



Presentazione “Quaderni tematici”: nuove tecnologie, sicurezza della mobilità pedonale e costi sanitari e sociali degli incidenti stradali

Prof. Giulio Maternini, Università degli Studi di Brescia

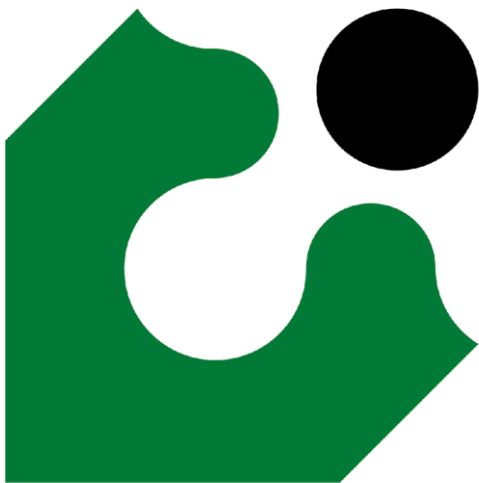
Prof. Benedetto Barabino, Università degli Studi di Brescia

Gruppo di lavoro:

Martina Carra, Roberto Ventura, Tommaso Cigognetti, Nuhamin Gezehagne Assefa, Laura Ferretto, Alberto Rutter, Stefano Raccagni

Centro Studi CeSCAM - Università degli Studi di Brescia

12 dicembre 2023



Indice degli argomenti

1. Alcuni cenni all'incidentalità degli utenti deboli in Italia
2. Nuove tecnologie per il miglioramento della sicurezza stradale
3. Focus sull'incidentalità dei pedoni in Lombardia
4. Rischio d'incidente a pedone: una proposta metodologica preliminare



1. Alcuni cenni all'incidentalità degli utenti deboli in Italia

Anni	Pedoni coinvolti	Ciclisti coinvolti	Utenti deboli non motorizzati		Ciclomotori coinvolti	Motocicli coinvolti	Utenti deboli motorizzati a due ruote	
			Totali	Variazione % rispetto all'anno base 2005			Totali	Variazione % rispetto all'anno base 2005
2005	18.408	14.127	32.535	0	40.530	50.896	91.426	0
2006	19.089	14.977	34.066	4,71%	36.842	54.955	91.797	0,41%
2007	18.368	15.713	34.081	4,75%	33.205	58.607	91.812	0,42%
2008	18.557	15.636	34.193	5,10%	28.665	55.320	83.985	-8,14%
2009	18.472	15.874	34.346	5,57%	26.652	55.028	81.680	-10,66%
2010	19.570	15.659	35.229	8,28%	22.611	52.623	75.234	-17,71%
2011	19.155	17.440	36.595	12,48%	21.012	54.181	75.193	-17,76%
2012	19.057	18.033	37.090	14,00%	17.632	47.555	65.187	-28,70%
2013	19.354	17.780	37.134	14,14%	15.006	43.059	58.065	-36,49%
2014	19.905	18.055	37.960	16,67%	13.341	41.625	54.966	-39,88%
2015	18.759	17.437	36.196	11,25%	12.489	42.881	55.370	-39,44%
2016	19.440	17.394	36.834	13,21%	11301	42.793	54.094	-40,83%
2017	19.481	17.521	37.002	13,73%	10.825	44.892	55.717	-39,06%
2018	19.185	16.741	35.926	10,42%	9.883	42.851	52.734	-42,32%
2019	19.817	17.270	37.087	13,99%	9.471	42.880	52.351	-42,74%
2020	12.720	14.558	27.278	-16,16%	6.455	30.383	36.838	-59,71%
2021	15.631	19.169	34.800	6,96%	8.262	40.115	48.377	-47,09%
2022	17.765	20.604	38.369	8,73%	8.546	46.036	54.582	-40,23%

Tabella 1

Ricostruzione della serie storica dei dati dei pedoni, velocipedisti, ciclomotori e motocicli coinvolti in incidente stradale in Italia dal 2005 al 2022

Elaborazione CeSCAM. Fonte: ISTAT datawarehouse online (<http://dati.istat.it>) consultato nell'ottobre 2023

1. Alcuni cenni all'incidentalità degli utenti deboli in Italia

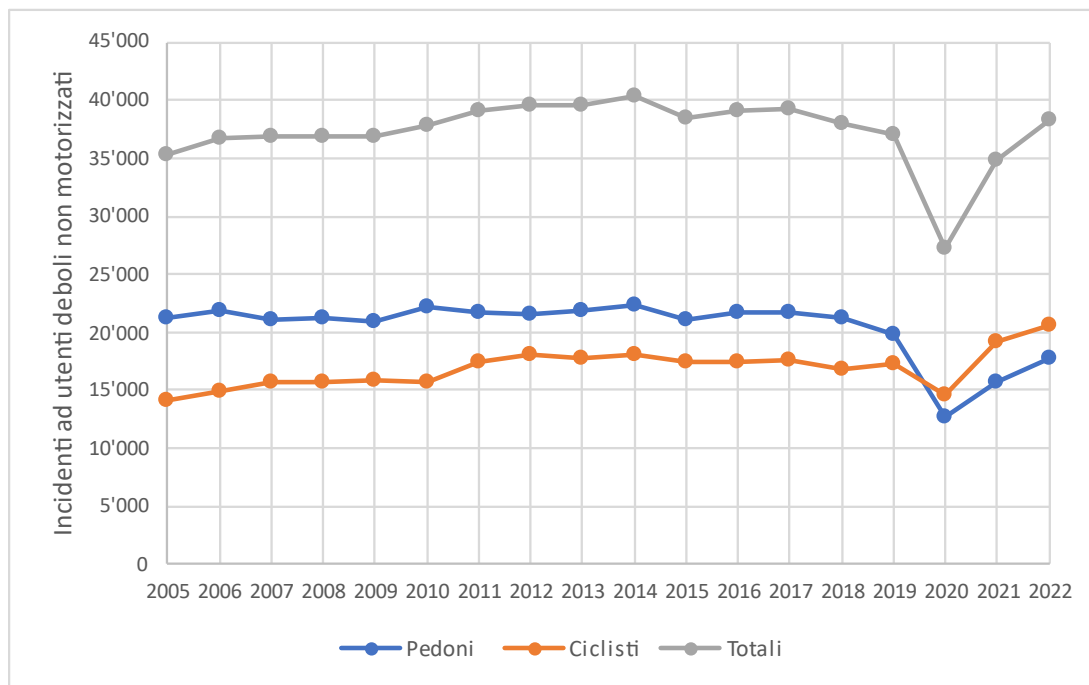


Figura 1

Numero di incidenti con utenti deboli non motorizzati (pedoni e ciclisti) in Italia dal 2005 al 2022.
Elaborazione CeSCAM. Fonte: ISTAT datawarehouse online (<http://dati.istat.it>) consultato nell'ottobre 2023.

2. Nuove tecnologie per il miglioramento della sicurezza stradale



Attualmente in fase di sviluppo e di sperimentazione.

Sfruttano i **dispositivi IoT - Internet of Things** per combinare hardware, (come sensori e telecamere), software ed algoritmi che sfruttano l'**Intelligenza Artificiale** e l'analisi dei **Big Data**.

2. Nuove tecnologie per il miglioramento della sicurezza stradale

Grandi quantità di dati vengono elaborate per compiere **analisi predittive, prescrittive e cognitive**.

