

Il Piano di Rischio Integrato di Brescia: strumento per razionalizzare i processi di pianificazione territoriale e la gestione delle emergenze

Stefano Oliveri (*), Marco Buldrini (**), Paolo Frattini (***), Paolo Seminati (*),
Francesco Pozza (*) e Serena Lari (***)

(*) CRASL – Centro di Ricerche per l’Ambiente e lo Sviluppo Sostenibile della Lombardia
Università Cattolica del Sacro Cuore di Brescia, Via de Musei 41 - 25121 Brescia

030-2406752, 030-2406742, stefano.oliveri@unicatt.it

(**) Consorzio COMETA - NIER Ingegneria S.p.A., Via Altabella 3 - 40126 Bologna
051-234359, 051-239530, M.Buldrini@niering.it

(***) Dipartimento di Scienze Geologiche e Geotecnologie, Università degli Studi di
Milano Bicocca, Piazza della Scienza 4, 20126 Milano, 02-64482005, paolo.frattini@unimib.it

Riassunto

Nel contesto del progetto PRIM (Programma Regionale Integrato per la Mitigazione dei Rischi Maggiori), Regione Lombardia ha sviluppato uno strumento di pianificazione volto ad individuare le aree del territorio lombardo ove l'azione integrata di diverse tipologie di rischio risultava particolarmente critica. Sulle aree di massima criticità sono stati avviati approfondimenti successivi, denominati Piani di Rischio Integrato d’Area (PIA). Uno di essi ha riguardato un’area di 82 comuni fra le province di Brescia e Bergamo. Su tale *hot-spot* è stato adottato un approccio quantitativo per la determinazione del rischio per le persone e per i beni, come conseguenza dell’esposizione a varie tipologie di rischio: industriale (attività a Rischio di Incidente Rilevante ed altre attività commerciali/produttive non RIR), trasporto di merci pericolose (su strada e su ferrovia), incidenti stradali, infortuni sul lavoro, idrogeologico (alluvioni di fondovalle, alluvioni in conoide, collasso dighe, valanghe, frane superficiali, *debris flow*, crolli, frane profonde, DGPV), sismico, incendi boschivi e meteorologico. Il presente contributo illustra le modalità operative adottate nelle varie fasi di sviluppo del Piano Integrato d’Area di Brescia ed i risultati delle analisi, sino alla determinazione dei livelli di rischio sociale, individuale e di danni alle cose attesi, come conseguenza del verificarsi di eventi incidentali per le tipologia di rischio considerate.

Abstract

The PRIM (Programma Regionale Integrato per la Mitigazione dei Rischi Maggiori) project, promoted by Lombardy Region, developed a planning tool aimed at identifying, over the whole regional territory, areas where the integrated action of different risk categories was highly critical. At the areas that PRIM identified as the most critical, further studies, called Piani di Rischio Integrato d’Area (PIA), have been carried out. One of these PIAs, which the present paper is referred to, interested an area of 82 municipalities inside the provinces of Brescia and Bergamo. At this hot-spot a quantitative method has been developed aimed at estimating (analysis with ground resolution 20m) the risk levels people and goods are exposed to, as a consequence of different risk types (industrial, dangerous goods transportation, hydrogeologic, seismic, meteorologic, forest fires, road accidents and industrial injuries). This note shows the methodologies adopted and results obtained, up to a georeferenced definition of social, individual and economic risk levels.

Area di studio

Situata fra il Lago d’Iseo e il Lago di Garda, l’area di studio (*Figura*) si estende per circa 1.508 km² (pari al 7% c.^{ca} della superficie regionale) e comprende 82 Comuni, ricadenti sui territori provinciali

di Brescia (73) e Bergamo (9). La popolazione complessiva ammonta a 727.000 abitanti, con una densità abitativa complessiva di circa 250 ab/km². All'interno dell'area di studio ricadono, fra l'altro, 2 Comandi dei Vigili del Fuoco, 2 Prefetture, 2 Distretti ASL e 5 Comunità Montane.

