
- Tipologia “complessa”: sono fenomeni per i quali, nel corso degli anni, sono state formulate diverse definizioni da parte di diversi autori. Generalmente possono essere definiti come fenomeni il cui movimento risulta dalla combinazione di due o più tipologie di frana. Con il termine “alluvioni” si intendono tutti i diversi fenomeni conseguenti ad eventi meteorologici eccezionali, con la concomitante presenza di particolari fattori climatici e morfologici locali. Gli stessi possono manifestarsi secondo diverse modalità, in particolare possono essere distinti in: flussi di detrito, inondazioni (alluvionamenti o esondazioni) ed erosioni di sponda. In particolare:
  - Flussi di detrito: i flussi di detrito (o, nell’inglese: debris flows) sono delle improvvise pulsazioni di piene torrentizie, che avvengono sostanzialmente in concomitanza ad eventi pluviometrici caratterizzati da una elevata intensità, che portano alla mobilitazione e fluidificazione di elevate quantità di materiali alluvionali e detritici di varia pezzatura e granulometria presenti in alveo o nelle prossimità dello stesso;
  - Inondazioni: una inondazione si verifica quando il volume delle acque di piena non può più essere contenuto nel volume definito dal perimetro delle sponde tanto che le stesse vengono superate. Le inondazioni possono essere classificate in:
    - Alluvionamenti (o inondazioni dinamiche): sono fenomeni caratterizzati da elevate velocità di flusso, si producono generalmente su terreni inclinati lungo i letti di fiumi, torrenti e corsi d’acqua di montagna.
    - Esondazioni: (o inondazioni statiche): sono fenomeni durante i quali l’acqua si espande su ampie superfici con una velocità ed una energia generalmente piuttosto limitate; si producono generalmente lungo i corsi d’acqua in pianura e lungo le sponde dei laghi, dove l’acqua può permanere anche su superfici molto estese e per prolungati periodi di tempo (anche per più di una settimana).
  - Erosioni di sponda: l’erosione di sponda avviene quando la capacità erosiva esercitata dalla corrente fluviale si esercita lateralmente ed agisce sulle sponde asportando materiali.

Le valanghe sono movimenti rapidi di masse nevose che precipitano verso valle slittando sui pendii, accrescendosi di volume durante la caduta. Con il termine “slavina” si indica un fenomeno più particolare, riferito solitamente ad una frana di neve bagnata che scivola da un pendio montano (solitamente nel periodo primaverile).

I loro effetti (in particolare la distanza d’arresto e le sollecitazioni esercitate) dipendono essenzialmente dalla morfologia del terreno, dal flusso e dalle proprietà della neve.

#### 4.2 Definizione di rischio

Il percorso metodologico che conduce alla definizione di rischio risulta generalmente di particolare complessità, perché molto complessi ed articolati sono i fattori che lo compongono. In termini pratici si può affermare che il rischio può essere inteso come il prodotto tra la suscettibilità del territorio, intesa come l’insieme dei valori dei fattori naturali che possono innescare il fenomeno potenzialmente in grado di arrecare danni, e l’assetto socio-economico del territorio stesso.

Le terminologie di riferimento adottate nel presente studio sono quelle proposte dalla commissione tecnica-scientifica dell’ONU Organizzazione delle Nazioni Unite denominata UNDRO - Ufficio del coordinatore del soccorso dei disastri (dall’acronimo inglese, *Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator*), inaugurata il 14 Dicembre 1971.

Secondo tali riferimenti il rischio è un concetto che associa due elementi fondamentali: il primo è la probabilità che un determinato evento sfavorevole si verifichi, l’altro è la conseguenza che l’evento comporta e pertanto può essere calcolato valutando sia la possibilità di accadimento della calamità, sia il danno da essa provocato.

In particolare, per la definizione del rischio (UNDRO, 1979) concorrono i seguenti fattori:

- *Pericolosità (H)*: esprime la probabilità che un fenomeno potenzialmente dannoso (*Hazard*) di una certa intensità si verifichi in un dato periodo di tempo, in una data area e per determinate cause d’innescio;
- *Elementi a rischio o Esposizione (E)*: considera la popolazione, le proprietà, le attività economiche, i beni ambientali, storici e culturali, le reti di trasporto, di distribuzione di servizi essenziali (acqua, luce, gas, ...), di comunicazione, a rischio in una data area;
- *Vulnerabilità (V)*: rappresenta la vulnerabilità territoriale, cioè il grado di perdita atteso su un dato elemento o su gruppi di elementi a rischio derivante da un potenziale fenomeno distruttivo di una data intensità. È una caratteristica propria dell’elemento o del gruppo di elementi considerati. La vulnerabilità viene espressa in una scala da 0 (nessuna perdita) a 1 (perdita totale).<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Non vi è assoluta univocità riguardo la definizione di vulnerabilità dal confronto tra diverse fonti bibliografiche. Nella letteratura sui disastri naturali vengono proposte infatti numerose definizioni non sempre concordanti sulla vulnerabilità, almeno in apparenza. Secondo la definizione messa a punto da UNDRO, per vulnerabilità si intende il prodotto della probabilità del verificarsi di un evento naturale di data intensità per la

