

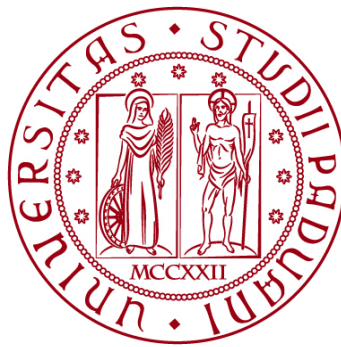
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE

Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Curriculum Sistemi e Infrastrutture di Trasporto



TESI DI LAUREA MAGISTRALE

**APPROCCIO INTEGRATO PER ANALISI DI SICUREZZA
STRADALE A LIVELLO DI RETE
CASI DI STUDIO IN AMBITO ITALIANO**

Relatore: Chiar.mo Prof. Ing. Emiliano Pasquini

Laureando: Claudia Petraccini

2091863

ANNO ACCADEMICO 2024-2025

Indice

Indice delle figure.....	5
Indice delle tabelle.....	7
INTRODUZIONE.....	9
1 CAPITOLO: Inquadramento generale sulla sicurezza stradale	12
1.1 Sicurezza stradale a livello mondiale, europeo e italiano	12
1.1.1 Dati sull'incidentalità stradale e le loro tendenze.....	12
1.1.2 Fattori di rischio e problematiche legate al dato incidentale	18
1.1.3 EU Road Safety Policy Framework 2021-2030 - Next steps towards "Vision Zero" .	25
1.1.4 L'impatto socioeconomico degli incidenti e i metodi di analisi.....	31
1.2 Metodologia di stima dell'incidentalità stradale	34
1.2.1 Analisi dei dati osservati	34
1.2.2 Misure indirette o surrogate di sicurezza	36
1.2.3 Modelli di regressione e metodo predittivo	38
1.2.4 Combinazione dei dati osservati e dei metodi statistici di regressione: Approccio Bayesiano empirico.	40
1.3 Gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali e normative di riferimento: Direttive Europee e Decreti Italiani.	47
1.3.1 Europa: Direttiva 2008/96/EC e 2019/1936	47
1.3.2 Italia: D.L. 35/11 e D.L. 213/21	52
1.3.3 Soggetti coinvolti con relativi ruoli e responsabilità nel processo di gestione sicurezza	55
1.3.4 Ciclo di gestione della sicurezza	58
2 CAPITOLO: Valutazione della sicurezza stradale a livello di rete (NWA): Approccio reattivo e proattivo	74
2.1 Metodologia NWA-Reattiva	75
2.2 Metodologia NWA-Proattiva.....	85
2.3 Metodologia Integrata	91
3 CAPITOLO: Analisi di casi studio in ambito italiano	93

3.1	Infrastruttura di studio: Strada statale 16.....	115
3.1.1	Analisi dell'incidentalità stradale e dei flussi di traffico.....	116
3.1.2	Metodo reattivo.....	126
3.1.3	Metodo proattivo.....	132
3.1.4	Metodo integrato.....	140
3.1.5	Studio di un elemento infrastrutturale: intersezione tra la SS16 e la Strada Provinciale 1.....	143
3.2	Infrastruttura di studio: Strada statale 6.....	146
3.2.1	Analisi dell'incidentalità stradale e dei flussi di traffico.....	148
3.2.2	Metodo reattivo.....	157
3.2.3	Metodo proattivo.....	160
3.2.4	Metodo integrato.....	165
3.2.5	Studio di un elemento infrastrutturale: intersezione tra la SS6 e la Strada Provinciale 57.....	167
	CONCLUSIONI.....	170
	BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	173

Indice delle figure

Figura 1.1 - Morti su strada ogni 100.000 abitanti per Paese, 2022.....	13
Figura 1.2- Morti sulla strada per milione di abitanti, 2019-2023.....	15
Figura 1.3 - Incidenti stradali con lesioni a persone, anni 2010-2023 e target 2030.....	18
Figura 1.4 - Andamento del numero di vittime della strada nell'UE.....	26
Figura 1.5 - Parametri per la determinazione dei costi sociali da incidente stradale (valori in euro).....	32
Figura 1.6 - Le macro-attività del ciclo della gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali.....	58
Figura 1.7 - Dettaglio della fase “analisi rete”.....	59
Figura 1.8 - Dettaglio della fase “Ispezioni”.....	63
Figura 1.9 - Dettaglio della fase “Classificazione”.....	66
Figura 1.10 - Dettaglio della fase “Interventi”.....	70
Figura 2.1 - Quadro metodologico concettuale per la valutazione reattiva.....	76
Figura 2.2 - Integrazione dei risultati NWA-proattivi e NWA-reattivi.....	92
Figura 3.1 - SS 16 – Adriatica per il tratto in provincia di Padova.....	116
Figura 3.2 - Intersezione tra SS16 e Via Manzoni.....	118
Figura 3.3 - Attraversamento pedonale lungo la SS16.....	119
Figura 3.4 - Intersezione “SS16 – Strada provinciale 1”.....	120
Figura 3.5 - Localizzazione delle postazioni lungo la SS16.....	121
Figura 3.6 - Punto di rilievo nel comune di Stanghella.....	121
Figura 3.7 - Schema per la valutazione integrata.....	141
Figura 3.8 - Zoom dell’intersezione “SS16 – Strada provinciale 1”.....	143
Figura 3.9 - Zoom del “Ponte sull’Adige”.....	144
Figura 3.10 - SS 6 – Via Casilina per il tratto in provincia di Roma.....	147
Figura 3.11 - Intersezione tra la SS 6 e via di Tor Vergata.....	151
Figura 3.12 – Esempio di tratto stradale tra le chilometriche 17 e 19.....	152
Figura 3.13 - Localizzazione delle postazioni lungo la SS6.....	153

Figura 3.14 - Punto di rilievo nel comune di Valmontone.....	154
Figura 3.15 - Intersezione “SS6 – Strada provinciale 57”	167
Figura 3.16 - Zoom I parte dell’intersezione “SS6 – Strada provinciale 57”	168
Figura 3.17 - Zoom II parte dell’intersezione “SS6 – Strada provinciale 57”	168

Indice delle tabelle

Tabella 1.1 - Indicatori di incidentalità da utilizzare ai fini della classifica.....	61
Tabella 2.1 - Dimensioni predefinite degli svincoli	79
Tabella 3.1 - Fattori di modifica CMF e fattori di riduzione RF per la larghezza della corsia nelle strade primarie non divise.....	100
Tabella 3.2 - Fattori di modifica CMF per le aree laterali e il roadside hazard rating (adottati dal Highway Safety Manual, Exhibit 13-32 (AASHTO, 2010))	103
Tabella 3.3 - CMF e fattori di riduzione RF per la densità dei punti di accesso alle proprietà nelle strade primarie.	106
Tabella 3.4 - CMF e fattori di riduzione RF per i diversi tipi di incrocio.	107
Tabella 3.5 - Fattori di rischio iRAP e fattori di riduzione per le caratteristiche relative a pedoni e ciclisti.	110
Tabella 3.6 - CMF e fattori di riduzione per la valutazione delle banchine pavimentate nelle strade primarie non divise.	112
Tabella 3.7 - CMF e fattori di riduzione per la valutazione delle banchine non pavimentate nelle strade primarie non divise.....	112
Tabella 3.8 - CMF e fattori di riduzione per la presenza di corsie di sorpasso nelle strade primarie.	113
Tabella 3.9 - Localizzazione incidenti stradali 2022,2019,2018 – SS 16 Adriatica (PD)	117
Tabella 3.10 - Dati TGM dei comuni “Stanghella e Due Carrare” (PD).....	124
Tabella 3.11 - Dati TGM – SS 53 Carmignano di Brenta (PD).....	124
Tabella 3.12 - Dati TGM – SS 16 Adriatica (PD)	124
Tabella 3.13 - Valore medio TGM dei tre comuni– SS 16 Adriatica (PD).....	125
Tabella 3.14 - Classificazione in base al tasso di incidentalità.....	128
Tabella 3.15 - Classificazione in base alla densità degli incidenti.....	131
Tabella 3.16 - Approccio proattivo SS 16 (PD).....	136
Tabella 3.17 - analisi comparativa di tre sezioni stradali della SS16	138
Tabella 3.18 - Approccio integrato SS 16 (PD)	142

Tabella 3.19 - Localizzazione incidenti stradali 2022,2019,2018 – SS6 Via Casilina (RM)	150
Tabella 3.20 - Dati TGM – SS6 Via Casilina (RM).....	155
Tabella 3.21 - Dati TGM – SS 6 Ferentino (FR).....	155
Tabella 3.22 - Dati TGM – SS 6 Via Casilina (RM).....	156
Tabella 3.23 - Valore medio TGM dei tre comuni– SS 6 Via Casilina (RM)	156
Tabella 3.24 – Classificazione in base al tasso di incidentalità	Errore. Il segnalibro non è definito.
Tabella 3.25 Classificazione in base alla densità degli incidenti	159
Tabella 3.26 - Approccio proattivo SS 6 (RM)	162
Tabella 3.27 - analisi comparativa di tre sezioni stradali della SS6	163
Tabella 3.28 – Approccio integrato SS 6 (RM).....	166

INTRODUZIONE

L'incidentalità stradale rappresenta un problema di rilevanza globale, con milioni di vittime ogni anno, suscitando una crescente preoccupazione tra governi e organizzazioni internazionali. Questo ha portato, negli ultimi decenni, a un rafforzamento delle strategie di prevenzione e mitigazione del rischio, attraverso lo sviluppo di numerosi piani e iniziative nazionali finalizzati a ridurre il numero di incidenti e le loro gravi conseguenze. Per affrontare questo fenomeno, le politiche pubbliche si concentrano alla formulazione di normative, decreti-legge e direttive, mirate a migliorare la sicurezza stradale, e alla sensibilizzazione dell'opinione pubblica, attraverso campagne di prevenzione. In particolare, queste campagne, realizzate tramite social media, spot pubblicitari e altre forme di comunicazione, sono diventate sempre più frequenti, con l'intento di accrescere la consapevolezza dei conducenti sui rischi legati agli incidenti stradali.

A livello internazionale, l'Unione Europea ha adottato un approccio strategico volto all'eliminazione delle vittime della strada, collaborando con gli Stati membri per rafforzare le iniziative nazionali di sicurezza stradale e fissare nuovi obiettivi di miglioramento. Oltre a intervenire sulle cause degli incidenti, le politiche europee mirano anche a mitigare le loro conseguenze, promuovendo lo sviluppo di infrastrutture più sicure e incentivando l'adozione di tecnologie avanzate per la prevenzione e la gestione del rischio.

Il presente lavoro di tesi si focalizza sull'analisi della componente infrastrutturale della sicurezza stradale, con l'obiettivo di esaminare il fenomeno dell'incidentalità attraverso l'applicazione della metodologia del *Network Wide Road Safety Assessment* (NWA).

In particolare, lo studio prende in esame due tratti significativi della rete stradale italiana: la Strada Statale 6 nei pressi di Roma e la Strada Statale 16 nell'area di Padova, con l'intento di individuare le principali criticità infrastrutturali che influenzano la sicurezza della circolazione.

Nel dettaglio, il primo capitolo dell'elaborato introduce il concetto di sicurezza stradale, delineandone le principali caratteristiche e approfondendo le reali dimensioni del fenomeno dell'incidentalità. Inoltre, viene analizzato il quadro normativo di riferimento, evidenziando le principali direttive e regolamenti attualmente in vigore.

Il secondo capitolo è dedicato alla presentazione del manuale NWA, il quale, in conformità con la Direttiva 2008/96/CE e la sua modifica attraverso la Direttiva (UE) 2019/1936, fornisce le linee guida necessarie per l'implementazione efficace della metodologia NWA a livello di rete stradale. L'obiettivo principale è quello di classificare le infrastrutture in base al loro livello di sicurezza e stabilire interventi mirati.

La valutazione della sicurezza si basa sia sulle caratteristiche progettuali della strada, attraverso una visione di sicurezza integrata, sia sui dati storici relativi agli incidenti, laddove disponibili. L'intento è quello di prioritizzare in modo efficiente gli interventi, selezionando le strade da sottoporre a ispezioni mirate o ad azioni correttive dirette. Un'attenzione particolare è rivolta alla tutela degli utenti vulnerabili, come pedoni, ciclisti e motociclisti.

La metodologia NWA si compone di due approcci distinti: il primo, di tipo reattivo (NWA-reattiva), si fonda sull'analisi dei dati relativi agli incidenti, mentre il secondo, di tipo proattivo (NWA-proattiva), valuta la sicurezza integrata delle infrastrutture

stradali. Entrambi gli approcci vengono applicati alla stessa rete stradale e i risultati ottenuti da ciascuno sono successivamente integrati tramite una metodologia di combinazione, per ottenere una valutazione complessiva della rete e una sua classificazione in base al livello di sicurezza.

Il terzo capitolo è incentrato sull'applicazione pratica della metodologia NWA a tratti stradali, nello specifico la Strada Statale 6 di Roma e la Strada Statale 16 di Padova. Questi tratti sono stati analizzati utilizzando dati provenienti da ACI e ANAS, che forniscono informazioni relative agli incidenti stradali e ai volumi di traffico, integrati da strumenti di visualizzazione come Google Earth e Google Maps Street View, per esaminare in dettaglio le caratteristiche fisiche delle infrastrutture. A partire da un'analisi statistica dei dati, sono state identificate le principali criticità di ciascun tratto, con un focus particolare su specifici elementi infrastrutturali, che sono stati approfonditi ulteriormente.

Infine, le conclusioni sintetizzeranno i risultati ottenuti dall'applicazione della metodologia NWA, mettendo in evidenza le potenzialità e i limiti di questo approccio nella valutazione della sicurezza stradale.

1 CAPITOLO: Inquadramento generale sulla sicurezza stradale

1.1 Sicurezza stradale a livello mondiale, europeo e italiano

1.1.1 Dati sull'incidentalità stradale e le loro tendenze

L'incidentalità stradale rappresenta un problema di carattere mondiale che ogni anno causa circa 1,3 milioni di decessi secondo i dati resi disponibili dal World Health Organization¹ nel rapporto "The Global status report on road safety 2023"² che corrisponde ad un tasso di 15 decessi ogni 100.000 abitanti.

Inoltre, tale problema causa tra i 20 e i 50 milioni di feriti con lesioni non mortali che, nella maggior parte dei casi, sono conseguenza di disabilità.

Più della metà dei decessi si verifica tra pedoni, ciclisti e motociclisti ed in particolare tra quelli che vivono in paesi a basso e medio reddito.

¹ L'Organizzazione mondiale della sanità è un istituto specializzato dell'ONU per la salute. È stata istituita con il trattato adottato a New York nel luglio del 1946, entrato in vigore nel 1948.

L'obiettivo dell'OMS è il raggiungimento da parte di tutte le popolazioni del livello più alto possibile di salute, definita nella costituzione, come condizione di completo benessere fisico, mentale e sociale, e non soltanto come assenza di malattia o di infermità.

² Global status report on road safety 2023 (World Health Organization), 23 dicembre 2023.

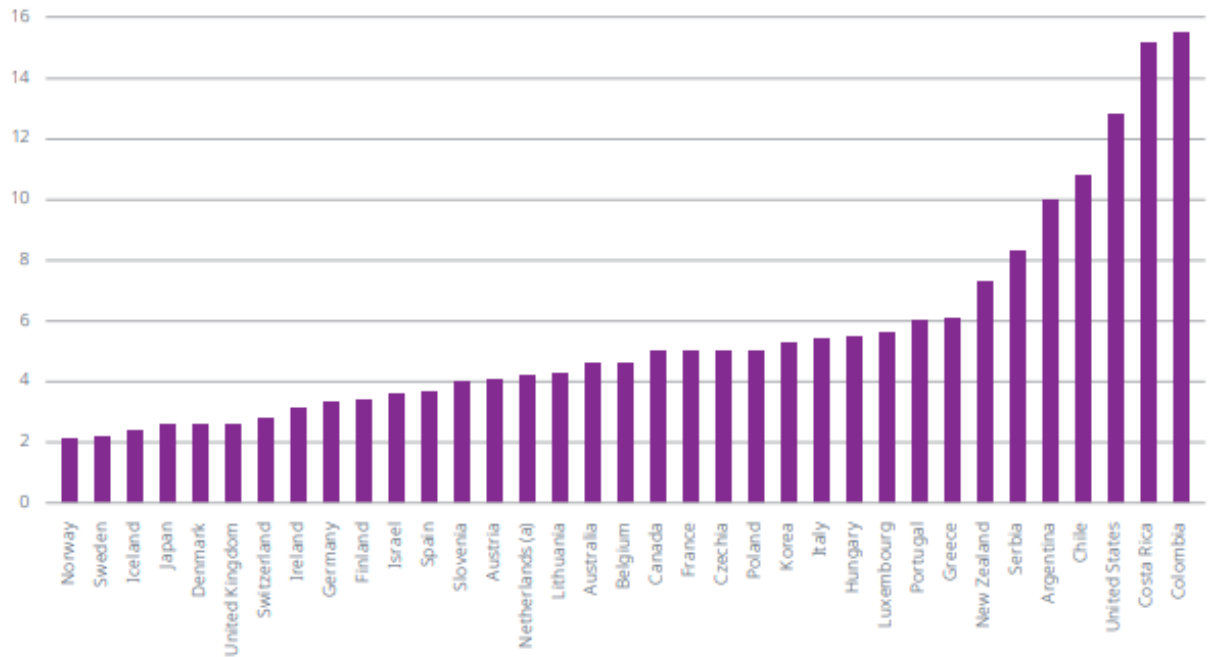


Figura 1.1 - Morti su strada ogni 100.000 abitanti per Paese, 2022
 Source: Road Safety Annual Report 2023 © OECD/ITF 2023

Gli incidenti rappresentano, quindi, una delle principali cause di mortalità nel mondo e nonostante il numero di decessi sia calato rispetto al 2022 restano, comunque, la prima causa di morte per bambini e soggetti di età compresa tra i 5 e 29 anni.

Il problema principale è rappresentato dagli enormi danni sanitari, sociali ed economici causati da tali decessi considerando che il 69% delle vittime è rappresentato da soggetti di età compresa tra i 18 e i 59 anni ovvero in età lavorativa.

Il sinistro stradale oltre al trauma dell'infortunio e del lutto ha, anche, un impatto economico rilevante, il cui costo stimato, nella maggior parte dei paesi, si attesta tra l'1% e il 3% del prodotto interno lordo (P.I.L.) arrivando, in alcuni casi, fino al 6%.³

³ World Health Organization, Road traffic injuries
https://www.who.int/health-topics/road-safety#tab=tab_1

L'aspetto economico emerge ancora di più osservando che il 92% delle vittime, pur avendo solo il 60% del parco veicoli globale, interessa paesi a basso e medio reddito.

In particolare, paesi come la Cina e l'India che hanno un tasso di mortalità più di tre volte superiore ai Paesi occidentali.

Quindi, la distribuzione dei decessi tra gli utenti della strada cambia significativamente nel momento in cui i dati vengono classificati per paesi, per tipologia stradale e per modalità di trasporto.

Nel caso della modalità di trasporto nella Regione Europea e del Mediterraneo la percentuale maggiore di decessi è rappresentata dagli occupanti di veicoli a 4 ruote essendo, rispettivamente, del 49% e del 33%. Negli altri paesi, sono i pedoni e gli utenti di veicoli a due e tre ruote a costituire la maggior parte dei decessi. Infatti, i pedoni e i ciclisti tendono ad essere gli utenti della strada più vulnerabili rappresentando le categorie economicamente più svantaggiate.

Per quanto riguarda la tipologia stradale, sono disponibili dati disaggregati per 25 Paesi. Le strade extraurbane sono le più letali nella gran parte dei paesi: in Finlandia, Irlanda e Nuova Zelanda circa il 67% dei decessi si sono verificati su questa tipologia stradale. Solo in Corea, Paesi Bassi, Giappone e Portogallo le strade urbane sono più letali di altri tipi di strade.⁴

Le ragioni della pericolosità delle strade extraurbane sono legate, principalmente, alla maggiore velocità di percorrenza di tali strade unitamente alle caratteristiche delle infrastrutture stradali che spesso non hanno una separazione fisica delle corsie e presentano numerose intersezioni.

⁴ Global status report on road safety 2023 (World Health Organization), 23 dicembre 2023.

In Europa, nel 2023, sono stati stimati 20.400 decessi a seguito di incidenti stradali con una media di 46 morti per milione di abitanti. Questi dati segnano un calo dell'1% rispetto all'anno precedente e come riportato in Fig. 1.2 del 10% rispetto al 2019.⁵ Tuttavia, l'andatura di declino incidentale è inferiore alla richiesta necessaria per raggiungere l'obiettivo dell'UE di dimezzare le morti sulle strade entro il 2030.

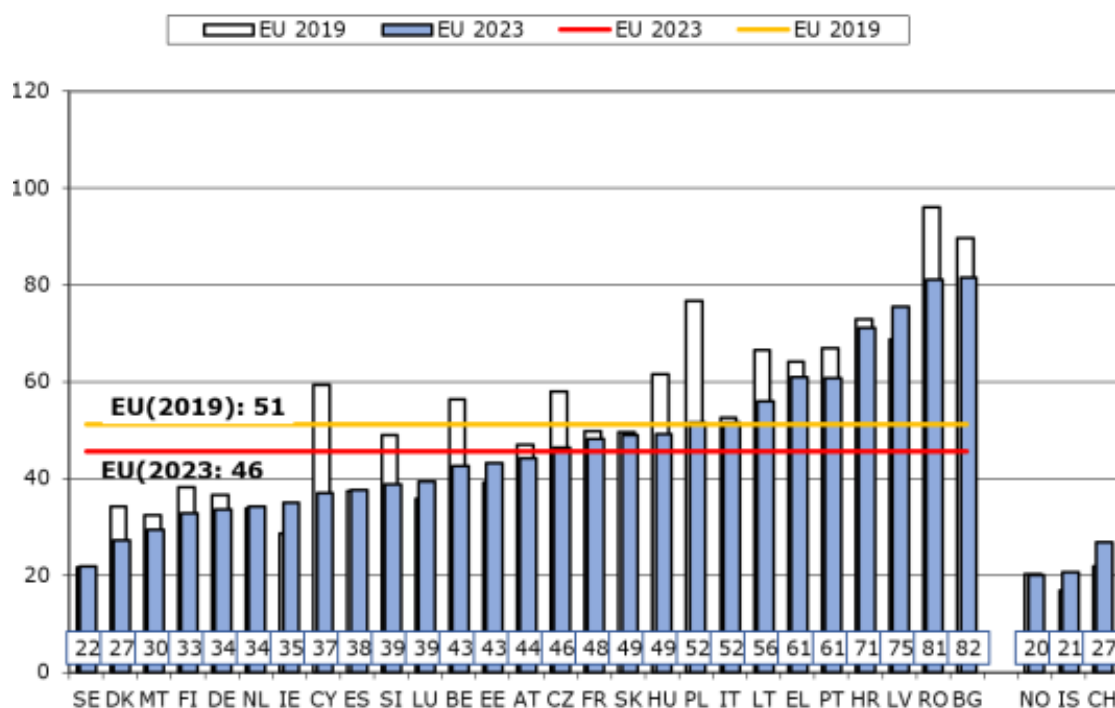


Figura 1.2- Morti sulla strada per milione di abitanti, 2019-2023
 Source: CARE (EU road accidents database)

Dalla Fig. 1.2 si nota come i progressi continuano a essere molto disomogenei tra gli Stati membri. Infatti, la situazione è variabile: 17 Stati hanno visto un calo di vittime stradali, 10 un aumento e 3 sono rimasti stabili.

⁵ European Commission, Mobility and Transport, 10 October 2024
https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/20400-lives-lost-eu-road-crashes-last-year-2024-10-10_en

È importante evidenziare che per i paesi già virtuosi, dove le misure di sicurezza sono particolarmente avanzate, risulta più complesso ottenere ulteriori riduzioni significative. Al contrario, nei paesi con prestazioni meno soddisfacenti, i margini di miglioramento sono maggiori, rendendo più semplice conseguire progressi notevoli. Dai dati resi disponibili dalla Commissione Europea⁶, si è osservato, che i decessi tra gli utenti della strada, oltre a variare notevolmente per Paese, mostrano anche differenze significative in relazione alla tipologia stradale e alla modalità di trasporto. Dal punto di vista delle diverse tipologie stradali, in Europa, il 52% degli incidenti stradali mortali si è verificato sulle strade extraurbane, il 39% nelle aree urbane e il 9% sulle autostrade.

Per quanto riguarda la modalità di trasporto, gli occupanti di veicoli a 4 ruote rappresentano la quota maggiore dei decessi, ovvero il 47%, seguito dal 22% dei pedoni, mentre la percentuale minore è rappresentata da motociclette e veicoli leggeri (biciclette e monopattini).

Tuttavia, è importante considerare il dato relativo all'esposizione al rischio delle diverse categorie di utenti. Ad esempio, sebbene i pedoni costituiscano una percentuale ridotta di tutti gli utenti della strada, la loro quota di vittime è eccessivamente elevata.

Alcuni Stati membri, tra cui Austria, Lituania e Slovenia, hanno registrato negli ultimi anni notevoli cali di vittime stradali di oltre il 25%, mentre altri paesi hanno registrato un aumento significativo fino ad oggi.⁷ Tuttavia, i dati rilevati sono strettamente legati al contesto di partenza di ciascun paese.

⁶ La Commissione europea è il principale organo esecutivo dell'UE. Presenta proposte legislative, difende i trattati e garantisce l'applicazione del diritto e delle politiche da parte degli Stati membri.

⁷ Ibid.