- **Analisi predittive:** permettono di ricavare dai dati previsioni su eventi che si verificheranno in futuro.
- **Analisi prescrittive:** forniscono indicazioni su azioni da realizzare per rispondere nel modo migliore al verificarsi di determinati eventi.
- **Analisi cognitive:** consentono di trasformare i dati grezzi in conoscenza e trasmettere le informazioni ottenute agli utenti della strada.



2. Nuove tecnologie per il miglioramento della sicurezza stradale

Nuove tecnologie per la sicurezza stradale:

- sistemi di sicurezza installati **sull'infrastruttura stradale** (sensori montati lungo la strada per la raccolta dei dati, apparecchiature installate a bordo strada per l'emissione di avvisi e indicazioni per gli utenti);
- sistemi di sicurezza montati **sul veicolo** (sensori installati sul veicolo per la raccolta dei dati, unità di bordo (*OBU*), che emettono avvisi per il conducente o assumono il controllo parziale del veicolo).



2. Nuove tecnologie per il miglioramento della sicurezza stradale



Figura 9
Segnaletica orizzontale fotoluminescente.
Fonte: www.engineeringexploration.com.

2. Nuove tecnologie per il miglioramento della sicurezza stradale

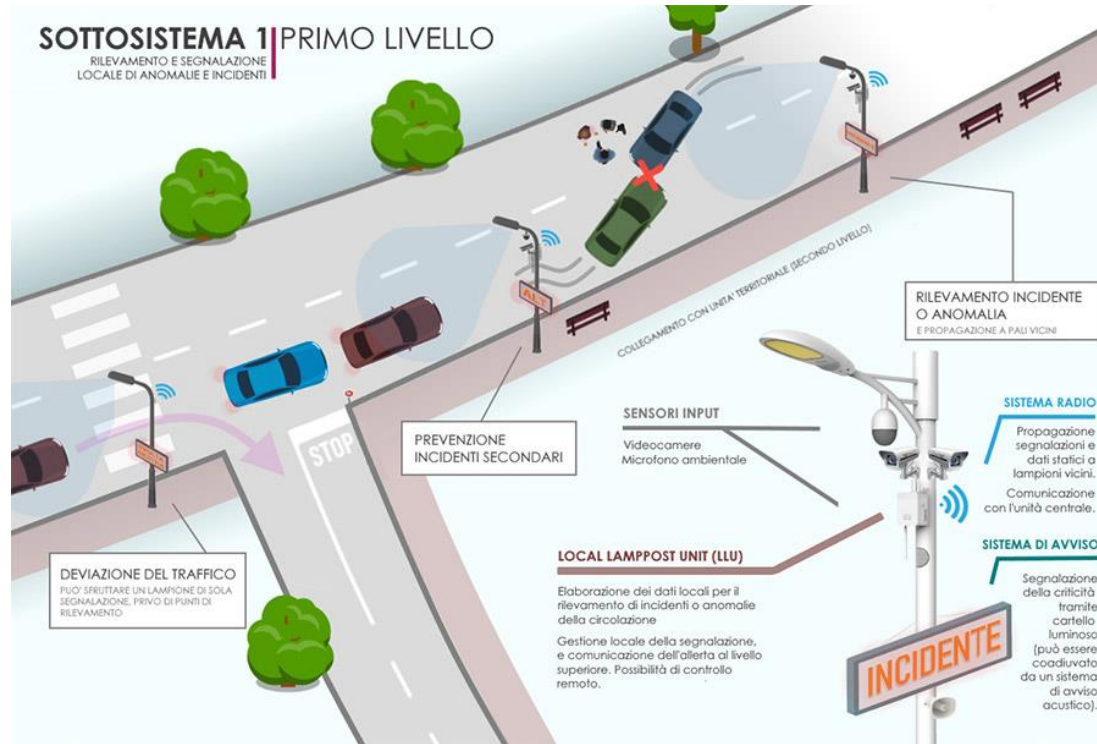


Figura 10
Esempio di sistema di lampioni intelligenti.
Fonte: www.arkys.biz.

2. Nuove tecnologie per il miglioramento della sicurezza stradale



Figura 8
Schema di semafori intelligenti in un incrocio.
Fonte: www.isac.rwth-aachen.de.

2. Nuove tecnologie per il miglioramento della sicurezza stradale

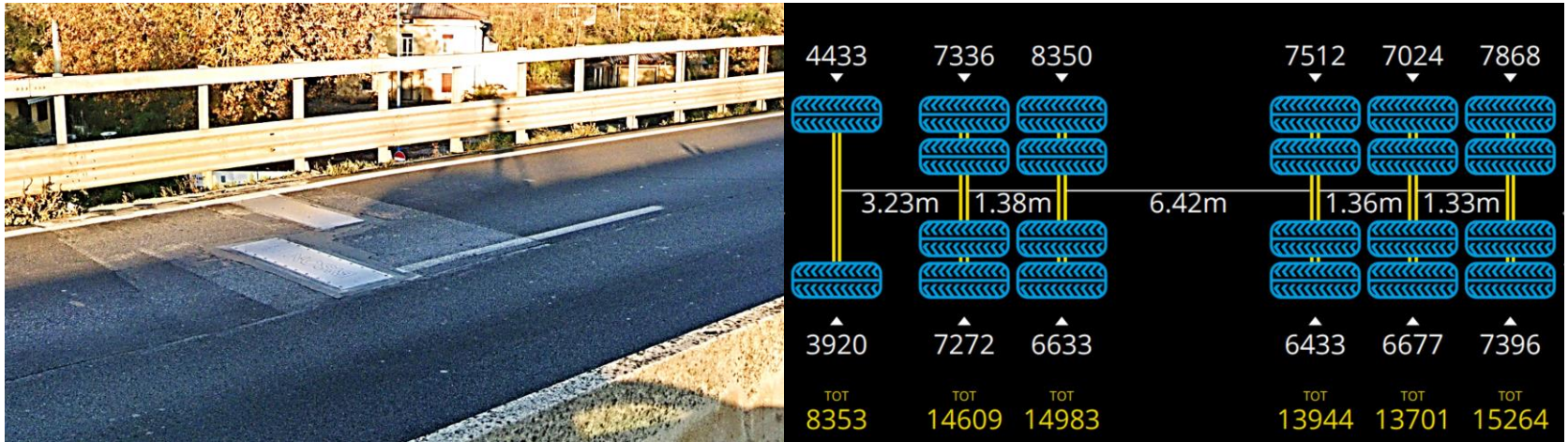


Figura 11

Sistema di pesatura dinamica Weigh-In-Motion.

Fonte: Ventura et al., 2023. Monitoraggio dei carichi veicolari sui ponti attraverso l'uso di sistemi Weigh-In-Motion. Il caso sperimentale di Brescia attraverso lo studio dell'Università di Brescia. STRADE & AUTOSTRADE, 159, 138-142.