Ai precedenti, possono essere aggiunti anche i seguenti:

- *Rischio specifico (Rs)*: indica il grado di perdita atteso in seguito al verificarsi di un dato fenomeno; si può esprimere come il prodotto di H per V.

$$Rs = H \times V$$

- *Danno atteso (D)*: è il danno atteso che deriva dal prodotto del valore del bene per la sua vulnerabilità e può essere espresso in termini monetari e/o in numero di unità esposte; si può esprimere come il prodotto di V per E.

$$D = V \times E$$

Da cui:

- *Rischio totale (R)*: si intende il grado di perdite attese in termini di vite umane, feriti, danni alla proprietà ed alle infrastrutture, danni diretti ed indiretti all'economia a causa di una determinata pericolosità. Si esprime attraverso il prodotto del Rischio specifico (Rs) per gli elementi a rischio (E), oppure attraverso il prodotto della Pericolosità (H) per il Danno atteso (D).

$$R = H \times V \times E = Rs \times E = H \times D$$

Dalla semplice analisi dei termini sopra esposti, si deduce che l'analisi del rischio risulta dalla combinazione di una serie di criteri di origine differente, sia di tipo tecnico-scientifico, che attendono alla valutazione della pericolosità; di tipo socio-economico, riferiti alla determinazione della vulnerabilità e del valore esposto; che di tipo politico, che mirano alla valutazione del grado di rischio.

La struttura generale per l'analisi di rischio può quindi essere considerata una attività multidisciplinare che trova il suo compimento nel punto di convergenza di varie competenze e paradigmi, discipline, approcci e sensibilità culturali.

## 5 L'ANALISI DI RISCHIO

Secondo quanto detto sino ad ora, l'analisi di rischio implica necessariamente la formalizzazione di diversi livelli di conoscenza che, nel caso si decida di utilizzare un sistema

---

probabilità che tale evento produca un determinato danno; secondo T. Gabor (Disaster Research Center) la vulnerabilità è invece una funzione del rischio, inteso come probabilità del verificarsi di un evento potenzialmente dannoso di data intensità (risk) e del grado di preparazione delle comunità ad affrontare le conseguenze negative dell'evento (preparedness).

d'informazione geografico (SIG) (o *Geographic Information System* – GIS) sono essenzialmente riconducibili al livello concettuale (quello di definizione della problematica), al livello empirico (quello di acquisizione dei dati sulle variabili) e al livello d'analisi (modello, cioè le elaborazioni per la valutazione del rischio).

### *5.1 Metodologia per l'analisi di rischio*

L'analisi del rischio consiste, come visto, nella valutazione dei parametri di pericolosità, vulnerabilità ed elementi a rischio.

La metodologia che si utilizza segue nelle grandi linee il metodo a tre livelli per l'analisi dei rischi in caso di pericoli naturali elaborato dal BUWAL (BUWAL, 1999). I tre livelli rappresentano metodi indipendenti applicabili in modo autonomo in funzione del grado di precisione desiderato. Questi sono combinabili e insieme formano un'unità.

Di seguito, alcune definizioni (in accordo con la terminologia utilizzata nella descrizione ufficiale del metodo BUWAL):

- La **pericolosità** è definita in termini di classi d'intensità (nel caso di una inondazione: debole, media, forte) in una data area per un determinato tempo di ritorno;
- La **vulnerabilità** è definita in termini di obiettivi di protezione degli elementi a rischio. L'obiettivo di protezione è definito sulla base di classi d'intensità massima ammessa alla quale un elemento può essere esposto per un determinato periodo di ritorno;
- Il **rischio** è definito in termini di deficit di protezione degli elementi a rischio (termini qualitativi) oppure in numero di casi mortuari o franchi di danno diretto (termini quantitativi). Nel primo caso è dedotto secondo una scala qualitativa dalla differenza tra l'intensità massima ammessa per un elemento a rischio e l'intensità effettiva del fenomeno al quale è potenzialmente esposto. Nel secondo è dedotto dall'applicazione di formule appositamente predisposte.