In Italia, nel 2023, sono avvenuti 166.525 incidenti che hanno causato 3039 morti con una media di 9 morti al giorno e 224.634 feriti. Questi valori sono in lieve aumento, rispetto al 2022, in riferimento agli incidenti e ai feriti, ma registrano un lieve miglioramento per il numero delle vittime.⁸

Sulla base dei dati forniti da ACI⁹ – ISTAT emerge una variabilità nei sinistri stradali legata sia alla tipologia stradale che alla modalità di trasporto. Nel primo caso, la maggior parte degli incidenti avvengono nelle strade urbane con una percentuale del 73,3%. Questo fenomeno è riconducibile all'elevata densità di veicoli e alla presenza di numerose intersezioni, che aumentano le interazioni tra gli utenti della strada. Tuttavia, la percentuale maggiore di incidenti mortali si verifica sulle strade extraurbane con il 48,4% per via delle maggiori velocità in tali contesti.

Relativamente alle diverse modalità di trasporto, si registra un aumento delle vittime tra i conducenti di monopattini e biciclette, mentre si osserva una diminuzione tra gli occupanti di autovetture e i motociclisti. La somma dei decessi degli utenti deboli è circa il 25% ossia un quarto dei decessi totali.¹⁰ Questo dato non è da sottovalutare, poiché l'utilizzo dei veicoli leggeri è sostenuto dalla mobilità green sotto il profilo ambientale, ma sono necessarie rigide norme regolatorie dal punto di vista economico e sociale.

Nella Fig. 1.3 è riportato l'andamento degli incidenti e dei feriti in Italia, rispettivamente evidenziato dalle linee in azzurro e blu. Da questo trend si nota, inoltre, che dal 2019 al 2021 vi è stato un ulteriore decremento attribuibile

⁸ ISTAT (Istituto nazionale di statistica è l'ente pubblico che produce e diffonde dati e analisi su economia, popolazione, società e ambiente in Italia), Incidenti stradali in Italia, 25 luglio 2023
<https://www.istat.it/comunicato-stampa/incidenti-stradali-in-italia-2023/>

⁹ L'Automobile Club d'Italia è un ente pubblico non economico della Repubblica Italiana.

¹⁰ ISTAT, Infografica sugli incidenti stradali in Italia, 2023
<https://www.istat.it/infografiche/infografica-sugli-incidenti-stradali-anno-2023/>

all'emergenza COVID. La figura mostra anche una proiezione futura dei target di riduzione delle vittime che si dovrebbero avere per arrivare al 50% in meno nel 2030.

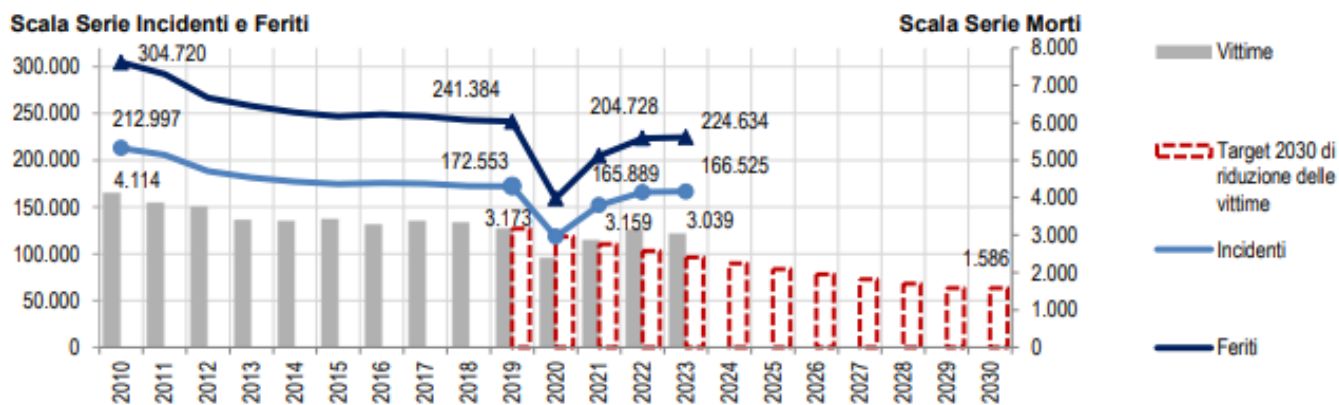


Figura 1.3 - Incidenti stradali con lesioni a persone, anni 2010-2023 e target 2030
Source: ACI - ISTAT

1.1.2 Fattori di rischio e problematiche legate al dato incidentale

I fattori di rischio sono elementi che concorrono al verificarsi di incidenti gravi, le cui dinamiche e conseguenze, dipendono da:

- Esposizione al rischio
- Rischio dell'evento incidente
- Rischio di infortunio

L'esposizione al rischio dipende dall'entità dello spostamento (chilometri percorsi), dalla modalità di spostamento (tipologia di veicolo utilizzato) e dalla promiscuità dell'utenza (condivisione dello spazio stradale fra i soggetti come pedoni, mezzi leggeri e/o pesanti, ecc.).

Per una determinata esposizione al rischio corrisponde una probabilità che l'evento incidente si verifichi. A sua volta, data una specifica probabilità dell'evento incidente,

esiste un rischio associato di infortunio. Il rischio dell'evento incidente e di infortunio è descritto come una combinazione di diversi elementi, quali:

- Il ruolo dell'utente in relazione alle abitudini di guida;
- Il ruolo del veicolo in relazione alle diverse tipologie di mezzi e alle tecnologie ad esse associate;
- Il ruolo dell'infrastruttura in relazione alle diverse caratteristiche geometriche, fisiche e tecnologiche.

Per quanto riguarda i fattori di rischio associati all'utente, i quali fanno riferimento principalmente a comportamenti scorretti durante la guida, rientrano la distrazione, compreso l'uso dei telefoni cellulari, il mancato rispetto della precedenza e l'eccesso di velocità. Questi comportamenti costituiscono complessivamente il 36,5% delle motivazioni per cui si verificano gli incidenti stradali e si collocano ai primi tre posti tra le cause di tali eventi.¹¹

In riferimento all'eccesso di velocità, i dati scientifici evidenziano come tale condotta aumenti notevolmente sia la probabilità che si verifichi un incidente, sia la gravità delle sue conseguenze. Infatti, per ogni aumento dell'1% della velocità media, il rischio di incidente mortale aumenta del 4%. Anche il rischio di morte per i pedoni investiti aumenta rapidamente con l'aumentare della velocità del veicolo, ad esempio, un veicolo che viaggia a 65 chilometri orari ha una probabilità 4,5 volte superiore di morire rispetto a quelli investiti da un veicolo che viaggia a 50 chilometri orari.¹²

¹¹ ISTAT, Incidenti stradali in Italia, 25 luglio 2023

<https://www.istat.it/comunicato-stampa/incidenti-stradali-in-italia-2023/>

¹² World Health Organization, Road traffic injuries

https://www.who.int/health-topics/road-safety#tab=tab_1

Un'altra causa rilevante che contribuisce in modo significativo al verificarsi di incidenti stradali è rappresentata dalla guida sotto l'effetto di alcol o di altre sostanze psicoattive. Questi fattori compromettono le capacità funzionali del conducente, tra cui i tempi di reazione, la capacità di orientamento, la vista e l'attenzione. I dati dimostrano che il rischio di incidente per i conducenti con una concentrazione di alcol nel sangue di 0,5g/L è 1,4 volte superiore a quello di un conducente sobrio, mentre con una concentrazione di 1,5 g/L il rischio aumenta fino a essere circa 20 volte superiore. A ciò si aggiunge il mancato utilizzo di dispositivi di sicurezza, come caschi per motociclista, cinture di sicurezza e sistemi di ritenuta per bambini. Ad esempio, l'uso del casco da motociclista può ridurre del 42% il rischio di lesioni mortali e del 69% il rischio di lesioni alla testa. L'utilizzo della cintura di sicurezza riduce del 45-50% il rischio di morte per i conducenti e gli occupanti dei sedili anteriori e del 25% per gli occupanti dei sedili posteriori. Inoltre, l'uso dei sistemi di ritenuta per bambini può ridurre i loro decessi fino al 60%.¹³

Alla luce di quanto descritto, è fondamentale sensibilizzare gli utenti sull'importanza di un'adeguata educazione stradale per ridurre il numero degli incidenti stradali. Questo obiettivo può essere raggiunto attraverso campagne di sensibilizzazione che mirano a diffondere una maggiore consapevolezza e una comunicazione efficace, capace di cambiare il comportamento degli utenti. Infatti, le campagne di istruzione risultano essere utili per rendere gli utenti più responsabili e consapevoli dei rischi. Dunque, risulta altresì indispensabile e concreto sensibilizzare gli utenti attraverso attività come quelle svolte da associazioni ONLUS, pubblicità progresso e social media.

¹³ Ibid.

Per quanto riguarda i fattori di rischio correlati all'infrastruttura, questa riveste un ruolo fondamentale, in quanto le sue caratteristiche possono influire significativamente sia sull'incremento che sulla diminuzione del rischio di incidente. L'infrastruttura, infatti, costituisce un elemento determinante negli incidenti stradali, essendo responsabile di circa il 30%¹⁴ di essi.

Le problematiche associate a questo fattore sono molteplici e includono la scarsa manutenzione del manto stradale, una progettazione inadeguata, segnaletica insufficiente e un'illuminazione non adeguata, ecc..

Nasce quindi l'esigenza di rendere più sicure e moderne le infrastrutture stradali. A tal fine, la Commissione Europea ha introdotto nuove misure volte a migliorare la sicurezza delle strade, tra cui l'aggiornamento delle normative relative alla gestione della sicurezza dei sistemi stradali.¹⁵

Le direttive dell'UE pongono particolare attenzione alla sicurezza durante tutte le fasi di pianificazione, progettazione e gestione delle infrastrutture stradali.

Strade progettate in maniera adeguata e sottoposte ad una corretta manutenzione, infatti, possono ridurre notevolmente la probabilità di incidenti e, allo stesso tempo, essere in grado di "perdonare l'errore umano", evitando che eventuali sbagli alla guida comportino conseguenze gravi.

Inoltre, un elemento fondamentale per il miglioramento della sicurezza stradale è rappresentato dalla progettazione di infrastrutture che tengano conto delle esigenze di tutti gli utenti della strada. Ciò implica la creazione di strutture adeguate a pedoni, ciclisti e motociclisti, oltre che per gli automobilisti. A tal fine, possono risultare

¹⁴ Kristian Schmidt, coordinatore europeo per la sicurezza stradale - Rapporto DEKRA sulla Sicurezza Stradale 2023

¹⁵ Direttiva 2008/96/CE sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture, 19 Novembre 2008 - Direttiva 2019/1936 che modifica la direttiva 2008/96/CE, 23 ottobre 2019.

indispensabili misure volte a moderare il traffico, come l'implementazione di percorsi pedonali, piste ciclabili e punti di attraversamento sicuri, che garantiscono una maggiore protezione agli utenti vulnerabili della strada.

In conclusione, tra i fattori che possono contribuire a ridurre la gravità degli incidenti stradali vi è la necessità di fornire un'assistenza tempestiva ai soggetti coinvolti, garantendo loro un accesso rapido ed efficace a servizi di soccorso pre-ospedalieri.

La ricerca, infatti, evidenzia che diminuire il tempo tra l'incidente e l'arrivo dei servizi medici di emergenza da 25 minuti a 15 minuti potrebbe ridurre i decessi di circa un terzo.¹⁶

Infine, per limitare il numero di decessi sulle strade, è fondamentale garantire il rispetto delle norme sulla circolazione stradale da parte degli utenti. A tal fine, l'introduzione e l'applicazione di sanzioni adeguate possono rappresentare un efficace strumento per promuovere comportamenti più responsabili e sicuri alla guida.

Per quanto riguarda i dati sull'incidentalità stradale, le problematiche principali sono legate alla qualità e all'affidabilità delle informazioni raccolte. In particolare, si possono distinguere due principali ordini di errori:

- 1) Problematiche sulla registrazione.

In questo caso fanno parte fattori legati alla disomogeneità delle definizioni utilizzate per classificare i morti, feriti e incidenti stradali tra i diversi paesi rendendo complicato

¹⁶ PUBMED, Sánchez-Mangas, García-Ferrer, de Juan, Arroyo (2010), The probability of death in road traffic accidents. How important is a quick medical response? Accident Analysis and Prevention 42 (2010)
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20441812/>

un confronto diretto e una valutazione precisa dei dati. Ad esempio, la definizione di “incidente stradale¹⁷” può variare, in alcuni paesi l’incidente viene considerato solo quello che coinvolge veicoli a motore, mentre in altri rientrano anche quelli che coinvolgono biciclette o pedoni. Un'altra incongruenza riguarda la definizione di “morte” che, in alcuni paesi, potrebbe essere registrata come decesso solo per le vittime che muoiono sul colpo, mentre in altri anche le vittime che muoiono entro un certo periodo di tempo dall’incidente.

Un'altra criticità è il fenomeno di under-reporting di incidenti o feriti, nel quale molti incidenti di entità minore non sono dichiarati agli organi rilevatori per ragioni assicurative oppure, potrebbe esserci una mancata registrazione nel sistema di raccolta dati nel caso in cui gli organi rilevatori non intervengono.

Infine, altre limitazioni possono essere la non disponibilità per tutte le infrastrutture dei dati di incidentalità; una mancanza di precisione spazio-temporale, poiché spesso i dati sono disponibili unicamente in forma aggregata restringendo il grado di dettaglio dell’analisi ed errori di rilievo o di trasmissione.

2) Problematiche intrinseche dell’incidente.

L’incidente è un evento raro e casuale; raro perché l’incidente rappresenta una minima parte del totale degli eventi che accadono nel sistema di trasporto e casuale perché l’incidente si verifica in funzione di un insieme di circostanze influenzate da fattori in parte deterministici (controllabili) e in parte stocastici (casuali e non prevedibili).

Di conseguenza, sotto le stesse circostanze può capitare che l’incidente avvenga oppure no.

¹⁷ Secondo l’Highway Safety Manual (HSM - 2010) viene definito come una serie di eventi che possono provocare lesioni dovuti alla collisione di almeno un veicolo motorizzato e potrebbe essere coinvolto anche un altro veicolo motorizzato, un ciclista, un pedone o un oggetto.

È necessario, dunque, raccogliere dati per periodi di tempo molto lunghi e/o su aree di studio molto ampie, per averne una quantità sufficiente in modo tale da poter applicare analisi statistiche.

A tal proposito, esiste un'alternativa sulla quale lavorare ovvero l'evento surrogato, cioè una situazione, in cui uno o più utenti della strada si avvicinano nello spazio e nel tempo a tal punto che il rischio di collisione aumenta se i loro movimenti rimangono inalterati. Questo risulta più frequente dell'evento incidente che, avendo una natura rara e casuale, rende lo studio complesso e difficoltoso.

La casualità, quindi, è legata al numero e alla gravità degli incidenti stradali che, a causa della natura aleatoria di questi eventi, possono variare notevolmente da un anno all'altro. Questa variabilità può portare ad errori di selezione, influenzando la scelta di elementi stradali che necessitano interventi, ed errori di sovrastima dei benefici a seguito di un intervento, in quanto una riduzione degli incidenti non implica necessariamente l'efficacia dell'intervento stesso.

Questa oscillazione dei dati può essere spiegata considerando i dati nel breve periodo, ovvero fino a tre anni, poiché è possibile che il valore osservato, per puro caso, risulti molto diverso da quello atteso. Ciò può portare a errori nelle decisioni su come destinare le risorse.

Pertanto, se negli anni successivi si osserva una riduzione drastica dell'incidentalità, non è detto che ciò derivi da un miglioramento dell'infrastruttura o da altre misure, ma potrebbe essere semplicemente un effetto casuale di regressione verso la media.

Se, a causa delle fluttuazioni casuali, in un determinato periodo si registra un numero di incidenti anormalmente alto o basso, è probabile che il numero di incidenti nel periodo successivo tenda a regredire verso il valore atteso nel lungo termine, ovvero, statisticamente, i valori elevati tenderanno a diminuire e quelli bassi a salire.

Quindi, se il dato non è affidabile, una possibile soluzione è calcolare la media del numero di incidenti negli anni presi in considerazione.

Tuttavia, ciò è valido solo se le condizioni sono rimaste invariate, cosa che accade raramente nel lungo periodo, poiché possono intervenire numerosi cambiamenti, come ad esempio delle modifiche legislative, delle dotazioni veicolari, climatiche, ecc.

1.1.3 EU Road Safety Policy Framework 2021-2030 - Next steps towards "Vision Zero"¹⁸

L'Unione Europea e l'Organizzazione Mondiale della Sanità, nel 2000, ha fissato e raggiunto l'obiettivo di ridurre i morti per incidenti del 50% entro il 2010. Successivamente, sono state rilanciate alcune politiche con le stesse finalità entro il 2020, ma i tassi di mortalità hanno registrato una riduzione di circa il 20% non raggiungendo l'obiettivo.

Il nuovo target strategico, a lungo termine, è di avvicinarsi a zero decessi e zero feriti gravi sulle strade dell'UE entro il 2050 (Vision Zero) e il suo obiettivo a medio termine è di ridurre del 50% i decessi e i feriti gravi entro il 2030 rispetto al 2019.

Nel 2023, circa 20.400 persone hanno perso la vita sulle strade dell'Unione Europea e circa 120.000 sono rimaste gravemente ferite. Queste cifre rappresentano un prezzo umano e sociale notevole, infatti, il costo degli incidenti stradali rappresenta, in media, circa il 2% del PIL europeo annuo.¹⁹

¹⁸ Quadro politico dell'UE per la sicurezza stradale 2021-2030 - Mercoledì 6 ottobre 2021, Strasburgo. https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2021-0407_EN.html

¹⁹ Istat Working Papers: Costi sociali degli incidenti stradali - N. 9/2023 (Giordana Baldassarre, Silvia Bruzzone, Alessia Grande, Lucia Pennisi, Francesca De Blasi)

Inoltre, dalla Fig. 1.4, si nota che da fine 2019 al 2021 vi è stato un decremento del numero di vittime della strada dovuto al COVID²⁰, poi un aumento che porta l'andamento reale al di sopra della curva target evidenziata in blu, rimanendo tuttavia leggermente al di sotto dei livelli pre-pandemia.

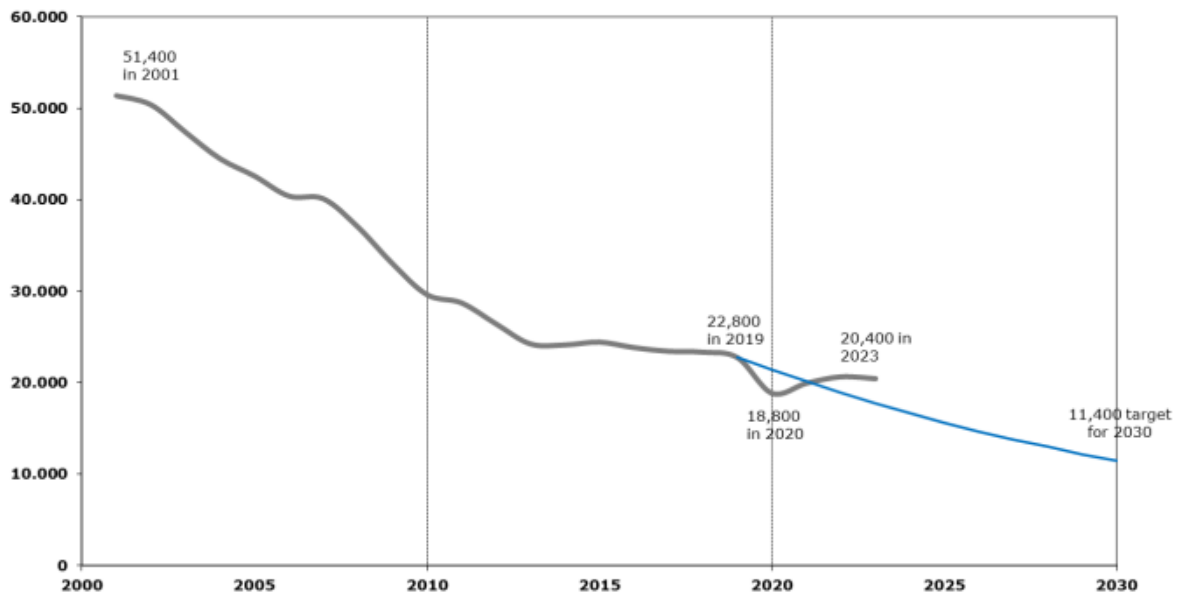


Figura 1.4 - Andamento del numero di vittime della strada nell'UE
 Source: CARE (EU database on road crashes)

Nel quadro politico dell'Unione Europea, per la sicurezza stradale, sono descritti gli obiettivi che devono essere raggiunti utilizzando un approccio coordinato, ben pianificato, sistematico e finanziato.

Nella presente tesi saranno approfondite alcune delle principali linee guida stabilite dall'UE in merito alla sostenibilità e alla sicurezza, con particolare riferimento alle infrastrutture e ai veicoli:

²⁰ La pandemia di COVID-19 è stata un'epidemia globale. L'Organizzazione mondiale della sanità l'ha dichiarata un'emergenza sanitaria pubblica di portata internazionale, iniziata il 30 gennaio 2020, concludendola ufficialmente il 5 maggio 2023.

- L'approccio Safe System è orientato alla riduzione delle vittime e dei feriti gravi e consiste nell'istituzione di indicatori chiave di prestazione (Key Performance Indicator - KPI) consentendo un'analisi più mirata delle prestazioni ed esortando tutti gli Stati membri a concordare una metodologia armonizzata che gli consenta di confrontare i dati.

L'indicatore KPI riguardante l'infrastruttura potrebbe essere rappresentato dalla percentuale di distanza percorsa su strade con un livello di valutazione European Road Assessment Programme (EuroRAP) sopra una determinata soglia. L'EuroRAP è un'associazione internazionale che si occupa di analizzare lo stato di sicurezza delle strade, e definirne gli standard qualitativi. Quest'ultimo utilizza un sistema di valutazione della sicurezza basato su un punteggio espresso in cinque stelle. L'indicatore KPI del veicolo è la percentuale di autovetture con un livello di sicurezza European New Car Assessment Programme (EuroNCAP) sopra una determinata soglia. L'EuroNCAP si occupa di definire le modalità di valutazione della sicurezza delle automobili nuove tramite i risultati di una serie di crash test. Questo utilizza un sistema di valutazione della sicurezza basato su un punteggio espresso in cinque stelle. È stato dimostrato che un veicolo con una valutazione di cinque stelle presenta un rischio di morte per incidente ridotto del 68% rispetto a un veicolo con due stelle, il quale riduce tale rischio del 23%.²¹

- I finanziamenti dell'UE sono essenziali per investire in soluzioni sostenibili e intelligenti così da accelerare il raggiungimento di traguardi in ambito di sicurezza stradale. L'UE, quindi, chiama tutti gli Stati membri a creare fondi

²¹ Kullgren, Lie, Tingvall (2010), Comparison between Euro NCAP test results and real-world crash data, Traffic Injury Prevention, 2010 Dec 11(6):587-93; cited in Jeanne Breen Consulting (2018), Study "Preparatory work for an EU road safety strategy 2020-2030".

nazionali, che, insieme ai finanziamenti, dovrebbero consentire l'attuazione dei loro programmi nazionali e del nuovo quadro strategico. Inoltre, gli Stati membri sono invitati ad utilizzare la riscossione delle multe ai sensi dei rispettivi codici della strada come strumento per la successiva redistribuzione delle risorse finanziarie a favore della sicurezza stradale.

- Istituire osservatori nazionali per la sicurezza stradale al fine di raccogliere, elaborare e gestire banche dati nazionali in modo da allineare le diverse nazioni.
- Dare priorità agli investimenti che offrono maggiori benefici in termini di sicurezza stradale, dedicando particolare attenzione alle zone con il più alto numero di incidenti. Tra gli investimenti sono compresi quelli riguardo la manutenzione delle infrastrutture esistenti e la costruzione di nuove infrastrutture, ove necessario. Per valutare la sicurezza intrinseca delle strade e per indirizzare gli investimenti deve essere applicata un'analisi proattiva.
- Nuova revisione del regolamento sulla rete transeuropea di trasporto (TEN-T), costruendo una rete multimodale ed efficace a livello di UE e garantendo una connettività sostenibile.
- La Commissione Europea invita gli Stati membri a istituire sistemi nazionali di segnalazione volontaria, che dovrebbero essere accessibili online e disponibili a tutti gli utenti della strada, al fine di agevolare la raccolta di dati sugli eventi stradali trasmessi dagli utenti e di qualsiasi altra informazione relativa alla sicurezza percepita dal segnalante, come un pericolo reale o potenziale per la sicurezza delle infrastrutture stradali.
- Si sottolinea l'importanza delle prestazioni della segnaletica stradale, includendo aspetti come la collocazione, la visibilità e la retro-riflettenza, oltre che l'efficacia dei sistemi di assistenza alla guida, quali i sistemi intelligenti di controllo della velocità e di mantenimento della corsia.

- La Commissione e gli Stati membri devono definire ed elaborare i requisiti di qualità per le infrastrutture destinate alla circolazione di pedoni e biciclette, al fine di valorizzare e riconoscere l'importanza del trasferimento modale verso modalità attive, come camminare, andare in bicicletta, e utilizzare mezzi di trasporto pubblici sostenibili. A favore di ciò, strumenti importanti per ridurre i pericoli sulle strade e per stanziare investimenti adeguati, si accoglie, l'iniziativa Safer Transport Platform, che chiede esplicitamente migliori strutture per il trasporto sostenibile e progetti di riduzione degli incidenti.
Questo nuovo programma invita la Commissione Europea e la Banca europea degli investimenti (BEI) ad avviare campagne di sensibilizzazione, per garantire che tutte le parti interessate siano ben aggiornate e prendano in considerazione l'utilizzo.
- Aggiornamento di nuove funzioni di sicurezza avanzate nei veicoli, come i sistemi intelligenti di assistenza alla velocità e i sistemi di mantenimento alla corsia. L'installazione di sistemi intelligenti di assistenza alla velocità ad alte prestazioni su tutti i nuovi veicoli ricorda l'importanza della tecnologia, che può contribuire sia ad attenuare la gravità degli incidenti sia a ridurre la probabilità di incidenti attraverso sistemi di sicurezza attivi e passivi.
- Rendere obbligatori i promemoria per le cinture di sicurezza per tutti i sedili ed elaborare norme per i requisiti di informazione sui parametri di sicurezza dei sistemi di ritenuta per bambini. A favore di ciò l'UE invita gli Stati membri a lanciare campagne di sensibilizzazione per genitori e tutori sulla sicurezza dei bambini nei trasporti su strada, al fine di continuare a promuovere l'importanza e la consapevolezza sulla necessità di utilizzare tali dispositivi.

