



# Come misurare il rischio d'incidentalità stradale. Il caso di Regione Lombardia

**Benedetto Barabino**, PhD - RTDB – Università degli Studi di Brescia

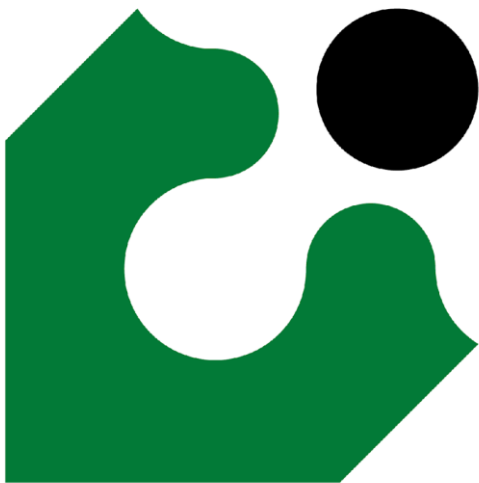
**Gruppo di lavoro:**

**Giulio Maternini**, Professore Ordinario - Università degli Studi Brescia

**Michela Bonera**, PhD Student - Università degli Studi di Brescia

Centro Studi CeSCAM - Università degli Studi di Brescia

30 novembre 2021



# Indice degli argomenti

- Introduzione
- Metodologia
- Applicazione al caso di Regione Lombardia
- Conclusioni e sviluppi futuri



# Introduzione – Pericolo & Rischio

**Mobilità sostenibile significa mobilità sicura**

## **Quadro della politica di sicurezza stradale UE 2021-2030**

- Valutazione della sicurezza stradale a livello di rete (obbligatoria entro il 2024)
- Approcci basati sul rischio

**Pericolo** si riferisce alla proprietà intrinseca di un'entità che ha un potenziale nel provocare danni. Il pericolo è associato ad una presenza oggettiva o a una potenziale fonte di danno.

**Rischio** si riferisce alla possibilità che il verificarsi di determinate condizioni provochi danni a persone o cose. Non è associato ad alcuna entità oggettiva.

**Se esiste un pericolo, il rischio può essere elevato, non elevato, etc.**

## Introduzione – Rischio

Nella letteratura scientifica sono presenti diversi studi volti a definire misure qualitative e quantitative del rischio (e.g. Kaplan, 2012)

**R** = Incertezza + Danno

**R** = Pericolo / protezione

Dal punto di vista applicativo (e.g. ISO EN 39001: 2018)

**R**=  $f(P,C) = f(P,V,E)$  = Relazione che lega la frequenza/probabilità che l'evento si verifichi, la capacità di sopportare il danno, ed il numero degli elementi potenzialmente soggetti all'evento.

# Introduzione – Rischio

## Triangolo del rischio

La misura del rischio in sé non è complicata. Più complesso è calcolare le componenti. Spesso si perviene ad un calcolo parziale.



Adattato da Crichton (1999)

# Introduzione – Sistemi di Gestione della Sicurezza Stradale

Sicurezza  
stradale  
politiche e  
direttive

**Road Infrastructure Safety Management (RISM)**  
(European Commission, 2008; 2019; MIT, 2011, 2012)  
**Road Traffic Safety Management (RTSM)**  
(ISO Standard 39001:2012)

Promuovere approcci basati sul rischio  
nella gestione della sicurezza stradale

Stima del  
RISCHIO

**Parametro di decisione** per qualsiasi processo di  
management (e.g., Fine, 1971; ISO 31000:2018; Aven,  
2020; etc.)  
*“Effetto incertezza con rispetto all’obiettivo”.*

Individuare

- Fattori di rischio
- Eventi potenziali
- Probabilità di accadimento
- Conseguenza dell’evento

SCREENING  
della RETE  
STRADALE  
(RNS)

**1° passo del processo del RISM processo**  
(Hauer et al., 2002; Elvik, 2010; Yannis et al., 2016; etc.)

Identificare i siti ad alto rischio di  
incidentalità

# Introduzione – Sistemi di Gestione della Sicurezza Stradale

## SCREENING della RETE STRADALE (RNS)

### SEGMENTAZIONE (I)

### IDENTIFICAZIONE SITI NERI (II)

### RANKING E VISUALIZZAZIONE (III)

- **Segmentazione spaziale funzionale: lunghezza fissa, finestre scorrevoli, segmento omogeneo** (AASHTO, 2010; Kwon et al., 2013; Ghadi and Török, 2019)
- Segmentazione correlate agli incidenti (argomento di ricerca): *High Crash Risk Profile*, Wavelet transform theory (Boroujerdian et al., 2014; Elyasi et al., 2016)
- **Approccio REATTIVO (Index-Based): Indicatori di prestazione di sicurezza (SPI) basati sui dati osservati** (Gupta and Bansal, 2018; EuroRAP, 2020)
- Approccio proattivo (Modelling - Based): Modelli predittivi che restituiscono le prestazioni di sicurezza attese (Ambros et al., 2018, Wang et al., 2021)
- Classifica ordinata per identificare ‘Siti Neri’. Può essere definito impostando una soglia fissa o tramite una scala di classificazione..
- Creazione mappe rischio ad alto tasso di incidentalità stradale

# Introduzione - Sistemi di Gestione della Sicurezza Stradale

**Necessitano di un'accurata localizzazione degli incidenti** (In Italia, il 36% degli incidenti difettano delle coordinate...)

**Utilizzano degli indici di rischio parziali** (frequenza di incidentalità, in qualche caso corretta con misure di esposizione, talvolta si usa anche la severità).