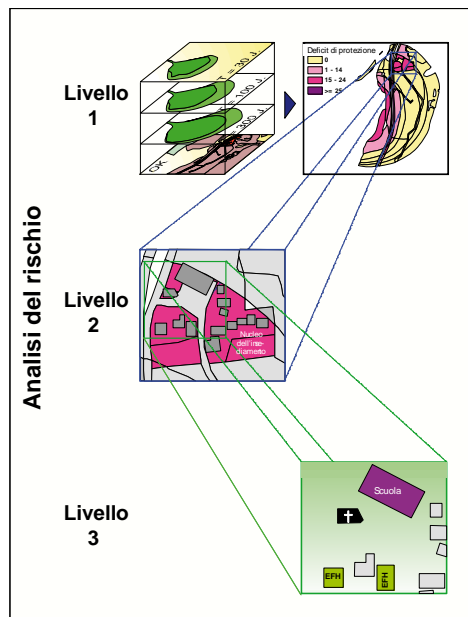


Figura 2 I tre livelli per l'analisi dei rischi in caso di pericoli naturali. Fonte: (BUWAL, 1999, p. 27)

I tre livelli l'analisi dei rischi in caso di pericoli naturali elaborato dal BUWAL (BUWAL, 1999):

- Livello 1: analisi qualitativa sulla base dei deficit di protezione.  
L'obiettivo è verificare gli obiettivi di protezione definiti per le categorie di oggetti che necessitano di una protezione simile, determinare i deficit di protezione e identificare i settori di conflitto;
- Livello 2: analisi quantitativa sulla base di valori globali.  
L'obiettivo è rilevare i rischi quantitativi per i singoli oggetti e il rischio per il sistema sulla base di dati concernenti i tipi di oggetti. Il rischio per il sistema si determina dalla somma dei danni dei singoli elementi a rischio.
- Livello 3: analisi quantitativa sulla base del valore dei singoli oggetti.  
L'obiettivo è rilevare i rischi diretti e indiretti per oggetto sulla base di dati concernenti i singoli oggetti. Come per il punto precedente, il rischio per il sistema si determina dalla somma dei danni dei singoli elementi a rischio.

Ogni livello è applicabile in modo autonomo e in funzione del grado di precisione desiderato. Questi livelli formano insieme una unità, un metodo proprio. Sono combinabili in modo tale da permettere di affrontare i problemi di sicurezza in maniera mirata ed efficace.

## 5.2 L'esemplificazione della elaborazione proposta

Si presenta innanzitutto il metodo di analisi del rischio in termini quantitativi.

Per valutare il rischio in termini di deficit si combinano le zone di pericolo e gli elementi vulnerabili classificati in categorie di oggetti e obiettivi di protezione (fig. 3). Questo permette di identificare gli elementi a rischio e il loro deficit di protezione. Il risultato è utile per la pianificazione di misure di riduzione della pericolosità (es. manutenzione e sistemazione dei corsi d'acqua nel caso di pericolo di inondazione) o di protezione degli elementi a rischio per ridurre la vulnerabilità.



*Figura 3* Lo schema per la valutazione del rischio in termini di deficit di protezione. Fonte: Elaborazione propria

Innanzitutto si predispongono i *layer* (es. strada, ferrovia, valori di intensità del fenomeno) riferiti all'area interessata (utilizzando ad esempio la funzione “clip” di un SIG).

Successivamente si classificano gli elementi vulnerabili che necessitano di una protezione simile in categorie di oggetti e si passa all'attribuzione degli obiettivi di protezione in funzione dell'intensità massima ammessa del processo di pericolo per un dato periodo di ricorrenza.

A questo punto si uniscono in un unico tema le differenti categorie di oggetti (strade e ferrovie) per effettuare una analisi globale (utilizzando ad esempio la funzione “Merge” di un SIG).

L'obiettivo a questo punto è quello di identificare le categorie di oggetti che si trovano in una zona esposta intersecando gli strati informativi delle categorie di oggetti e delle zone di pericolo; vengono così unite le informazioni associate a ciascuno di essi per produrre un nuovo strato di sintesi (l'intersezione può essere effettuata per mezzo della funzione “Intersect” di un SIG).

Da ultimo si caratterizzano gli oggetti che si trovano in una zona esposta in funzione dell'intensità a cui sono esposte e dell'obiettivo di protezione che caratterizza. Questo permette di dedurre il deficit di protezione.

Il paragone tra intensità effettiva del pericolo e l'intensità massima ammessa permette di determinare l'inadempienza all'obiettivo di protezione e di dedurre appunto il deficit.