Rispetto a quanto detto, un quadro politico adeguato alla sicurezza stradale dovrebbe fondarsi sull'innovazione tecnologica, sull'educazione continua degli utenti, su infrastrutture sicure e sull'uso di veicoli dotati di sistemi intelligenti.

A questo si aggiungono le riflessioni strategiche della Commissione europea, che guardano al futuro considerando il ruolo dei veicoli automatizzati, la promozione della mobilità sostenibile e il miglioramento della qualità delle aree urbane:

- È necessario spianare la strada all'introduzione tempestiva di veicoli connessi e automatizzati, valutando però anche i possibili rischi derivanti dalla combinazione di tali veicoli con quelli tradizionali. Infatti, il traffico misto potrebbe rappresentare un problema, soprattutto per gli utenti della strada più vulnerabili. Per questo motivo, si invita la Commissione a valutare attentamente l'impatto e ad aggiornare le infrastrutture in modo da garantire il funzionamento sicuro dei veicoli connessi e automatizzati.
- A favore della mobilità sostenibile, per rinnovare flotte di veicoli privati e pubblici, gli Stati membri sono invitati a istituire programmi di rottamazione dei veicoli più inquinanti. Questo risulta utile per promuovere condizioni ecologiche ed incentivare l'acquisto e l'uso di veicoli più sicuri, puliti ed efficienti.
- Favorire sinergie tra misure di sicurezza e sostenibilità nelle aree urbane; a tale proposito, importante è la ridefinizione delle priorità delle infrastrutture di trasporto, compresa la riqualificazione degli spazi pubblici. La Commissione, infatti, incoraggia maggiori investimenti e cofinanziamenti per la realizzazione di parcheggi e altre aree di connettività per la mobilità agli ingressi delle zone urbane, garantendo un facile accesso a diverse modalità di trasporto pubblico, tenendo conto della necessità di ridurre la congestione urbana e le emissioni di CO₂.

Per concludere, al fine di attuare correttamente le prossime fasi della politica dell'Unione Europea in materia di sicurezza stradale e di strategia globale per una mobilità sostenibile e intelligente, è necessario sviluppare nuove competenze nel settore, in particolare per quanto riguarda le funzioni di coordinamento, monitoraggio, valutazione ambientale e un supporto tecnico per una strategia complessiva.

1.1.4 L'impatto socioeconomico degli incidenti e i metodi di analisi

Il costo sociale degli incidenti stradali costituisce una stima del danno economico subito dalla società e rappresenta uno degli indicatori più rilevanti per la valutazione dei livelli di performance della sicurezza stradale.

In Italia, il costo sociale stimato, legato agli incidenti con morti (entro il trentesimo giorno dall'incidente) e feriti²², ammonta a circa 18 miliardi di euro, ovvero l'1% del PIL annuo.²³ Per questo motivo, la riduzione di decessi e feriti gravi è uno degli obiettivi per la sicurezza stradale indicati dalle più importanti organizzazioni internazionali fin dall'anno 2000.

Il danno economico, a carico della società, non è rappresentato da una spesa diretta, ma consiste in una quantificazione economica delle conseguenze derivanti da un incidente stradale.

Quindi, questo calcolo risulta complesso, poiché include sia costi immateriali, come la perdita di persone care o la compromissione del loro stato di salute per tutta la vita e la conseguente riduzione della produttività e sia costi materiali, fra i quali le spese sanitarie, danni subiti ai veicoli e agli oggetti coinvolti.

²² MIT, Feriti gravi classificati con il MAIS3+ (Maximum Abbreviated Injury Scale)

²³ Costi sociali degli incidenti stradali - ISTAT

Nonostante le difficoltà nello stimare i costi complessivi, è stato possibile definire un valore economico, espresso in euro, che permette di attribuire un costo specifico, pro capite, per ogni categoria di evento: morte, ferimento o incidente.

Tali valori risultano essere dei parametri fondamentali per comprendere l'impatto economico degli incidenti e per orientare le politiche di prevenzione e sicurezza stradale.

Evento	Costo da applicare pro capite
Morto	1.812.989
Ferito grave	467.159
Ferito lieve	8.519
Incidente	12.394

Figura 1.5 - Parametri per la determinazione dei costi sociali da incidente stradale (valori in euro)
Source: ISTAT-ACI 2023

Vi sono due principali costi sociali ²⁴ che, a loro volta, tengono in considerazione altri molteplici fattori che concorrono a determinare le spese:

1) Costo per vittima:

- Costi sanitari (primo soccorso, ambulanza, ospedale), riabilitazione non medica (strutture per adattare le case con disabili, riabilitazione professionale);
- Perdita della capacità produttiva (questa perdita può essere totale o parziale in relazione alla conseguenza dell'incidente e interessa sia le persone decedute sia le persone ferite. Per i primi la perdita di produzione è totale, mentre per i feriti può essere parziale o totale in base al grado di lesione temporanea o permanente);

²⁴ MIT, Metodologia per il calcolo del costo sociale degli incidenti stradali, novembre 2022
https://www.mit.gov.it/nfsmigtgov/files/media/progetti/2023-02/Allegato_A_Costi%20Sociali_Nota%20Metodologica_0.pdf

- Costi umani (Danno “non patrimoniale” che deriva dalla perdita dell’integrità psico-fisica della persona e/o dei congiunti. Questa categoria è costituita da danno morale per decesso o danno biologico per ferito);
- Altri costi come ad esempio le spese, in termini monetari e tempistici, che i congiunti delle vittime hanno per raggiungere l’ospedale o i costi funerari.

2) Costo per incidente:

- Danni alle proprietà (danni al veicolo e alle infrastrutture);
- Costi amministrativi (spese di gestione dell’assicurazione, spese di intervento delle autorità come polizia e vigili del fuoco, e costi giudiziari);
- Altri costi come la congestione del traffico e l’indisponibilità del veicolo.

In letteratura²⁵, i metodi principali utilizzati per la stima dei costi legati all’incidentalità sono:

- Costi di restituzione²⁶ (restitution cost), ovvero i costi diretti delle risorse necessarie per riportare le vittime della strada e i loro parenti e amici alla situazione che esisterebbe se non fossero stati coinvolti in un incidente stradale;
- L’approccio del capitale umano²⁷(human capital approach - HCA), vale a dire la misura del valore, per la società, della perdita di capacità produttiva causata dagli incidenti o dai decessi. Questi sono costi indiretti e l’HCA equipara il valore sociale al valore di mercato attualizzato della produzione di un individuo in un determinato periodo.
- Metodo della disponibilità a pagare²⁸(willingness to pay approach - WTP) basato sulla stima della somma che le persone sarebbero disposte a pagare per evitare un incidente stradale.

²⁵ Istat Working Papers: Costi sociali degli incidenti stradali - N. 9/2023

²⁶ Wijnen et al. 2017 - <https://www.istat.it/wp-content/uploads/2024/09/IWP-9-2023.pdf>

²⁷ Ibid.

²⁸ Ibid.

1.2 Metodologia di stima dell'incidentalità stradale

La metodologia di stima dell'incidentalità stradale può essere suddivisa in tre approcci principali con caratteristiche specifiche: analisi dei dati osservati, analisi tramite modelli di regressione e stima tramite il metodo bayesano empirico.

La differenza tra questi approcci si basa su come i dati vengono trattati e integrati per stimare il livello di sicurezza di un determinato elemento stradale.

1.2.1 Analisi dei dati osservati

La stima dell'incidentalità stradale tramite i dati osservati è un elemento fondamentale per comprendere l'affidabilità delle informazioni relative agli incidenti.

In questa analisi emergono aspetti positivi, come la comprensibilità e l'accessibilità, ma anche alcune criticità. Tra queste si evidenziano la mancata disponibilità di dati sulle nuove infrastrutture o su quelle che hanno subito cambiamenti nel tempo, l'assunzione di una relazione lineare tra incidente ed esposizione e le problematiche, già evidenziate, come l'under reporting dei dati nonché l'esigua numerosità dei dati e il carattere in parte aleatorio del fenomeno.

Questo approccio, infatti, si limita all'utilizzo di dati grezzi sugli incidenti osservati, senza tener conto della variabilità casuale. Tale limitazione può comportare una valutazione errata del grado di sicurezza dell'infrastruttura oggetto di studio.

Tramite il dato osservato si ottengono quindi informazioni dirette sul valore dell'incidentalità nel periodo attuale di studio, ma se si vuole stimare la frequenza media di incidentalità *osservata* nell'anno *i*-esimo è necessario ricorrere al modello probabilistico di distribuzione di Poisson.

Questo modello include diverse casistiche in base al tipo di dati disponibili.

Se si dispone di un unico dato e quindi una sola osservazione disponibile per la stima, ad esempio nel caso in cui l'infrastruttura ha subito variazioni significative nel tempo o nel caso si tratti di una nuova infrastruttura, allora la varianza σ (affidabilità della stima) coincide con la media μ .

In questo caso, la probabilità che gli incidenti osservati nel periodo i -esimo sia x , è:

$$P(X_i = x) = \frac{\mu_i^{(x)} e^{-\mu_i}}{x!}$$

$$\sigma^2 = \mu$$

Se invece si hanno più dati riferiti a un'infrastruttura, le cui variazioni nel tempo sono trascurabili, si utilizza la media aritmetica.

In questo caso l'affidabilità della stima aumenta con il maggior numero di dati di incidentalità di cui si dispone, a patto appunto che essi siano effettivamente una stima della medesima condizione di sicurezza.

$$\mu = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{X_1 + \dots + X_n}{n^2}}$$

- n rappresenta il numero di anni.

Infine, nel caso in cui vi siano variazioni non trascurabili nel tempo ma si disponga di informazioni per ciascun periodo che possano suggerire il "peso" da attribuire a ogni

periodo differente, si calcola la somma dei pesi relativi ai diversi anni, perché più questi sono recenti e più rappresentano in modo accurato le condizioni attuali, riflettendo meglio la situazione corrente.

$$\mu_Y = \frac{\sum_{y=1}^Y Xy}{\sum_{y=1}^Y dy}$$

$$V(\mu_Y) = \frac{\sum_{y=1}^Y Xy}{(\sum_{y=1}^Y dy)^2}$$

- y rappresenta il generico anno/periodo
- Y rappresenta l'ultimo anno/ultimo periodo
- Peso per ogni periodo (ad esempio, rapporto incidenti sull'elemento rispetto al totale di incidenti su elementi simili) $d_y = \frac{\mu_y}{\mu_Y}$

Quindi, i dati osservati possono essere utilizzati come stima dell'incidentalità, ma tenendo conto dei loro significativi limiti di affidabilità.

Se invece iniziamo a disporre di dati sul traffico, dati relativi ad elementi simili ed altri dati osservati, la stima può essere notevolmente migliorata.

1.2.2 Misure indirette o surrogate di sicurezza

Data la natura rara e casuale dell'evento incidente può risultare conveniente effettuare analisi incidentali sui "quasi incidenti" ovvero i conflitti di traffico, eventi molto più frequenti dell'incidente vero e proprio.

Il conflitto di traffico è una situazione osservabile, in cui uno o più utenti della strada sono a rischio di collisione se i loro movimenti rimangono inalterati.

L'approccio quantitativo per identificare il conflitto di traffico si basa sul calcolo di misure surrogate di sicurezza, che sono indicatori in grado di quantificare quanto due utenti della strada si siano "avvicinati" in termini spaziali e temporali durante la loro interazione.

Esempi di queste misure sono:

- Time-to-collision (TTC): Tempo che intercorre tra un certo istante e l'incidente che avverrebbe se i due veicoli continuassero con la stessa traiettoria a velocità costante.
- Post-encroachment time (PET): Indica di quanto tempo due utenti stradali si sono "mancati", ovvero mostra la differenza temporale tra il veicolo 1 che transita sull'area di conflitto e il veicolo 2 che attraversa la stessa area.
- Deceleration Rate to Avoid the Crash (DRAC) è la minima intensità di decelerazione necessaria perché un veicolo sia in grado di evitare la collisione.

Questa metodologia presenta diversi vantaggi, tra cui l'applicabilità anche in assenza di dati sull'incidentalità, la possibilità di effettuare analisi tempestive e la capacità di analizzare condizioni particolari.

Tuttavia, presenta anche alcuni limiti, come l'assenza di una relazione sempre verificabile tra l'evento surrogato e l'incidente effettivo nonché la difficoltà a raccogliere/misurare dati surrogati in maniera estensiva lungo la rete.

La definizione tradizionale di conflitti di traffico risulta generica, poiché potrebbe essere applicata anche a situazioni di interazioni ravvicinate, ma controllate, tra conducenti.

Pertanto, è fondamentale che ci sia un “fallimento” affinché possa ritenersi conflitto. Questo fallimento può dipendere dal veicolo, dall’infrastruttura e dall’utente. Inoltre, i conflitti di traffico sono considerati precursori degli incidenti e non esiti alternativi; infatti, se questo non si dovesse verificare, non ci sarebbe alcun incidente. Al contrario, se un conflitto di traffico si verifica, l’incidente dipenderà dalla manovra evasiva, cioè un’azione improvvisa o rapida intrapresa dal conducente di un veicolo per evitare una potenziale collisione, un esempio è una sterzata, una frenata improvvisa o un cambio di corsia. Se la manovra evasiva viene eseguita dall’utente con successo, l’incidente non avrà luogo; in caso contrario, l’incidente si verificherà.

1.2.3 Modelli di regressione e metodo predittivo

Il metodo della regressione è una tecnica usata per stimare una relazione funzionale tra una variabile dipendente, ovvero l’incidentalità stradale e una o più variabili indipendenti come volumi di traffico (Annual average daily traffic - AADT) e/o le caratteristiche geometriche dell’elemento stradale.

Un esempio di modello di regressione è la Safety Performance Function (SPF) che stima la frequenza media di incidentalità con il suo grado di affidabilità statistica.

Le SPF sono tipicamente utilizzate per stimare il rischio intrinseco di siti specifici, come un tratto stradale o un’intersezione, che rientrano nelle cosiddette “condizioni base”.

La frequenza media dell’incidentalità $\mu = N_{SPF}$ è definita dall’equazione:

$$\mu = N_{SPF} = e^{\alpha_0} \times Q^{\alpha_1} \times L^{\alpha_2} \left(\sum_i \beta_i z_i \right)$$

Dove:

- Q = Volume di traffico;
- L= Lunghezza del tronco;
- α_i = Parametri di regressione del modello (ipotesi di distribuzione binomiale);
- $e^{\sum_i \beta_i z_i}$ = eventuali altri fattori di rischio e costanti del modello;

Il valore di α risulta, generalmente, non lineare ($\alpha_1 \neq 1$) per il volume di traffico e lineare ($\alpha_2 = 1$) sulla lunghezza del tronco.

Da tali considerazioni, risulta utile esplicitare l'equazione generale che stima la frequenza media *prevista* di incidentalità attraverso l'applicazione del Metodo Predittivo. Il metodo predittivo proposto dall'Highway Safety Manual (HSM)²⁹ nella parte C, prevede un approccio di stima e valutazione del livello di sicurezza di un determinato sito, facendo distinzioni anche fra le diverse tipologie stradali: urbane, extraurbane, ecc..

Questo metodo si avvale del modello di regressione SPF corretto, eventualmente, dai Crash Modification Factor (CMFs), ossia dei coefficienti moltiplicativi che tengono conto delle differenti caratteristiche geometrico-funzionali di una specifica condizione strutturale, mantenendo costanti tutte le altre, rispetto alle condizioni base previste dal modello, e da un altro coefficiente, il Calibration Factor (C), utilizzato per adattare il modello alla differente giurisdizione e periodo.

La formula per calcolare la frequenza media *prevista* di incidentalità su un sito specifico è definita dalla seguente equazione:

$$N_{predicted} = N_{spf} \times (CMF_{1X} \times CMF_{2X} \times \dots \times CMF_{nX}) \times C_X$$

²⁹ L'Highway Safety Manual è un documento redatto dall'AASHTO (American Association of State Highway Transportation Officials) e pubblicato nel 2010, che contiene linee guida, nozioni e procedure per prevedere e stimare le prestazioni di sicurezza delle infrastrutture stradali.

Questa equazione risulta importante per fare valutazioni di sicurezza su siti per cui non si hanno dati osservati. Infatti, la stima dell'incidentalità, con questo metodo, può essere utilizzata per condizioni esistenti con volumi di traffico passati o futuri e dunque i vantaggi sono quelli di avere una stima per infrastrutture nuove o per alternative di progetto.

Inoltre, ulteriori vantaggi sono quelli di limitare l'oscillazione casuale dei dati e quindi ridurre gli errori dovuti al fenomeno di regressione verso la media e l'assunzione di una relazione non lineare tra incidente e volume di traffico.

Mentre, le criticità di tale modello risiedono nel fatto che il dato incidentale ottenuto risulta non sempre affidabile, in quanto non tutti i fattori di rischio possono essere presi in considerazione, e anche la calibrazione può risultare inadeguata nel caso di un'eccessiva divergenza tra il sito modello e l'elemento di studio.

1.2.4 Combinazione dei dati osservati e dei metodi statistici di regressione: Approccio Bayesiano empirico.

Le stime effettuate con uno dei metodi precedenti possono essere combinate per calcolare la frequenza media *attesa* di incidentalità, utilizzando il modello Empirico Bayesiano (Empirical Bayes – EB). Questo approccio risulta più affidabile rispetto alle stime precedenti, in quanto generalmente integra il modello predittivo, che calcola la frequenza media *prevista* di incidentalità, con la frequenza media di incidentalità *osservata*. L'EB si distingue quindi, dal modello predittivo, per la disponibilità dei dati relativi al numero di incidenti osservati in un determinato periodo di studio.

La formula per calcolare la frequenza media *attesa* di incidentalità su un sito specifico è definita dalla seguente equazione:

$$N_{expected} = \alpha \times N_{predicted} + (1 - \alpha) \times N_{observed}$$

$N_{expected}$ = Frequenza media *attesa* di incidentalità sul sito specifico [incidenti/anno]

$N_{predicted}$ = Frequenza media *prevista* di incidentalità sul sito specifico [incidenti/anno]

$N_{observed}$ = Frequenza media *osservata* di incidentalità sul sito specifico [incidenti/anno]

α = Coefficiente di ponderazione

La combinazione di tale metodo avviene tramite una media ponderata delle due grandezze sopra descritte, mediante un coefficiente di ponderazione α . Nel caso di predizione con SPF, in accordo con l'HSM, tale coefficiente è funzione del parametro di sovradisersione k , che viene impiegato nella previsione e ne indica l'affidabilità.

$$\alpha = \frac{1}{1 + k \times (\sum_{\substack{\text{all} \\ \text{study} \\ \text{year}}} N_{predicted})}$$

In particolare, dalle equazioni precedenti osserviamo come al diminuire del parametro di sovradisersione aumenta il grado di affidabilità della SPF e, di conseguenza, la stima dell'incidentalità attesa si baserà principalmente sull'incidentalità prevista, piuttosto che quella osservata. Viceversa, se il parametro k aumenta, diminuisce l'affidabilità della previsione con SPF e, di conseguenza, crescerà il peso da attribuire all'aliquota di incidentalità osservata.

La caratteristica principale di questa stima è che tende a bilanciare i limiti degli approcci precedenti, permettendo di correggere la previsione con i dati misurati per tener conto delle specificità non considerate dal modello di regressione.

Quindi, l'approccio EB tende a ridurre la variabilità casuale, poiché si concentra sulla frequenza di incidentalità media attesa a lungo termine. Questo metodo consente di

ottenere una stima accurata e affidabile anche in presenza di dati limitati, e di fare previsioni su misurazioni di unità simili, tenendo conto delle effettive rilevazioni dell'unità in esame.

Di seguito, si illustrano le 18 fasi del metodo predittivo utilizzate per determinare la frequenza media attesa degli incidenti secondo quanto proposto dal manuale Highway Safety Manual.

Questi step si differenziano a seconda della tipologia infrastrutturale di interesse e l'HSM ne individua tre:

- 1) "Rural Two-Lane, Two-Way Roads", Strade extraurbane ad unica carreggiata e a doppio senso di marcia;
- 2) "Rural Multilane Highways", Strade extraurbane a più corsie per senso di marcia;
- 3) "Urban and Suburban Arterials", Strade urbane e suburbane.

- 1 Step → Definizione dei limiti della strada e della tipologia di infrastruttura:
Il metodo predittivo può essere applicato ad una rete stradale, ad un'infrastruttura o ad un singolo sito (un'intersezione o un segmento stradale omogeneo), e utilizzato per una strada esistente o per un'alternativa progettuale. Lo studio può essere limitato a un solo sito specifico o ad un gruppo di siti contigui.
- 2 Step → Definizione del periodo di interesse:
Il metodo predittivo può essere intrapreso per un periodo passato o futuro misurato in anni. Gli anni di interesse saranno determinati dalla disponibilità di AADT osservati o previsti, incidenti e di dati di progettazione geometrica.

- 3 Step → Determinazione delle disponibilità dei dati di traffico e d'incidentalità:
È necessario determinare il traffico giornaliero medio annuo (annual average daily traffic - AADT) che può essere determinato grazie a indagini o registrazioni automatiche per periodi passati e tramite modelli previsionali assunti relativamente costanti negli anni per periodi futuri. Per le intersezioni è necessario avere valori di traffico sia delle strade principali e sia di quelle secondarie. Il metodo Empirico Bayesiano viene utilizzato, su un sito esistente o su alternative relative al sito esistente, ma solo quando sono disponibili dati osservati, pertinenti a siti specifici, e si ha un riferimento minimo di tre anni.
- 4 Step → Determinazione delle caratteristiche geometriche:
Al fine di determinare gli step successivi è necessario conoscere le condizioni di base degli SPF e dei CMF, in particolare la lunghezza del tronco, la larghezza della corsia, larghezza e tipologia banchina, le caratteristiche della curva, corsie di sorpasso, pendenze, presenza di illuminazione lungo il tronco, ecc..
- 5 Step → Suddivisione della rete in tronchi stradali e intersezioni:
Utilizzando le informazioni dello step 1 e dello step 4, la strada viene suddivisa in singoli siti, costituiti da segmenti stradali omogenei non inferiori a 0,10 miglia (160 metri) e intersezioni.
- 6 Step → Assegnazione degli incidenti ad un singolo sito (se possibile):
Questo Step è applicabile solo se sono disponibili i dati di incidentalità relativi al sito in esame allo Step 3, al contrario, si passa allo Step successivo.
- 7 Step → Selezione del primo o del successivo sito da studiare:
Dopo aver individuato i singoli siti omogenei della rete stradale nello Step 5, risulta importante considerare la frequenza media degli incidenti prevista per l'intera rete di studio, calcolata come la somma delle frequenze dei singoli siti per ciascun anno del periodo di interesse. La stima per ciascun sito viene

effettuata uno alla volta e, dunque, le fasi da 8 a 14, descritte di seguito, vengono ripetute per ogni sito. Questo Step è eseguito solamente se sono presenti più di un sito, altrimenti si passa direttamente alla fase 15.

- 8 Step → Selezione del primo o successivo anno da studiare:

È possibile che gli anni del periodo di valutazione debbano essere analizzati uno alla volta per ogni particolare segmento stradale o intersezione, poiché le SPF e alcune CMF dipendono dall'AADT, che può cambiare di anno in anno.

Il procedimento descritto negli Step da 8 a 13 è ripetuto per ciascun anno del periodo considerato.

- 9 Step → Identificazione e applicazione SPF:

A ciascun sito individuato viene applicata un'appropriate Safety Performance Functions.

- 10 Step → Applicazione CMF:

In questo Step vengono applicati i Crash Modification Factors, i quali vengono utilizzati per correggere la previsione della frequenza di incidentalità tramite la stima della SPF al fine di tenere conto delle differenze fra le condizioni base e le condizioni del sito specifico.

- 11 Step → Applicazione del fattore di calibrazione:

In questo Step la frequenza di incidentalità è corretta attraverso il fattore di calibrazione C che considera le differenze ambientali e la giurisdizione dell'area di studio rispetto alle condizioni base.

Questo fattore viene rappresentato attraverso l'equazione:

$$C = \frac{\sum_{all\ sites} observed\ crashes}{\sum_{all\ sites} predicted\ crashes}$$

- 12 Step → Eventuale *loop* tra step 8 e step 12

- 13 Step → Applicazione del metodo EB al sito specifico (se possibile):
Dopo aver definito l'applicabilità del metodo Empirical Bayes nello Step 3, si combina la frequenza media degli incidenti *previsti* tramite il modello predittivo ($N_{predicted}$) con la frequenza media degli incidenti *osservati* nel sito specifico ($N_{observed}$). In questo modo, si ottiene una stima più affidabile della frequenza media attesa di incidentalità per il sito considerato ($N_{expected}$).
Tale step è applicabile solo nel caso in cui si dispone di dati di incidentalità.
- 14 Step → Eventuale *loop* tra step 7 e step 14
- 15 Step → Applicazione del metodo EB a livello di progetto (se possibile):
Questo Step è applicabile solo quando sono disponibili i dati sugli incidenti osservati ma non possono essere accuratamente assegnati a siti specifici.
- 16 Step → Sommare i dati di tutti i siti e di tutti gli anni:
In questo step si stima il numero totale di incidenti o frequenza media all'interno della rete durante il periodo di studio, tramite l'equazione:

$$N_{total} = \sum_{\substack{all \\ roadway \\ segments}} N_{rs} + \sum_{\substack{all \\ intersections}} N_{int}$$

$$N_{total\ aveage} = \frac{N_{total}}{n}$$

dove:

N_{total} = Numero totale previsto di incidenti per tutti gli anni del periodo di interesse oppure, la somma della frequenza media di incidenti prevista per ogni anno e per ogni sito nel periodo di studio;

N_{rs} = Frequenza media prevista degli incidenti, per un segmento stradale, utilizzando il metodo predittivo per il periodo di osservazione di un anno;

N_{int} = Frequenza media prevista degli incidenti, per un'intersezione, utilizzando il metodo predittivo per il periodo di osservazione di un anno.