**Non vengono riportate delle mappe dinamiche** (Mappe costruite in funzione del livello di dettaglio richiesto).





# Introduzione - OBIETTIVO

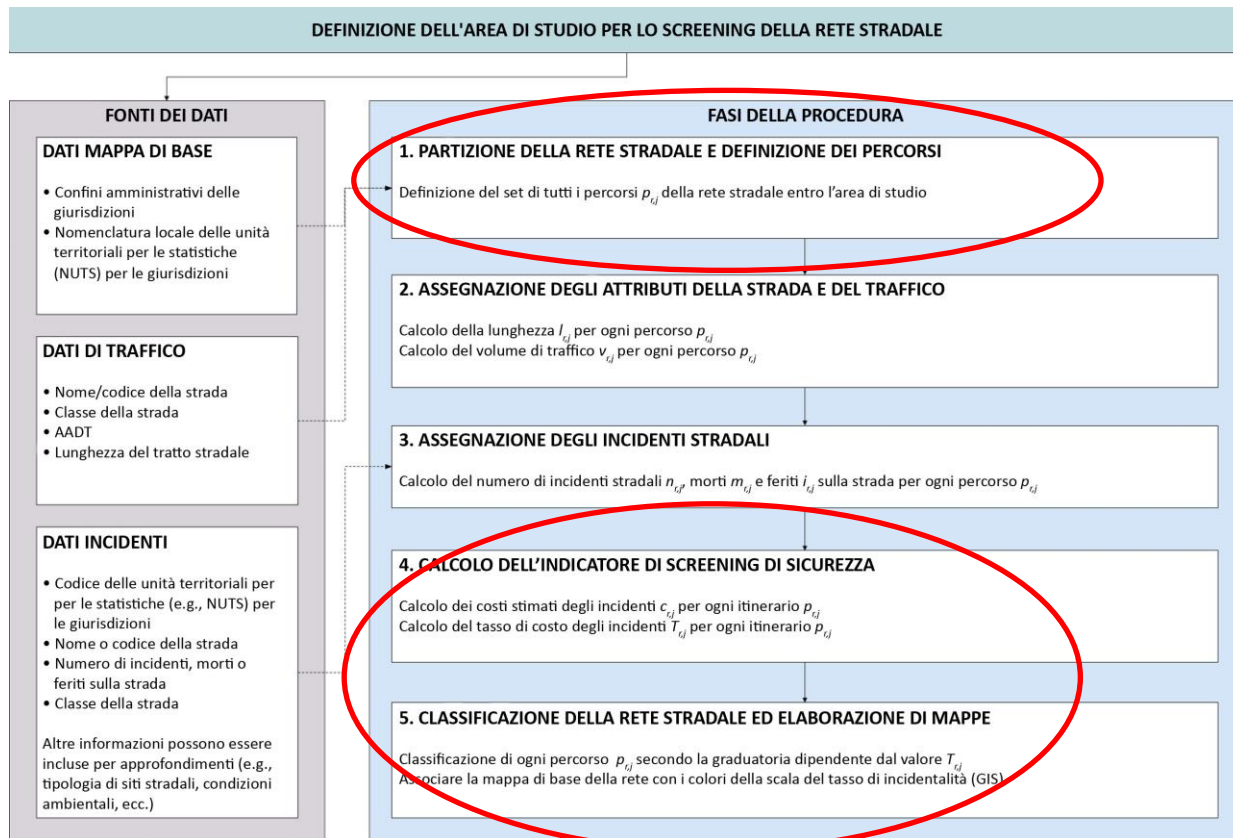
**Sviluppo** di una **metodologia operativa** di RNS (Segmentare, Misurare, Rappresentare) a diversi livelli amministrativi. Il metodo:

- Segmenta la rete delle strade
- Calcola un semplice rischio di incidentalità.
- Fornisce un efficace strumento di supporto alle decisioni per i responsabili della sicurezza stradale nella definizione della priorità degli interventi.

## Originalità del lavoro

- **considera** i dati sugli incidenti su larga scala (non è necessaria l'esatta localizzazione);
- **adotta** un indice di **incidentalità rettificato** (in un'unica misura si aggregano le principali componenti di rischio - è una evoluzione del tasso di incidentalità)
- **presenta** i risultati utilizzando mappe *dinamiche* (i valori dell'indice sono mostrati a diversi livelli amministrativi)

# Metodologia



Fonte: M. Bonera; B. Barabino; G. Maternini (under review) - Road network safety screening of county-wide road network. The case of the Province of Brescia (Northern Italy)

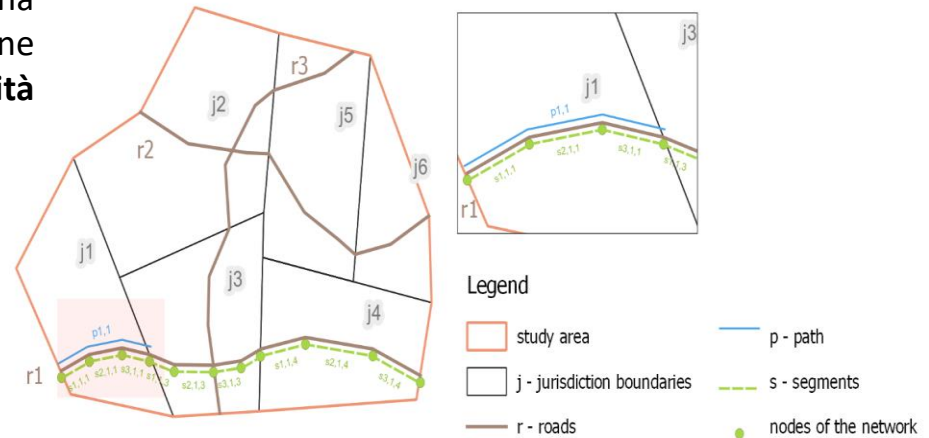
# Metodologia

## STEP 1 - SEGMENTAZIONE DELLA RETE E DEFINIZIONE DELL'ITINERARIO

Andiamo alla ricerca di un "minimo comune multiplo" tra gli **attributi di localizzazione**. Porzione di una generica strada entro i confini della giurisdizione territoriale di livello più elementare: **Il percorso (unità minima di analisi)**

Dati:

- $J$  insieme delle giurisdizioni territoriali nell'area di stud e  $j \in J$  una giurisdizione.
- $R(j)$  insieme delle strade che attraversano la giurisdizione  $j \in J$ , e  $r \in R(j)$  una generica strada
- $S(r, j)$  l'insieme dei segmenti stradali della strada  $r \in R(j)$ ,  $j \in J$ , e  $s \in S(r, j)$  un generico segmento
- $P_{r,j}$  l'insieme di tutti i segmenti  $s \in S(r, j)$  della strada  $r \in R(j)$ ,  $j \in J$ , e  $p_{r,j} \in P_{r,j}$  un generico percorso.



$$p_{r,j} = \{s \in S(r, j) : r \in R(j) \text{ and } j \in J\}$$

(1)

# Metodologia

## STEP 4 - CALCOLO DELL'INDICATORE DI RISCHIO DI INCIDENTALITÀ

Si tiene conto **del concetto di rischio sviluppando** la valutazione della sicurezza della rete stradale tenendo conto di frequenza, gravità e misure di esposizione degli incidenti (UE, 2008, 2019; Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2012)

Dati:

- $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  i coefficienti per le stime dei costi unitari associati rispettivamente a un incidente stradale, a un decesso da incidente e a un incidente stradale;  $n$ ,  $m$  e  $i$  il numero di incidenti, decessi e feriti sulla strada  $r$  della giurisdizione  $j$
- $f$  il numero di giorni in un anno da considerare (o altro periodo di riferimento)

### Costo sociale

$$c_{r,j} = \alpha \cdot n_{r,j} + \beta \cdot m_{r,j} + \gamma \cdot i_{r,j} \quad \forall r \in R, \forall j \in J \quad (7)$$

### Tasso di incidentalità rettificato sul percorso

$$T_{r,j} = \frac{10^6 \cdot c_{r,j}}{f * l_{r,j} * v_{r,j}} \quad \forall r \in R, \forall j \in J \quad (8)$$

# Metodologia

## STEP 4 - CALCOLO DELL'INDICATORE DI RISCHIO DI INCIDENTALITÀ - NOTA

Se confrontiamo il tasso di incidentalità con quello rettificato cosa emerge?