Per la sua definizione si assegna un valore alle differenti combinazioni possibili in modo da poter classificare le zone secondo una scala qualitativa, si veda la figura seguente:

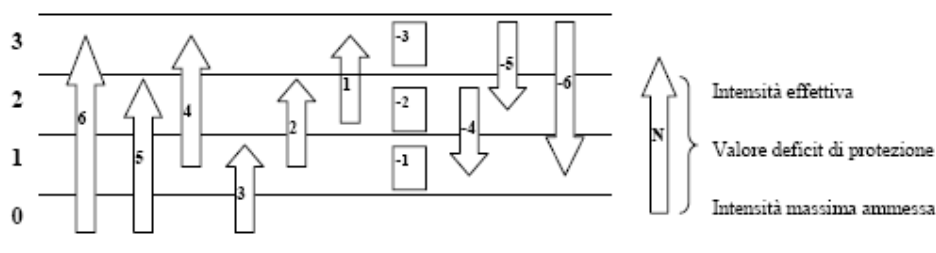


Figura 4 Le differenti combinazioni possibili tra il valore di intensità effettiva e il valore di intensità massima ammessa. Fonte: Elaborazione propria

La classificazione proposta segue il principio proposto dalla metodologia adottata dal BUWAL.

La principale differenza consiste nell'attribuire un peso maggiore all'intensità massima ammessa piuttosto che all'intensità del fenomeno.

I valori negativi non rappresentano un deficit ma permettono di identificare le zone in cui l'obiettivo di protezione coincide con l'intensità (-1,-2,-3) e quelle in cui l'obiettivo di protezione è superiore (-4,-5,-6).

*Esempio di rappresentazione delle elaborazioni:* la rappresentazione ottenuta dall'analisi permette di identificare i settori di conflitto tra i diversi tronchi di infrastruttura e la pericolosità delle zone. Questi possono essere visualizzati e sovrapposti a una carta di fondo per creare una carta dei deficit di protezione.

Di seguito (fig. 5) è illustrata la sovrapposizione per una parte di territorio. La localizzazione di un conflitto (deficit positivo) comporterebbe la rimessa in discussione dell'utilizzabilità del tronco interessato. Nel caso della ferrovia o dell'autostrada del Gottardo, dato il livello di utilizzo già elevato, lo scopo non è chiaramente quello di ridefinire le modalità di utilizzo dell'infrastruttura, ma piuttosto quello di poter meglio valutare la pianificazione e la costruzione di nuove misure di protezione passive o attive. Il risultato può comunque aiutare la pianificazione a utilizzare il territorio in modo appropriato evitando l'aumento degli elementi a rischio e la vulnerabilità.

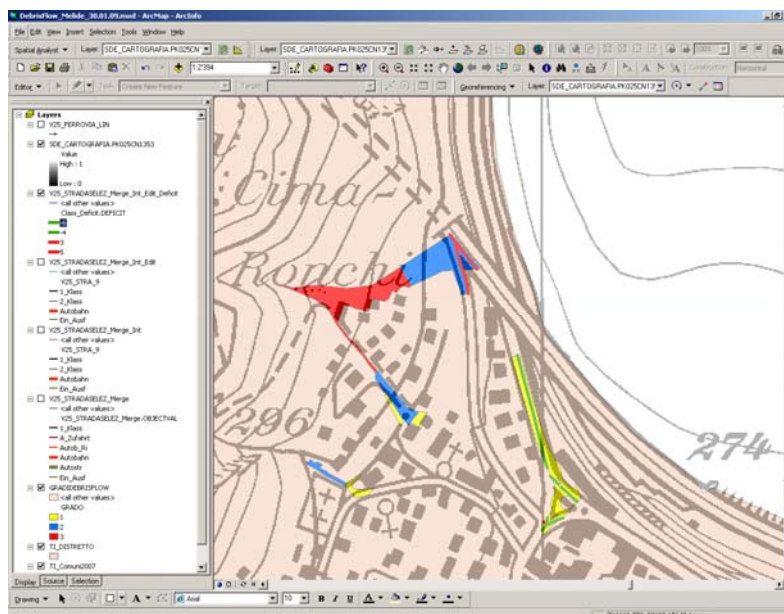


Figura 5 Esempificazione grafica del risultato di una elaborazione (Fonte: Elaborazione propria)

Dove l'uso del suolo è adeguato alla pericolosità (deficit negativo), bisogna assicurarsi, tramite la corretta manutenzione dei corsi d'acqua e delle altre potenziali fonti di pericolo e delle prescrizioni di uso del suolo adeguate, che la pericolosità e rispettivamente gli elementi a rischio e la vulnerabilità non aumentino.

Di seguito viene ora presentato il modello di analisi quantitativa dei rischi generati da pericoli legati ad effetti gravitativi proposto dal BUWAL. Un "Oggetto" all'interno della presente analisi è un elemento di spazio piano, una linea o un punto rappresentante un "tipo di oggetto", cioè oggetti con valore simile o con insediamento di persone simile.

Viene valutato il rischio quantitativo sull'oggetto esaminato per unità di danno (Franchi e/o vittime).