2. Nuove tecnologie per il miglioramento della sicurezza stradale

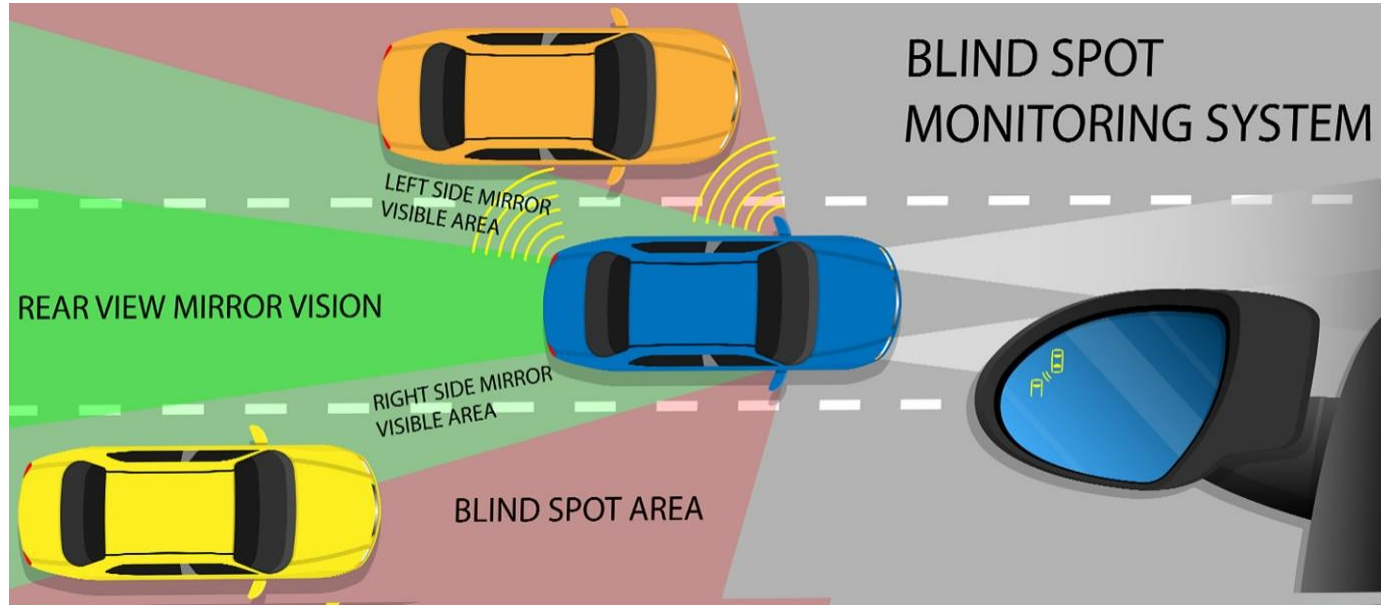


Figura 32 - Angoli ciechi di un veicolo ed esempio di segnale visivo inviato dal BSM.

Fonte: www.dubizzle.com.

2. Nuove tecnologie per il miglioramento della sicurezza stradale

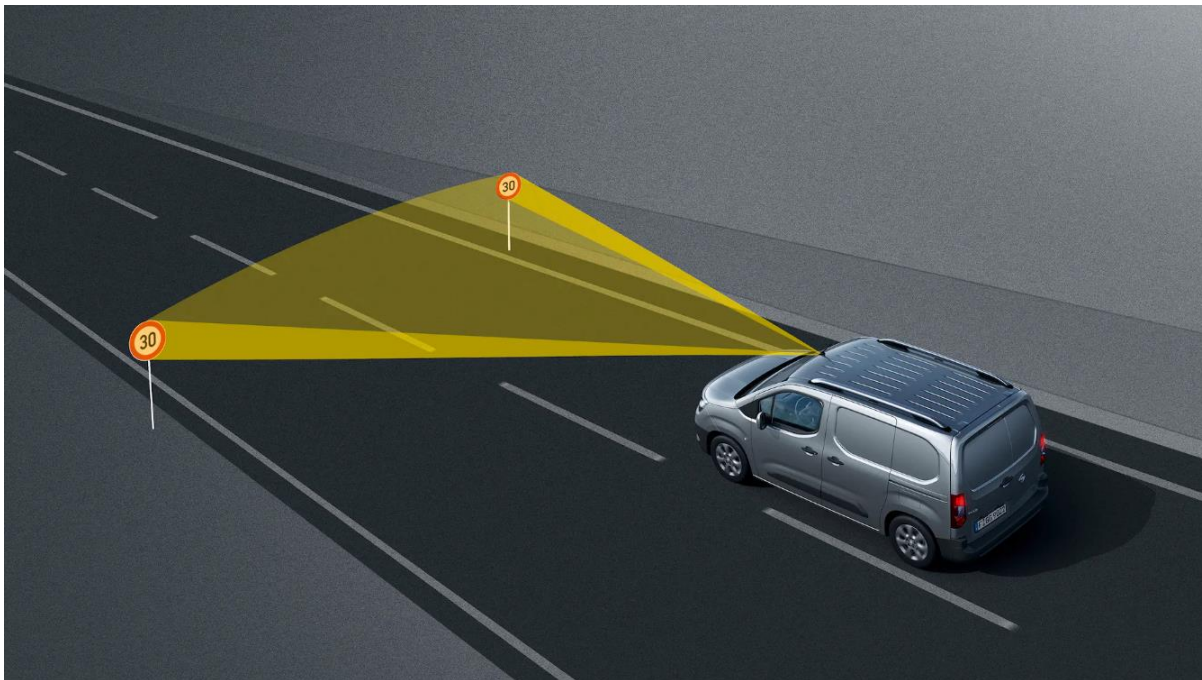


Figura 34 - Sistema di rilevamento della segnaletica stradale (TSR).

Fonte: www.openpr.com

3. Focus sull'incidentalità dei pedoni in Lombardia



Questo nuovo rapporto è stato aggiornato con i nuovi dati disponibili, riferiti all'**annualità 2020-2021** per offrire una descrizione quanto più attuale ed utile del fenomeno.

Si sono utilizzati i **dati del 2022** solo per **alcune elaborazioni aggregate**.

3. Focus sull'incidentalità dei pedoni in Lombardia

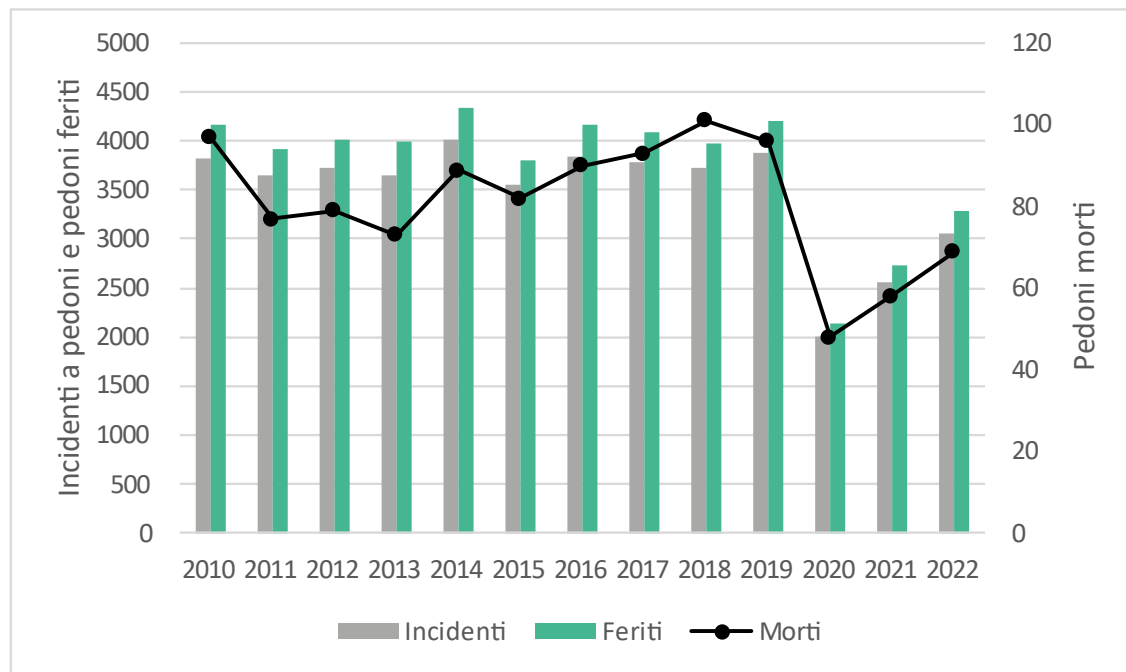


Figura 2

Numero di incidenti con pedoni coinvolti, pedoni morti e feriti in Lombardia dal 2010 al 2022.
Elaborazione CeSCAM. Fonte: ISTAT datawarehouse online (<http://dati.istat.it>) consultato nell'ottobre 2023