$N_{total\ aveage}$ = Frequenza media prevista degli incidenti sull'intera rete stradale durante l'intero periodo di osservazione n.

- 17 Step → Eventuale *loop* tra step 3 e step 17:
Gli Step da 3 a 16 del metodo predittivo vengono ripetuti nel caso di alternative progettuali, per interventi che modificano le caratteristiche geometriche e nel caso di cambiamento nei periodi di osservazione e dei volumi di traffico.
- 18 Step → Valutare e confrontare i risultati.

1.3 Gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali e normative di riferimento: Direttive Europee e Decreti Italiani.

Per gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali si intende il processo che comprende l'identificazione delle problematiche, l'ipotesi di azioni correttive, la valutazione delle diverse alternative e l'analisi della loro efficacia.

Per raggiungere questi obiettivi, è necessario disporre di una base teorica che includa una comprensione della natura dei dati incidentali, gli strumenti per effettuare previsioni o stime di incidentalità e metodi per monitorare l'efficacia delle azioni.

Dunque, la gestione delle infrastrutture stradali rappresenta uno dei tre fattori principali su cui è necessario intervenire, in quanto contribuisce al verificarsi degli incidenti, insieme alla sicurezza dei veicoli e al comportamento degli utenti.

In questo contesto, il panorama normativo risulta fondamentale, con particolare riferimento a due Direttive Europee (2008/96/EC e 2019/1936) e due Decreti Legislativi Italiani (D.L. 35/11 e D.L. 213/21).

1.3.1 Europa: Direttiva 2008/96/EC e 2019/1936

La Direttiva 2008/96/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, promulgata il 19 novembre 2008, sulla Gestione delle infrastrutture stradali, descrive le linee guida per favorire una politica di coesione e mitigazione dell'incidentalità.

La presente direttiva richiede l'istituzione e l'attuazione di procedure relative alle valutazioni d'impatto e controlli sulla sicurezza stradale, alla gestione della rete stradale ed alle ispezioni di sicurezza da parte degli Stati membri. Questa si applica

alle strade che fanno parte della rete stradale transeuropea TEN³⁰, siano esse in fase di progettazione, in costruzione o già aperte al traffico. Tuttavia, questa, non si applica alle gallerie stradali disciplinate dalla direttiva 2004/54/CE.³¹

I principali articoli che caratterizzano la direttiva sono:

- “Road Safety Impact Assessment” (art.3): La valutazione d’impatto sulla sicurezza stradale ³² (VISS) è effettuata durante la fase di pianificazione iniziale, anteriormente all’approvazione del progetto di infrastruttura. In tale ambito gli Stati membri si adoperano per rispettare i criteri stabiliti all’allegato I. La VISS espone le considerazioni in materia di sicurezza stradale che contribuiscono alla scelta della soluzione proposta e fornisce tutte le informazioni necessarie all’analisi costi/benefici delle diverse opzioni valutate.
- “Road Safety Audit” (art.4): Gli Stati membri assicurano che siano effettuati controlli della sicurezza stradale per tutti i progetti di infrastruttura secondo i criteri stabiliti all’allegato II e garantiscono che sia designato un controllore³³. I controlli costituiscono parte integrante del processo nelle fasi degli studi preliminari, della progettazione, nella fase di ultimazione e nella prima fase di funzionamento.
- “Safety ranking and management” (art.5): Gli Stati membri assicurano che la classificazione dei tratti ad elevata concentrazione di incidenti e la classificazione della sicurezza della rete aperta al traffico siano fondate su un esame del funzionamento della rete stradale con cadenza almeno triennale secondo i criteri stabiliti all’allegato

³⁰ «rete stradale transeuropea»: la rete stradale descritta nell’allegato I, sezione 2, della decisione n. 1692/96/CE – Art. 2 DIRETTIVA 2008/96/CE.

³¹ Oggetto e ambito di applicazione Art. 1 - DIRETTIVA 2008/96/CE.

³² Valutazione d’impatto sulla sicurezza stradale: un’analisi comparativa strategica dell’impatto di una nuova strada o di una modifica sostanziale della rete esistente sul livello di sicurezza della rete stradale – Art. 2 DIRETTIVA 2008/96/CE.

³³ Il controllore è designato a norma dell’art 9 DIRETTIVA 2008/96/CE

III e inoltre, garantiscono che i tratti stradali di maggiore priorità³⁴ in virtù dei risultati della classificazione siano valutati da gruppi di esperti mediante visite in loco³⁵. Le misure correttive privilegiano quelle che presentano il miglior rapporto costi/benefici. Gli Stati membri predispongono un'adeguata segnaletica³⁶ per richiamare l'attenzione degli utenti della strada sui tratti dell'infrastruttura stradale in manutenzione che possono mettere a repentaglio la sicurezza degli stessi.

- “Safety Inspections” (art.6): Gli Stati membri adottano le misure necessarie affinché le strade aperte al traffico siano soggette a ispezioni di sicurezza al fine di individuare le caratteristiche connesse alla sicurezza stradale e di prevenire gli incidenti. Le ispezioni periodiche sono realizzate dall'organo competente³⁷ e la frequenza deve essere sufficiente a garantire livelli adeguati di sicurezza.
- “Accident data management” (art.7): Gli Stati membri adottano le misure necessarie affinché l'organo competente rediga una relazione per ciascun incidente mortale secondo i criteri riportati nell'allegato IV.
- “Auditors” (art.9): Gli Stati membri garantiscono che siano adottati programmi di formazione per i controllori della sicurezza stradale. Tali programmi prevedono una formazione iniziale, sancita da un certificato di idoneità professionale, e corsi di formazione periodici. Inoltre, i controllori devono essere designati secondo specifici criteri, tra cui che non partecipino né alla progettazione né al funzionamento del progetto di infrastruttura interessato.

³⁴ La priorità è conferita alle misure di cui al punto 3, lettera e), dell'allegato III

³⁵ Visite in loco in base agli elementi di cui al punto 3 dell'allegato III e che almeno un membro del gruppo di esperti deve soddisfare i criteri di cui all'articolo 9, paragrafo 4, lettera a).

³⁶ Segnaletica conforme alle disposizioni della convenzione di Vienna del 1968.

³⁷ «organo competente»: qualsiasi organismo pubblico, istituito a livello nazionale, regionale o locale, che partecipa, in funzione delle proprie competenze, all'attuazione della direttiva 2008/96/CE – Art. 2

La Commissione Europea ha portato diverse variazioni ed emendamenti alla Direttiva 2008/96/CE sulla gestione delle infrastrutture stradali. Tali modifiche sono state emesse ufficialmente il 23 ottobre 2019 tramite la Direttiva 2019/1936 del Parlamento Europeo e del Consiglio.

La presente direttiva, a differenza della precedente del 2008, si applica “alle autostrade, alle altre strade principali e alle strade che hanno usufruito di finanziamenti dall’Unione europea,”³⁸ oltre a quelle che fanno parte della rete transeuropea³⁹. Tuttavia, gli Stati membri possono escludere dall’ambito di applicazione della direttiva le strade principali che presentano un basso rischio per la sicurezza, sulla base di motivi debitamente giustificati connessi ai volumi di traffico e alle statistiche sugli incidenti.

Inoltre, la direttiva 2019/1936 garantisce una maggiore trasparenza, poiché la Commissione rende accessibile on line una cartina della rete stradale europea che evidenzia le diverse categorie ⁴⁰ di sicurezza.

Altre principali modifiche introdotte riguardano:

- “Road Safety Audit” (art.4): In aggiunta all’articolo originale, la Commissione fornisce orientamenti per la realizzazione di “marginii della strada che perdonano l’errore” e di strade “auto esplicative” e “self-enforcing”, ossia progettate in modo tale da suscitare corrette percezioni e comportamenti da parte dei conducenti.
- “Network-wide road safety assessment” (art.5): Viene sostituita la procedura “reattiva” o “ex post”, basata sull’identificazione delle sezioni stradali ad alta concentrazione di incidenti, con una nuova procedura «proattiva» o “ex ante”, basata

³⁸ Oggetto e ambito di applicazione Art. 1 - DIRETTIVA (UE) 2019/1936

³⁹ «Rete stradale transeuropea»: la rete stradale definita nel regolamento (UE) n. 1315/2013 del Parlamento europeo e del Consiglio.

⁴⁰ Art. 5, paragrafo 6 - DIRETTIVA (UE) 2019/1936

sulla valutazione della sicurezza intrinseca delle strade in funzione delle loro caratteristiche progettuali.

Sulla base dei risultati della valutazione della sicurezza e al fine di definire le priorità delle ulteriori misure correttive necessarie, gli Stati membri classificano tutti i tratti della rete stradale in almeno tre categorie in base al loro livello di sicurezza.

- “Periodic road safety inspections” (art.6): L’articolo riguarda le ispezioni di sicurezza stradale periodiche, in cui gli Stati membri adottano le misure necessarie affinché vengano eseguite ispezioni con una frequenza sufficiente a garantire livelli adeguati di sicurezza per l’infrastruttura stradale, e in ogni caso almeno ogni sei anni.
- “Follow-up of procedures for roads in operation” (art. 6 bis): Gli Stati membri garantiscono che ai risultati delle valutazioni della sicurezza stradale a livello di rete, effettuate ai sensi dell’articolo 5, facciano seguito ispezioni di sicurezza stradale mirate o interventi correttivi diretti.

Le ispezioni sono effettuate da gruppi di esperti, tenendo conto delle componenti indicative riportate nell’allegato II bis.

- “Protection of vulnerable road users” (art. 6 ter) e “Road markings and road signs” (art.6 quater): Nel primo articolo, gli stati membri garantiscono che nelle valutazioni di sicurezza dovrà essere tenuto conto della sicurezza specifica degli utenti vulnerabili (ciclisti e pedoni), e nel secondo, si considera la progressiva introduzione di sistemi di guida semi-autonoma e autonoma e della nuova segnaletica che potrà interagire direttamente con tali sistemi, oltre che rimanere ben comprensibile dagli utenti.

1.3.2 Italia: D.L. 35/11 e D.L. 213/21

Il D. Lgs 35/2011 è il recepimento e l'attuazione italiana della Direttiva 2008/96/CE sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali con l'aggiunta di specifici elementi per l'integrazione della direttiva nel contesto nazionale. Il seguente decreto, entrato in vigore il 23 aprile 2011, introduce una serie di procedure finalizzate al miglioramento delle infrastrutture stradali.

Il decreto Legislativo ha previsto una serie di decreti attuativi, da predisporre secondo una logica unitaria e coordinata, la cui responsabilità ricade sul Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT). In particolare, l'art. 8, comma 1, stabilisce che il MIT adotti, con proprio decreto, le linee guida in materia di gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali, idonee ad agevolare l'applicazione delle disposizioni previste negli articoli 4⁴¹ e 6⁴² del medesimo decreto legislativo.

Il suddetto decreto attuativo è consistito nell'emanazione di Linee Guida che stabiliscono i criteri e le modalità per l'effettuazione dei controlli della sicurezza stradale sui progetti, delle ispezioni di sicurezza sulle infrastrutture esistenti e per l'attuazione del processo per la classificazione della sicurezza della rete stradale.

Inoltre, hanno come finalità quella di orientare, coordinare e rendere omogenee le attività di tutti i soggetti coinvolti nel processo, tra cui gli Enti territoriali, gli Organi Competenti, gli Enti proprietari e gestori delle strade e gli esperti della sicurezza stradale, ovvero i controllori dei progetti e gli ispettori delle strade esistenti.⁴³

L'ambito di applicazione del decreto è, oltre alla rete transeuropea (TEN), anche la rete di interesse nazionale comprendente le strade non appartenenti alla TEN (a partire dal

⁴¹ Art. 4 - Controlli della sicurezza stradale

⁴² Art. 6 - Ispezioni di sicurezza stradale periodiche

⁴³ Linee guida per la gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali ai sensi dell'articolo 8 del Decreto Legislativo 15 marzo 2011, n.35

1° gennaio 2016, termine più volte differito). Inoltre, è stabilito che l'applicazione del decreto per rete stradale delle Regioni, delle province autonome e degli enti locali sia di loro competenza e responsabilità. Di conseguenza, tali enti avrebbero dovuto definire, nel rispetto dei principi stabiliti dal decreto, la disciplina inerente la gestione della sicurezza delle loro infrastrutture stradali, con particolare attenzione alle strade finanziate, in tutto o in parte, dall'Unione europea. Anche in questo caso il termine è stato più volte differito fino all'entrata in vigore del recepimento della nuova direttiva europea che di fatto stabilisce nuove deadlines.

Tali "Linee guida per la gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali ai sensi dell'art. 8 del Decreto Legislativo 15 marzo 2011, n. 35" si suddividono in quattro capitoli:

Capitolo I) Parte generale: si descrive l'oggetto e le finalità del Decreto, il quadro di riferimento normativo e applicativo, i soggetti coinvolti e le loro funzioni;

Capitolo II) La gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali: Si descrive il ciclo completo delle attività previste. Il ciclo è composto da quattro macro - fasi (analisi della rete, ispezioni, classificazione e interventi) consequenziali ed iterative con l'obiettivo di ottimizzare la rete stradale riducendo anche il fenomeno dell'incidentalità. Successivamente, verrà approfondito l'argomento in questione.

Capitolo III) Controlli della sicurezza stradale sui progetti: Si definiscono le tipologie dei progetti e le fasi della procedura di controlli della sicurezza stradale;

Capitolo IV) Ispezioni sulle infrastrutture stradali: Si descrivono le finalità, le fasi e i contenuti delle attività ispettive.

Successivamente, il D. Leg.vo 213/21 è il recepimento e l'attuazione italiana della Dir. (UE) 2019/1936, del 23 ottobre del 2019, e modifica il D. Leg.vo 35/2011 sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali. Questo nuovo decreto, promulgato il 21

novembre del 2021⁴⁴, introduce le principali novità previste già dalla direttiva europea, tra cui: l'ampliamento dell'ambito di applicazione; la modifica dell'attività di ispezione di sicurezza stradale, con particolare attenzione sui tratti della rete stradale contigui alle gallerie, e soprattutto la soppressione del metodo della classificazione dei tratti ad elevata concentrazione di incidenti con la sostituzione di una nuova procedura di valutazione basata sulle caratteristiche intrinseche della strada.

Il decreto 213/2021 presenta delle incongruenze rispetto alle linee guida del 2012, poiché nonostante alcuni aspetti siano stati confermati, altri invece sono stati modificati, come l'art. 5, creando una forte discordanza normativa. Questa divergenza deriva principalmente dal fatto che una delle fondamentali problematiche risiede nell'assenza di un decreto ministeriale attuativo che fornisca indicazioni precise su come applicare il decreto. Questo genera incertezze su quale decreto debba essere utilizzato. Inoltre, come precedentemente riportato, il decreto 213/21 introduce una sostituzione dell'approccio reattivo con quello proattivo, che si basa sulla valutazione delle caratteristiche del tronco stradale. Tuttavia, il decreto non specifica chiaramente quali siano le caratteristiche da considerare per applicare questo nuovo approccio.

Il quadro normativo italiano comprende, inoltre, un insieme di disposizioni che regolano le attività strettamente tecniche legate alle analisi di sicurezza. Esso include sia le norme previste dal Codice della Strada e dal relativo regolamento di attuazione, sia le prescrizioni delle norme tecniche di progettazione stradale. Queste ultime riguardano, in particolare, elementi funzionali o strutturali delle infrastrutture come la segnaletica, i dispositivi di ritenuta stradale, la pavimentazione stradale, gli impianti, ecc..

⁴⁴D. Leg.vo 213/21 vigente dal 31/12/2021

1.3.3 Soggetti coinvolti con relativi ruoli e responsabilità nel processo di gestione sicurezza

I soggetti coinvolti, con le relative funzioni e responsabilità, sono indicati nel primo capitolo delle Linee Guida.

Gli enti che assumono un ruolo nel processo di gestione della sicurezza sono:

- Gli Enti territoriali preposti alla regolazione del sistema.

“Stato” e “Regioni e province autonome”: Nel primo caso il D.Lgs. n.35/11 ha attribuito al MIT l’esecuzione di alcune funzioni in qualità di OC. Pertanto, al MIT è stata attribuita la responsabilità dell’emanazione dei decreti attuativi del D.Lgs. n.35/11, validi su tutto il territorio nazionale, riguardanti, oltre alle Linee Guida, la Valutazione di Impatto della Sicurezza Stradale, il programma dei corsi di formazione degli esperti della sicurezza stradale, le tariffe per controlli ed ispezioni. Inoltre, ha anche l’incarico di determinare il costo sociale medio di un incidente mortale e di un incidente grave e quindi di definire il costo totale dell’incidentalità. Nel secondo caso il D.Lgs. n.35/11 ha attribuito alle Regioni ed alle province autonome la responsabilità di dettare la disciplina alle strade ricadenti sul loro territorio. Perciò, regolamentano gli ambiti di applicazione, le modalità e i tempi di attuazione delle disposizioni da loro dettate e i criteri e le modalità di individuazione dei relativi Organi Competenti.

- Organo competente⁴⁵.

Come descritto precedentemente, l’individuazione nel MIT dell’OC riguarda soltanto l’ambito della rete TEN e non la rete regionale, provinciale e comunale, poiché, per tali strade, le Regioni e le province autonome, con propria disciplina,

⁴⁵ Definizione Art. 2 - D. Leg.vo 213/21

dovranno individuare le modalità di individuazione dei relativi Organi Competenti.

In particolare, si potrebbe ipotizzare che l'OC coincida con l'Ente proprietario o, nel caso di diversità rispetto a quest'ultimo, con l'Ente gestore della strada. Questa coincidenza per certi aspetti sarebbe preferibile in quanto gli obblighi dell'Ente proprietario/gestore sono, come per l'OC, finalizzati all'obiettivo della sicurezza dell'infrastruttura stradale. Tuttavia, non si deve confondere la funzione di controllo interno che ogni struttura organizzativa dovrebbe esplicare al fine di migliorare la propria efficienza, l'economia di gestione e la razionalizzazione delle procedure, con la funzione di controllo esterno, esercitata da un soggetto terzo. Infatti, se si vuole garantire che il servizio erogato sia caratterizzato da idonei livelli di efficienza e sicurezza si necessita la presenza di un controllore obbligatoriamente diverso rispetto al soggetto controllato, e quindi terzo, al fine di evitare qualunque potenziale conflitto di interessi.

Invece, per quanto riguarda le funzioni attribuite all'OC, sono: La classificazione della rete stradale di competenza, ossia la suddivisione della rete in tratti omogenei, l'analisi dei dati di incidentalità e di traffico ed esaminare il funzionamento della rete stessa. Inoltre, l'organo ha la responsabilità delle ispezioni stradali e dei controlli sui progetti, che includono la definizione del programma delle ispezioni, l'individuazione di ispettori/controllore e la gestione delle attività di ispezioni/controllo. Infine, ha il compito di pianificare e programmare gli interventi correttivi. Quest'ultima attività viene svolta in collaborazione con l'ente proprietario o gestore poiché interferisce e si integra con le attività di gestione.

Da tale elenco emerge come il ruolo dell'OC debba possedere elevate competenze tecniche e professionali, che gli consentano non solo un idoneo coordinamento di

esperti, ma anche un'adeguata elaborazione di analisi come il recepimento delle risultanze dei controlli/ispezioni e la decisione sulle misure da adottare.

- Gli enti proprietari e i gestori stradali:

Nel D.Lgs. n.35/11 gli enti proprietari di strade o, nel caso di affidamento in concessione, gli enti gestori stradali, svolgono funzioni che si occupano della pianificazione e progettazione di nuove infrastrutture o di interventi di adeguamento di infrastrutture esistenti. Tale attività consiste in una Valutazione di Impatto sulla Sicurezza Stradale, nell'elaborazione dei progetti ai livelli preliminari, definitivi ed esecutivi, nella comunicazione di avvio fase ai rispettivi Organi Competenti ed infine, nella mediazione e supervisione del rapporto tra controllore e progettista. Per quanto riguarda la gestione della rete esistente di competenza, l'ente deve mantenere efficienti le infrastrutture realizzando una corretta manutenzione ordinaria, comprendente gli interventi specifici individuati dagli ispettori, e di una manutenzione straordinaria, effettuata in base ad una precisa e rigorosa programmazione, condivisa con l'OC, in funzione dell'ordine di priorità degli interventi.

- Gli esperti della sicurezza stradale:

Gli esperti di sicurezza devono possedere determinati requisiti e aver superato l'esame di certificazione professionale, per svolgere attività più tecniche rispetto ai soggetti sopra descritti. Gli esperti devono effettuare i controlli sui progetti e le ispezioni sulle strade esistenti. Essi possono essere soggetti interni o esterni all'OC, ma anche in quest'ultimo caso la responsabilità delle attività deve rimanere sempre a carico dell'OC.

1.3.4 Ciclo di gestione della sicurezza

Nel secondo capitolo delle Linee guida del decreto 35/11 ⁴⁶ si descrive il ciclo completo di gestione della sicurezza. Tale schema è composto da quattro macro – attività (analisi della rete, ispezioni, classificazione e interventi) consequenziali ed iterative come viene illustrato nella seguente figura:



*Figura 1.6 - Le macro-attività del ciclo della gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali
Source: MIT – DL 35/11*

Il processo inizia con l'analisi di rete e si conclude con la realizzazione degli eventuali interventi correttivi. A collegare quest'ultima fase, relativa agli interventi, con la fase iniziale dell'analisi, avviando così un nuovo ciclo, è il monitoraggio.

⁴⁶ Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, "Linee Guida per la gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali", D.M. 02 Maggio 2012, n.137.

- **Analisi di rete:**

L'analisi di rete nella gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali è un'attività completamente di competenza dell'OC e la figura seguente presenta, nel dettaglio, le sotto-fasi delle quali questa attività si compone:

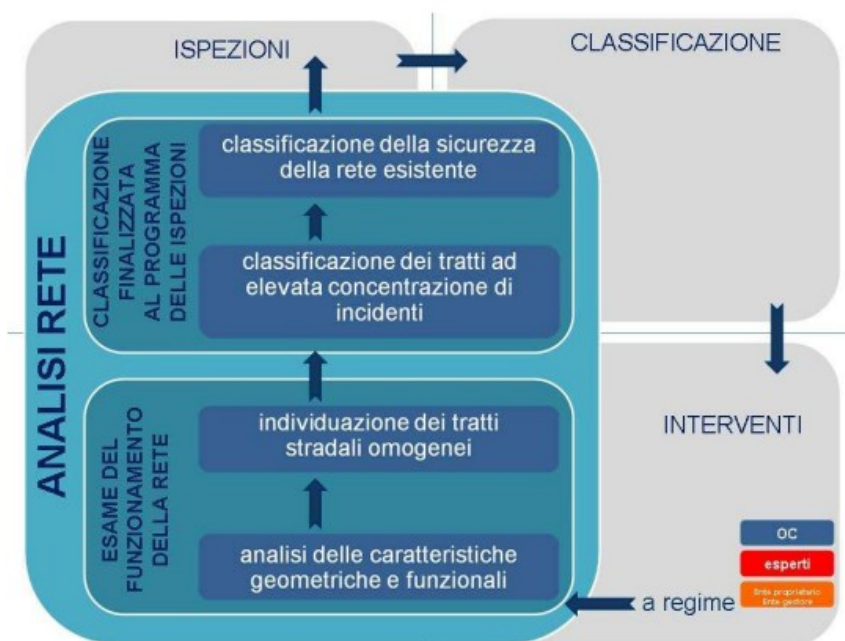


Figura 1.7 - Dettaglio della fase "analisi rete"
Source: MIT – DL 35/11

Questa fase inizia con l'esame del funzionamento della rete stradale aperta al traffico⁴⁷ e ha come obiettivo finale la classificazione della sicurezza della rete esistente, classificazione effettuata ai fini dell'attuazione del programma delle ispezioni.

Per raggiungere tale obiettivo, si procede con l'individuazione di elementi omogenei e l'analisi dello stato di sicurezza di quest'ultimi tramite l'uso di specifici indicatori.

Attraverso le linee guida si ritiene opportuno stabilire delle metodologie standardizzate da parte di ciascun OC, mediante la costruzione di una base di dati

⁴⁷ nel rispetto dei criteri riportati nell'allegato III del D.Lgs. n.35/11

coerente ed omogenea, tale da consentire una classificazione unitaria di tutta la rete stradale sull'intero territorio nazionale.

L'analisi del funzionamento della rete stradale deve essere effettuata individuando tratti stradali elementari omogenei. L'individuazione di tali tratti prevede l'identificazione di segmenti caratterizzati da proprietà geometriche e funzionali costanti, quali l'ambito (urbano o extraurbano), la tipologia di strada (doppia o singola carreggiata), il contesto ed inserimento ambientale (ad esempio tratto in pianura o montagna), la classe funzionale della strada, le caratteristiche geometriche del tracciato e il traffico (volumi, componenti, densità, variabilità temporale, ecc.).

A questo punto, emerge la differenziazione tra le linee guida del 2012 e il decreto legislativo 213/21. Entrambi i riferimenti normativi introducono una classificazione, ma lo fanno seguendo modalità diverse.