L'analisi di rischio-oggetto si basa su supposizioni generiche, per valore monetario, o per persone decedute. A seconda della suddivisione fatta la forza espressiva dei risultati della analisi di rischio migliora. Si procede come segue:

#### 1) Lavori preparatori

Si definiscono gli obiettivi ed i confini del sistema geografico e di contenuto per l'analisi di rischio in conformità al procedimento presentato.

#### 2) Analisi del pericolo

Nella Analisi del pericolo si localizzano i pericoli possibili (analisi di evento, e certamente il tipo), l'espansione ed il grado del pericolo (analisi di effetto).



Per l'analisi di rischio livello 2 è necessario disporre dei seguenti dati per l'analisi del pericolo:

**G Tipo di processo:** inondazione, debris flow, valanga, crolli di pietre e blocchi, caduta di roccia, frane;

**I intensità:** Gradi di intensità (“basso”, “medio”, “alto”) in conformità a come esposto in (BUWAL , 1999, p. 24);

**h<sub>E</sub> frequenza di accadimento:** la frequenza h<sub>E</sub> è il valore reciproco del periodo di ritorno T

(Le linee Guida della confederazione usano i concetti di “superamento della probabilità”, “Periodo di ritorno” e “frequenza” come sinonimi):

$$h_E = \left[ \frac{1}{T} \right] \left( \left[ \frac{1}{\text{Anno}} \right] \right)$$

La frequenza di accadimento descrive la frequenza relativa all'anno, con la quale un evento con periodo di ritorno T accade. Poiché si parla di un valore su un intervallo di tempo considerato, si parla di “frequenza”, non di “probabilità” (BUWAL , 1999, p. 25).

**p<sub>RA</sub> probabilità di accadimento spaziale:** Probabilità che all'accadimento di un fenomeno pericoloso un punto disposto lungo la zona di esame venga raggiunto. Si valuta la probabilità di comparizione spaziale del processo, cioè se il fenomeno “copre” ciò che si sta esaminando, cioè l'Oggetto (= elemento di spazio piano, linea o punto riferito al tipo di oggetto esaminato), in base ad un catasto di eventi, ad una carta topografica, ad una immagine aerea. Questo è necessario, poiché un singolo evento spesso non interessa tutta la superficie in uno scenario considerato. Invece della probabilità di comparizione spaziale dell'oggetto si può anche usare la carta di intensità uguale su superfici parziali; per quanto riguarda la probabilità di comparizione si suddividono le carte di evento.

Nella nuova versione del Piano di Attuazione PLANAT 2005-2008 (Bründl, 2009), vengono proposti precisi valori per l'assegnazione della probabilità di comparazione spaziale.

### 3) Determinazione di rischio

Il rischio è “l'incrocio” di una persona o di un bene protetto dal legge con un pericolo. Quindi il rischio si riferisce a due aspetti:

- unità di esame del pericolo: **scenario SZ<sub>j</sub>**

- unità di esame del danno: **oggetto O<sub>i</sub>**

Si collegano i **fattori di rischio** dello scenario SZ<sub>j</sub> con i fattori di rischio dell'oggetto O<sub>i</sub> alla frequenza di danno h<sub>S</sub> ed alla Misura di danno S. Con h<sub>S</sub> e S si fissa il **rischio di oggetto r<sub>i,j</sub>** (rischio gravante su un oggetto O<sub>i</sub> in base ad un scenario SZ<sub>j</sub>).

Si hanno le due possibilità:

**1) rischio di oggetto  $r_{i,j}$  per evento di danno** = misura di danno medio  $S$ , in Franchi e numero di vittime, all'accadere di un evento di danno, in base allo scenario  $SZ_j$ ; l'evento di danno accade con una frequenza relativa di  $h_S$ , (all'anno), secondo:

$$r_{i,j} = [h_S; S] \text{ [1/anno; numero di vittime/evento danneggiante] risp. [1/anno; Franchi/evento danneggiante]}$$

**2) rischio di oggetto  $r_{i,j}$  all'anno (o attesa statistica annuale del valore di danno)** = numero medio delle unità di danno (Franchi, numero di vittime), che all'anno, in base allo scenario  $SZ_j$  sono attese:

$$r_{i,j} = h_S \times S \text{ [numero di vittime/anno] risp. [Franchi/anno]}$$

Se il pericolo dell'oggetto  $O_i$  è calcolato su  $m$  scenari  $SZ_{1..m}$ , si conducono singolarmente i calcoli per ogni scenario  $SZ_j$ . Si inseriscono i rischi di oggetto calcolati per ogni scenario  $r_{i,j}$  nella **Matrice di rischio** (si veda parte finale del presente capitolo) e si sommano tutti i Rischi di oggetto  $r_i$  (rischio in base a tutti gli scenari  $SZ_{1..m}$ ).