Metodologia di lavoro

Il rischio integrato sul territorio è stato valutato in modo georeferenziato, su base *raster*, con restituzione dei risultati su celle a risoluzione 20 m. Per rischio integrato si intende la somma dei livelli di rischio derivanti da diversi fenomeni che possono agire su un territorio in modo indipendente o interattivo, a dare anche possibili effetti domino.

Per ogni categoria di rischio sono stati determinati:

- rischio collettivo specifico o rischio d'area: numero di colpiti annui attesi per ogni cella di analisi;
- rischio individuale: probabilità annua che un individuo, presente in una data cella spaziale, venga colpito.
- rischio di danni materiali (cose e ambiente): danni annuali attesi, in ogni cella spaziale.

Da un punto di vista analitico, questi i modelli generali associati alle diverse grandezze calcolate per ogni rischio:

$$\text{Rischio collettivo: } R_{Ti} = (g_i \times e_i \times j_i \times f_i \times p_i \times N_{pe}) \times F_i \quad [1]$$

$$\text{Rischio individuale: } R_{IR,i} = \frac{R_{T,i}}{N_{pe,j}} \quad [2]$$

$$\text{Rischio di danni materiali (soli danni diretti): } R_{TM,i} = (g_i \times D_d \times A_e \times e_i \times j_i \times p_i \times f_i) \times F_i \quad [3]$$

dove:

- g_i = proporzione fra differenti livelli di gravità per danni dello stesso tipo;
- e_i = probabilità che un determinato bersaglio, presente nell'area di danno in esame, sia effettivamente colpito. Fattore che non tiene conto delle mitigazioni in essere;
- j_i = probabilità che l'area di danno individuata interessi effettivamente la zona in esame (parametro introdotto per tener conto dei gradi d'incertezza epistemica disomogenei caratteristici dei vari rischi);
- f_i = frequenza attesa, in occasioni all'anno, relativa allo scenario di rischio in esame;
- p_i = probabilità che un determinato bersaglio, potenzialmente presente nell'area di danno in esame, lo sia effettivamente;
- N_{pe} = numero di bersagli, dell'*i*-esima tipologia, presente nell'area di danno.
- D_d = danni diretti [€/m²] o [€/km];
- A_e = area esposta [m²] o [km];
- F_i = fattore di resilienza, che esprime la capacità del sistema di rispondere al rischio e ridurre i danni potenziali attraverso l'organizzazione e la capacità di far fronte (*coping capacity*).

Il fattore di resilienza è stato calcolato per ogni categoria di rischio con un approccio multicriteriale, attraverso l'utilizzazione e la pesatura di 8 indicatori di resilienza (IR) (Figura 1)

Ambito	Elementi di resilienza	Indicatori di Resilienza (IR)	
Protezione Civile	presenza di gruppi di Protezione Civile	PC-1	Area appartenente ad una municipalità nella quale sono presenti gruppi di Protezione Civile (sì/no)
Piani di Protezione Civile	presenza di Piani di Protezione Civile comunali	PE-1	Presenza o assenza di Piano di Protezione Civile per le municipalità in cui la cella ricade (sì/no)
Emergenza	tempo di arrivo ambulanza da punti 118 disponibilità di ambulanze	EM-1	tempo di arrivo dal punto 118 più vicino.
		EM-2	Numero di ambulanze che possono raggiungere il punto (cella) in 10 min.
Vigili del Fuoco	presenza di distaccamenti	VF-1	tempo di arrivo dal distaccamento VVF più vicino
Forze dell'ordine	presenza di stazioni di Polizia di Stato o Carabinieri	FO-1	tempo di arrivo dalla stazione di Polizia di Stato o Carabinieri più vicina
Ospedali	presenza di Strutture Sanitarie ed ospedaliere ritardo nell'ospedalizzazione	OS-1	tempo di arrivo al Pronto Soccorso più vicino
		OS-2	somma del tempo di arrivo dal punto 118 e del tempo di raggiungimento della struttura ospedaliera più vicina

Figura 1 – Indicatori impiegati per caratterizzare il livello di resilienza del territorio di anali.