Nelle linee guida del 2012 viene eseguita una classificazione che comprende specificatamente due fasi: la classificazione dei tratti ad elevata concentrazione di incidenti e la classificazione della rete esistente. La classificazione dei tratti ad elevata incidentalità deve essere effettuata analizzando gli incidenti (mortalità e con feriti) accaduti, prendendo come riferimento i dati ISTAT e i dati elaborati dai centri di monitoraggio della sicurezza stradale regionale, secondo quanto previsto dal Piano Nazionale della Sicurezza Stradale. Per poter fare questo tipo di classificazione è necessario eseguire un'analisi dei dati di incidentalità ed utilizzare adeguati indicatori tali da rappresentare al meglio l'evento incidentale. Gli indicatori da privilegiare sono i tassi di incidentalità, in quanto forniscono adeguate informazioni sulla pericolosità di ogni singolo tratto stradale in funzione del suo effettivo utilizzo.

Di seguito si riportano le principali tipologie di indicatori da utilizzare:

- tasso di incidentalità (espresso in funzione dei flussi di traffico e della lunghezza del tronco);
- frequenza di incidenti (espresso in funzione della lunghezza del tronco);
- numero di incidenti.

Nella tabella 1.1 si nota come sia importante definire la priorità dei diversi indicatori da utilizzare per procedere nella classificazione anche in assenza di qualche dato necessario alla definizione degli indicatori più significativi.

PRIORITA'	INDICATORI DI INCIDENTALITA'	UNITA' DI MISURA
1	Tasso di incidentalità con morti su flusso	n. incidenti con morti/veic *km
	Tasso di incidentalità con feriti su flusso	n. incidenti con feriti/veic *km
	Tasso di incidentalità su flusso	n. incidenti/veic *km
	Tasso di mortalità su flusso	n. morti/veic *km
	Tasso di lesività su flusso	(n. morti + n. feriti)/veic *km
	Tasso di ferimento su flusso	n. feriti/veic *km
2	Frequenza incidenti mortali	n. incidenti con morti/km
	Frequenza incidenti con feriti	n. incidenti con feriti/km
	Frequenza incidenti	n. incidenti/km
	Frequenza morti	n. morti/km
	Frequenza feriti	n. feriti/km
3	Tasso di mortalità	n. morti/n. incidenti
	Tasso di lesività	(n. morti + n. feriti)/n. incidenti
	Tasso di ferimento	n. feriti/n. incidenti
	n. morti	numero
	n. feriti	numero
	n. incidenti	numero

Tabella 1.1 - Indicatori di incidentalità da utilizzare ai fini della classifica

La classificazione della rete esistente⁴⁸, invece, è una diretta conseguenza della classificazione dei tratti ad elevata concentrazione di incidenti e consiste nella loro valutazione in base al potenziale di miglioramento della sicurezza e al risparmio dei costi connessi agli incidenti, definito come "potenziale di sicurezza" (Safety Potential –

⁴⁸ Definita nell'art. 2, c.1 lett. f) del D.Lgs. n.35/11

SAPO). Il SAPO individua il risparmio in termini economici derivante dalla riduzione attesa degli incidenti in seguito all'attuazione dei provvedimenti di messa in sicurezza dei tratti individuati come ad elevata concentrazione di incidenti, indipendentemente dal costo di realizzazione dell'intervento stesso, che invece dovrà essere considerato nella fase di pianificazione degli interventi attraverso le relative analisi benefici-costi. Mediante tale indicatore è possibile assegnare ai diversi tratti omogenei della rete un ordine di priorità che permetta di individuare i tratti in cui l'efficacia della realizzazione degli interventi di adeguamento è potenzialmente maggiore.

Mentre, nel decreto del 213/2021 viene eseguita una "classificazione di parti della rete stradale esistente in categorie, in base alla loro sicurezza intrinseca misurata oggettivamente"⁴⁹.

Gli approcci, ovvero quello "reattivo" basato sull'identificazione delle sezioni stradali ad alta concentrazione di incidenti e quello "proattivo" fondato sulla valutazione della sicurezza intrinseca delle strade in relazione alle loro caratteristiche progettuali, rappresentano i principi fondamentali per le nuove valutazioni della sicurezza stradale.

Queste valutazioni, che l'OC garantisce, devono essere eseguite attraverso:

- un esame visivo, in loco o con mezzi elettronici, delle caratteristiche di progettazione della strada (approccio proattivo);
- un'analisi delle sezioni della rete stradale che sono state in funzione per più di tre anni e durante i quali si è verificato un elevato numero di incidenti gravi in proporzione al flusso di traffico (approccio reattivo).

Con il nuovo decreto gli Stati Membri dovranno garantire che la prima valutazione della sicurezza stradale su tutta la rete sia effettuata entro il 2024; le successive

⁴⁹ Definizione secondo l'Art 2 del D.Lgs. n.213/21

valutazioni dovranno essere effettuate con una frequenza sufficiente a garantire livelli di sicurezza adeguati, ma in ogni caso almeno ogni cinque anni. Tali valutazioni tengono conto delle componenti indicative riportate nell'allegato III e la Commissione fornisce orientamenti sulla metodologia da applicare.

Tale metodologia è oggetto della presente tesi di laurea e viene analizzata approfonditamente nel Capitolo 2.

- **Ispezioni:**

Le ispezioni⁵⁰ rappresentano la seconda fase del ciclo di gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali e sono interamente sotto la responsabilità dell'OC, ad eccezione dello svolgimento delle ispezioni stesse, che sono di competenza degli esperti.

La figura seguente mostra schematicamente le sotto-fasi che compongono l'ispezione:

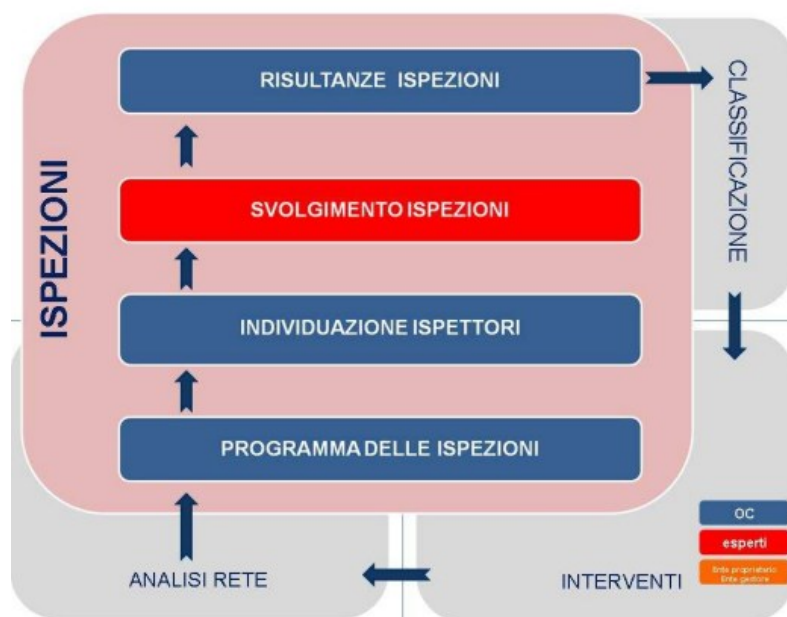


Figura 1.8 - Dettaglio della fase "Ispezioni"
 Source: MIT - DL 35/11

⁵⁰ MIT, Disciplina Tecnico Ispezioni 2020 – "Per ispezione di sicurezza [...] si intende l'ispezione di Audit e Management della Sicurezza Stradale dell'infrastruttura, finalizzata alla verifica delle caratteristiche della strada che determinano la sicurezza e la regolarità del traffico stradale"

Secondo le linee guida, sulla base della classificazione della sicurezza della rete effettuata nella fase precedente, durante la quale sono stati individuati i tratti più pericolosi, viene organizzato il programma delle ispezioni.⁵¹ Tuttavia, a partire dal 2020, secondo quanto riportato dal MIT, non viene più effettuata precedentemente un'analisi della rete e, quindi, è necessario che le ispezioni siano svolte su tutti i tratti stradali, anche in assenza di potenziali criticità.

Il MIT sottolinea comunque che l'ispettore dovrà porre particolare attenzione su quei tratti in cui si è verificato un elevato numero di incidenti. Per questi motivi, la classificazione della sicurezza della rete sarà successiva all'attività ispettiva.

L'OC adotta un programma delle ispezioni che include sia l'ispezione periodica ("verifica ordinaria periodica delle caratteristiche e dei difetti che esigono un intervento di manutenzione per ragioni di sicurezza⁵²") sia l'ispezione mirata ("indagine mirata per individuare condizioni pericolose, difetti e problemi che aumentano il rischio di incidenti e lesioni, sulla base di un sopralluogo di una strada o di un tratto di strada esistente⁵³"). Inoltre, L'organo competente eseguirà le ispezioni con frequenza sufficiente a garantire livelli adeguati di sicurezza per l'infrastruttura stradale, comunque in ogni caso, almeno ogni cinque anni.

Nel programma delle ispezioni, quindi, l'OC stabilisce cosa ispezionare e quando farlo. Tuttavia, la definizione dei criteri su cui basare l'ispezione presenta una discrepanza tra quanto indicato dalle linee guida e quanto stabilito dal decreto del 2021. Le linee guida, infatti, suggerivano che le ispezioni dovessero essere pianificate in base al SAPO. Invece, il decreto 213/21 richiede che il programma delle ispezioni sia definito secondo un approccio proattivo.

⁵¹ previsto all'art. 6, c.1 del D.Lgs. n.35/11.

⁵² Definizione – Art.2 D.Lgs. n.213/21

⁵³ Definizione – Art.2 D.Lgs. n.213/21

Successivamente, si procede con l'individuazione degli ispettori e lo svolgimento delle loro attività, che rappresentano la fase centrale e più tecnica dell'intera procedura.

L'ispettore, incaricato dall'OC, ha il compito di individuare le criticità della strada e suggerire eventuali interventi correttivi. Tuttavia, l'OC non è obbligato ad attuare tali suggerimenti. Una terza figura coinvolta è l'ente gestore, che assume un ruolo da spettatore, partecipando alla fase solo per aspetti gestionali. Infatti, l'ente gestore deve garantire lo svolgimento delle ispezioni, ma non ha potere decisionale.

Le modalità di svolgimento dell'ispezione prevedono innanzitutto un'analisi preliminare della documentazione, che comprende un incontro tra Ente Gestore, ispettore e Organo Competente. Durante questa fase, l'ente gestore, insieme a eventuali altre banche dati, fornisce informazioni utili riguardo alle condizioni di utilizzo del tratto stradale, elaborati progettuali, cartografie, dati di traffico, analisi di incidentalità ed eventuali relazioni di incidente.

Successivamente, l'ispezione prosegue con l'osservazione diretta del tratto stradale da parte dell'ispettore. Questa fase include attività come rilievi fotografici, riprese video, georeferenziazione, la percorrenza del tratto stradale in entrambe le direzioni e la compilazione di schede d'ispezione, che supportano l'ispettore nell'individuare gli aspetti da controllare. L'ispezione stradale potrebbe avvenire in parallelo o anche precedere l'analisi della documentazione, anche se, generalmente, è preferibile che avvenga successivamente. Questo perché l'esame preliminare dei documenti consente di individuare preventivamente i punti critici, facilitando una pianificazione più mirata dell'ispezione stessa. L'ultima fase consiste nella preparazione di un rapporto finale, redatto dall'ispettore e consegnato all'OC. Il rapporto include una serie di raccomandazioni, che variano in base alle criticità riscontrate nell'infrastruttura e alle conseguenti necessità di intervento.

I risultati dell'ispezione sono fondamentali non solo per determinare la classificazione della sicurezza, ma anche per pianificare e programmare gli interventi di manutenzione ordinaria, straordinaria e di immediata attuazione.

- **Classificazione:**

La classificazione costituisce la terza fase del ciclo di gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali ed è sotto la responsabilità dell'OC, fatta eccezione per l'ultima parte dell'attività, ovvero la pianificazione e programmazione degli interventi, in cui la responsabilità è condivisa tra l'OC e l'ente gestore.

La figura seguente mostra, nel dettaglio, le sotto-fasi che compongono la classificazione:

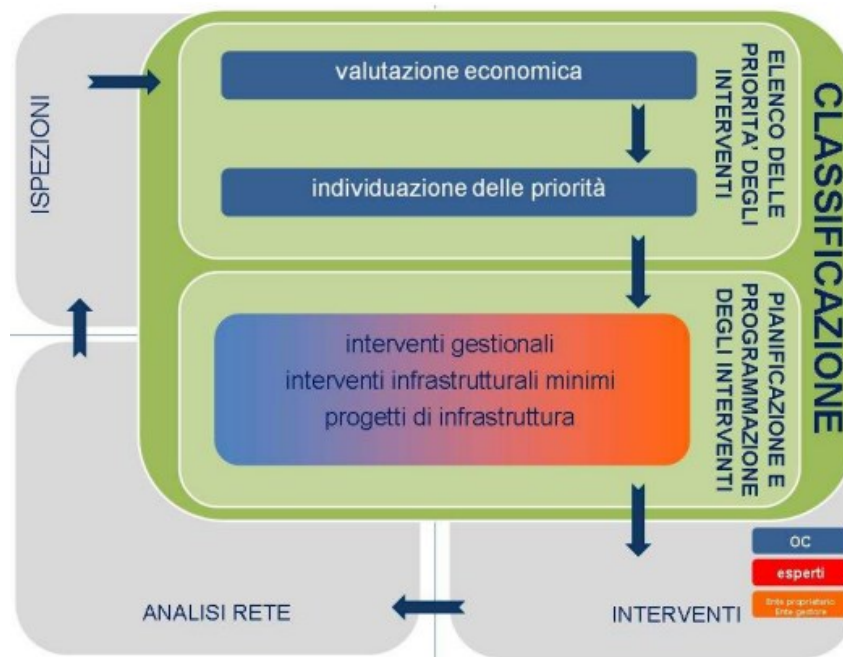


Figura 1.9 - Dettaglio della fase "Classificazione"
Source: MIT - DL 35/11

Sulla base dei risultati delle ispezioni, che hanno permesso di individuare le reali cause effettivamente attribuibili all'infrastruttura stradale, è possibile elaborare una vera

classificazione che consenta di definire le priorità per gli interventi di miglioramento e/o adeguamento dei tratti critici.

Questa classificazione è fondamentale per la pianificazione e programmazione degli interventi, distinguendo tra interventi di carattere gestionale (manutenzione ordinaria) e infrastrutturale (manutenzione straordinaria).

La scelta di tali interventi, da parte dell'OC, consultato l'Ente proprietario e/o gestore, deriva da una valutazione economica delle diverse soluzioni proposte dall'ispettore attraverso il rapporto di ispezione.

Infatti, l'OC deve confrontarsi con le disponibilità di risorse economiche dell'Ente proprietario e/o gestore, necessarie all'attuazione degli interventi.

La valutazione economica degli interventi rappresenta la fase più delicata del processo, in quanto l'OC dovrà individuare una metodologia capace di valutare la convenienza tecnica ed economica di un determinato intervento sulla rete, permettendo, attraverso parametri ed indicatori oggettivi, una misurazione e un confronto efficace.

Il principale metodo utilizzato per questa valutazione è l'analisi costi-benefici (cost - benefit analysis - CBA). Questa tecnica consente di scegliere la proposta migliore tra le diverse alternative progettuali, poiché individua la soluzione di costo minimo, massimizzando i benefici derivanti dalla realizzazione dell'intervento. In questo modo, permette di verificare se si ottiene un beneficio netto o, al contrario, un costo netto. Tale analisi ha l'obiettivo di valutare e convertire in termini monetari tutti i costi e i benefici derivanti dalla realizzazione del progetto. Tra i principali problemi connessi all'applicazione di questo metodo, vi è la difficoltà di determinare il valore monetario di beni intangibili o incommensurabili come quelli ambientali o legati alla vita umana. Inoltre, un'ulteriore difficoltà della CBA deriva dalla complessità di considerare la variabile tempo. Infatti, i costi e i benefici associati alla realizzazione di un'opera non

si manifestano contemporaneamente, perciò è necessario definire il tasso di attualizzazione per rendere omogenee nel tempo queste valutazioni.

Una volta determinati i costi, i benefici e stabilito il tasso di attualizzazione, il giudizio di convenienza dell'esecuzione dell'intervento può essere basato:

- Sul valore attuale netto (VAN), rappresentato dalla differenza attualizzata tra benefici e costi. La convenienza economica sussiste quando la sommatoria dei benefici è maggiore o uguale a quella dei costi. Nel caso di diverse alternative progettuali la più conveniente sarà quella a cui corrisponde il VAN massimo;
- Sul rapporto benefici/costi attualizzati (RBCA), rappresentato dal rapporto tra benefici (B) e costi (C). Questo rapporto B/C è conveniente se maggiore di 1.

Pertanto, l'intervento non può essere considerato conveniente se il VAN è negativo o se il rapporto B/C attualizzato è inferiore a 1.

Un altro metodo che può essere utilizzato, oltre a quello precedentemente descritto, è l'analisi costo-efficacia (cost-effectiveness analysis - CEA). In questa analisi si effettua un confronto fra i costi dell'intervento e la riduzione degli incidenti. L'obiettivo principale, infatti, è la riduzione dell'incidentalità, ossia quantificare i benefici in termini di vite umane salvate e feriti evitati rispetto al costo dell'intervento. Questa tecnica rappresenta una forma semplificata dell'analisi costi-benefici, in quanto non prevede una valutazione monetaria. Tuttavia, i limiti di questa analisi risiedono nel fatto che non valuta la gravità degli incidenti e risulta utilizzabile solo a fini comparativi, senza permettere una valutazione economica.

A seguito della valutazione economica dei progetti, si procede all'individuazione delle priorità di intervento, che consiste nell'identificare quegli interventi di adeguamento e

miglioramento della sicurezza della rete stradale caratterizzati dal maggior rapporto benefici/costi o dal maggiore VAN in modo da ottenere la massima riduzione d'incidentalità in relazione alle risorse economiche impiegate.

In relazione a quanto detto, l'analisi si concentrerà principalmente sugli interventi gestionali e infrastrutturali minimi, in quanto caratterizzati da un basso costo di realizzazione, da un'attuabilità immediata, e da un'elevata efficacia.

Questi interventi rappresentano misure necessarie per risolvere carenze di manutenzione, la cui attuazione è immediatamente richiesta all'Ente gestore, essendo facilmente compatibile con il budget della gestione ordinaria. Inoltre, non richiedono una vera e propria pianificazione e programmazione temporale e la loro attuazione deve essere monitorata e controllata dall'organo competente. Per contro, i progetti di infrastruttura sono caratterizzati da costi elevati e tempi lunghi di realizzazione, poiché richiedono modifiche sostanziali dell'infrastruttura, e per questo i benefici maggiori si manifestano in un arco temporale ampio.

Per tali interventi, l'OC, al fine di individuare la soluzione più adeguata e conveniente, procede alla valutazione economica delle opzioni possibili, richiedendo un'interazione con l'Ente proprietario/gestore della strada. In tal senso, l'OC sollecita gli enti a pianificare le attività propedeutiche previste dal D.Lgs. n.35/11, ovvero la valutazione di impatto sulla sicurezza stradale (VISS) e gli elaborati progettuali.

- **Attuazione degli interventi:**

L'attuazione degli interventi costituisce la quarta fase del ciclo di gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali e segue la fase di pianificazione e programmazione. Questa fase è principalmente gestita dall'ente proprietario/gestore, ad eccezione dell'attività di controllo sui progetti, che è di competenza dell'OC tramite

gli esperti. La figura che segue illustra in modo schematicizzato le sotto-fasi che compongono l'attuazione degli interventi:



Figura 1.10 - Dettaglio della fase "Interventi"
 Source: MIT - DL 35/11

L'ente proprietario/gestore, quindi, ha piena autonomia nell'esecuzione degli interventi di manutenzione, i quali, come già evidenziato in precedenza, si dividono in due categorie:

- Manutenzione ordinaria (o interventi 'non strutturali'): Prevede gli interventi gestionali e gli interventi infrastrutturali minimi. Tra i primi rientrano operazioni come il rifacimento e la sostituzione della segnaletica orizzontale e verticale, la sostituzione dello strato superficiale della pavimentazione, la sostituzione dei dispositivi di ritenuta e la manutenzione di impianti, quali quelli di illuminazione, semaforici, ecc.. Tra i secondi, che non implicano modifiche al tracciato, si includono la realizzazione di singoli accessi, di aree di servizio, di sosta o parcheggio.

- Manutenzione straordinaria (o interventi 'strutturali'): Comprende gli interventi infrastrutturali di adeguamento delle strade esistenti, che rientrano tra i progetti di infrastruttura o che derivano da progetti che comportano modifiche al tracciato. Un esempio di tali interventi è la modifica della composizione della sezione stradale, come l'aggiunta di corsie o piste ciclabili, oppure la variazione delle dimensioni trasversali, come la larghezza delle corsie, dei margini interni, laterali ed esterni, o ancora la modifica dell'andamento piano-altimetrico dell'asse stradale. Questi interventi, di conseguenza, devono essere pianificati, progettati ed inseriti in un piano di programmazione. A essi si applicano specifiche procedure che prevedono inizialmente una valutazione di impatto della sicurezza stradale (VISS), la redazione degli elaborati progettuali, entrambi effettuati dall'ente gestore e successivamente i controlli sui progetti condotti dagli esperti.

La VISS⁵⁴ permette di effettuare un'analisi multicriterio sugli effetti delle diverse soluzioni progettuali riguardanti la sicurezza stradale, inclusa l'opzione di non intervenire. Si tratta di uno studio che viene condotto nella fase di pianificazione e, comunque, precedentemente all'approvazione del progetto di fattibilità tecnico-economica.

Oltre alla VISS è necessario eseguire i controlli di sicurezza stradale per i progetti di infrastruttura (Road Safety Audits), Tali controlli hanno l'obiettivo di individuare le potenziali criticità di un progetto di infrastruttura stradale e garantire il rispetto dei requisiti di sicurezza.

⁵⁴ Definizione – Art.2 D.Lgs. n.213/21 "Lo studio recante l'analisi dell'impatto sul livello di sicurezza della rete stradale di un progetto di infrastruttura" - Per i contenuti, le modalità e le procedure si rinvia al decreto previsto dall'art. 3 del D.Lgs. n.35/11.

Le attività di controllo si articolano in una serie di azioni che, inizialmente, si svolgono su base documentale, esaminando il progetto preliminare, definitivo ed esecutivo, limitatamente al profilo della sicurezza. Successivamente, esse vengono effettuate durante la fase di costruzione dell'opera, prima della sua messa in esercizio, e nel corso del primo anno di funzionamento, durante il quale si verifica l'effettiva corrispondenza dell'intervento ai risultati attesi.

L'attività di controllo della sicurezza stradale sui progetti viene svolta dal controllore, o del gruppo dei controllori, individuati dall'Organo Competente. Il controllore, inoltre, è tenuto a interloquire con il progettista per discutere le motivazioni di specifici elementi e a redigere le note tecniche in una relazione finale, da depositare all'OC. In tale relazione vengono sintetizzati i problemi riscontrati e le relative soluzioni proposte.

Il controllo nel primo anno di funzionamento si svolge e si completa attraverso una fase successiva di monitoraggio più compiuta e significativa poiché volta ad identificare l'efficacia degli interventi. Il monitoraggio degli interventi costituisce l'ultima fase del ciclo di gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali.

La valutazione dell'esecuzione degli interventi sarà effettuata sulla base di una serie di indicatori, alcuni misurabili direttamente dagli ispettori, altri invece ricavabili dai dati di traffico, forniti dagli enti gestori, e dai dati di incidentalità, ottenuti dagli organi di polizia e dagli enti locali. Pertanto, l'efficacia degli interventi sarà valutata attraverso:

- Un'analisi della variazione degli indicatori di incidentalità prima e dopo l'intervento;
- Un'analisi della variazione dei flussi di traffico e della loro composizione;
- Un'analisi della variazione delle velocità rilevate
- Un'applicazione dell'analisi benefici-costi (CBA).

Queste analisi possono essere effettuate attraverso il metodo "before/after", che si basa sul concetto di misurare i parametri prima e dopo l'intervento ed è considerato uno dei metodi più efficaci. Questo metodo, infatti, tiene conto di alcune problematiche, come la variabilità del fenomeno incidentale, e lo fa mediante una corretta misurazione dei reali risultati delle misure. In particolare, vengono presi in considerazione aspetti quali un adeguato periodo di osservazione, che deve essere almeno superiore ad un anno, sia per il periodo before sia per quello after; la variabilità del fenomeno incidentale, come il problema della regressione alla media e l'effetto erroneamente attribuito a un intervento; e l'influenza dei fattori esterni, come il miglioramento del comportamento degli utenti e l'evoluzione della tecnologia dei veicoli.

La valutazione dei risultati e l'efficacia degli interventi completa il ciclo delle attività da un lato, mentre dall'altro si riavvia, favorendo un miglioramento progressivo e continuo del funzionamento della rete.

2 CAPITOLO: Valutazione della sicurezza stradale a livello di rete (NWA): Approccio reattivo e proattivo

Il manuale “Network Wide Road Safety Assessment⁵⁵ (NWA)” ha l'obiettivo di fornire le indicazioni necessarie per supportare gli esperti e le autorità stradali nell'efficace attuazione della Metodologia di Valutazione della Sicurezza Stradale a livello di rete, approvata dagli Stati membri durante la riunione del Gruppo di Esperti sulla Sicurezza delle Infrastrutture Stradali (EGRIS), tenutasi il 21 novembre 2022.

Questo manuale costituisce una guida metodologica per gli Stati membri in conformità all'articolo 5 della direttiva 2008/96/CE, così come modificata dalla direttiva (UE) 2019/1936.

L'obiettivo della metodologia è garantire una valutazione strutturata della sicurezza stradale a livello di rete. Essa mira a classificare la rete stradale in almeno tre categorie di sicurezza, considerando sia le caratteristiche di progettazione delle strade (sicurezza intrinseca) sia i dati storici sugli incidenti, quando disponibili.

Questa valutazione ha una funzione di screening, volta a identificare in modo efficiente le aree che richiedono ispezioni mirate o interventi correttivi.