Per valutare il **rischio collettivo  $R$** , tutti gli oggetti messi in pericolo sono essenziali nel sistema valido globale ed i loro rischi  $r_{i,j}$  per evento di danno devono essere analizzati e registrati nella matrice di rischio.

La somma di tutti i rischi  $r_{i,j}$  permette di ottenere il Rischio collettivo  $R$  del sistema esaminato.

*Esempio di rappresentazione delle formule per la valutazione del rischio di morte su strada; si fissano i seguenti processi di rischio:*

**$h_S$  frequenza di danno:** numero statistico aspettato degli eventi di danno all'anno. La frequenza di danno si calcola come segue:

$$h_S = h_E$$

**$S$  misura di danno:** Misura aspettata di un evento di danno (in numero casi mortuari), riferita alle persone in veicoli. La misura di danno si calcola come segue:

$$\text{Persone in auto e autobus: } S = p_{rA} * \frac{DTV * g}{v * f} * \lambda * \beta \quad \left[ \frac{\text{Numero di casi mortuari}}{\text{Evento di danno}} \right]$$

Significato dei fattori:

$p_{rA}$  probabilità di accadimento spaziale (si veda sopra)

**DTV** traffico giornaliero che attraversa la sezione: numero di veicoli, che attraversano entro 24 ore la tratta  $g$  messa in pericolo.

Si propongono le seguenti ipotesi:

- traffico debole:  $DTV = 500$
- traffico intenso:  $DTV = 5'000$
- traffico molto intenso:  $DTV = 50'000$

$v$  velocità intermedia (in km/h): Per il valore di velocità intermedia si accetta un valore di 50 km/h

$f$  fattore di conversione = 24'000 [h] (= 1000 x 24h; il fattore 1000 trasforma  $v$  [km/h] in [m/h] )

$g$  sezione di strada sotto pericolo: lunghezza del tratto di strada, in metri, (oggetto  $O_i$ ). La lunghezza della zona pericolosa si ricava dalla carta di intensità.

$\lambda$  Letalità: Probabilità di morte nel caso di evento (cioè probabilità per una persona colpita di morire).

$\beta$  grado di occupazione medio: numero intermedio persone per veicolo. Per il grado di occupazione medio, ipotizziamo 1.59 persone per Veicolo (Dati USTRA).

Le matrici di rischio danno una descrizione numerica completa della situazione di rischio del sistema considerato e mostrano gli effetti degli scenari sulle persone messe in pericolo ed oggetti.

Si possono inserire i rischi di oggetto calcolati come  $r_{i,j} = [h_S; S]$  (rischio di oggetto per evento di danno) o come  $r_{i,j} = h_S \times S$  (rischio di oggetto all'anno) nella Matrice di rischio.

La figura 6 mostra come si può costruire una matrice di rischio per rischi di oggetto  $r_{i,j} = [h_S; S]$ .

Con la matrice di rischio valuta il Rischio collettivo  $R = [h_S; S]$  del sistema analizzato.

Il procedimento (dalla figura 6):

1. Tutti i rischi di oggetto  $r_{i,j} = [h_S; S]$  con le uguali frequenze di danno  $h_S$  specifiche di scenario sono riassunti in una propria matrice di rischio, separatamente secondo persone - e rischi materiali. Raccogliamo il gruppo degli Oggetti  $O_{1..n}$  di una matrice di rischio in un gruppo di oggetto  $OG_k$ .

2. Per ogni gruppo di oggetto  $OG_k$  si indagano (appurano) tutti i rischi collettivi specifici di scenario  $R_{k,j}$ , ( $R_{k,j}$  = rischio collettivo, riferito al gruppo di oggetto  $OG_k$  in base allo scenario  $SZ_j$ ):

$$R_{k,j} = \left[ h_{sj}; \sum_{i=1}^n S_{i,j} \right] \quad \sum_{i=1}^n S_{i,j} = S_{k,j}$$

Si descrive  $R_{k,j}$  ad esempio come segue: un evento di danno causato nello scenario  $SZ_j$ , riferito al gruppo di oggetto  $OG_k$ , genera una media di  $S_{k,j}$  casi mortuari o rispettivamente di franchi di danno materiale, l'evento di danno accade con una frequenza di  $h_{sj}$  (all'anno).

3. Si inseriscono i rischi collettivi  $R_{k,j} = [h_{sj}; S_{k,j}]$  specifici di scenario di ogni gruppo di oggetto  $OG_k$  nel Diagramma "T di ritorno/danno atteso", poi si forma e si valuta il Rischio collettivo  $R$  del Sistema ( $R$  = rischio collettivo, riferito a tutti i Gruppi di oggetto  $OG_k$  in base agli scenari  $SZ_{1,...,m}$ ).