Per alcune tipologie di rischio (Figura 2), è stato inoltre determinato il contributo di potenziali effetti domino attraverso il seguente approccio:

$$R_{B \leftarrow A} = W_A \times P_{pB} \times k_{B \leftarrow A} \times D_B \quad [7]$$

dove:

- $R_{B \leftarrow A}$ = rischio associato al verificarsi dell'evento secondario B a seguito del accadimento dell'evento primario A;
- W_A = frequenza di accadimento dell'evento primario A;
- P_{pB} = probabilità che l'elemento sorgente dell'evento secondario B sia effettivamente presente nell'area colpita a seguito del verificarsi dell'evento primario A;
- $k_{B \leftarrow A}$ = probabilità che una volta colpito l'elemento sorgente dell'evento secondario B dall'evento primario A, si produca effettivamente un effetto domino;
- D_B = danno, sulle persone o le cose, generato dal verificarsi dell'evento B,

		evento primario							
		ARIR	ADR	stradale	lavoro	idrogeo.	sismico	boschivo	meteo
evento secondario	ARIR	X	X			X	X	X	
	ADR	X				X			
	stradale								
	lavoro								
	idrogeo.						X		
	sismico								
	boschivo	X	X						X
	meteo								

Figura 2 – Tipologie di effetti domino considerate nell'analisi. Le celle contraddistinte dalla "X" individuano effetti domino per i quali è stata condotta una valutazione "esplicita" del rischio derivante da effetti domino.

Analisi

I diversi rischi oggetto di indagine sono stati analizzati, tramite utilizzo integrato di analisi GIS e modellistica dedicata, impiegando fattori caratteristici della tipologie di sorgenti e dei diversi scenari indagati:

Tipologia di rischio	Metodologie per la valutazione di		
	Localizzazione del fenomeno	Frequenza, f	Gravità, g
Aziende RIR	Piani di sicurezza <i>ex lege</i>	Piani di sicurezza <i>ex lege</i> (art. 8) e valutazione <i>expert-based</i> (art. 6)	Piani di sicurezza <i>ex lege</i> (art. 8) e valutazione <i>expert-based</i> (art. 6)
Attività non RIR	Elaborazione database VdF e ASL	Statistiche interventi VdF	Valutazione <i>expert-based</i>
Trasporto merci pericolose	Analisi GIS di database relativi al trasporto di merci pericolose sulla rete ferroviaria italiana	Statistiche RFI	Valutazione <i>expert-based</i>
Incidenti stradali	Analisi GIS database ACI e modelli trasporti provinciali	Statistiche ACI	Elaborazione statistiche ACI
Infortuni sul lavoro	Analisi GIS database INAIL e dati censimento Industria e Servizi ISTAT	Statistiche INAIL	Elaborazione statistiche INAIL
Alluvioni di fondovalle	Perimetrazione PAI (www.adbpo.it)	Tempi di ritorno PAI	Valutazione <i>expert-based</i>
Alluvioni in conoide	Modello di flusso semiempirico (Horton et al, 2008)	Statistiche GeoIFFI, modellazione	Curve di vulnerabilità (Bovolini e Tagliatella, 2002)
Collasso dighe	Modelli di collasso <i>ex lege</i>	Statistiche collassi	Valutazione <i>expert-based</i>
Valanghe	Catalogo SIRVAL (www.cartografia.regione.lombardia.it)	Statistiche AINEVA (www.aineva.it)	Valutazione <i>expert-based</i>
Frane superficiali	Modello matematico (Montgomery and Dietrich, 1994)	Statistiche GeoIFFI, modellazione	Valutazione <i>expert-based</i>
Debris flows	Modello di flusso semiempirico (Horton et al, 2008)	Statistiche GeoIFFI, modellazione	Curve di vulnerabilità (Bovolini e Tagliatella, 2002)
Crolli	Modello matematico 3D (Crosta et al., 2004)	Statistiche GeoIFFI, modellazione	Curve di vulnerabilità (Agliardi et al, 2009)
Frane profonde	Catalogo frane GeoIFFI (www.cartografia.regione.lombardia.it)	Statistiche GeoIFFI	Valutazione <i>expert-based</i>
Rischio sismico	Analisi microsismica da database INGV (zonesismiche.mi.ingv.it)	Database INGV	Curve di vulnerabilità (HAZUS)
Incendi boschivi	Analisi multicriteria	Database ERSAF	Valutazione <i>expert-based</i>
Rischio fulminazioni	Catalogo SIRF (www.fulmini.it/)	Statistiche SIRF	Valutazione <i>expert-based</i>