Un'attenzione particolare è riservata agli utenti vulnerabili della strada, come previsto dall'articolo 6-ter della direttiva aggiornata. Inoltre, la direttiva riveduta e la metodologia NWA si applicano a strade della rete stradale transeuropea (TEN-T), autostrade, strade principali al di fuori delle aree urbane, strade extraurbane non destinate a servire proprietà adiacenti e finanziate dall'Unione Europea.

⁵⁵ National Technical University of Athens, University of Zagreb, FRED Engineering s.r.l. - October 2023

La metodologia include due approcci principali:

- Metodologia reattiva (NWA-reattiva): basata sull'analisi degli incidenti stradali.
- Metodologia proattiva (NWA-proattiva): focalizzata sulla valutazione della sicurezza intrinseca delle strade.

Entrambi gli approcci sono applicati alla stessa rete stradale.

Il processo inizia con l'identificazione dell'asse stradale da valutare e la verifica della disponibilità di dati sugli incidenti, che devono coprire un periodo minimo di tre anni e garantire qualità e affidabilità, in particolare per la localizzazione geografica. Se questi dati sono disponibili, vengono applicate sia la metodologia proattiva che quella reattiva. In assenza di dati adeguati, è possibile applicare solo la metodologia proattiva. Una volta completate le valutazioni, i risultati vengono integrati per determinare il punteggio complessivo e la classificazione finale della strada.

2.1 Metodologia NWA-Reattiva

La metodologia reattiva per la valutazione della sicurezza stradale su autostrade e strade principali è stata sviluppata attraverso un processo articolato in più fasi. La sua prima bozza è stata concepita nel marzo 2021, delineando un approccio basato su quattro fasi fondamentali: segmentazione della rete, calcolo delle metriche di sicurezza, stima delle soglie e classificazione della sicurezza.

Successivamente, nell'aprile 2022, è stata presentata una versione aggiornata. Questa versione attuale include numerosi miglioramenti, tra cui un affinamento dei criteri di segmentazione e delle soglie per le lunghezze delle sezioni, un aggiornamento della formula per il calcolo della densità degli incidenti (con l'inclusione del numero di anni analizzati), e una revisione del metodo di stima delle soglie, ora basato sul modello di Poisson per definire gli intervalli di confidenza del numero di incidenti per sezione.

Inoltre, per la classificazione finale delle sezioni, si dà priorità al tasso di incidenti (se sono disponibili dati sul traffico) anziché al valore più conservativo tra il tasso e la densità degli incidenti. La classificazione delle sezioni stradali è suddivisa in tre categorie “basso rischio”, “rischio incerto” e “rischio elevato”.

Quindi, la metodologia NWA-reattiva è un approccio utilizzato per classificare la sicurezza di sezioni stradali e intersezioni sulla base di analisi statistiche degli incidenti. Gli incidenti considerati devono comportare almeno un decesso o ferito, devono essere riferiti a un periodo minimo di tre anni e comprendere tutti gli utenti della strada. Come illustrato nella figura, la metodologia si compone in quattro fasi:



Figura 2.1 - Quadro metodologico concettuale per la valutazione reattiva
Source: NWA – Handbook

1. Segmentazione della rete

Il primo passo della metodologia reattiva è la segmentazione della rete stradale in sezioni e intersezioni. Questo processo solleva tre principali questioni:

- Come gestire le strade a carreggiate separate o a carreggiata unica;
- La definizione di tratti stradali omogenei e gli elementi da includere in ciascuna sezione;
- La lunghezza totale delle sezioni e quella delle intersezioni.

La segmentazione della rete stradale differisce tra strade a carreggiate separate o a carreggiata unica.

Per le autostrade e le strade principali a carreggiate separate (tutte dotate di spartitraffico centrale), si raccomanda di effettuare la segmentazione per ciascun senso di marcia, poiché gli incidenti in una direzione non sono correlati a quelli nell'altra.

Per le strade principali a carreggiata unica, la segmentazione include entrambe le direzioni di marcia, poiché gli incidenti possono essere causati o coinvolgere veicoli che si muovono in direzione opposta al senso di marcia.

La definizione di tratto stradale omogeneo è il tratto compreso tra due intersezioni, che possono essere svincoli o incroci a raso. Tra le due intersezioni possono variare diverse caratteristiche della sezione stradale e, in tal caso, la sezione non è più considerata omogenea. Lungo la rete primaria possono esserci diversi incroci a raso, di diversa dimensione e rilevanza. Poiché le sezioni stradali devono avere una lunghezza statisticamente significativa, non tutti gli incroci a raso possono essere considerati per la segmentazione delle sezioni.

Di seguito vengono descritti diversi criteri su come definire una sezione omogenea, che differiscono in base alla tipologia stradale.

Per le autostrade e le strade principali a carreggiate separate, i criteri per le sezioni omogenee sono il numero di corsie e l'allineamento orizzontale. Una sezione è considerata omogenea se presenta lo stesso numero di corsie e le medesime caratteristiche di curvatura.

Per le strade principali non separate, il volume di traffico rappresenta un criterio aggiuntivo per la definizione delle sezioni omogenee. Questo non si applica alla segmentazione di autostrade e strade principali a carreggiate separate, dove il traffico può entrare e uscire solo attraverso gli svincoli.

I criteri considerati per definire la lunghezza di una sezione omogenea per tipologia stradale, sono:

- Autostrade extraurbane → 10 ± 5 km
- Autostrade urbane → 5 ± 2 km
- Strade principali a carreggiate separate → 10 ± 5 km
- Strade principali a carreggiate separate e non, con incroci a raso → 5 ± 2 km

È importante sottolineare che le lunghezze dei tratti stradali definite nella metodologia sono solo indicative e servono a dare un ordine di grandezza, senza costituire una segmentazione obbligatoria. Tuttavia, è sconsigliato l'uso di tratti estremamente brevi, come sezioni di circa 1 km o meno, poiché la posizione precisa dell'incidente potrebbe non essere sempre disponibile e deteriora l'aspetto di valutazione a livello di rete; l'analisi somiglierebbe più a un'analisi di punti critici. D'altra parte, segmentare la rete in tratti eccessivamente lunghi non è nemmeno raccomandato, poiché ciò potrebbe comportare che le sezioni non siano più omogenee. Inoltre, un tratto troppo lungo potrebbe rendere più difficile rilevare condizioni di rischio e meno conveniente ispezionare la sezione se necessario.

La rete può essere suddivisa utilizzando uno dei tre approcci, in base alla disponibilità di dati stradali e alla precisione dei dati sulla localizzazione degli incidenti, che possono variare tra i diversi Stati membri.

Il primo approccio, nella segmentazione, non tiene conto delle giunzioni e può essere adottato quando non sono disponibili dati sufficienti per identificare le dimensioni degli svincoli e gli incidenti registrati sono localizzati con un elevato grado di approssimazione.

Per quanto riguarda il secondo e terzo approccio, è fondamentale conoscere la dimensione e quindi la lunghezza delle intersezioni.

Il secondo approccio riguarda gli svincoli con dimensione fissa predefinita. Questo riguarda principalmente gli svincoli delle strade principali, poiché il livello di dettaglio dei dati stradali diminuisce con la categoria della strada e quindi, in questi casi, potrebbero essere utilizzate dimensioni fisse. Al contrario, i dati stradali necessari per misurare la dimensione esatta degli svincoli sono più facilmente disponibili per le autostrade.

Pertanto, è necessario decidere come definire questa dimensione fissa. Ovviamente, le dimensioni per gli svincoli e quelle per gli incroci a raso sono definite in due processi separati, poiché trattano dimensioni e geometrie diverse.

Inoltre, per ottenere una valutazione più affidabile, sarebbe necessario fornire ulteriori dimensioni diverse per i diversi tipi di svincoli. Le variabili che possono essere considerate sono il tipo di svincolo; la categoria della strada che interseca e il numero di corsie delle due strade che si incrociano.

Le dimensioni predefinite degli svincoli:









Junction type	Sketch representation	Predefined dimension
At-grade intersection		100 m
Single ramp		200 m
Trumpet		400 m
Diamond		500 m
U-turn*		700 m
Cloverleaf		800 m
Cloverstack		900 m
T-Bone		900 m
Complex geometry	-	1000-1200 m

Tabella 2.1 - Dimensioni predefinite degli svincoli
Source: NWA – Handbook

L'ultimo approccio è il più complesso, in quanto richiede uno sforzo maggiore per identificare correttamente la dimensione degli svincoli. Questo, a causa della varietà di banche dati e dettagli raccolti da ciascun Stato membro, non può sempre essere seguito. Per le autostrade, devono essere conosciuti i chilometraggi del punto di inizio della corsia di divergenza e il punto di fine della corsia di convergenza, mentre per gli incroci a raso delle strade principali, deve essere conosciuto il chilometraggio del punto di inizio e fine della loro area di influenza. Una volta che questi punti sono stati determinati, l'intera area tra di essi viene considerata come uno svincolo.

I criteri per l'identificazione degli svincoli nell'ambito della metodologia NWA sono:

- Autostrade e strade a divisione primaria: vengono selezionati tutti gli svincoli presenti lungo la rete.
- Per quanto riguarda gli incroci a raso, sia per le strade principali a carreggiate separate che non separate, si considerano solo le intersezioni che coinvolgono strade di categoria superiore, uguale o inferiore, escludendo quelle con strade locali o di categoria inferiore.
- Cavalcavia e sottopassi: Queste giunzioni non dovrebbero essere considerate se non sono collegate direttamente alla strada oggetto di valutazione.

Nel complesso, l'approccio minimo raccomandato per la metodologia di valutazione della sicurezza stradale, basata sul verificarsi di incidenti, prevede la segmentazione della rete stradale in tratti, senza distinguere gli incroci, come descritto nel primo approccio. Questo approccio è sufficiente per una valutazione di base.

Tuttavia, se i dati sono disponibili e si desidera ottenere un output più dettagliato, gli Stati membri sono incoraggiati ad adottare approcci più complessi. Tali approcci, sebbene più complessi, offrono una valutazione più approfondita e mirata, ma richiedono una maggiore disponibilità e precisione dei dati.

2. Metriche delle prestazioni di sicurezza

Il passo successivo nella metodologia è la stima del livello di sicurezza di ogni sezione stradale o intersezione. Per fare ciò, è necessario determinare il numero di incidenti per ogni sezione o svincolo, nonché definire e applicare uno o più indicatori di prestazione di sicurezza. Prima di tutto, è necessario allocare gli incidenti a ciascun elemento della rete (sezione o svincolo), e questo processo può diventare complesso in alcuni casi. Si sottolinea che la metodologia reattiva utilizza solo gli incidenti con lesioni e morti, che sono i dati tipicamente registrati negli stati membri e meno soggetti a fenomeni di under reporting.

Per quanto riguarda gli incidenti registrati negli svincoli, è importante sottolineare che devono essere presi in considerazione solo quelli che si verificano sulla strada in esame e non su quella che interseca la strada. Nel caso in cui la localizzazione precisa non è disponibile, si consiglia di fare riferimento alle descrizioni degli incidenti per determinarne la posizione.

Una volta che gli incidenti sono stati assegnati, è possibile calcolare le metriche delle prestazioni di sicurezza. La direttiva 2008/96/CE stabilisce che la valutazione deve essere effettuata mettendo in relazione gli incidenti con il flusso di traffico, utilizzando quindi prioritariamente i tassi di incidenti per descrivere il livello di sicurezza delle sezioni stradali e degli svincoli. Tuttavia, poiché le informazioni sul traffico non sono sempre disponibili, è possibile utilizzare metriche alternative, come la densità degli incidenti, che non richiede tali dati.

Il tasso di incidenti è una metrica che tiene conto dell'esposizione al rischio e si calcola come il numero di incidenti che si verificano in un determinato periodo di tempo in relazione alla quantità di traffico. La formula per calcolare il tasso di incidenti è:

$$R_i = \frac{N_i * 10^8}{365.25 * AADTi * y * L_i}$$

Dove:

- N_i = Numero di incidenti, nel periodo di analisi, sulla sezione o svincolo.
- $AADTi$ = Traffico medio annuo giornaliero sulla sezione o svincolo.
- y = Periodo di analisi (anni)
- L_i = Lunghezza del tratto (km)

La densità degli incidenti, invece, è una metrica che non tiene conto del traffico, ma considera solo il numero di incidenti per chilometro di strada. La formula per calcolare la densità di incidenti è:

$$D_i = \frac{f_i}{L_i}$$

Dove:

- f_i = Frequenza degli incidenti nella sezione stradale o svincolo, ovvero il numero di incidenti verificatosi diviso per y (numero di anni nel periodo di analisi);
- L_i = Lunghezza della sezione o svincolo

Le metriche delle prestazioni di sicurezza da utilizzare dipendono dalla disponibilità di dati. Quando i dati sul traffico sono disponibili, si raccomanda di calcolare e utilizzare il tasso di incidenti. Questo esprime il rischio personale, ovvero la probabilità che un singolo veicolo sia coinvolto in un incidente. Mentre, quando i dati sul traffico non sono disponibili, si utilizza la densità di incidenti. Questa esprime il rischio collettivo, indicando in quale sezione stradale si verificano più incidenti gravi e mortali.

3. Calcolo delle Soglie

Per determinare il livello di sicurezza di una rete stradale, è necessario calcolare le metriche di performance per ogni tratto o intersezione e definire un set di valori soglia appropriati. Nel metodo descritto, si utilizzano due tipi di soglie: soglie specifiche per singoli tratti o intersezioni e soglie per la popolazione di riferimento. Le prime sono calcolate per ciascun segmento stradale o intersezione, mentre le seconde permettono il confronto tra gruppi di elementi simili, aiutando a identificare anomalie rispetto a prestazioni standard.

Per quanto riguarda le soglie specifiche per i singoli tratti, si utilizza la distribuzione di Poisson, che viene adottata per modellare il numero di incidenti poiché sono eventi casuali che si verificano nel tempo e nello spazio. La probabilità di osservare un determinato numero di incidenti è espressa dalla formula:

$$p(k; \lambda) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!}$$

Dove:

- λ = Numero atteso di incidenti;
- k = Numero osservato di incidenti.

Per ogni valore di k , è possibile stimare i valori attesi inferiore e superiore, noti come intervalli di confidenza. Le formule sono le seguenti:

$$\text{Intervallo inferiore} = \text{chisquare} \frac{\left[\frac{\alpha}{2}, 2 * k \right]}{2}$$

$$\text{Intervallo superiore} = \text{chisquare} \frac{\left[1 - \frac{\alpha}{2}, 2 * (k + 1) \right]}{2}$$

- α = Livello di confidenza.

I valori inferiori e superiori risultanti, una volta arrotondati al numero intero successivo, rappresentano il numero minimo e massimo di incidenti che potrebbero verificarsi nel tratto o intersezione di interesse con un determinato livello di confidenza.

Man mano che il livello di confidenza aumenta, l'intervallo tra i due valori diventa più ampio. Comunemente, α è pari a 0,05 (ossia un livello di confidenza del 95%).

Invece, le soglie per la popolazione di riferimento considerano un sottogruppo di componenti della rete con caratteristiche simili, che ci si aspetta abbiano prestazioni di sicurezza analoghe.

Il raggruppamento deve essere effettuato separatamente per tratti stradali e intersezioni.

Le quattro categorie identificate come popolazioni di riferimento sono autostrade extraurbane, autostrade urbane, strade primarie a carreggiate separate e strade primarie a carreggiata unica. Un'ulteriore suddivisione all'interno di queste quattro categorie può essere sui livelli di traffico e sulle caratteristiche geometriche della strada che porterebbero a una definizione più accurata delle popolazioni di riferimento.

L'obiettivo del raggruppamento è condurre una valutazione della sicurezza su gruppi omogenei, evitando di analizzare componenti della rete con caratteristiche geometriche e operative molto diverse. Tuttavia, la suddivisione deve garantire la significatività del campione creato, evitando dimensioni di campione troppo ridotte.

4. Classifica della sicurezza stradale

In questa fase, utilizzando i valori ottenuti nel passo precedente, si stima una classificazione della sicurezza stradale, descritta come segue:

- Se l'intervallo inferiore e superiore del tasso di incidentalità (o la densità) sono inferiori al tasso di incidentalità (o densità) della popolazione di riferimento, il tratto o l'intersezione corrispondente viene classificato come a "rischio basso".
- Se l'intervallo inferiore e superiore del tasso di incidentalità (o la densità) sono superiori al tasso di incidentalità (o densità) della popolazione di riferimento, il tratto o l'intersezione corrispondente viene classificato come a "rischio alto".
- Se il tasso di incidentalità (o la densità) della popolazione di riferimento è compreso tra la soglia inferiore e quella superiore del tratto o dell'intersezione, allora il tratto o l'intersezione corrispondente è classificato come "incerto".

2.2 Metodologia NWA-Proattiva

La metodologia proattiva per la valutazione della sicurezza stradale a livello di rete è stata sviluppata inizialmente nel marzo 2021. Comprende due approcci: una metodologia di base (NWA-b), a basso costo e con poche esigenze di dati, e una metodologia avanzata (NWA-a), più complessa e dispendiosa. La NWA-b prevedeva 13 parametri di valutazione, mentre la NWA-a ne includeva 27. Tuttavia, il feedback degli esperti e degli Stati membri ha evidenziato la necessità di semplificare l'approccio, riducendo il numero di parametri.

Nel novembre 2021 è stata presentata una versione aggiornata, che ha ridotto i parametri, differenziando l'approccio tra autostrade e strade principali. La

metodologia è stata testata su tratte stradali in Grecia e supportata da uno strumento Excel per la valutazione.

Nel 2022 sono stati apportati ulteriori miglioramenti:

- Fusione di NWA-b e NWA-a in un'unica metodologia integrata (NWA-p).
- Valutazione separata per strade principali a carreggiata unica e a carreggiate separate
- Inclusione del parametro basato sul volume di traffico (AADT) per concentrare le risorse su strade ad alto volume di traffico.
- Eliminazione del parametro "Qualità dei segnali e delle marcature" per le autostrade e del parametro "Illuminazione".
- Aggiunta della possibilità di considerare dati di velocità operativa effettiva (V85) per le strade primarie.

Il primo passo della metodologia NWA-proattiva consiste nella raccolta dei dati, fondamentale per suddividere la rete in segmenti. Inizialmente si procede con l'identificazione del tipo di strada, seguita dalla definizione precisa dei confini geografici. Successivamente, vengono considerati due approcci per la segmentazione: uno con segmenti di lunghezza fissa, generalmente di circa 600 metri, e l'altro con segmentazione a lunghezza variabile, che si concentra sulla creazione di sezioni omogenee in termini di volume di traffico, curve orizzontali, limiti di velocità e tipo di terreno. L'obiettivo di questa segmentazione è garantire che ogni sezione della rete valutata sia il più uniforme possibile, permettendo valutazioni accurate sulla sicurezza. Si sottolinea come la segmentazione per la valutazione proattiva possa differire da quella effettuata per la valutazione reattiva.

In seguito, viene effettuata una seconda fase di raccolta dei dati, che consiste nell'acquisire tutte le informazioni necessarie sulle caratteristiche stradali e operative per la valutazione dei parametri identificati.

Per le autostrade urbane e extraurbane, vengono considerati sei parametri, mentre per le strade primarie cofinanziate dall'UE, si considerano nove parametri.

Ogni parametro contribuisce al calcolo di un Fattore di Riduzione (RF), che rappresenta il rischio di sicurezza associato ad esso. Sulla base dei valori di questi RF, viene determinato un punteggio di sicurezza finale per ciascun segmento. I Fattori di Riduzione sono numeri positivi, non nulli, con un valore massimo pari a uno. Un parametro che ha un RF pari a uno corrisponde a una progettazione sicura.

La seguente formula esprime la stima del punteggio per il tratto stradale i quando viene valutato utilizzando n parametri e, a sua volta, n fattori di riduzione:

$$Score_i = 100 * RF_{1i} * RF_{2i} * ... * RF_{ni}$$

Un tratto di strada "ideale e sicuro" riceve 100 punti, ma il punteggio è diverso e non comparabile tra le diverse tipologie stradali.

Questo punteggio serve a classificare ogni sezione in una delle tre categorie di rischio: "Alto rischio", "Rischio intermedio" o "Basso rischio".

Inoltre, per garantire una maggiore correttezza del risultato, viene applicato un ulteriore criterio basato sul volume di traffico della sezione. Se una sezione ha un volume di traffico molto basso rispetto al resto della rete, rientrando nel 15% inferiore della classificazione del traffico, e viene classificata come "Alto rischio", essa viene riclassificata nella categoria di "Rischio intermedio".

Un aspetto importante dell'implementazione pratica della metodologia di sicurezza proattiva è il processo di segmentazione, ovvero la suddivisione della rete stradale in segmenti adeguati alla valutazione della sicurezza. Tra gli aspetti considerati nello sviluppo di questo processo c'è l'analisi combinata dei segmenti stradali e degli incroci, infatti, la presenza di un incrocio non implica necessariamente una modifica del segmento.

Nelle autostrade e nelle strade principali a carreggiate separate, la valutazione viene eseguita separatamente per ogni direzione di marcia, mentre nelle strade principali a carreggiata unica, viene effettuata una sola valutazione per entrambe le direzioni. Inoltre, i segmenti di tutte le tipologie di strada devono essere approssimativamente omogenei, per cui cambiamenti nelle principali caratteristiche della sezione trasversale, variazioni significative nei volumi di traffico o cambiamenti nel tipo di terreno devono comportare una modifica del segmento. Come regola generale, si consiglia comunque che la lunghezza dei segmenti non superi i seguenti valori massimi:

- Autostrade - aree "rurali": 5 km
- Autostrade - aree urbane e suburbane: 3 km
- Strade principali: 2 km

Un ulteriore aspetto rilevante, in linea con quanto precedentemente discusso, riguarda l'analisi dei parametri in relazione alla tipologia di strada.

In particolare, secondo la letteratura scientifica disponibile, un tratto autostradale è considerato "ideale e sicuro" quando rispetta le seguenti caratteristiche di progettazione:

- Larghezza della corsia: le autostrade "rurali" dovrebbero avere una larghezza media della corsia pari o superiore a 3,40 m, e le autostrade urbane pari o

superiore a 3,25 m. Una larghezza di corsia inferiore è legata a un aumento del rischio di incidenti.

- Banchina: lungo la sezione, la zona libera deve essere pari o superiore a 10 m, in modo che un veicolo fuori strada abbia spazio sufficiente per fermarsi prima di collidere con un ostacolo o una barriera. Viene inoltre notato che:
 1. La larghezza della corsia di emergenza, se presente, è inclusa nella stima della zona libera della banchina, contribuendo ad aumentare il punteggio di sicurezza dell'autostrada, e
 2. In caso di barriere di sicurezza, per larghezze usuali di zona libera (ad esempio, 5 m), qualsiasi impatto negativo stimato sul punteggio di sicurezza è molto basso (ad esempio, RF = 0,98).
- Curvatura: se sono presenti curve orizzontali, il raggio dovrebbe essere pari o superiore a 2000 m per le autostrade "rurali" e a 750 m per le autostrade urbane. La presenza di curve orizzontali con raggi più piccoli è prevista per ridurre la sicurezza del tratto.
- Interscambi: la distanza tra rampe successive (cioè, la distanza tra le aree di ingresso e uscita delle rampe) deve essere maggiore di 1600 m.
- Conflitti tra pedoni/ciclisti e veicoli a motore: a causa delle elevate velocità operative e del traffico, i pedoni e i ciclisti non sono ammessi sulle autostrade.
- Presenza di sistemi di allerta per incidenti: gli avvisi relativi al maltempo e alle emergenze sulla strada aumentano la vigilanza del conducente e gli permettono di adattare tempestivamente il comportamento, prevenendo ulteriori incidenti.

Mentre, per quanto riguarda le strade primarie o altre strade extraurbane, un tratto considerato "idealmente sicuro" a livello di rete presenta le seguenti caratteristiche:

- Larghezza della corsia: larghezza pari o superiore a 3,40 m.

- Lato della strada: larghezza della zona libera pari o superiore a 3,40 m.
- Curvatura: curve con un raggio pari o superiore a 1000 m.
- Densità dei punti di accesso alla proprietà: I punti di accesso lungo una strada aumentano il numero di veicoli che entrano o escono da essa attraverso punti non controllati. Un tratto di strada senza punti di accesso è considerato idealmente sicuro, mentre all'aumentare del numero di punti, il livello di sicurezza della strada diminuisce.
- Intersezioni: Le intersezioni sono associate a un numero maggiore di punti di conflitto rispetto ai tratti stradali, poiché i percorsi dei veicoli si incrociano. Tuttavia, alcuni tipi di intersezioni non presentano o presentano un numero inferiore di punti di conflitto, il che significa che risultano complessivamente più sicure. Nelle strade extraurbane primarie, un tratto è considerato sicuro se non presenta intersezioni, intersezioni a livello sovrapposto o rotatorie.
- Conflitti tra pedoni/ciclisti e veicoli a motore: la strada è considerata "idealmente sicura" se non c'è traffico pedonale/ciclistico o se i passaggi pedonali, o pista ciclabile, sono protetti da strutture completamente separate e sicure.
- Tipo e larghezza della corsia di emergenza: Le corsie sono considerate "idealmente sicure" se sono asfaltate e hanno una larghezza minima di 2,44 m per le strade a carreggiate separate o 1,83 m per le strade a carreggiata unica.
- Corsie di sorpasso: La presenza di corsie di sorpasso offre la possibilità di superare in sicurezza veicoli lenti specialmente nelle sezioni in salita. Un segmento stradale riceve il punteggio massimo se almeno una delle seguenti condizioni è vera:
 1. È una strada a carreggiate separate;
 2. Ha più di una corsia per direzione;

3. La sua pendenza longitudinale è inferiore al 4%;
 4. La sua pendenza longitudinale maggiore del 4% non supera i 500 m;
 5. Se è una strada a carreggiata unica e pendenza > 4% per più di 500 m, ma ha una corsia di sorpasso in entrambe le direzioni.
- Segnaletica e marcatore: La presenza di segnaletica chiara, appropriata e ben mantenuta nelle strade primarie è necessaria per garantire un alto livello di sicurezza.