**Tasso di incidentalità**

$$T_{r,j} = \frac{10^6 \cdot n_{r,j}}{f * l_{r,j} * v_{r,j}}$$

**Tasso di incidentalità rettificato**

$$T_{r,j} = \frac{10^6 \cdot c_{r,j}}{f * l_{r,j} * v_{r,j}}$$

Il **tasso di incidentalità rettificato** tiene conto della severità degli incidenti, poiché valuta il costo sociale e sembra più completo del solo tasso di incidentalità che considera solo la frequenza oltre all'esposizione.






Il **tasso di incidentalità rettificato** è più vicino al **concetto di rischio** (ci sono tutte e 3 le componenti)



# Metodologia

## STEP 5 - RANKING DELLE PRESTAZIONI DI SICUREZZA E MAPPE DI RISCHIO

Per la classificazione degli itinerari sulla base dei valori assunti dal **tasso di incidentalità rettificato** sono stati fissati **cinque range** corrispondenti a diversi livelli di intensità del fenomeno, definiti sulla base dei **quartili della distribuzione dei valori** assunti dall'indice per ciascun percorso.

Range di valore	Classe	Colore
MIN – Q1	Molto basso	
Q1 – Q2	Basso	
Q2 – Q3	Medio	
Q3 – X	Alto	
X - MAX	Molto alto	

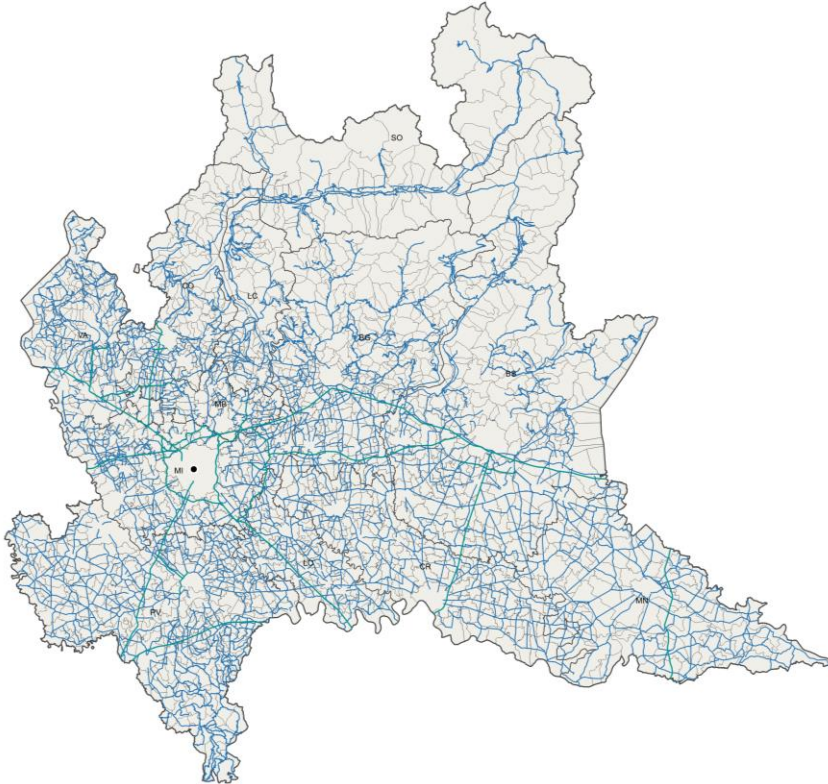
Il ranking produce due tipi di risultati:

**Cruscotto sintetico** e chiaro dello screening, dove le percentuali mostrano la quota del totale dei percorsi appartenenti a ciascun livello della scala.

**Mappe specifiche** per diversi limiti amministrativi. Ogni percorso è rappresentato da un colore corrispondente al relativo livello di sicurezza indicato dalla scala.

# Applicazione al caso di Regione Lombardia

## CASO DI STUDIO



Regione Lombardia è la regione più popolata d'Italia (10+ milioni di abitanti)

Polo commerciale e industriale dell'intero Paese

La rete stradale regionale è una delle più ampie e fitte d'Italia:

- 700+ km di autostrade,
- 10.000+ km di strade provinciali
- 1.000- km di strade statali,
- 58.000+ km di strade locali

Il livello di incidentalità è tra i più alti d'Italia

- 40000+ incidenti stradali (anno)
- 400+ decessi (anno)
- 30000+ feriti (anno)

# Applicazione al caso di Regione Lombardia

## CONFIGURAZIONE SPERIMENTALE

### Fonti dei dati

- **Cartografia digitale** → Database topografico regionale *open access*
- **Traffico** → Direzione Generale Regionale (DG) per la Sicurezza Stradale
- **Incidenti** → **Polis-Lombardia**, l'Istituto Regionale per il Supporto alle Politiche (Quinquennio 2014-2018). Dati di incidentalità relativi al database ISTAT per un totale di 163.840 incidenti, nel quinquennio. Il 21% non possiede coordinate geografiche e/o cartesiane; spesso la denominazione stradale è incompleta.

**Database ISTAT**

	A	B	C	D
1	Codice autostrada percorso	INCIDENTI	MORTI	FIBRITI
2	AD1	116	4	206
3	AD2	16	2	10
4	AD3	15971	4	1
5	AD4	11140	7	1
6	AD5	11146	1	0
7	AD6	11152	8	1
8	AD7	11161	29	1
9	AD8	11162	10	0
10	AD9	11163	84	2
11	AD10	98504	6	1
12	AD11	98505	2	0
13	AD12	98509	3	0
14	AD13	98510	5	0
15	AD14	98511	8	0
16	AD15	98512	8	0

**Database Stradale e traffico**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Codice autostrada percorso	LUNGHEZZA [KM]	VEIC*MM S	VEIC*MM A								
2	AD1	112,792	4.562.005,555	1.677.430.202,718								
3	AD2	16,401	1.160.705,725	572.342.189,779								
4	AD3	15,912	224.612,820	81.906.379,660								
5	AD4	11,246	48.510,940	18.091.093,100								
6	AD5	11,595	590.862,215	215.975.938,681								
7	AD6	11,440	2.311	115.541,650	43.440.071,510							
8	AD7	15,971	6.677	299.962,550	109.486.119,150							
9	AD8	11,512	6.379	198.464,450	70.151.171,000							
10	AD9	38	77.991	3.022.294,830	1.099.487.612,950							
11	AD10	2,118	96.463,860	35.102.121,960								
12	AD11	98,043	6.079	220.598,500	83.927.574,460							
13	AD12	98,012	479.871,140	178.189.466,160								
14	AD13	98,511	8.191	40.563,500	14.500.866,000							

A valle di tutte queste operazioni, per questo tipo di applicazione, e limitandosi alla principale **rete stradale extraurbana** sono stati considerati: 34.000+ incidenti; 24.000+ segmenti stradali.