3. Focus sull'incidentalità dei pedoni in Lombardia

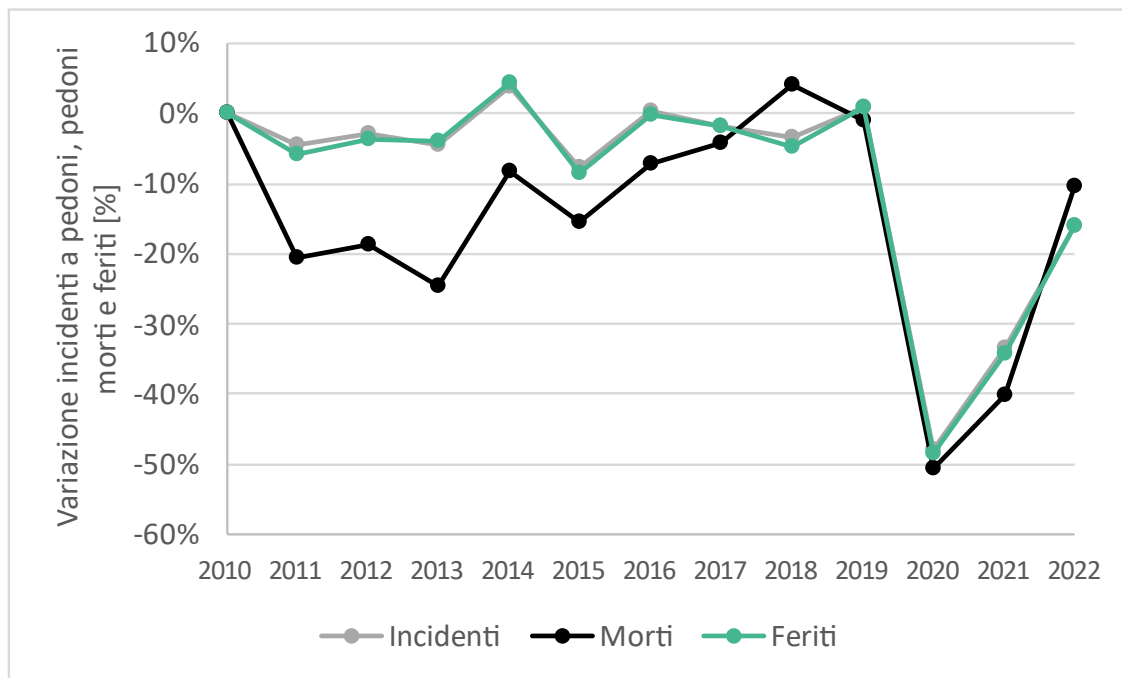


Figura 3

Variazione % di incidenti a pedoni, pedoni morti e feriti in Lombardia rispetto all'anno base 2010.
Elaborazione CeSCAM. Fonte: ISTAT datawarehouse online (<http://dati.istat.it>) consultato nell'ottobre 2023

3. Focus sull'incidentalità dei pedoni in Lombardia

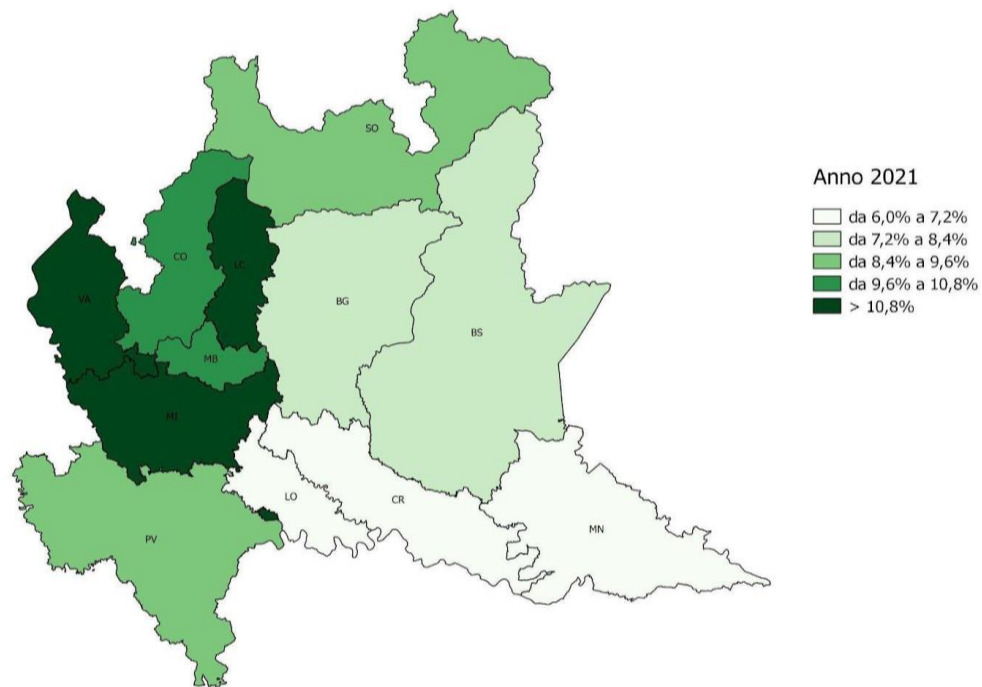


Figura 5
Percentuale degli incidenti con pedoni coinvolti, rispetto al totale degli incidenti per provincia in Lombardia. Anno 2021.
Elaborazione CeSCAM. Fonte: Polis-Lombardia.