2.3 Metodologia Integrata

Questa sezione introduce il concetto di metodologia integrata, spiegando come combinare i risultati delle metodologie reattiva e proattiva applicate alla stessa rete stradale. La metodologia reattiva NWA suddivide i tratti stradali in tre categorie: "rischio elevato", "rischio intermedio" o "basso rischio". Al contrario, la metodologia proattiva NWA, basata su un'analisi statistica, assegna i tratti stradali a due categorie principali "basso rischio" o "alto rischio", con la possibilità di classificazione come "incerto" in assenza di dati significativi. Nel caso in cui non siano disponibili dati sugli incidenti, ad esempio per le strade di recente costruzione, il risultato di classificazione può essere indicato come "nessun dato".

La metodologia integrata combina quindi i risultati delle analisi proattive e reattive per classificare ogni tratto stradale in cinque categorie. A ciascuna di esse è associato un colore e un livello di priorità per le azioni di sicurezza.

Queste cinque categorie sono: Priorità molto alta (classe 5), priorità alta (classe 4), priorità intermedia (classe 3), priorità bassa (classe 2) e priorità molto bassa (classe 1).

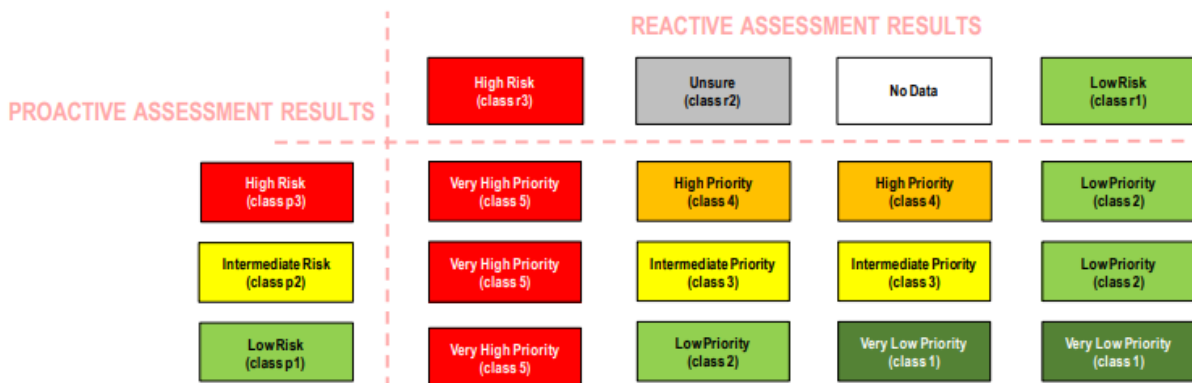


Figura 2.2 - Integrazione dei risultati NWA-proattivi e NWA-reattivi
Source: NWA – Handbook

Con la classificazione della metodologia integrata, basata su un sistema a cinque scale, si conclude l'applicazione della metodologia NWA. La classificazione finale costituisce la base per eventuali interventi successivi, quali ispezioni mirate, individuazione di contromisure adeguate, oltre alla selezione, progettazione e implementazione degli interventi di sicurezza, in relazione al punteggio finale attribuito a ciascuna sezione.

Il documento si conclude proponendo una possibile ipotesi di azioni di follow up basata su questa classificazione, precisando che si tratta di un suggerimento preliminare e non di un obbligo specifico per il gruppo di lavoro. In base a tale ipotesi, le sezioni classificate come "Classe 1" saranno rivalutate dopo un periodo di cinque anni, durante il quale non sono previste ulteriori azioni. Per le sezioni assegnate alle "classi 2, 3 o 4", queste dovrebbero essere sottoposte a un'ispezione della sicurezza stradale (RSI), e successivamente, in base ai risultati di tale processo, potranno essere definite ulteriori azioni di follow-up. Le sezioni classificate nella "Classe 5", invece, dovranno essere sottoposte obbligatoriamente a un'ispezione RSI. Si specifica che tali azioni esulano dall'ambito della metodologia NWA e, di conseguenza, le relative linee guida non sono illustrate nel presente manuale. La definizione del piano d'azione è lasciata alla discrezionalità di ciascuno Stato membro.

3 CAPITOLO: Analisi di casi studio in ambito italiano

I casi studio oggetto del presente elaborato di tesi sono stati definiti attraverso la comprensione e l'analisi delle criticità legate alla sicurezza nell'ambito dell'incidentalità extraurbana. L'attenzione è stata focalizzata, in particolare, sulla rete stradale delle province di Padova e Roma, con specifico riferimento ai tratti della strada statale⁵⁶ SS 16 (PD) e SS 6 (RM).

Inizialmente, viene analizzata l'area di riferimento e il contesto territoriale in cui si trovano le strade oggetto di studio. Successivamente, vengono esaminate le informazioni relative all'incidentalità, raccolte dall'ISTAT e rese disponibili attraverso il sito ACI⁵⁷. L'analisi si basa su una rilevazione sistematica di tutti gli incidenti stradali verificatosi lungo le due strade nelle province considerate, che hanno provocato lesioni alle persone o decessi entro il trentesimo giorno dall'evento.

La rilevazione è stata effettuata mediante la compilazione di schede d'incidente, contenente i dettagli relativi al sinistro stradale, oppure attraverso un database che raccoglie tutti i dati e le informazioni sugli incidenti, redatto dalle autorità intervenute sul posto come polizia stradale, carabinieri, polizia locali o altri enti competenti.

Per le finalità del seguente studio, sono stati considerati esclusivamente i dati relativi agli anni 2022, 2019 e 2018. Questa selezione è stata effettuata per escludere l'impatto

⁵⁶ Le strade extraurbane si distinguono in statali, quando: costituiscono le grandi direttrici del traffico nazionale; congiungono la rete viabile principale dello Stato con quelle degli Stati limitrofi; congiungono tra loro i capoluoghi di regione; allacciano alla rete delle strade statali i porti marittimi, gli aeroporti, i centri di particolare importanza industriale, turistica e climatica; servono traffici interregionali o presentano particolare interesse per l'economia di vaste zone del territorio nazionale – Art. 2 del codice della strada. D.lgs. 30 aprile 1992, n. 285 e aggiornato al 14/12/2024.

⁵⁷ ACI (Automobile Club d'Italia), Localizzazione degli incidenti stradali
<https://lis.aci.it/#/home>

delle anomalie legate alla pandemia di COVID-19, garantendo così informazioni più affidabili e rappresentativi.

Per lo sviluppo dello studio del metodo reattivo, oltre all'analisi relativa alla rilevazione degli incidenti, risulta fondamentale la valutazione dei dati relativi al traffico giornaliero medio annuo⁵⁸ (TGMA). La raccolta di tali dati è stata possibile attraverso le informazioni rese disponibili sul sito di ANAS⁵⁹, in quanto le strade oggetto della presente tesi rientrano nella gestione di tale ente. Pertanto, sono stati analizzati i dati disponibili relativi ad alcune tratte delle strade statali di interesse e ai corrispondenti anni di riferimento, limitatamente al periodo per il quale erano reperibili informazioni.

Il traffico giornaliero medio annuo è calcolato mediante una rete di sensori appartenenti al sistema PANAMA⁶⁰, sulla base dei dati raccolti dalle singole postazioni installate lungo le strade. I dati relativi al TGMA fanno riferimento a valori bidirezionali di marcia, ottenuti attraverso sezioni di conteggio⁶¹. Nel caso in cui una sezione di conteggio sia costituita da due postazioni distinte, ciascuna riferita a una delle due direzioni di marcia, la sezione è attribuita alla postazione situata alla chilometrica minore. Il calcolo del TGMA avviene come media aritmetica dei volumi di traffico misurati nelle giornate valide che compongono il campione di riferimento. Una giornata di dati è considerata valida se non vengono rilevati malfunzionamenti e se almeno il 98% dei 288 intervalli temporali di 5 minuti previsti in una giornata risulta

⁵⁸ Numero di veicoli transitati in un anno diviso il numero dei giorni dell'anno.

⁵⁹ Società del Gruppo FS Italiane di costruzione, gestione e manutenzione di reti stradali e autostradali di interesse nazionale, Dati di traffico giornaliero annuale
<https://www.stradeanas.it/it/le-strade/osservatorio-del-traffico/dati-traffico-medio-giornaliero-annuale>

⁶⁰ Piattaforma Anas per il Monitoraggio e l'Analisi - è un sistema di monitoraggio che provvede alla verifica ed elaborazione dei trend dell'Indice di Mobilità Rilevata.

⁶¹ Il sistema automatico di rilevamento statistico del traffico, costituito da circa 1.200 sezioni di conteggio, è distribuito sull'intera rete Anas.

correttamente caricato nel sistema. In aggiunta alla modalità di calcolo del TGMA, per ciascuna postazione viene verificato che il numero di giornate con dati validi sia superiore alla metà dei giorni dell'anno. Qualora tali condizioni non siano soddisfatte, il dato di TGMA non viene reso disponibile. L'affidabilità dei dati acquisiti è inoltre garantita da una serie di processi di controllo, effettuati sia tramite software sia attraverso verifiche a campione condotte dal personale Anas, con l'obiettivo di valutare la coerenza dei dati generati automaticamente rispetto alla realtà rilevata sul campo. Nel contesto della presente tesi, i dati relativi ai volumi di traffico non coprono l'intera estensione chilometrica delle due strade statali analizzate. Pertanto, è stato necessario stimare i volumi di traffico per i tratti privi di tale informazione mediante una proporzione, utilizzando i dati disponibili. Inoltre, sono stati considerati i volumi di traffico di altre strade statali caratterizzate da similitudini sia fisiche che amministrative con le strade oggetto di studio, al fine di integrare e completare l'analisi.

Infine, per quanto riguarda lo studio del metodo reattivo, ciascuna delle due strade statali di Padova e Roma è stata segmentata in base alle informazioni precedentemente menzionate, ovvero i dati sugli incidenti e i volumi di traffico, nonché alle caratteristiche fisiche omogenee delle infrastrutture. Questa fase del metodo segue le indicazioni fornite nel manuale "Network Wide Road Safety Assessment". Nei paragrafi successivi, verrà illustrato nel dettaglio il processo di segmentazione adottato. Inoltre, si evidenzierà che la segmentazione appartiene anche al metodo proattivo, ma con criteri differenti, che saranno approfonditi in seguito.

Per completare il metodo reattivo, così come si vedrà per il metodo proattivo, il manuale NWA fornisce in allegato un file excel "NWA-reactive_Tool" sviluppato per l'applicazione della metodologia. Il file è composto da tre fogli di lavoro, che devono essere compilati seguendo un ordine specifico. Inizialmente, vanno inseriti i dati

relativi alle informazioni preliminari, come le informazioni generali sulla strada e sulla popolazione di riferimento. In seguito, vanno utilizzati i due fogli successivi, che riguardano l'analisi dei tratti stradali e degli incroci. Con i dati inseriti, il foglio di lavoro calcola automaticamente la densità media degli incidenti e il tasso medio di incidenti, generando per ciascun valore due classifiche. La classificazione finale dei tratti stradali si basa sul tasso di incidenti ("Ranking by crash rate") se i dati AADT⁶² sono disponibili. In caso contrario, la classificazione si basa sulla densità di incidenti ("Ranking by crash density"). Indipendentemente dalla modalità di classificazione, ogni tratto di strada, in base alla valutazione specifica, sarà assegnato a una delle tre classi di rischio: alto rischio, rischio incerto e basso rischio.

Nel presente elaborato di tesi, oltre all'analisi del metodo reattivo, è stato sviluppato e applicato il metodo proattivo sulle stesse strade statali di riferimento, ovvero la SS 16 a Padova e la SS 6 a Roma.

Il processo complessivo previsto dal metodo proattivo inizia con l'identificazione del tipo di strada da valutare. Nel caso specifico, si tratta di strade extraurbane statali, appartenenti alla categoria delle strade primarie a carreggiata unica. Una volta definita questa classificazione iniziale, il passo successivo consiste nella raccolta dei dati necessari e nella segmentazione della rete stradale. La raccolta dei dati si articola in due fasi distinte: una fase preliminare e una successiva alla segmentazione. Nella prima fase vengono acquisiti dati generali, utili a supportare il processo di segmentazione e caratterizzanti da un livello aggregato di dettaglio. Nella seconda fase, invece, si procede con la raccolta di dati più specifici e dettagliati, relativi a ciascuna sezione della strada analizzata.

⁶² Annual Average Daily Traffic – Traffico medio giornaliero annuo.

Per questa specifica ricerca, la raccolta dei dati è stata effettuata in formato digitale, avvalendosi dei servizi forniti da Google Maps e Google Earth.

In riferimento alla segmentazione delle strade primarie a carreggiata unica, l'analisi viene condotta considerando simultaneamente entrambe le direzioni di marcia. Si adotta un approccio che consiste nella suddivisione in segmenti omogenei, definiti in base a criteri quali il volume di traffico, numero di corsie, limiti di velocità e tipo di terreno. Le sezioni omogenee dovrebbero avere una lunghezza compresa tra i 200m e i 2km, anche se in alcuni casi sono state ammesse deviazioni limitate per preservare il carattere a livello di rete della valutazione.

Un aspetto importante è che, nella segmentazione, si è cercato di allineare i punti iniziali e finali delle sezioni per la valutazione proattiva con quelli delle sezioni per la valutazione reattiva, qualora fossero vicini tra loro. Questa scelta è stata fatta al fine di ridurre lo sforzo di integrazione dei risultati dei due metodi, seppur a rigore è ammesso che le due segmentazioni non coincidano e che quindi si proceda poi ad un'opportuna integrazione delle categorie di rischio calcolate con il metodo reattivo e con il metodo proattivo con i due suddetti approcci. In tal senso, la metodologia reattiva generalmente richiede segmenti più lunghi per garantire la validità statistica delle analisi. Di conseguenza, i segmenti utilizzati per tale valutazione tendono a includere più di una sezione impiegata nella valutazione proattiva.

Come precedentemente descritto, il processo del metodo proattivo richiede lo studio di specifici dati, ovvero parametri per la valutazione della sicurezza stradale. Questi parametri variano in funzione della tipologia di strada, poiché tengono conto delle significative differenze nelle loro caratteristiche progettuali e operative.

Nel caso delle strade oggetto del presente studio, i parametri da prendere in considerazione sono: la larghezza delle corsie, la presenza e le caratteristiche del margine stradale, la curvatura del tracciato, la densità degli accessi alle proprietà, le

intersezioni, i possibili conflitti tra pedoni/ciclisti e veicoli motorizzati, la larghezza e il tipo di banchina, le corsie di sorpasso e la qualità dei dispositivi di segnalazione verticale e segnaletica orizzontale.

Oltre ai parametri di valutazione già descritti, anche alcune caratteristiche operative, come il volume di traffico, il limite di velocità e la presenza di sistemi automatizzati per il controllo della velocità, influenzano il punteggio di sicurezza di determinati parametri o la classificazione finale. Ad esempio, l'impatto della curvatura orizzontale sulla sicurezza è strettamente legato alla velocità, poiché quest'ultima influisce non solo sulla probabilità di perdita di controllo del veicolo, ma anche sulla gravità delle conseguenze in caso di fuoriuscita dalla carreggiata.

Pertanto, nel modello adottato per le strade primarie, la velocità viene utilizzata come variabile di input, influenzando il fattore di riduzione per parametri come "Curvatura" e "Conflitti tra pedoni/ciclisti e traffico motorizzato". Il manuale NWA di riferimento consiglia di utilizzare la velocità operativa⁶³ (V85), tuttavia, nel presente elaborato verrà utilizzato il limite di velocità⁶⁴ come parametro di valutazione, poiché non sono disponibili dati aggiornati o sufficientemente dettagliati per i segmenti stradali specifici.

Una volta analizzati tutti i parametri, si utilizza un file reso disponibile dal manuale NWA. Questo strumento di stima, sviluppato in formato Excel, consente la sperimentazione e la validazione degli algoritmi per il calcolo del punteggio proattivo. Il file include sei fogli di lavoro: quattro dedicati alle diverse tipologie stradali (autostrada extraurbana, autostrada urbana e strada primaria sia a carreggiata separata che a carreggiata unica), uno contenente le tabelle di ricerca con i valori dei

⁶³ È la velocità a cui i conducenti percorrono un segmento di strada in condizioni di flusso libero, generalmente espressa dall'85° percentile della distribuzione delle velocità osservate.

⁶⁴ È la velocità massima consentita per gli utenti della strada, definita da segnali stradali o dalle normative del codice della strada.

CMF per alcuni dei parametri utilizzati nei calcoli, e un ultimo foglio destinato alla validazione dei dati. Quest'ultimo serve a imporre vincoli sui dati inseriti dall'utente, al fine di evitare l'inserimento di valori non accettabili che potrebbero compromettere la correttezza dei risultati.

Il foglio di calcolo "NWA proattivo - Strada extraurbana a carreggiata unica" è dedicato alla stima del punteggio proattivo per questa tipologia di infrastruttura, caratterizzata da una carreggiata unica e rappresentativa delle strade oggetto del presente elaborato. Il foglio include celle per l'inserimento dei dati relativi a ciascun parametro da parte dell'utente, i rispettivi fattori di modifica degli incidenti (CMF) e i fattori di riduzione (RF), oltre al calcolo del punteggio complessivo per il segmento analizzato. Per ogni segmento stradale è stato determinato il punteggio finale, in base al quale la sezione è stata classificata in una delle tre classi di sicurezza: basso rischio, rischio intermedio o alto rischio.

Nei prossimi paragrafi del presente elaborato di tesi verrà quindi condotta l'analisi dei due tratti stradali, la SS 16 di Padova e la SS 6 di Roma, utilizzando sia il metodo reattivo sia quello proattivo. Successivamente, le caratteristiche dei due tratti saranno analizzate e confrontate. Infine, sarà dedicata particolare attenzione alla validità e all'applicabilità di questo nuovo modello di valutazione della sicurezza stradale descritto nel manuale "Network Wide Road Safety Assessment", formulando un giudizio personale sulla sua efficacia, evidenziando eventuali vantaggi e limiti in relazione alle esigenze informative e operative.

Si procede ora con una descrizione dettagliata dei dati relativi ai nove parametri precedentemente menzionati, con specifico riferimento alle strade principali a carreggiata unica.

- Larghezza delle corsie:

La larghezza della corsia incide significativamente sulla sicurezza delle strade primarie, indipendentemente dal fatto che queste abbiano una o più corsie per direzione. Le ricerche condotte per lo sviluppo dell'Highway Safety Manual (AASHTO, 2014) indicano che corsie più ampie tendono a garantire un livello di sicurezza complessivamente maggiore.

La larghezza media della sezione trasversale delle corsie viene calcolata considerando entrambe le direzioni di marcia, misurando la distanza tra i bordi interni delle linee marginali della carreggiata. Nel caso di una strada a due corsie con carreggiata unica, tale valore viene determinato mediante una formula specifica:

$$\text{Larghezza media delle corsie } LW = \frac{l_{w1} + l_{w2}}{2}$$

- l_{w1} : Larghezza della corsia nella prima direzione di marcia.

- l_{w2} : Larghezza della corsia nella seconda direzione di marcia.

I CMF e i fattori di riduzione per la larghezza delle corsie delle strade primarie sono presentati nella seguente tabella 3.1.

Lane width	CMF value	RF value
$LW \geq 3,40\text{m}$	1,000	1,000
$3,15\text{m} \leq LW < 3,40\text{m}$	1,050	0,952
$2,70\text{m} \leq LW < 3,15\text{m}$	1,120	0,893
$LW \leq 2,70\text{m}$	1,190	0,840

Tabella 3.1 - Fattori di modifica CMF e fattori di riduzione RF per la larghezza della corsia nelle strade primarie non divise.

- Margine stradale:

Per la valutazione dei margini stradali è necessario considerare tre diversi fattori: la larghezza della zona libera da ostacoli, la pendenza e le caratteristiche delle scarpate e il tipo di ostacoli presenti sul margine stradale. Tuttavia, oggetti isolati specifici, come una singola estremità di barriera non protetta o un ostacolo fisso isolato, non sono stati presi in considerazione nella valutazione del bordo stradale a livello di rete, come indicato nel manuale NWA.

I dati raccolti devono consentire la classificazione di questo parametro in una delle categorie indicate nella Tabella 3.2. A ciascuna categoria è associato un diverso indice di pericolosità (Roadside Hazard Rating - RHR). Poiché le caratteristiche del bordo stradale possono variare lungo una sezione, potrebbe essere necessario suddividere ulteriormente la sezione in sottosezioni omogenee. Il valore complessivo del RHR viene quindi stimato come una media ponderata dei valori delle sottosezioni in base alla loro lunghezza.

Esistono diverse metodologie per la valutazione dei margini stradali. La più affidabile è quella descritta nel Highway Safety Manual (AASHTO, 2010), in quanto rispetto ad altri studi fornisce stime dei crash modification factors (CMF) che considerano simultaneamente tutti e tre i fattori sopra menzionati.

-Il CMF è calcolato usando la formula seguente:

$$CMF = \max \left\{ 1,00; \frac{e^{(-0.6869+0.0668xRHR)}}{e^{-0.4865}} \right\}$$

La formula viene applicata due volte, una per ciascun lato della strada, e si ottiene il CMF medio per il lato sinistro e destro, $CMF_{\text{left\&right}}$

-Il Fattore di Riduzione (Reduction Factor, RF) è stimato come:

$$RF = \frac{1}{CMF} = \min \left\{ 1,00; \frac{e^{-0.4865}}{e^{(-0.6869+0.0668xRHR)}} \right\}$$

Le ricerche condotte per lo sviluppo del Highway Safety Manual, evidenziano che la presenza di zone libere più ampie, pendenze più dolci e la presenza di barriere adeguate contribuiscono a ridurre gli incidenti sulle strade. Per le strade extraurbane a due corsie con carreggiata unica, il Roadside Hazard Rating viene utilizzato per classificare l'ambiente stradale in una delle sette categorie previste. A ciascuna categoria corrisponde un Crash Modification Factor, come riportato nella tabella seguente.

RHR	Clear zone	Side slope	Roadside	CMF
1	$CZ \geq 9,14m$	Flatter than 1V:4H; recoverable	N/A	0,878
2	$6,10m \leq CZ \leq 7,62m$	About 1V:4H; recoverable	N/A	0,942
3	$CZ \sim 3,05m$ <i>also applicable for guardrail with offset >1,98m</i>	About 1V:3H or 1V:4H; marginally recoverable	Rough roadside surface	1,010
4	$1,52m \leq CZ < 3,05m$ <i>also applicable for guardrail with offset 1,52m to 1,98m</i>	About 1V:3H or 1V:4H; marginally forgiving, increased chance of reportable roadside crash	May have guardrail (offset 1,52 to 1,98m) May have exposed trees, poles, other objects (offset is about 3,05m)	1,083
5	$1,52m \leq CZ < 3,05m$ <i>also applicable for guardrail with offset <1,52m</i>	About 1V:3H; virtually non-recoverable	May have guardrail (offset up to 1,52m) May have rigid obstacles or embankment (offset 1,98m to 3,05m)	1,161
6	$CZ \leq 1,52m$	About 1V:2H; non-recoverable	No guardrail Exposed rigid obstacles (offset up to 1,98m)	1,246
7	$CZ \leq 1,52m$	1V:2H or steeper; non recoverable with high likelihood of severe injuries from roadside crash	No guardrail Cliff or vertical rock out	1,336

Tabella 3.2 - Fattori di modifica CMF per le aree laterali e il roadside hazard rating (adottati dal Highway Safety Manual, Exhibit 13-32 (AASHTO, 2010))

- Curvatura:

La curvatura del tracciato influisce significativamente sulla frequenza e pericolosità degli incidenti, soprattutto quando presenta raggi molto piccoli. Per quanto riguarda il parametro delle curve orizzontali nelle strade principali, è necessario considerare diversi aspetti. In particolare, se all'interno di una sezione sono presenti più curve, è indispensabile registrare il raggio della curva più critica, ossia quella con il raggio minore. Come già evidenziato in precedenza, il limite di velocità condiziona la pericolosità della curva, rendendo fondamentale verificare la presenza di sistemi automatici di controllo della velocità.

- Per segmenti con tangenti e curve con $R \geq 1000m$: $CMF=1,00 \rightarrow RF=1,00$
- Se nel segmento esiste almeno una curva con $R < 1000m$:

$$CMF = 1,00 + 0,7937 \times (0,09134V)^4 \times (0,9134V)^2 \div 32,2 \times \left(\frac{R}{0,3048}\right)^2$$

- $R(m) = 1,5 \times$ raggio della curva più stretta nel segmento.

- V (km/h) = < limite di velocità >, se è presente un controllo automatico della velocità,

- < V limite di velocità + 20 km/h >, se il controllo automatico non è presente.

$$RF = \frac{1}{CMF} = \frac{1}{1,00 + 0,7937 \times (0,09134V)^4 \times (0,9134V)^2 \div 32,2 \times \left(\frac{R}{0,3048}\right)^2}$$

- Densità dei punti di accesso alle proprietà:

I punti di accesso alle proprietà si riferiscono ai luoghi in cui una strada pubblica consente l'accesso a una proprietà privata. Le strade con una alta densità di punti di accesso alle proprietà tendono a mostrare tassi di incidenti più elevati a causa delle numerose manovre di immissione o uscita dei veicoli.

Ai fini della metodologia di valutazione della sicurezza su scala di rete, tutti i punti in cui un veicolo può entrare o uscire dalla sezione stradale, ad eccezione degli incroci, sono considerati punti di accesso alle proprietà.

Nel caso in cui vi sia un percorso separato per ingresso e uscita, questi sono stati considerati come un unico punto di accesso. Per le strade di riferimento a carreggiata unica, il numero di punti di accesso alle proprietà è stato rilevato su entrambi i lati della strada. Il numero totale di punti di accesso è stato quindi diviso per la lunghezza della sezione in chilometri, ottenendo così un valore di densità dei punti di accesso alle proprietà, espresso in punti per chilometro.