# Applicazione al caso di Regione Lombardia

## SVILUPPO DELLA FRAMEWORK – STEP 1

Livello analisi	Struttura della chiave primaria	Esempio
Regionale	COD_PE	A4
Provinciale	COD_PE + COD ISTAT PROVINCIA	A4_17 (A4 nella provincia di Brescia)
Comunale	COD_PE + COD ISTAT COMUNE	A4_17029 (A4 nel comune di Brescia)

Applicando l'Eqn. (1), sono stati considerati i nomi delle strade e i comuni contenuti delle diverse banche dati.

In tal modo ad ogni segmento è stata attribuita una nuova variabile, che indicava l'associazione del percorso (che rappresenta la il minimo comune multiplo per collegare le basi)

Codici del percorso a livello di giurisdizione			Segmenti
Ambito / percorso Regionale	Ambito / Percorso provinciale	Ambito / Percorso comunale	
A04	A04_17	A04_17029	41681
A04	A04_17	A04_17029	43981
A04	A04_17	A04_17029	...
A04	A04_17	A04_17127	40249
A04	A04_17	A04_17127	41641
A04	A04_17	A04_17127	...
A04	A04_17	...	...
A04	A04_16	A04_16051	31690
A04	A04_16	A04_16051	32118
A04	A04_16	A04_16051	...
A04	A04_16	A04_16037	32117
A04	A04_16	A04_16037	32146
A04	A04_16	A04_16037	...
A04	A04_16	...	...
A04	...	...	...

# Applicazione al caso di Regione Lombardia

## SVILUPPO DELLA FRAMEWORK – STEPS 2, 3, 4

Individuati i percorsi, per ognuno di essi sono stati calcolati la lunghezza, il volume di traffico nonché il numero di incidenti, morti e feriti, secondo le equazioni riportate in procedura.

Per il calcolo del costo di ogni incidente, sono state utilizzate le stime dei costi specifici forniti dal MIT (2017).

	Voci elementari di costo per tipologia	Stime del costo [€]
$\alpha$	Costo medio per incidente stradale	10.986,00 €
$\beta$	Costo medio per un decesso	1.503.990,00 €
$\gamma$	Costo medio per un ferito	42.219,00 €

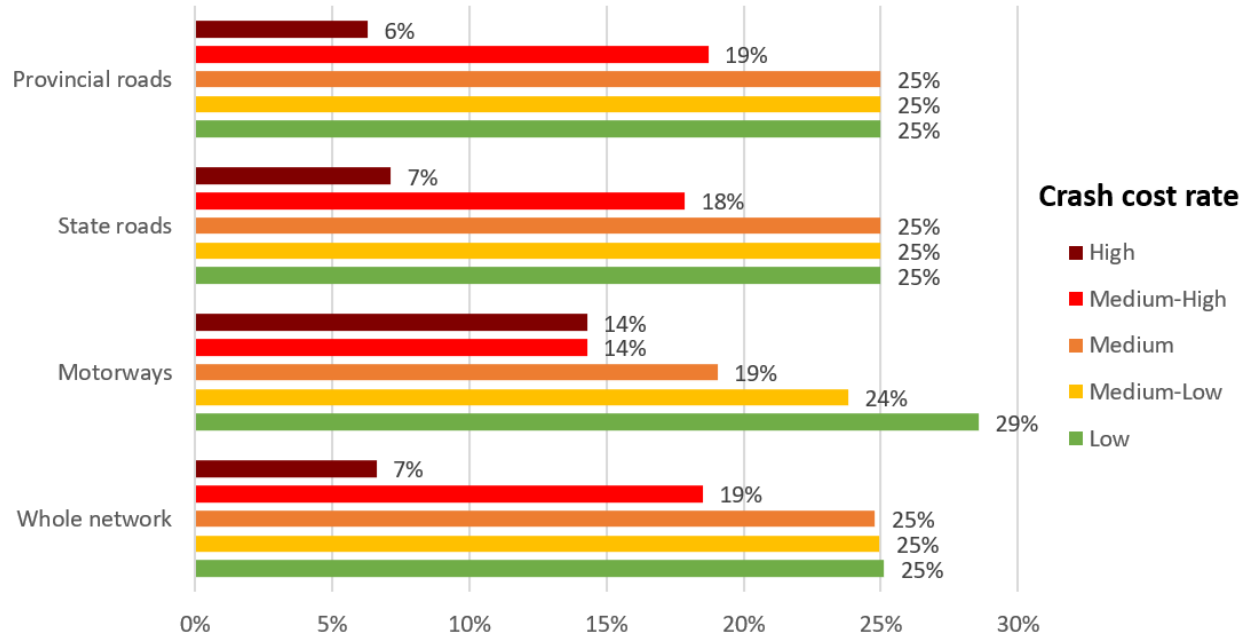
Fonte: Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2017)

Per il calcolo del costo del tasso di incidentalità rettificato è stata applicata la formula dell'Eqn. (8) per ogni tipologia di percorso con riferimento alle strade autostrade, strade statali e provinciali.