2. Focus sull'incidentalità dei pedoni in Lombardia

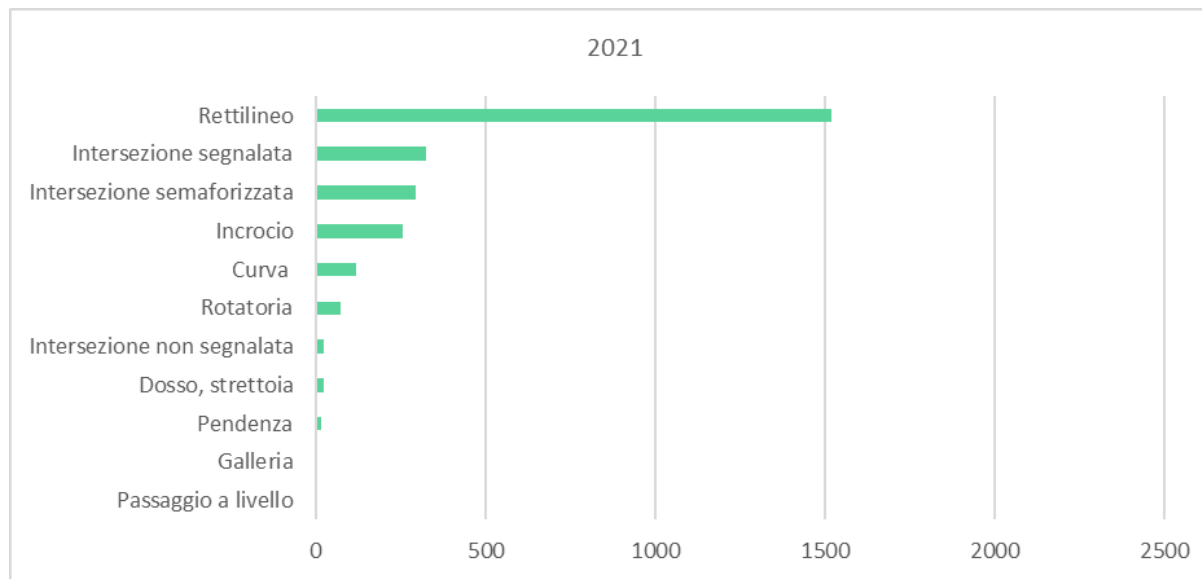


Figura 6
Pedoni coinvolti in incidente in relazione alla localizzazione. Anno 2021.
Elaborazione CeSCAM. Fonte: Polis-Lombardia.

2. Focus sull'incidentalità dei pedoni in Lombardia

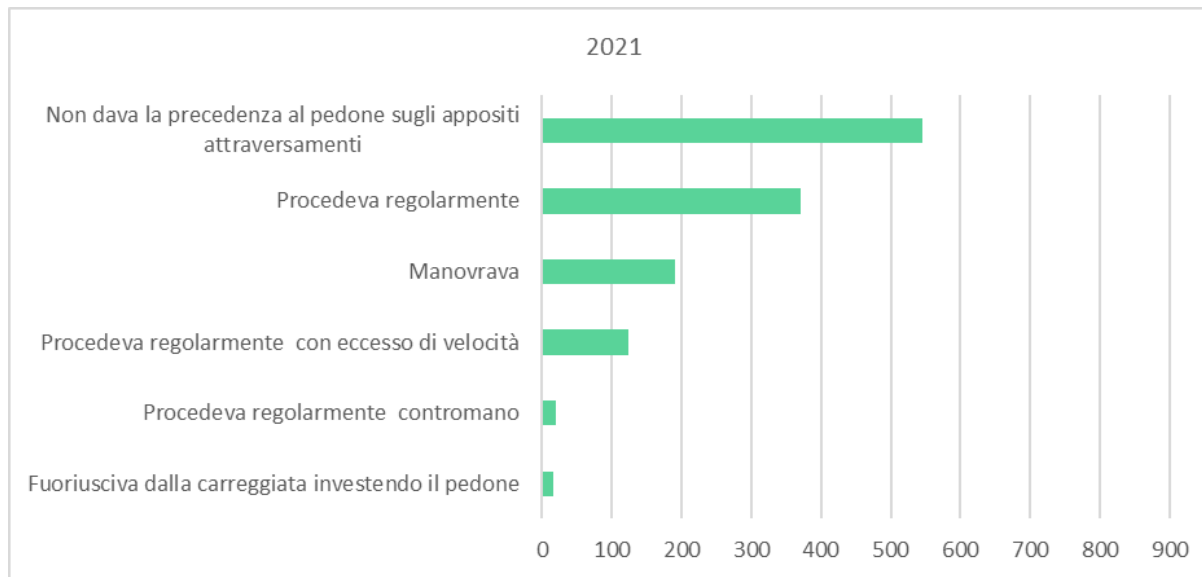


Figura 7
Circostanze del veicolo coinvolto in investimento di pedone su rettilineo in Regione Lombardia. Anno 2021.
Elaborazione CeSCAM. Fonte: Polis-Lombardia.



Come misurare il rischio d'incidentalità pedonale. Il caso di Brescia



Indice degli argomenti

- Introduzione
- Metodologia
- Applicazione al caso del Comune di Brescia
- Conclusioni e sviluppi futuri



Introduzione – Pericolo & Rischio

Mobilità sostenibile → 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)

$$R = \text{Incertezza} + \text{Danno}$$

$$R = \text{Pericolo} / \text{protezione}$$

Dal punto di vista applicativo (e.g. ISO EN 39001: 2012)

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

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; Barabino et al., 2021; 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 di rischio di incidentalità stradale.

Introduzione - OBIETTIVO

Sviluppo di una **metodologia operativa** di RNS a livello comunale. Il metodo:

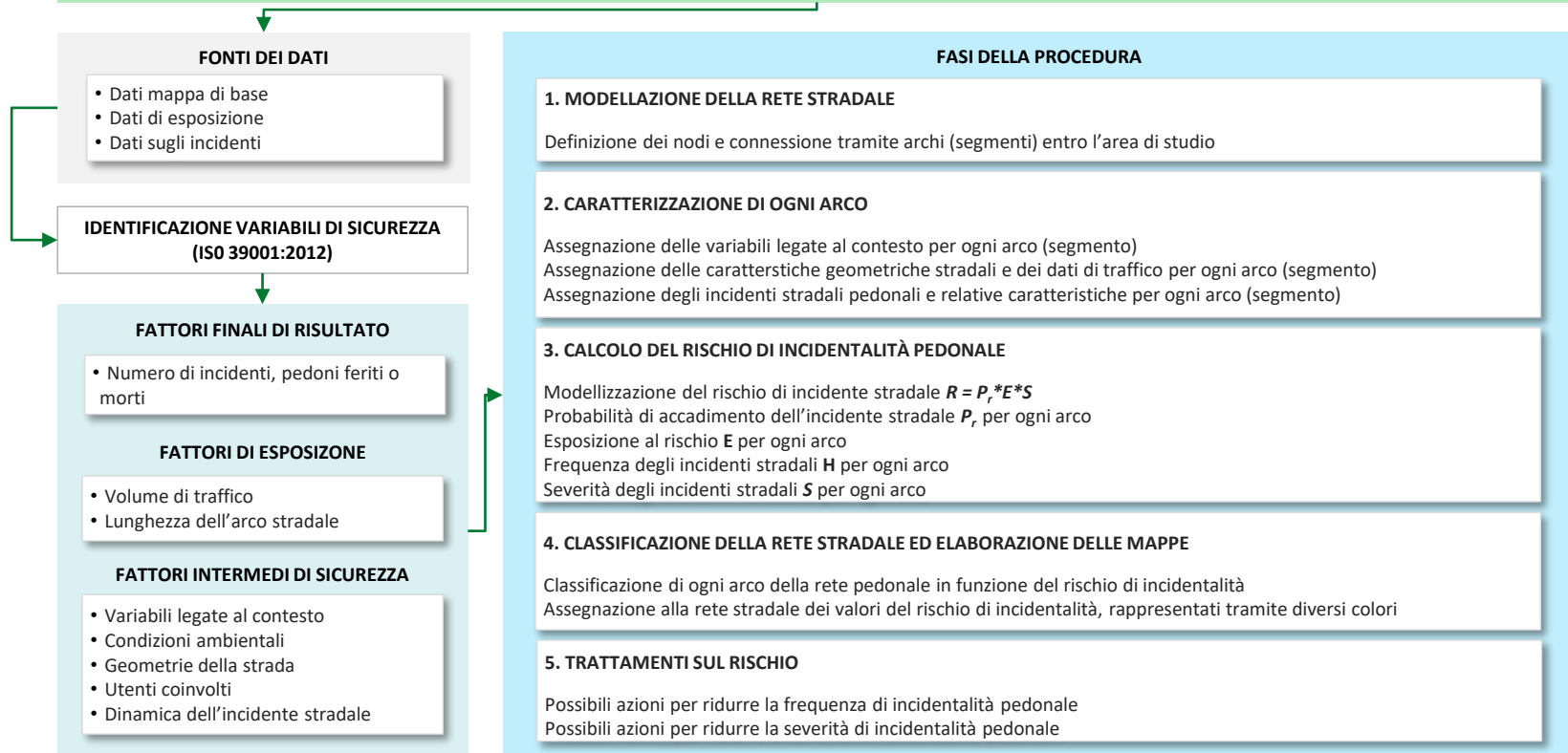
- **Segmenta** la rete stradale di una porzione di territorio adottando la teoria dei grafi
- **Calcola** il rischio di incidentalità pedonale per ogni segmento della rete
- **Fornisce** un efficace strumento di supporto alle decisioni per i responsabili della sicurezza stradale nella definizione della priorità degli interventi