Alcuni aspetti di carattere generale e non dipendenti dalla tipologia di rischio sono stati analizzati preventivamente. In particolare:

○ sono state individuate due scale di gravità (*Figura 3*), una per i danni sull'uomo e una per i danni sulle cose, per la definizione dei valori del fattore g:

livello di gravità del danno sull'uomo	fattore di proporzione	esempi	livello di gravità del danno sulle cose	fattore di proporzione	esempi
Morte	1	-	Danni elevati	1	abitazioni distrutte
Lesioni gravi	0,25	danni permanenti, invalidità permanente del 25%	Danni parziali	0,25	strutture limitrofe parzialmente distrutte
Lesioni lievi	0,01	danni reversibili, 75 gg di invalidità temporanea, 1% di invalidità permanente	Danni lievi	0,01	-

Figura 3 – Scale di gravità dei danni sull'uomo e le cose adottate per la definizione dei valori di g.

o per la mappatura, su GIS, dei soggetti potenzialmente esposti a scenari di rischio (N_{pe} , Abitanti Equivalenti) e la conseguente determinazione dei danni sull'uomo (rischio sociale ed individuale), sono stati definiti valori di p differenti in base ad alcune tipologie di bersagli (Figura 4).

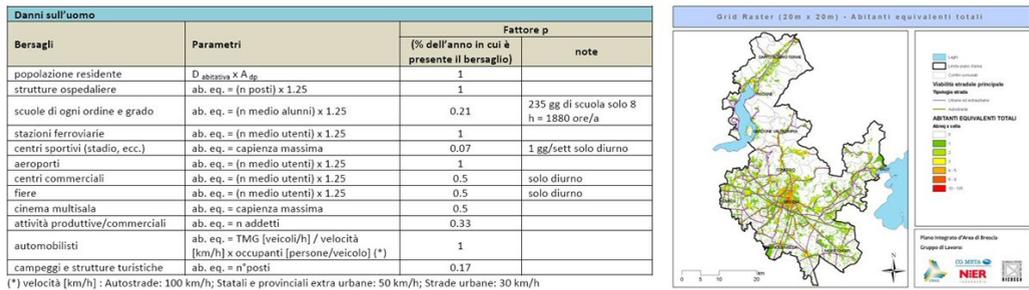


Figura 4 – I valori di fattore p impiegati nelle analisi e mappa degli Abitanti Equivalenti.

o è stato quantificato e mappato il valore monetario dei singoli elementi architettonici, tecnologici e naturali presenti sul territorio. Si è generato un set di mappe di valore economico, differenziate in funzione della tipologia di scenario considerato e, conseguentemente, degli elementi potenzialmente esposti.

Risultati e conclusioni

I valori finali di rischio integrato sono stati determinati, per ogni cella di analisi, secondo due diversi approcci:

- o somma diretta dei rischi totali;
- o somma dei rischi totali normalizzata sulle soglie di accettabilità (Figura 5).

tipologia di rischio	SA soglia di accettabilità per danni sull'uomo
Rischio industriale	10 ⁶
Rischio trasporti merci pericolose	10 ⁶
Rischio incidentalità stradale	10 ⁴
Rischio infortuni sul lavoro	10 ³
Rischio idrogeologico	10 ⁶
Rischio incendi boschivi	10 ⁶
Rischio sismico	10 ⁶
Rischio meteorologico	10 ⁶

Figura 5 – Valori analitici delle soglie di accettabilità del rischio impiegati nelle analisi.