# Applicazione al caso di Regione Lombardia

## SVILUPPO DELLA FRAMEWORK – STEP 5

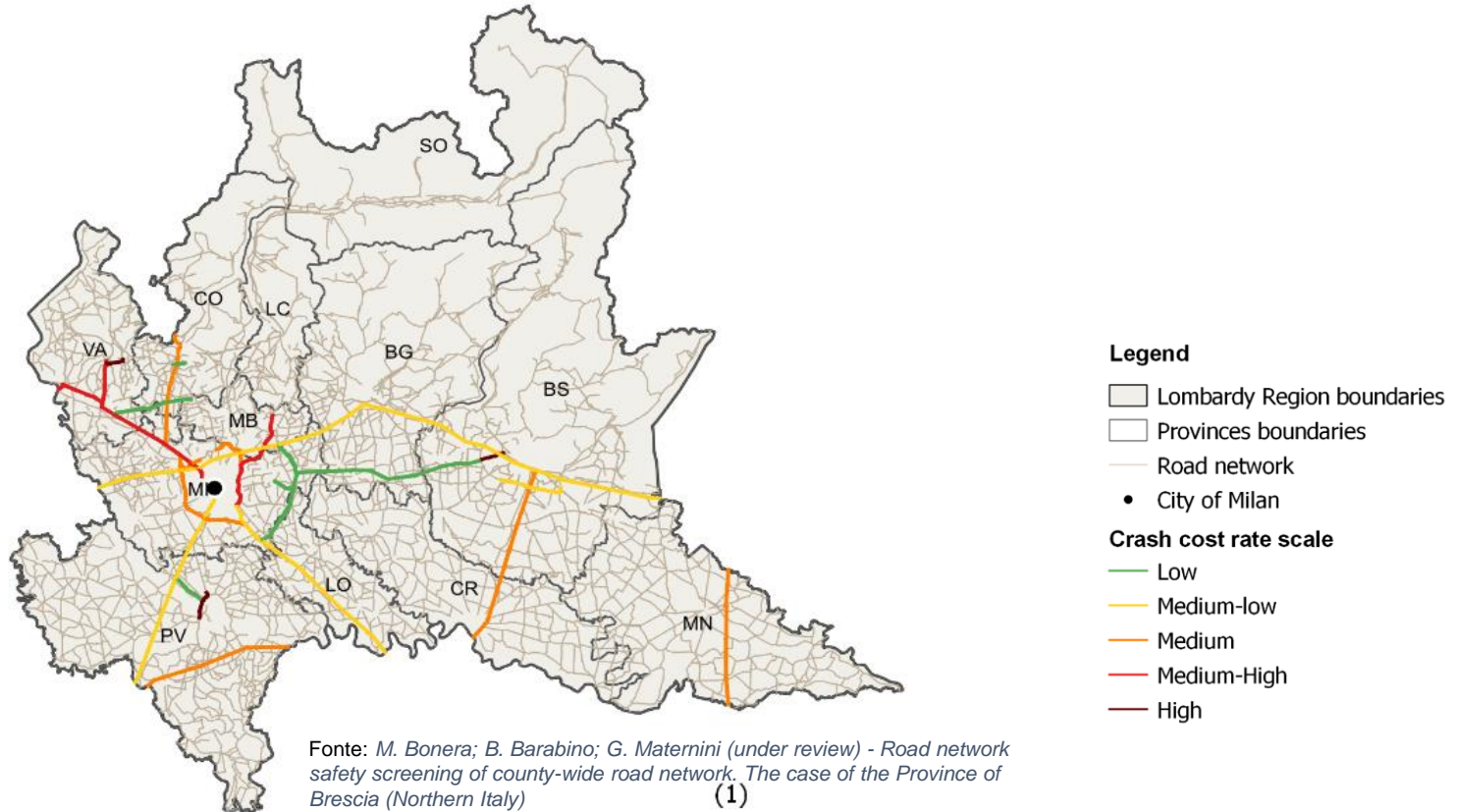
### Cruscotto sintetico



Fonte: M. Bonera; B. Barabino; G. Maternini (under review) - Road network safety screening of county-wide road network. The case of the Province of Brescia (Northern Italy)

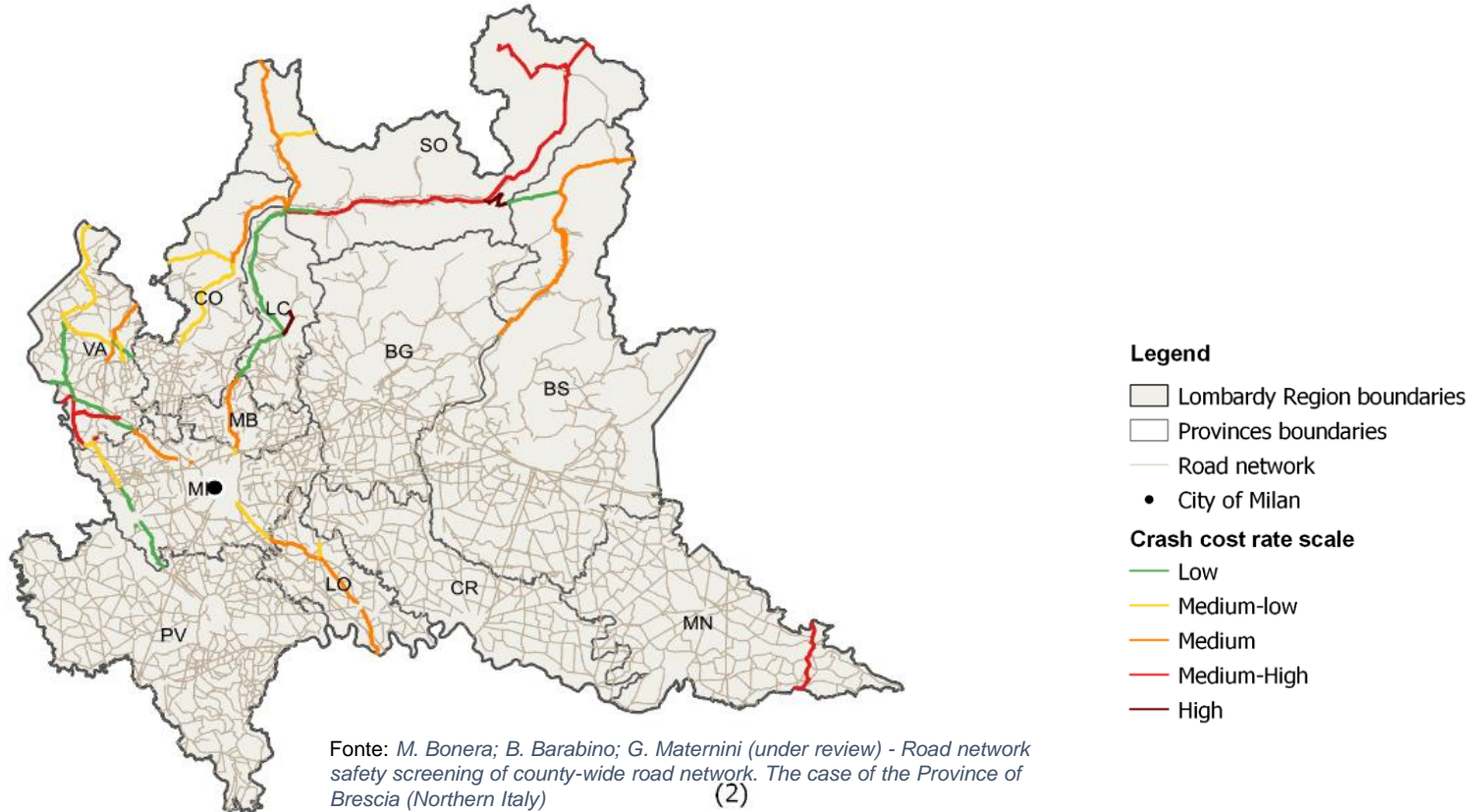
# Applicazione al caso di Regione Lombardia