Originalità del lavoro

- **Considera** i dati sugli incidenti su scala locale;
- **Adotta** un indice di **incidentalità *omnicomprensivo*** (in un'unica misura si aggregano le principali componenti di rischio);
- **Presenta** i risultati utilizzando delle mappe *tematiche*.

Metodologia

DEFINIZIONE DELL'AREA DI STUDIO



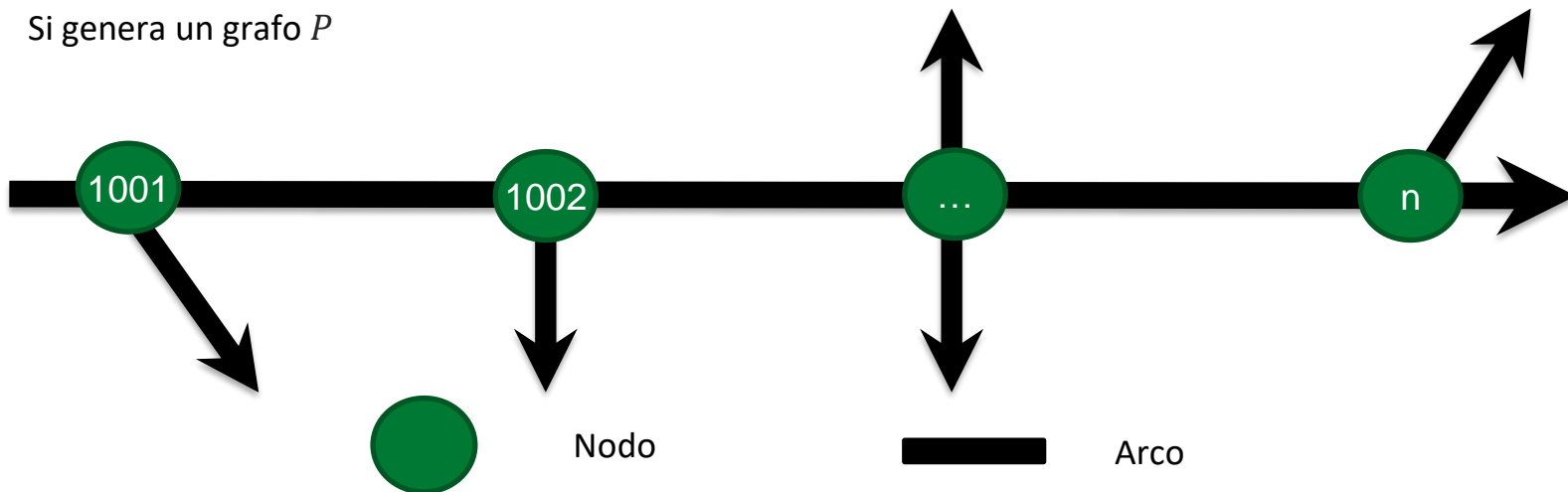
Metodologia

STEP 1 - MODELLAZIONE DELLA RETE STRADALE

Dalla rete stradale dell'area di studio:

- Si individuano le intersezioni che sono modellizzate tramite **nodi**
- Si collegano i nodi tramite **archi (segmenti)**

Si genera un grafo P

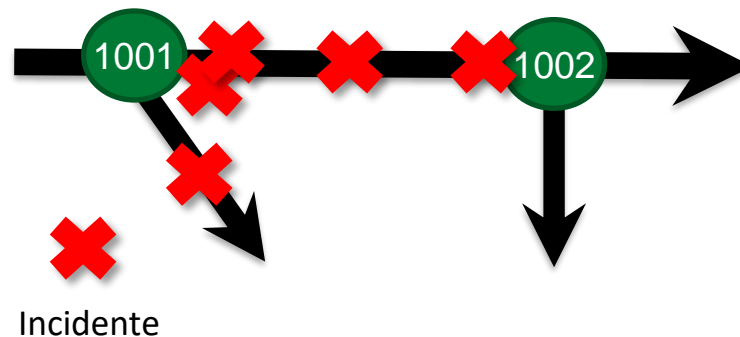


Metodologia

STEP 2 - CARATTERIZZAZIONE DI OGNI ARCO (SEGMENTO)

A ciascun arco (segmento) p ($p \in P$), si assegnano:

- gli attributi relativi ai fattori di contesto, quelli relativi all'infrastruttura e all'esposizione (*i.e.*, lunghezza e volume di traffico dell'arco)
- il relativo numero di incidenti in cui sono coinvolti pedoni. Si valutano i feriti e i morti.



id_arco	Classe_funzionale		Lunghezza_Arco	PSL	Numero_corsie		Marciapiede			Incidenti		Pedoni	
	E	F			1	2 o +	M_entrambi_lati	M_un_lato	M_assente	N_incidenti	P_feriti	P_decedeti	
1001-1002	1	0	284,73	50	0	1	1	0	0	1	1	0	
1001-1002	1	0	284,73	50	0	1	1	0	0	1	1	0	
1001-1002	1	0	284,73	50	0	1	1	0	0	1	1	0	
1001-1002	1	0	284,73	50	0	1	1	0	0	1	1	0	
1001-1228	1	0	136,81	50	0	1	1	0	0	1	1	0	
1003-1004	1	0	55,01	50	0	1	1	0	0	0	0	0	
1004-1005	1	0	39,42	50	0	1	1	0	0	0	0	0	

Metodologia

STEP 3 - CALCOLO DEL RISCHIO DI INCIDENTALITÀ PEDONALE

Ai fini della valutazione del rischio di incidentalità pedonale di ciascun segmento viene impiegata la **formulazione analitica di rischio**. Dato un determinato arco (segmento) $p \in P$, siano:

- P_p è la stima della **probabilità** di accadimento dell'incidente sul generico segmento $p \in P$;
- E_p è la stima dell'**esposizione** all'incidente sul generico segmento $p \in P$;
- S_p è la stima della **severità** dell'incidente sul generico segmento $p \in P$.