SACH-RISIKEN		Szenarien $SZ_{1,...,m}$					
		$SZ_1$	$SZ_2$	..	$SZ_j$	..	$SZ_m$
Objekte $O_{1,...,n}$	$O_1$	$[h_{s1}; S_{1,1}]$	$[h_{s2}; S_{1,2}]$	..	$[h_{sj}; S_{1,j}]$	..	$[h_{sm}; S_{1,m}]$
	$O_2$	$[h_{s1}; S_{2,1}]$	$[h_{s2}; S_{2,2}]$	..	$[h_{sj}; S_{2,j}]$		

PERSONEN-RISIKEN		Szenarien $SZ_{1,...,m}$					
		$SZ_1$	$SZ_2$	..	$SZ_j$	..	$SZ_m$
Personen in den Objekten $O_{1,...,n}$	$O_1$	$[h_{s1}; S_{1,1}]$	$[h_{s2}; S_{1,2}]$	..	$[h_{sj}; S_{1,j}]$	..	$[h_{sm}; S_{1,m}]$
	$O_2$	$[h_{s1}; S_{2,1}]$	$[h_{s2}; S_{2,2}]$	..	$[h_{sj}; S_{2,j}]$		$[h_{sm}; S_{2,m}]$
	$O_3$	$[h_{s1}; S_{3,1}]$	$[h_{s2}; S_{3,2}]$		$[h_{sj}; S_{3,j}]$		
	$O_4$	$[h_{s1}; S_{4,1}]$	...		$[h_{sj}; S_{4,j}]$		
	...	...		...			
	...	...		...			
	$O_i$	$[h_{s1}; S_{i,1}]$	$[h_{s2}; S_{i,2}]$	..	$[h_{sj}; S_{i,j}]$	..	$[h_{sm}; S_{i,m}]$
	...	...		...			
$O_n$	$[h_{s1}; S_{n,1}]$			$[h_{sj}; S_{n,j}]$			
Kollektivrisiko $R_{k,j}$		$R_{k,1} = \left[ h_{s1}; \sum_{i=1}^n S_{i,1} \right]$	$R_{k,2} = \left[ h_{s2}; \sum_{i=1}^n S_{i,2} \right]$	..	$R_{k,j} = \left[ h_{sj}; \sum_{i=1}^n S_{i,j} \right]$	..	$R_{k,m} = \left[ h_{sm}; \sum_{i=1}^n S_{i,m} \right]$
Objektgruppe $OG_k$							
Szenario $SZ_j$							

<b>RISIKOMATRIX DER OBJEKTGRUPPE <math>OG_k</math></b>							
--	--	--	--	--	--	--	--

$$R_{k,m} = \left[ h_{sm}; \sum_{i=1}^n S_{i,m} \right]$$
$$PE\ OG_k$$

## 6 CONCLUSIONI

Nel presente paper abbiamo voluto evidenziare la complessità metodologica nell'analisi di rischio. Questa infatti, come detto, comporta la definizione di parametri che sono oggettivamente difficili da identificare (probabilità di occorrenza degli eventi, modellazione dei fenomeni, valutazione del valore degli elementi e della loro sensibilità al possibile danno diretto e indiretto), difficoltà che viene amplificata dalle molteplici particolarità presenti nella vasta area nella quale si confrontano importanti interessi lombardi e svizzeri.

In particolare le elaborazioni esemplificative effettuate, ovvero la classificazione e l'unione degli elementi vulnerabili in categorie di oggetti in funzione degli obiettivi di protezione e l'intersezione di questi con le zone di pericolo, nonché l'importante analisi economica, permettono di dare un quadro generale degli interessi in gioco e della necessità di agire per ridurre la vulnerabilità e la pericolosità del corridoio del Gottardo. I deficit di protezione degli elementi a rischio identificati sono degli indicatori utili per pianificare le misure di riduzione del rischio. E' possibile infatti limitare la vulnerabilità con misure di protezione degli elementi particolarmente sensibili. Un'altra possibilità è limitare la pericolosità attuale del corridoio con misure che limitano la probabilità di occorrenza di un pericolo.

Non è poi da dimenticare che in un'ottica di sviluppo sostenibile l'utilizzo del suolo deve adattarsi allo stato "naturale" del territorio. Secondo questo punto di vista i danni potenziali devono essere ridotti principalmente per mezzo delle misure di pianificazione del territorio e di manutenzione dei corsi d'acqua, dei versanti e di tutti gli altri luoghi di generazione del pericolo. E' infatti possibile dire che nel caso del corridoio del Gottardo, in ragione dello sviluppo avanzato dei transiti e dell'entità dei beni e delle infrastrutture presenti, le insufficienze in materia di protezione possono risultare anche importanti.