## Mappe del rischio – Rete principale extraurbana a livello regionale - AUTOSTRADE



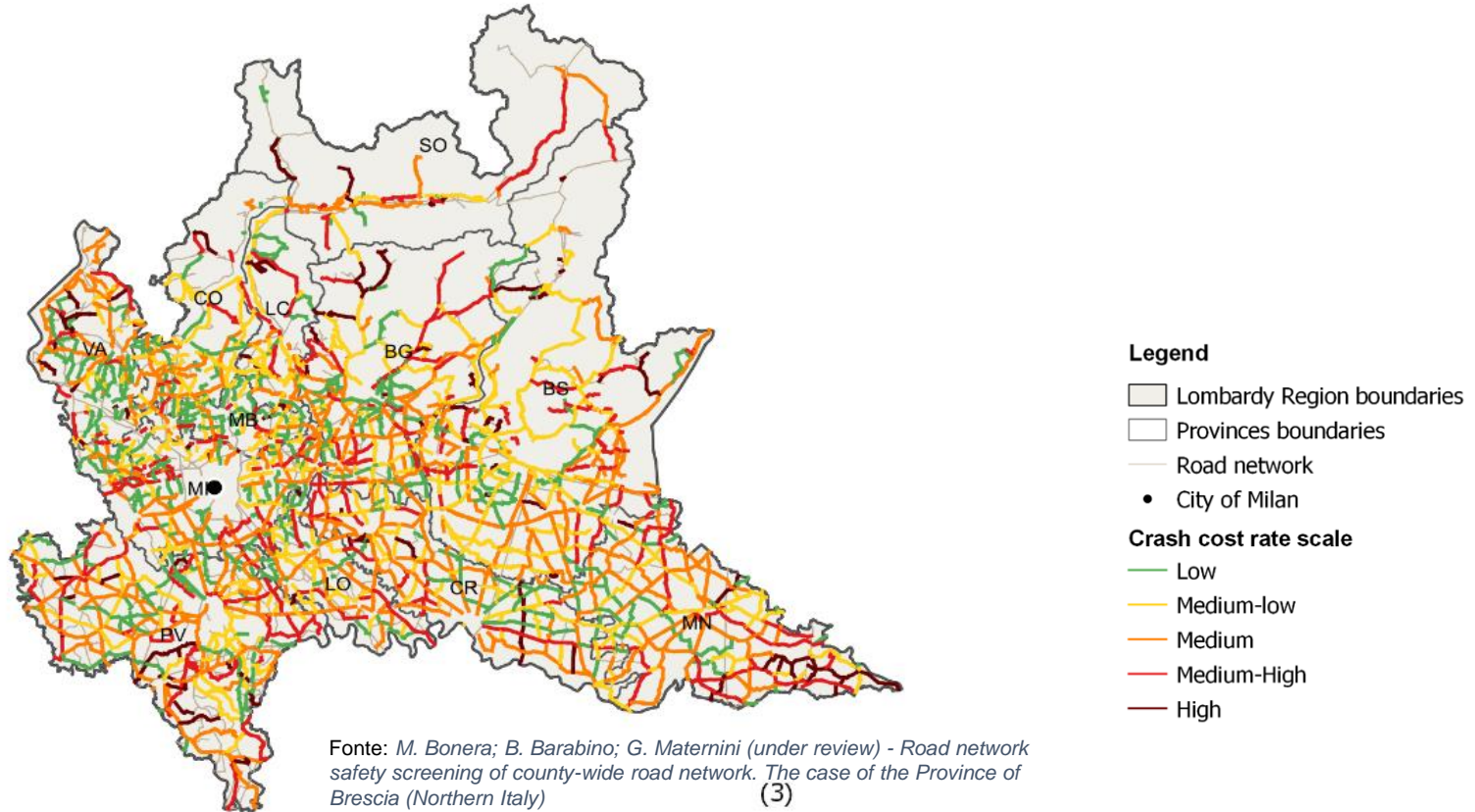
# Applicazione al caso di Regione Lombardia

## Mappe del rischio – Rete principale extraurbana a livello regionale – STRADE STATALI



# Applicazione al caso di Regione Lombardia

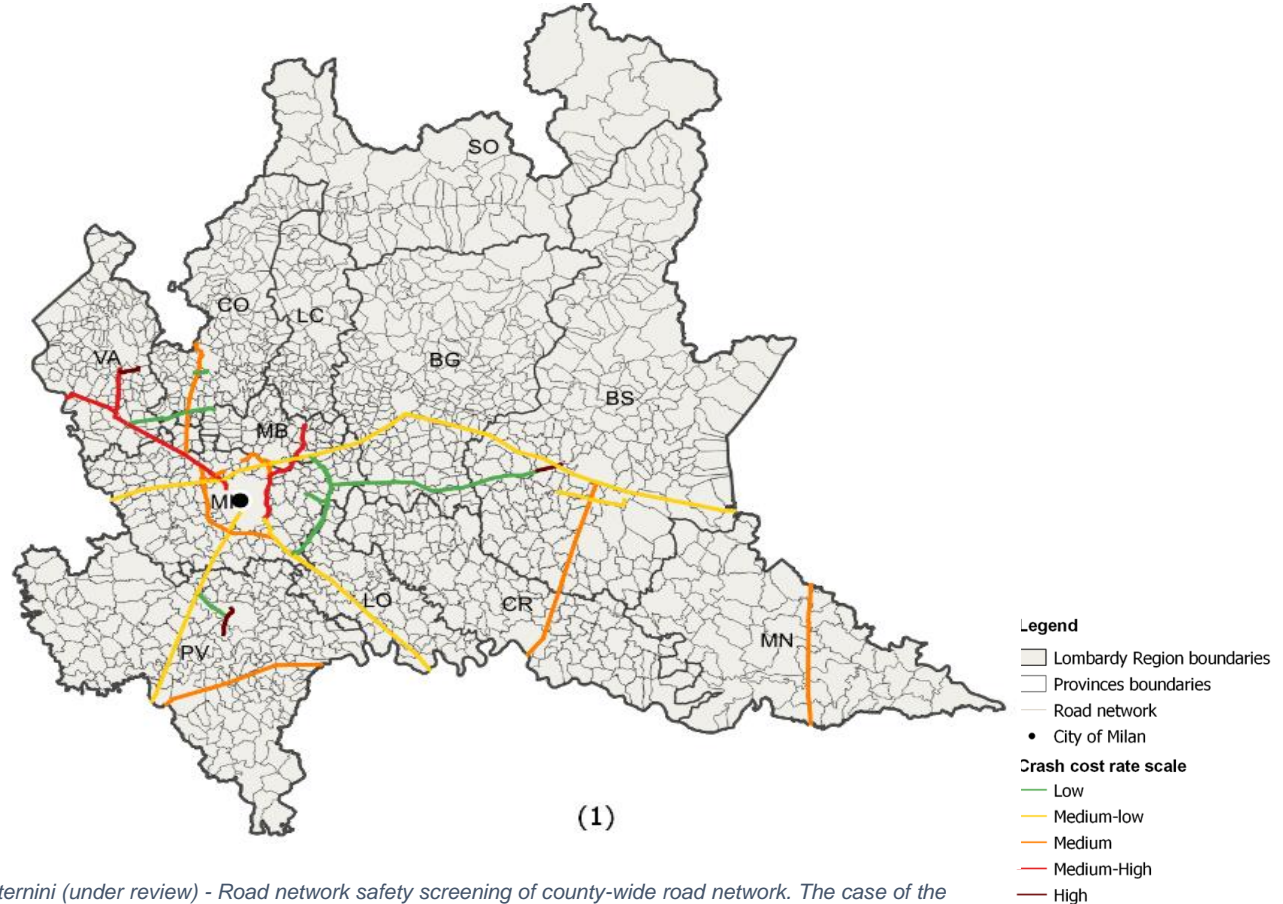
## Mappe del rischio – Rete principale extraurbana a livello regionale – STRADE PROVINCIALI