Il rischio viene calcolato come:

$$R(p) = P_p \cdot E_p \cdot S_p \quad \forall p \in P$$

Metodologia

STEP 3 - CALCOLO DEL RISCHIO DI INCIDENTALITÀ PEDONALE

Implementando il modello di previsione del rischio e ricordando $H_p = \text{Frequenza dell'incidente} = P_{r,p} \cdot E_p$, esso si tramuta in un **modello bivariato (MBL)** composto da 2 modelli separati per le due componenti H e S. Siano:

- α, β, γ_i i coefficienti del modello frequenza da stimare;
- x_{ip} una generica variabile esplicativa associata a ciascun fattore $i \in I$ lungo il segmento $p \in P$
- δ, θ_i i coefficienti del modello di severità da stimare;
- y_{ip} una generica variabile esplicativa associata a ciascun fattore $i \in I$ lungo il segmento $p \in P$

La forma funzionale del rischio è la seguente:

$$R(p) = H_p(E_p) \cdot S_p \quad \forall p \in P$$






$$R(p) = aE_p^\beta \left(\exp(\sum_{i \in I} \gamma_i x_{ip}) \right) \cdot \frac{\exp(\delta + \sum_{i \in I} \theta_i y_{ip})}{1 + \exp(\delta + \sum_{i \in I} \theta_i y_{ip})} \quad \forall p \in P$$

Modello Generale Linearizzato Modello Logit Binomiale

Metodologia

STEP 4 - CLASSIFICAZIONE DELLA RETE STRADALE ED ELABORAZIONE DELLE MAPPE

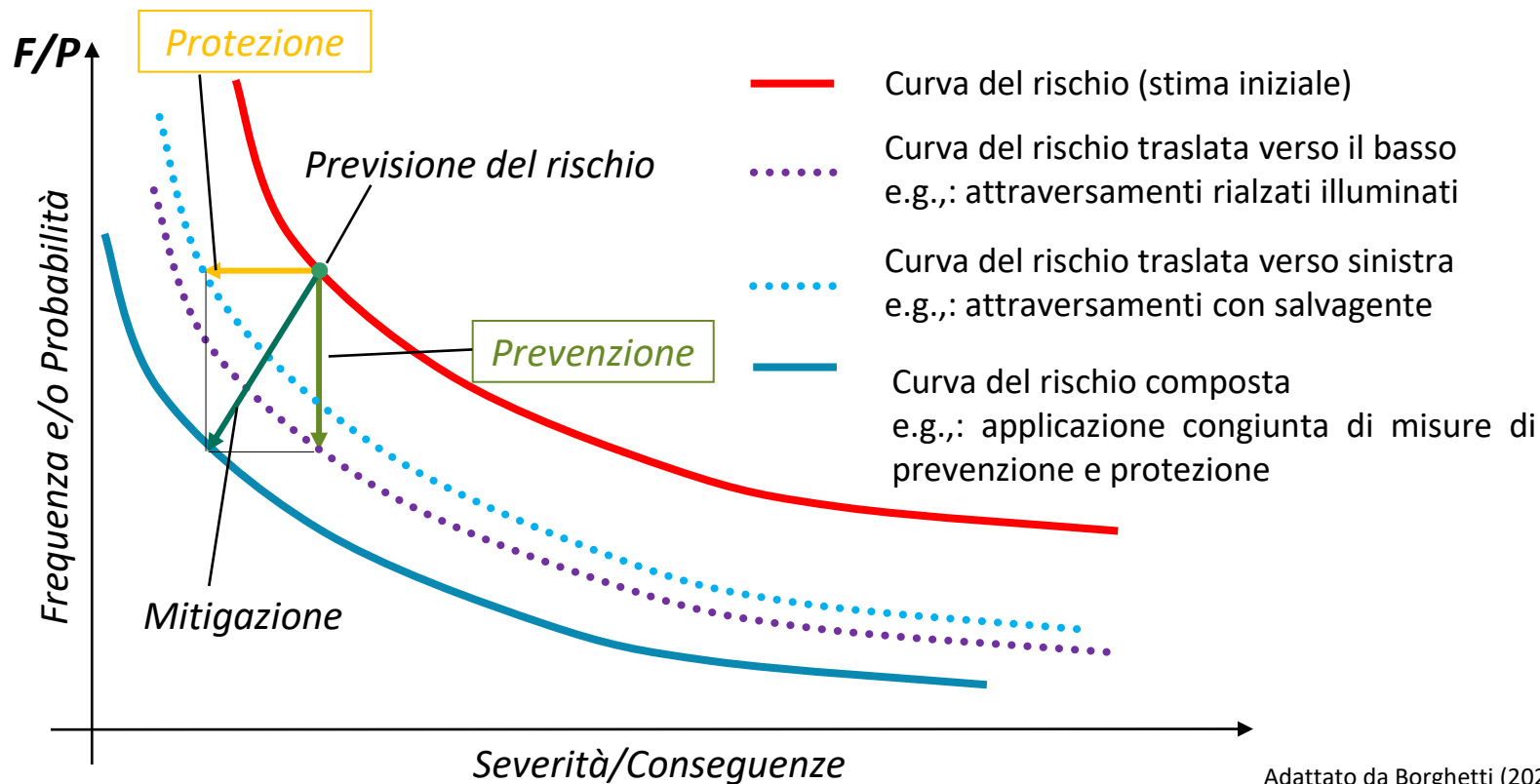
Per la classificazione del rischio di incidentalità **pedonale** sono stati fissati **cinque range** corrispondenti a diversi livelli di rischio, definiti sulla base dei **quartili della distribuzione dei valori** assunti dal rischio per ciascun arco (segmento).

Range di valore	Classe	Colore
MIN – Q1	Molto basso	
Q1 – Q2	Basso	
Q2 – Q3	Medio	
Q3 – (Q3+1,5*IQR)	Alto	
(Q3+1,5*IQR) – MAX	Molto alto	

Il ranking consente di produrre delle **mappe specifiche**. Ogni arco è rappresentato da un colore corrispondente al relativo rischio di incidentalità pedonale indicato dalla scala.

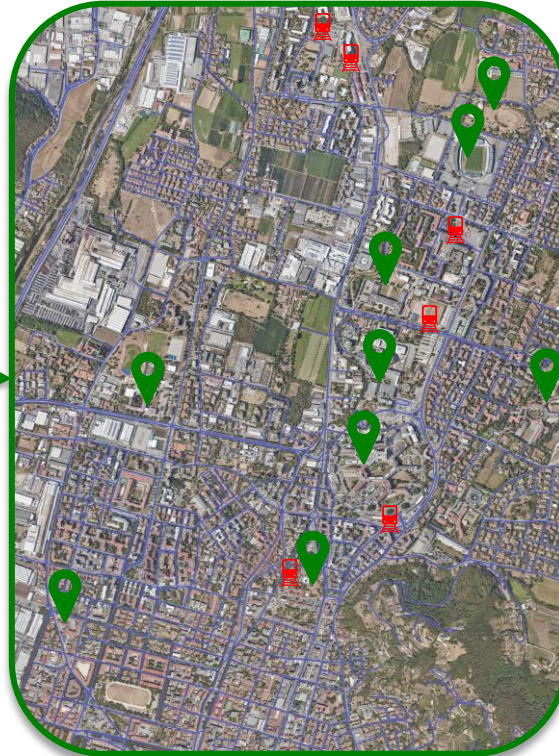
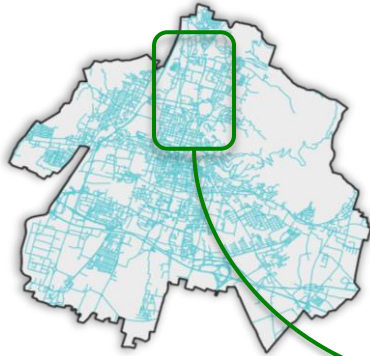
Metodologia



STEP 5 - TRATTAMENTI SUL RISCHIO



Applicazione al caso del Comune di Brescia

CASO DI STUDIO



-  Poli attrattori
(università, ospedali, ...)
-  Fermate metropolitana

Fonti impiegate:

- **Cartografia digitale** → Database topografico regionale *open access*; Google Earth; Google Maps.
- **Incidenti** → **Polizia Locale di Brescia**. Dati di *incidentalità pedonale* relativi al database della Polizia Locale di Brescia per un totale di 1132 incidenti (21 mortali) di cui 192 nell'area di studio, avvenuti nel periodo 2014-2022.