L'elaborazione di un SIG in grado di rispondere alla totalità dei bisogni che potrebbero essere definiti nella cosiddetta regine isubrica, permetterebbe di individuare il rischio di ogni singolo elemento vulnerabile presente nel corridoio analizzato e di valutare il rischio globale per il sistema definito sulla base delle priorità degli attori coinvolti. L'elaborazione di un tale sistema necessiterebbe però di grossi investimenti soprattutto per quanto riguarda l'acquisizione dei dati necessari all'analisi.

Nella nostra proposta si suggerisce di condurre un'analisi basata su scenari locali ma comunque significativi, necessari per l'integrazione del concetto da noi rielaborato nei termini di una problematica più vasta. In effetti necessiterebbero evidentemente riflessioni più approfondite e condivise per ottenere una valutazione chiara della fattibilità.

Un possibile sviluppo potrebbe mantenere i temi analizzati e le funzioni descritte per il prototipo ma riguardare un territorio molto più vasto. Nei fatti la struttura della base dei dati implementabile con un SIG, il livello di dettaglio e le elaborazioni previste sono tali da poter essere integrati in un sistema per la gestione dei pericoli naturali (ed eventualmente man-

made) a livello intra regionale. L'obiettivo a breve termine sarebbe quello di utilizzare i dati attualmente disponibili e di individuare le principali zone di conflitto e le eventuali carenze conoscitive.

Il secondo sviluppo potrebbe fondarsi sull'importanza del corridoio del Gottardo per la regione di Lugano, Milano e Zurigo e sull'utilità dei dati concernenti gli elementi a rischio per la gestione delle altre attività connesse al sistema trasportistico. Un'analisi completa e integrata (anche in termini economici), in questo scenario, non si dovrebbe limitare ad una semplice analisi dei bisogni di analisi del rischio ma al contrario dovrebbe andare a far parte integrante di un sistema di informazione dell'intero territorio comprendente l'area insubrica e della Svizzera centrale.

## **7 BIBLIOGRAFIA**

Bründl M. (Ed.) (2009), *Risikokzept für Naturgefahren - Leitfaden. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT*, Bern. 416 S.,

Bundesamt für Bevölkerungsschutz (2003), *Katastrophen und Notlagen in der Schweiz. Eine Risikobeurteilung aus der Sicht des Bevölkerungsschutzes*, Bern

Bundesamt für Bevölkerungsschutz (2005), *Medieninformationen. Schutz und Sicherheit von Kritischen Infrastrukturen*, Bern

BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (1999), *Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren - Methode, Fallbeispiele und Daten (Risk analyses for gravitational natural hazards)*, Bern, Umwelt-Materialien Nr. 107, pp.1-244

Commissione Europea (2005), *Green Paper on a European Programme for Critical Infrastructure Protection*, Brussels

Consiglio Regionale Regione Lombardia (2005), *Programma Regionale di Sviluppo*, Milano

Consiglio Regionale Regione Lombardia (2008), *Documento di Programmazione Economica e Finanziaria Regionale*, Milano

UNDRO – Office of the United Nations Disaster Relief Coordination (1979), *Natural Disasters and Vulnerability Analysis*, in «Report of Expert Group Meeting»

Verter V., Kara B. (2001), *A GIS-based Framework for Hazardous Materials Transport Risk Assessment*, in «Risk Analysis», Vol. 21, No. 6, pp. 1109-1120

## ABSTRACT

**Background** The presence of a reliable network infrastructure is a prerequisite for the correct functioning of a modern society and economy. Events like a black out on the SBB railway or the closure of the Gotthard because of mudslides and landslides have also shown this matter to a wide public. It should be only considered that these recent transit disruptions along the important Gotthard corridor had highly negative consequences throughout all the area between Zurich and Milan. But even with a great expenditure of financial and technical resources is impossible to completely prevent these events. Given the scarcity of resources the danger incumbent on certain routes are not so much important, but rather the functionality of the network infrastructure.

**Objective** The project aims to study various natural hazards (and later, even man-made) according to an interdisciplinary approach, considering the possible damage by means of risk criteria and pointing out the feasibility of conceivable measures to reduce potential damage. One possible development will also be able to systematically compare the usefulness of various measures with corresponding risk reductions.

**Methods** From a methodological point of view the project consists of a geoscientific part and an application. The first part consists in studying the dangers (natural) and related risks in terms of infrastructure vulnerability. The application considers different types of danger (logically intersected with the transport infrastructure) and compares them with fixed values to obtain a so-called deficit. Quantitative analysis are also proposed (even if only to an academic purpose) according to federal directives. In this way the project develops a methodology that makes possible a risk analysis aiming to optimize the infrastructure vulnerability and therefore allows to obtain a model designed to optimize the functionality of the network infrastructure.