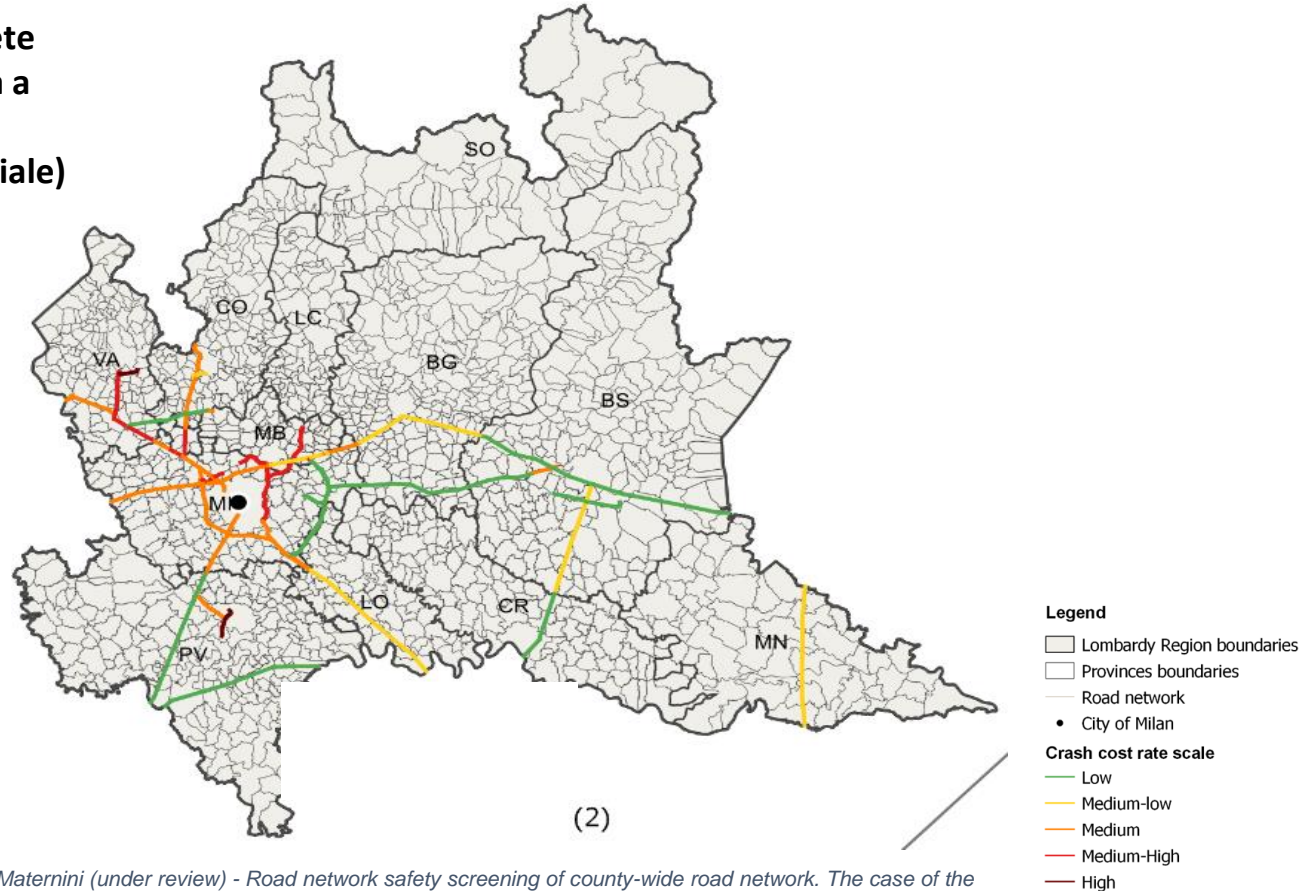
# Applicazione al caso di Regione Lombardia

Mappe del rischio –  
Rete principale  
extraurbana a livello  
regionale –  
AUTOSTRADE  
(Regionale)