Software impiegati:

- **Excel** → preparazione/elaborazione
- **Genstat** → misura effetti e previsione
- **qGis** → rappresentazione

Applicazione al caso del Comune di Brescia

STEP 1/2 - MODELLAZIONE DELLA RETE STRADALE e CARATTERIZZAZIONE DI OGNI ARCO



Complessivamente il grafo è costituito da:

- 258 nodi
- 384 archi

id_arco	Classe funzionale			PSL	Numero corsie		Marciapiede			Incidenti		Pedoni	
	E	F	Lunghezza_Arco		1	2 o +	M_entrambi_lati	M_un_lato	M_assente	N_incidenti	P_feriti	P_morti	
1001-1002	1	0	284,73	50	0	1	1	0	0	1	1	0	
1001-1002	1	0	284,73	50	0	1	1	0	0	1	1	0	
1001-1002	1	0	284,73	50	0	1	1	0	0	1	1	0	
1001-1002	1	0	284,73	50	0	1	1	0	0	1	1	0	
1001-1228	1	0	136,81	50	0	1	1	0	0	1	1	0	
1003-1004	1	0	55,01	50	0	1	1	0	0	0	0	0	

Arco 1001-1002:
4 incidenti con 1 pedone ferito per ogni incidente e nessun pedone morto
Arco 1003-1004:
nessun incidente pedonale

FATTORI INTERMEDI DI SICUREZZA + DI ESPOSIZIONE FATTORI FINALI DI RISULTATO

Applicazione al caso del Comune di Brescia

STEP 3 - CALCOLO DEL RISCHIO DI INCIDENTALITÀ PEDONALE

FREQUENZA

Si considera la matrice di frequenza (circa 40 variabili), costituita dagli archi in cui è avvenuto almeno un incidente. Si applica il **modello generale linearizzato** in cui la variabile di risposta è il **numero di incidenti** complessivo sull'arco.

Source	D. of F.	Deviance	Mean deviance	Deviance ratio	Approx chi pr.
Regression	7	13,740	19,623	1,96	0,056
Residual	94	12,580	0,134		
Totale	101	26,320	0,261		

Incidenti (+ frequenti) sembrano

Solo variabili significative (p -value <0.1):

- Lungo strade di tipo E
- Lunghezza segmento maggiore

Incidenti (- frequenti) sembrano

Non si hanno variabili significative

SEVERITÀ

Si considera la matrice di severità, costituita da tutti i record di incidenti Si applica il **modello logit binomiale** in cui la variabile di risposta è la **gravità**: 0 (non-grave) se l'incidente ha determinato una prognosi del pedone ferito <20gg, 1 (grave) negli altri casi, compresi eventuali decessi.

Source	D. of F.	Deviance	Mean deviance	Deviance ratio	Approx chi pr.
Regression	5	23,200	4,646	4,65	<,001
Residual	186	234,500	1,261		
Total	191	257,800	1,350		

Incidenti (+ gravi) sembrano

solo variabili significative (p -value <0.1):

- Percorso ciclopedonale

Incidenti (- gravi) sembrano

solo variabili significative (p -value <0.1):

- Lungo strade di tipo E
- Densità attraversamenti rialzati
- Servizi sovracomunali

Applicazione al caso del Comune di Brescia

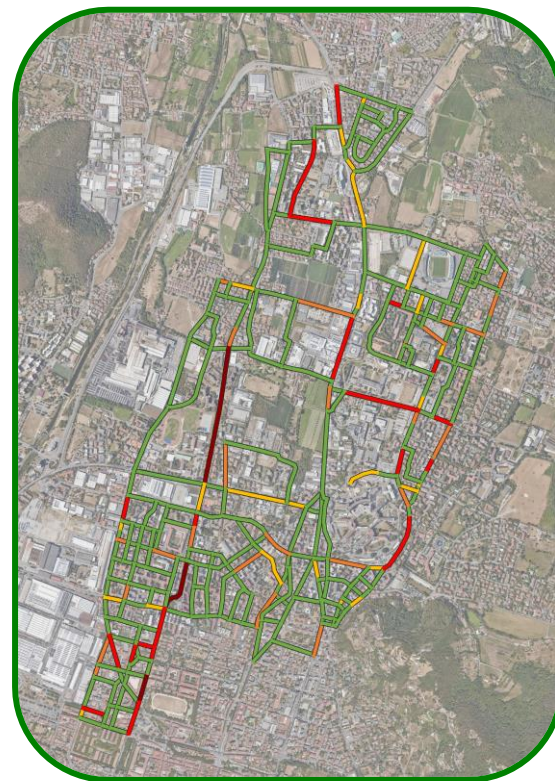
STEP 4 - CLASSIFICAZIONE DELLA RETE STRADALE ED ELABORAZIONE DELLE MAPPE

Tramite i due modelli di frequenza e severità, si calcola il **rischio** di incidentalità pedonale per ciascun arco (segmento).

È possibile elaborare una mappa tematica per una miglior visualizzazione dei risultati

LEGENDA

LIVELLO	RISCHIO	PERCENTUALE
1	Molto basso	80,21%
2	Basso	6,51%
3	Medio	6,51%
4	Alto	5,99%
5	Molto alto	0,78%



Applicazione al caso del Comune di Brescia

STEP 5 – TRATTAMENTI SUL RISCHIO

Si possono intraprendere **azioni** per affrontare le carenze in materia di sicurezza o il loro impatto. –
Mitigazione del rischio

Le azioni di **prevenzione** mirano a **ridurre** il livello H_p . Esempio: Rivedere la classificazione funzionale delle strade agendo sull'infrastruttura.

Le azioni di **protezione** mirano a **ridurre** il livello S_p . Esempio: Separare il flusso pedonale da quello ciclabile realizzando percorsi dedicati e riservati.

Queste azioni possono offrire un'opportunità per ridurre il rischio di incidentalità pedonale.



Sviluppi futuri

- **Estendere** il grafo su tutto il territorio comunale per aver a disposizione più dati e quindi fittare meglio i modelli di frequenza e gravità
- **Applicare nuovi** modelli predittivi di rischio (Machine Learning).



Grazie per l'attenzione

Benedetto Barabino -> benedetto.barabino@unibs.it
Giulio Maternini -> giulio.maternini@unibs.it
Stefano Raccagni -> s.raccagni006@studenti.unibs.it