Figura 6 illustra, a scala di Piano d'Area, la mappa di rischio integrato, con la distribuzione territoriale dei livelli di rischio sociale attesi. Figura 7 riporta invece un riassunto, per l'intera area di studio, dei contributi delle diverse tipologie di rischio alle componenti di rischio sociale, individuale e danni materiali. Dai dati si evince che, a livello di rischio sociale, le perdite maggiori sono riconducibili ad incidenti stradali ed infortuni sul lavoro che, insieme, contribuiscono per oltre l'80% dei colpiti/anno attesi totali. In termini di rischio individuale, dai dati si evince che oltre il 60% degli abitanti interessati da valori di rischio individuale superiore alla soglia di accettabilità sono esposti ad eventi

sismici e quasi il 22% a scenari di rischio riconducibili al trasporto di merci pericolose. In termini di danni materiali attesi annui, la tabella mostra come essi siano principalmente riconducibili ad eventi a carattere idrogeologico e sismico che, insieme, contribuiscono per oltre il 95% dei danni annui attesi.

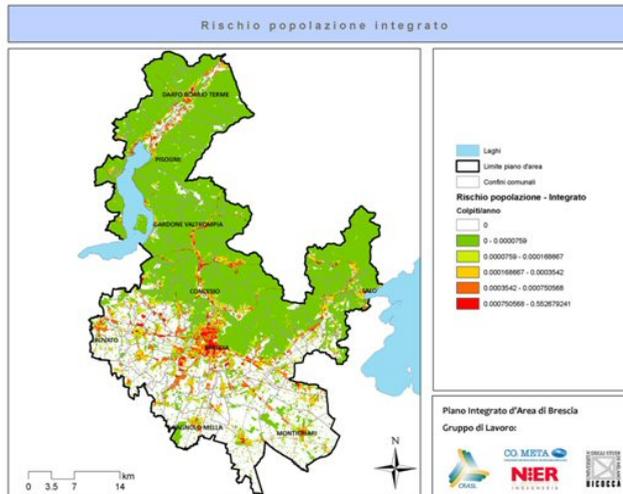


Figura 6 – distribuzione territoriale dei livelli di rischio integrato relativi alla componente rischio sociale.

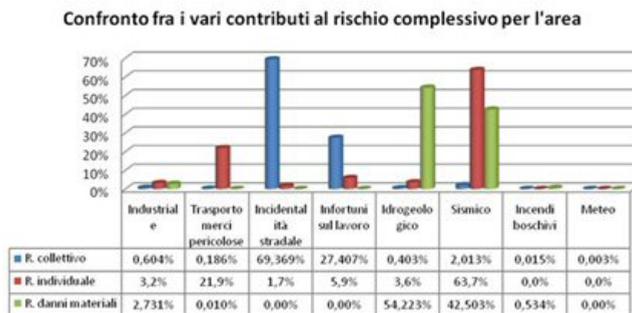


Figura 7 – contributi delle diverse tipologie di rischio alle componenti di rischio sociale, individuale e danni materiali e mappa di rischio sociale integrato sull'area di studio.

Bibliografia

- Agliardi, F., Crosta, G. B., and Frattini, P. (2009) Integrating rockfall risk assessment and countermeasure design by 3D modelling techniques, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 1059–1073
- Bovolin V., Tagliatalata L. (2002) *Proceedings Scritti in onore di Lucio Tagliatalata*, CNR-GNDICI Publication no. 2811, Naples, Ital, pp. 429–437
- Crosta, G.B., Agliardi, F., Frattini, P., Imposimato, S. (2004) A three-dimensional hybrid numerical model for rockfall simulation. *Geophysical Research Abstracts* 6, n. 04502
- Horton, P., Jaboyedoff, M., Bardou E. (2008): Debris flow susceptibility mapping at a regional scale, *Géorisques IV Geohazards: 4e Conférence canadienne sur les géorisques - 4th Canadian Conference on Geohazards*, 20-24 mai 2008 Québec, Canada, 20-24 May 2008
- Montgomery, D.R., Dietrich, W.E. (1994) A Physically based model for the topographic control on shallow landsliding. *Water Resource Research* 30, 83-92
- “Methods for the calculation of physical effects” – Yellow Book (TNO)
- “Methods for the determination of possible damage to people and objects meeting from release of hazardous materials” – Green Book (TNO)