# Applicazione al caso di Regione Lombardia

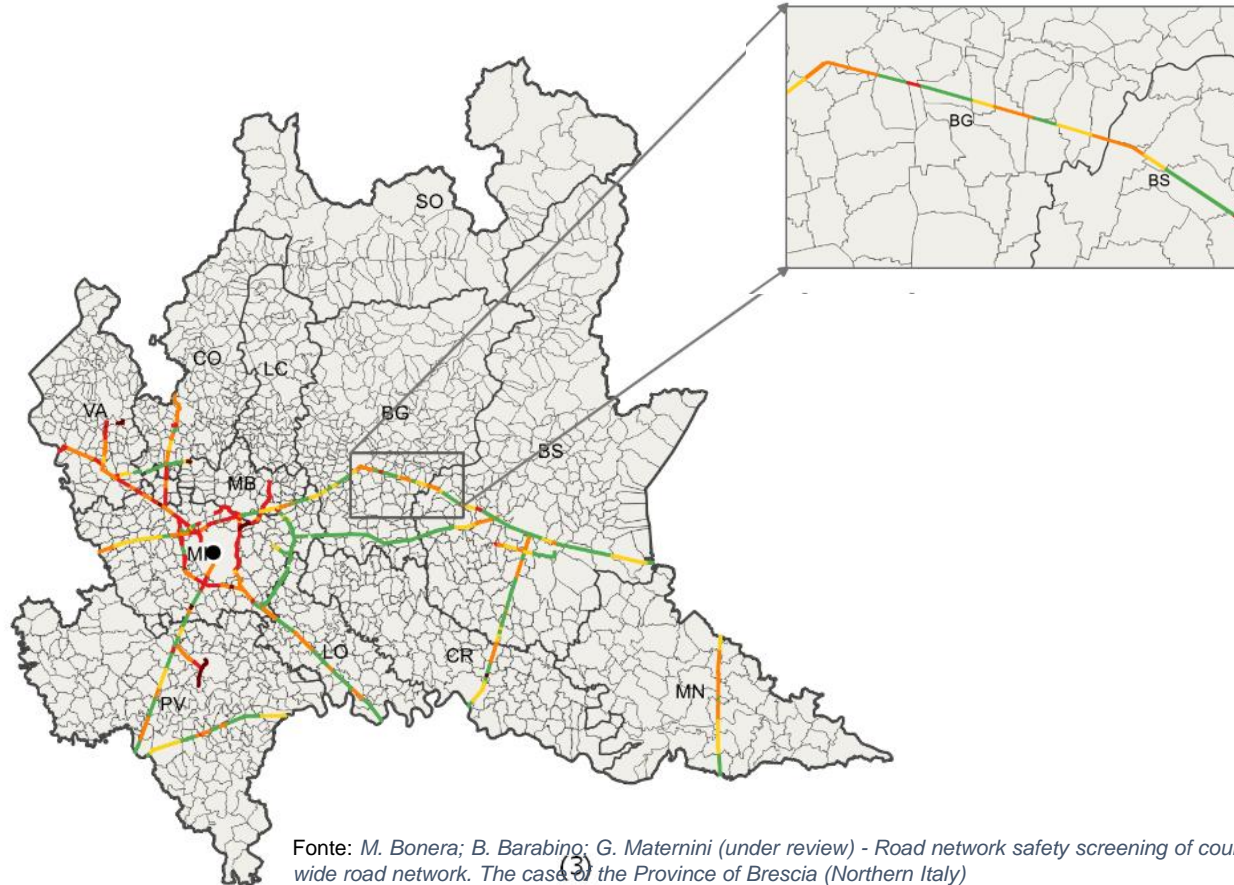
Mappe del rischio – Rete principale extraurbana a livello regionale –  
AUTOSTRADE (Provinciale)



Fonte: M. Bonera; B. Barabino; G. Maternini (under review) - Road network safety screening of county-wide road network. The case of the Province of Brescia (Northern Italy)



# Applicazione al caso di Regione Lombardia



Mappe del rischio –  
Rete principale  
extraurbana a livello  
regionale –  
**AUTOSTRADE**  
(Comunale)

Fonte: M. Bonera; B. Barabino; G. Maternini (under review) - Road network safety screening of county-wide road network. The case of the Province of Brescia (Northern Italy)

## Conclusioni

- **Fornire** una segmentazione stradale replicabile e flessibile per gestire i dati sulla posizione, senza fare affidamento su coordinate spaziali.
- **Proporre** un semplice **indice** di incidentalità '**rettificato**', ma completo, che includa in un'unica misura la frequenza degli incidenti, la misura dell'esposizione e la gravità (valutata dai costi economici).
- **Consentire** uno **screening** di rete generale e multilivello, poiché il processo computazionale può adattarsi, a seconda della giurisdizione territoriale considerata (es. scala regionale, provinciale e locale).

### Implicazioni pratiche

- **Consentire** un alto grado di flessibilità e adattabilità della metodologia che è facile da replicare
- **Individuare** strategie di intervento ed allocare fondi, grazie all'individuazione dei percorsi più (o meno) critici secondo una scala di rischio
- **Fornire** più livelli di screening della rete per i soggetti interessati

### Sviluppi futuri

- **Includere** il costo sociale di incidentalità specifico per la Lombardia
- **Applicare** modelli predittivi di rischio (approccio proattivo)

# Grazie per l'attenzione

Benedetto Barabino -> [benedetto.barabino@unibs.it](mailto:benedetto.barabino@unibs.it)  
 Giulio Maternini -> [giulio.maternini@unibs.it](mailto:giulio.maternini@unibs.it)  
 Michela Bonera -> [m.bonera010@unibs.it](mailto:m.bonera010@unibs.it)



**MOBILITÀ SOSTENIBILE E UTENZA VULNERABILE**  
 Pedoni, ciclisti e monopattini elettrici  
 10ª giornata regionale della sicurezza stradale  
 mercoledì 25 novembre 2020 h. 10:00-11:30  
 videoconferenza



**Pedoni e incidenti stradali in Lombardia. Anni 2017-2019**  
 I quaderni del Centro Regionale Lombardo di governo e monitoraggio della sicurezza stradale (CMRS)



**Valutazione economica dell'incidentalità stradale**  
 Analisi dei costi sanitari per il biennio 2018-2019  
 I quaderni del Centro Regionale Lombardo di governo e monitoraggio della sicurezza stradale (CMRS)



**Pedoni e incidenti stradali in Lombardia. Anni 2017-2019**  
 I quaderni del Centro Regionale Lombardo di governo e monitoraggio della sicurezza stradale (CMRS)



Available online at [www.elsevier.com/locate/procedia](http://www.elsevier.com/locate/procedia)  
**ScienceDirect**  
 Transportation Research Procedia 41 (2020) 440-450  
**Procedia**  
 Transportation Research

**AIIT 2nd International Congress on Transport Infrastructure and Systems in a Changing World (TIS ROMA 2019)**, 25-26-28 September 2019, Rome, Italy  
**Evaluating bus accident risks in public transport**  
 Fabio Porcu<sup>a</sup>, Alessandro Olivio<sup>b</sup>, Giulio Maternini<sup>a</sup>, Benedetto Barabino<sup>a,\*</sup>



Available online at [www.elsevier.com/locate/jtrp](http://www.elsevier.com/locate/jtrp)  
**Accident Analysis and Prevention**  
 journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jtrp](http://www.elsevier.com/locate/jtrp)

**Bus crash risk evaluation: An adjusted framework and its application in a real network**  
 Benedetto Barabino<sup>a,\*</sup>, Michela Bonera<sup>a</sup>, Giulio Maternini<sup>a</sup>, Alessandro Olivio<sup>b</sup>, Fabio Porcu<sup>a</sup>



European Transport - Transp Europe (2021) Issue 81, Paper n° 4, ISSN 1825-3997  
<https://doi.org/10.48205/ET.2021.81.4>

**Assessing the Risk of Bus Crashes in Transit Systems**  
 Fabio Porcu<sup>a</sup>, Alessandro Olivio<sup>b</sup>, Giulio Maternini<sup>a</sup>, Mauro Coni<sup>a</sup>, Michela Bonera<sup>a</sup>, Benedetto Barabino<sup>a,\*</sup>