Nella seguente tabella 3.3 sono riportati i CMF e i fattori di riduzione associati alla densità dei punti di accesso alle proprietà.

Density of property access points (Points per km)	Average CMF	Reduction Factor
0	1,000	1,000
1	1,045	0,957
2	1,093	0,915
3	1,144	0,874
4	1,197	0,835
5	1,253	0,798
6	1,312	0,762
7	1,374	0,728
8	1,439	0,695
9	1,508	0,663
10	1,581	0,633
11	1,658	0,603
12	1,739	0,575
13	1,825	0,548
14	1,916	0,522
15 or more	2,000	0,500

Tabella 3.3 - CMF e fattori di riduzione RF per la densità dei punti di accesso alle proprietà nelle strade primarie.

- Intersezioni:

La valutazione delle intersezioni lungo una sezione stradale richiede la conoscenza sia del tipo di intersezione che della sua lunghezza. Per quanto riguarda la lunghezza di ciascuna intersezione all'interno del segmento, se questa è nota o può essere misurata, dovrebbe essere registrata la lunghezza effettiva. Qualora la lunghezza non sia disponibile, si possono utilizzare le dimensioni predefinite per le intersezioni, come quelle indicate nella tabella 2.1 [cfr. Cap.2], che riporta le dimensioni standard degli incroci.

Per quanto riguarda invece il tipo di intersezione e i relativi valori di CMF e RF, la metodologia di valutazione considera le diverse categorie di incroci, descritte nella tabella 3.4.

Junction type	Average CMF (Elvik et al, 2009)	iRAP Risk Factor	NWA CMF	NWA RF
No junction			1,000	1,000
Grade-separated			1,000	1,000
Roundabout	1,000		1,000	1,000
3-leg signalized with turn lane	1,087	9	1,000	1,000
3-leg signalized without turn lane		12	1,044	0,958
3-leg unsignalized with turn lane		13	1,130	0,885
3-leg unsignalized without turn lane		16	1,391	0,719
4-leg signalized with turn lane	1,515	10	1,000	1,000
4-leg signalized without turn lane		15	1,420	0,704
4-leg unsignalized with turn lane		16	1,515	0,660
4-leg unsignalized without turn lane		23	2,178	0,459

Tabella 3.4 - CMF e fattori di riduzione RF per i diversi tipi di incrocio.

I risultati delle ricerche indicano che le intersezioni separate a livello (cioè, quelle in cui le direzioni di traffico sono fisicamente separate) risultano più sicure, in quanto le traiettorie di marcia dei veicoli non si incrociano. Al contrario, le intersezioni a livello, dove le direzioni di traffico si incrociano, tendono a presentare un numero maggiore di incidenti e di incidenti gravi rispetto ad altre tipologie di intersezioni. Tale fenomeno può essere attribuito alla grande quantità di punti di conflitto con incrocio delle traiettorie tra veicoli e tra veicoli, pedoni e ciclisti.

In generale, si considerano tre principali tipologie di intersezione a livello: intersezione a quattro vie, intersezione a tre vie e intersezione a rotatoria. La prima presenta 32 punti di conflitto, oltre tre volte il numero di quelli presenti in un'intersezione a tre vie, che ne conta 9, ed entrambi hanno un numero di punti di conflitto maggiore rispetto alle rotatorie.

- **Conflitti tra pedoni/ciclisti e traffico motorizzato:**

La presenza di pedoni e ciclisti lungo la strada, in assenza di adeguate separazioni o protezioni, rappresenta una causa rilevante di gravi problemi di sicurezza stradale. Sebbene la maggior parte degli incidenti che coinvolgono pedoni e ciclisti si verifichi in ambito urbano, la gravità degli esiti risulta essere maggiore nelle aree extraurbane a causa delle maggiori velocità dei veicoli in tali contesti. Per questo motivo, la metodologia di valutazione proattiva include una variabile specifica, utile ad individuare le sezioni della rete stradale caratterizzate da tali criticità, assegnando loro priorità per ispezioni dettagliate e interventi correttivi.

Il primo passo nella valutazione consiste nell'identificazione della presenza di flussi di pedoni e ciclisti nella sezione stradale oggetto di analisi. Nel caso in cui tali flussi siano assenti, non è necessario raccogliere ulteriori dati. Al contrario, qualora siano presenti pedoni o ciclisti, è fondamentale procedere con la raccolta delle seguenti informazioni:

- Presenza di strutture per l'attraversamento pedonale;
- Presenza di infrastrutture dedicate ai pedoni lungo la strada;
- Presenza di infrastrutture dedicate ai ciclisti lungo la strada;
- Limite di velocità previsto per la sezione stradale esaminata.

Per quanto riguarda il secondo e terzo punto, è inoltre necessario misurare la lunghezza delle strutture presenti lungo la sezione stradale in esame.

Nel manuale NWA vengono illustrate le modalità di calcolo del CMF e del RF per una sezione stradale in presenza di più strutture pedonali o ciclabili. I passaggi da seguire sono i seguenti:

1. Stima del CMF per gli attraversamenti pedonali ($CMF_{ped.cr}$) per ottenere la quale occorre calcolare la media ponderata delle sezioni di 100m lungo l'intera lunghezza della sezione stradale;
2. Stima del CMF per il movimento pedonale lungo la sezione ($CMF_{ped.al}$) per ottenere la quale occorre calcolare la media ponderata della lunghezza effettiva delle infrastrutture pedonali rispetto alla lunghezza totale della sezione;
3. Calcolo del CMF per i potenziali conflitti pedonali (CMF_{ped}) per il quale occorre determinare la media tra i due CMF stimati nei punti precedenti;

$$CMF_{ped} = \frac{CMF_{ped.cr} + CMF_{ped.al}}{2}$$

4. Stima del CMF per il movimento ciclistico lungo la sezione (CMF_{bic}) per ottenere la quale occorre calcolare la media ponderata della lunghezza effettiva delle infrastrutture ciclabili rispetto alla lunghezza totale della sezione;
5. Calcolo del CMF complessivo per i conflitti potenziali tra pedoni e ciclisti utilizzando la seguente equazione, applicando pesi derivati dal numero di incidenti presenti nel database CARE. I valori 3,1 e 8,8 rappresentano i pesi attribuiti rispettivamente ai conflitti pedonali e ciclabili

$$CMF_{combined} = \frac{(3,1 \times CMF_{ped}) + (8,8 \times CMF_{bic})}{(3,1 + 8,8)}$$

6. Calcolo del RF complessivo determinando l'inverso del CMF complessivo. I valori di CMF e RF per la valutazione della presenza e del tipo di infrastrutture dedicate a pedoni e ciclisti nelle strade extraurbane sono riportati nella Tabella 3.5.

Feature	iRAP Risk Factor	NWA CMF	NWA RF
Pedestrians - crossing			
No pedestrian traffic	-	1,000	1,000
Grade separated facility (used as CMF estimation basis)	0,40	1,000	1,000
Signalized crossing with refuge - speed limit > 70km/h	1,00	2,500	0,400
Signalized crossing without refuge - speed limit > 70km/h	1,25	3,100	0,323
Unsignalized marked crossing with refuge - speed limit > 70km/h	3,80	9,500	0,105
Unsignalized marked crossing without refuge - speed limit > 70km/h	4,80	12,000	0,083
No facility for pedestrians crossing- speed limit > 70km/h	6,70	16,750	0,060
Signalized crossing with refuge - speed limit ≤ 70km/h	1,00	2,000	0,500
Signalized crossing without refuge - speed limit ≤ 70km/h	1,25	2,500	0,400
Unsignalized marked crossing with refuge - speed limit ≤ 70km/h	3,80	8,000	0,125
Unsignalized marked crossing without refuge - speed limit ≤ 70km/h	4,80	10,000	0,100
No facility for pedestrians crossing- speed limit ≤ 70km/h	6,70	12,000	0,083
Pedestrians - along			
No pedestrian traffic	-	1,000	1,000
Segregated - protected pedestrian path (e.g. on shoulder, behind safety barriers)	0,00	1,000	1,000
No facility for pedestrians walking along	1,25	20,000	0,050
Bicyclists - along			
No bicycle traffic	-	1,000	1,000
Segregated bicyclist path (used as CMF estimation basis)	1	1,000	1,000
Dedicated bicyclist lane on roadway	12	12,000	0,083
Wide paved shoulder (width > 1m)	17	17,000	0,059
No facility for bicyclists	20	20,000	0,050

Tabella 3.5 - Fattori di rischio iRAP⁶⁵ e fattori di riduzione per le caratteristiche relative a pedoni e ciclisti.

⁶⁵ iRAP (International Road Assessment Programme), sistema di valutazione della sicurezza stradale che viene utilizzato per analizzare le infrastrutture stradali e identificare i tratti di strada che presentano rischi elevati per la sicurezza degli utenti.
<https://irap.org/about-us/>

- **Tipo e larghezza della banchina**

I risultati delle ricerche indicano che il tipo di banchina e la sua larghezza influiscono significativamente sulle prestazioni in termini di sicurezza stradale. Una banchina adeguata può infatti offrire al conducente di un veicolo fuori controllo la possibilità di recuperare la stabilità o arrestarsi, evitando così un incidente di uscita di strada. In generale, le banchine ampie e asfaltate risultano più efficaci nel migliorare la sicurezza stradale.

I dati richiesti per valutare questo parametro includono:

-Larghezza complessiva della banchina, sia pavimentata sia non pavimentata, misurata dall'estremità esterna della linea di margine (se presente) oppure dall'estremità del manto stradale asfaltato (in assenza della linea di margine);

-Tipologia della banchina specificando se la banchina è pavimentata o non pavimentata. Per le banchine composite (cioè, una parte pavimentata e una parte non pavimentata), il tipo viene assegnato in base alla componente predominante.

Nel caso di strade a carreggiata unica, il tipo e la larghezza della banchina devono essere misurati e registrati per ciascuna direzione di marcia, considerando entrambi i lati della strada per attribuire un punteggio complessivo al tratto analizzato. Se la banchina varia in larghezza o nel materiale di rivestimento lungo il percorso, è necessario misurare anche la lunghezza delle diverse configurazioni, al fine di stimare un valore medio per ciascun lato della strada.

Secondo il manuale NWA, l'effetto combinato del tipo e della larghezza delle banchine nelle strade extraurbane può essere stimato moltiplicando il CMF per la larghezza (CMF_w) per il CMF per il tipo (CMF_t), seguendo la formula specifica:

$$CMF_{final} = CMF_w \times CMF_t$$

Per le strade extraurbane principali, sono forniti set distinti di Reduction Factors per banchine asfaltate e per banchine non asfaltate. In accordo con quanto riportato nell'HSM, il valore del CMF per il tipo (CMF_t) per banchine asfaltate è pari a 1.

Shoulder width (m)	CMF_w	CMF_t	CMF_{final}	Reduction Factor
$SW \geq 1,83$	1,000	1,000	1,000	1,000
$1,23 \leq SW < 1,83$	1,063	1,000	1,063	0,941
$0,91 \leq SW < 1,23$	1,097	1,000	1,097	0,912
$0,61 \leq SW < 0,91$	1,127	1,000	1,127	0,887
$0,00 \leq SW < 0,61$	1,211	1,000	1,211	0,826

Tabella 3.6 - CMF e fattori di riduzione per la valutazione delle banchine pavimentate nelle strade primarie non divise.

Shoulder width (m)	CMF_w	CMF_t	CMF_{final}	Reduction Factor
$SW \geq 1,83$	1,000	1,017	1,017	0,983
$1,23 \leq SW < 1,83$	1,063	1,013	1,077	0,929
$0,91 \leq SW < 1,23$	1,097	1,008	1,106	0,904
$0,61 \leq SW < 0,91$	1,127	1,008	1,136	0,880
$0,00 \leq SW < 0,61$	1,211	1,000	1,211	0,826

Tabella 3.7 - CMF e fattori di riduzione per la valutazione delle banchine non pavimentate nelle strade primarie non divise.

- **Corsie di sorpasso:**

La valutazione della sicurezza delle corsie di sorpasso secondo la metodologia NWA presuppone che tali corsie siano necessarie principalmente su strade a due corsie caratterizzate da forti pendenze longitudinali per tratti estesi. Il criterio adottato prevede una pendenza superiore al 4% su una lunghezza di almeno 500m. La presenza delle corsie di sorpasso è rilevante esclusivamente per strade non divise a due corsie. Pertanto, per la valutazione della sicurezza di queste strade sono necessari i seguenti dati:

1. Pendenza della strada, con particolare attenzione a tratti in cui la pendenza supera il 4%;
2. Lunghezza del tratto con pendenza superiore al 4%;
3. Presenza di corsie di sorpasso, specificando se sono presenti in una o entrambe le direzioni di marcia.

I valori di CMF e RF relativi a questo parametro sono riportati nella Tabella 3.8.

Condition	CMF from literature	Normalized CMF	NWA Reduction Factor
Divided road	n/a	n/a	1,000
Undivided multi-lane road	n/a	n/a	1,000
Undivided 2-lane road with slope <4%, or slope >4% for length<500m	n/a	n/a	1,000
Undivided 2-lane road with slope >4% for more than 500m - passing lane in both directions	0,666	1,000	1,000
Undivided 2-lane road with slope >4% for more than 500m - passing lane in one direction	0,870	1,149	0,870
Undivided 2-lane road with slope >4% for more than 500m - No passing lanes	1,000	1,502	0,666

Tabella 3.8 - CMF e fattori di riduzione per la presenza di corsie di sorpasso nelle strade primarie.

- **Dispositivi di segnalazione verticale e segnaletica orizzontale:**

La qualità della segnaletica nelle strade extraurbane è considerata un elemento determinante per il miglioramento della sicurezza stradale. La letteratura esistente sull'argomento analizza non solo la qualità della segnaletica, ma anche la loro presenza. Tre attributi descrivono il loro livello di valutazione:

- Presenti, di alta qualità e in buone condizioni;
- Presenti, ma di scarsa qualità o in cattive condizioni;
- Segnaletiche critiche mancanti.

Quando tutti i segnali critici sono presenti, la loro qualità e condizione vengono valutate qualitativamente come "buone". Tuttavia, un segnale può essere considerato di scarsa qualità anche se ha dimensioni inadeguate rispetto alla velocità e alla categoria della strada esaminata. È fondamentale che la valutazione sia rappresentativa dell'intero tratto stradale analizzato.

Per valutare la presenza e la qualità della segnaletica nelle strade extraurbane, vengono considerati i seguenti Fattori di Riduzione (RF):

1. Fattore di Riduzione = 1,00 quando le segnaletiche richieste sono presenti, di alta qualità e in buone condizioni;
2. Fattore di Riduzione = 0,95 quando le segnaletiche richieste sono presenti ma di qualità media o scarsa e richiedono manutenzione;
3. Fattore di Riduzione = 0,90 quando mancano le segnaletiche critiche richieste.

3.1 Infrastruttura di studio: Strada statale 16

La strada statale 16 Adriatica è una delle principali arterie viarie italiane, con una lunghezza superiore ai mille chilometri, che collega la città di Padova a Otranto, seguendo il litorale adriatico. Il suo tracciato attraversa sei regioni Veneto, Emilia-Romagna, Marche, Abruzzo, Molise e Puglia, toccando numerosi capoluoghi di provincia e importanti località turistiche. Grazie alla sua estensione, è la strada statale più lunga della rete viaria italiana.

In particolare, il tratto di interesse analizzato in questa tesi riguarda la porzione della SS16 che attraversa la provincia di Padova. La strada ha origine nel centro della città, precisamente nell'attuale via Roma. Il km 0+000 è situato presso l'incrocio del Canton del Gallo, all'angolo sud-ovest del Palazzo del Bo, storica sede dell'università di Padova. Il tratto di competenza dell'Anas inizia al chilometro 4+430, in prossimità di un'intersezione semaforica, dove avviene la diramazione della tangenziale di Padova, appena fuori dal centro abitato.

L'intensa urbanizzazione del litorale adriatico e il crescente traffico veicolare hanno reso questa strada spesso congestionata e inadatta a funzioni di scorrimento veloce. Per ovviare a tali criticità, è stata affiancata dall'autostrada A13 Bologna-Padova, che, relativamente al tratto analizzato in questa tesi ne segue in buona parte il tracciato offrendo una viabilità più efficiente.

La Figura 3.1, ottenuta tramite il software Google Earth, mostra la rete stradale in esame, includendo le coordinate di inizio e fine della strada oggetto di studio. Nella rappresentazione sono evidenziate anche le principali arterie stradali dell'area, in particolare la già citata autostrada A13, insieme alle città di riferimento presenti nella stessa zona.

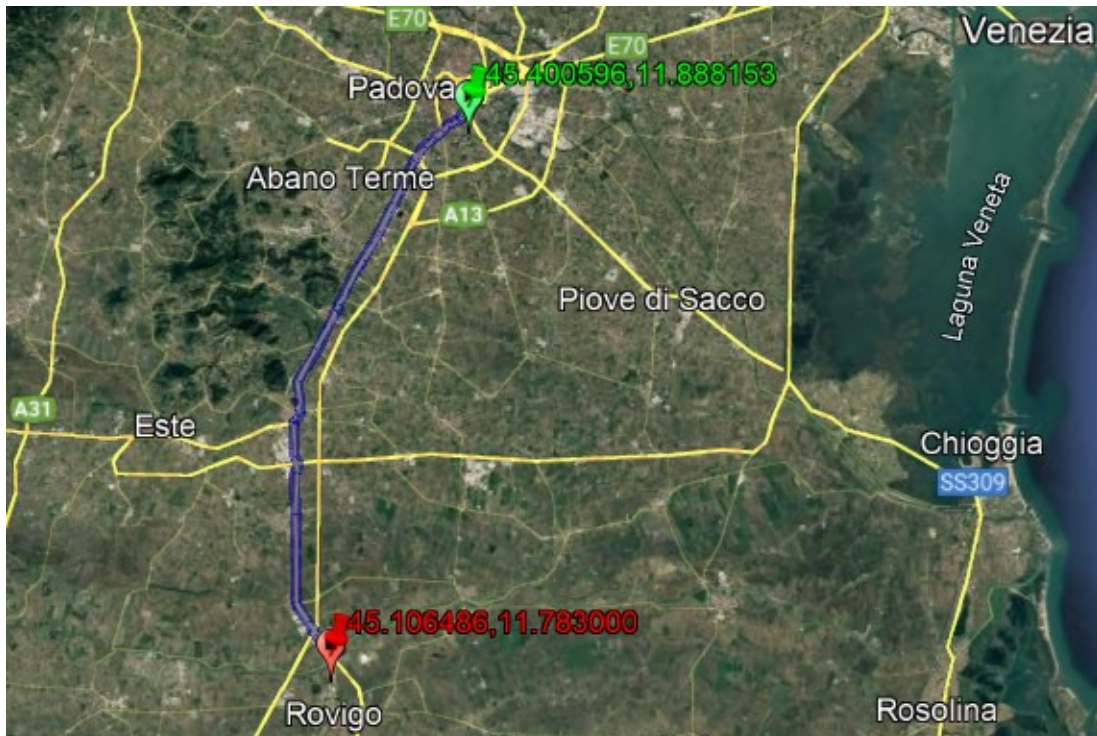


Figura 3.1 - SS 16 – Adriatica per il tratto in provincia di Padova
Source: Google Earth Pro

3.1.1 Analisi dell'incidentalità stradale e dei flussi di traffico

La prima fase di studio consiste nella creazione di un database contenente dati sugli incidenti stradali e sul traffico giornaliero medio annuo, supportata dalle informazioni messe a disposizione da ACI⁶⁶ e ANAS⁶⁷. A partire da questi dati, sono stati rilevati un totale di 168 incidenti lungo la rete stradale di 37,85km, considerando un periodo di riferimento di tre anni (2022, 2019 e 2018).

Gli incidenti sono stati analizzati lungo l'intera estensione della rete stradale, con una suddivisione dettagliata per ciascun chilometro. Inoltre, è stata effettuata una

⁶⁶ ACI (Automobile Club d'Italia), Localizzazione degli incidenti stradali
<https://lis.aci.it/#/home>

⁶⁷ ANAS (GRUPPO FS ITALIANE), Dati di traffico giornaliero annuale
<https://www.stradeanas.it/it/le-strade/osservatorio-del-traffico/dati-traffico-medio-giornaliero-annuale>

distinzione tra incidenti lesivi e mortali, permettendo di quantificare separatamente il numero di feriti e decessi. Nell'elaborato sono considerati complessivamente tali eventi; tuttavia, si deve sottolineare che questi dati sono parziali, poiché non rappresentano l'intero numero dei sinistri verificatisi. Infatti, i dati relativi agli incidenti registrati solo in caso di feriti o morti non sono esaustivi, poiché non considerano i sinistri non lesivi, ossia quelli che hanno causato esclusivamente danni alle cose e che non vengono trasmessi alle banche dati ISTAT e quindi conteggiati nelle statistiche. Nella tabella di seguito riportata, sono presentati i dati disponibili e la relativa localizzazione degli incidenti.

DA KM	A KM	2022					2019					2018				
		INCIDENTI	INC. MORTALI	I. TOT	M.	F.	INCIDENTI	INC. MORTALI	I. TOT	M.	F.	INCIDENTI	INC. MORTALI	I. TOT	M.	F.
0.0	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.0	2.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
2.0	3.0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
3.0	4.0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	2	0	0	0	0	0
4.0	5.0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0
5.0	6.0	1	0	1	0	1	2	0	2	0	2	0	0	0	0	0
6.0	7.0	3	0	3	0	4	2	0	2	0	4	4	0	4	0	6
7.0	8.0	2	0	2	0	2	4	0	4	0	10	10	0	10	0	26
8.0	9.0	2	0	2	0	3	1	0	1	0	1	3	0	3	0	4
9.0	10.0	2	0	2	0	2	2	0	2	0	3	0	0	0	0	0
10.0	11.0	1	0	1	0	1	3	0	3	0	4	1	1	2	1	3
11.0	12.0	3	0	3	0	4	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
12.0	13.0	1	0	1	0	1	2	0	2	0	2	2	0	2	0	2
13.0	14.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14.0	15.0	2	0	2	0	5	3	0	3	0	6	1	0	1	0	1
15.0	16.0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	3	0	3	0	3
16.0	17.0	1	1	2	1	1	2	1	3	1	1	0	0	0	0	0
17.0	18.0	1	0	1	0	2	3	0	3	0	6	4	0	4	0	11
18.0	19.0	1	1	2	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
19.0	20.0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
20.0	21.0	2	0	2	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21.0	22.0	3	0	3	0	3	2	0	2	0	2	3	0	3	0	3
22.0	23.0	1	0	1	0	3	1	0	1	0	2	4	0	4	0	5
23.0	24.0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	3	0	3	0	5
24.0	25.0	2	0	2	0	2	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
25.0	26.0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	5
26.0	27.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
27.0	28.0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	5	2	0	2	0	3
28.0	29.0	2	0	2	0	2	0	0	0	0	0	3	0	3	0	5
29.0	30.0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0	2	0	2
30.0	31.0	0	0	0	0	0	2	1	3	1	3	1	0	1	0	1
31.0	32.0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
32.0	33.0	3	0	3	0	3	0	0	0	0	0	1	0	1	0	3
33.0	34.0	1	0	1	0	1	1	1	2	1	0	2	0	2	0	2
34.0	35.0	1	0	1	0	6	1	0	1	0	2	1	0	1	0	1
35.0	36.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
36.0	37.0	4	0	4	0	4	2	0	2	0	2	2	0	2	0	4
37.0	37.9	4	0	4	0	7	5	0	5	0	10	4	0	4	0	6

Tabella 3.9 - Localizzazione incidenti stradali 2022,2019,2018 – SS 16 Adriatica (PD)

Source: ACI

Dall'analisi di tali informazioni, emerge che la tratta maggiormente interessata da eventi incidentali si colloca tra il chilometro 7 e il chilometro 8, con un totale di 16 sinistri nei 3 anni analizzati. In particolare, attraverso un'analisi dettagliata, si individua come punto critico un'intersezione a raso regolata da un impianto semaforico, situata al chilometro 7+300 della strada statale oggetto di studio, in corrispondenza dell'intersezione con via Manzoni (Fig. 3.2). Tuttavia, circa un centinaio di metri prima di questa intersezione, si riscontra la presenza di un passaggio pedonale collocato in un'area che potrebbe definirsi inaspettata, in quanto lungo i margini stradali non sono presenti marciapiedi o percorsi pedonali dedicati. Di conseguenza, nonostante la presenza della segnaletica orizzontale e verticale e di una zona protetta lungo il margine stradale per l'attesa dei pedoni, tale passaggio potrebbe rappresentare un punto particolarmente critico per la sicurezza stradale (Fig. 3.3).



Figura 3.2 - Intersezione tra SS16 e Via Manzoni



Figura 3.3 - Attraversamento pedonale lungo la SS16

La seconda area per livelli di incidentalità si registra negli ultimi 850 metri della tratta analizzata, ossia tra il chilometro 37 e il chilometro 37+850, dove si contano 13 incidenti nei 3 anni analizzati. Anche in questo tratto è presente un'intersezione a raso che, a differenza della precedente, risulta priva di regolazione semaforica. Inoltre, in tale intersezione si innesta una strada laterale, determinando un incremento della complessità geometrica e funzionale dell'area. La situazione è ulteriormente aggravata dalla presenza di una segnaletica carente, sia orizzontale che verticale (Fig. 3.4). Un'analisi più approfondita di tale criticità sarà oggetto di discussione nelle pagine successive.



Figura 3.4 - Intersezione "SS16 – Strada provinciale 1
Immagine tratta da "Google Maps"

Per quanto riguarda l'analisi del traffico giornaliero medio annuo si farà riferimento ai dati messi a disposizione da ANAS relativi a due specifici tratti della strada statale 6, come illustrato nella Figura 3.5: il primo tratto si trova nel comune di Due Carrare, con i dati resi disponibili tramite la postazione 230, situata al chilometro 14+541. L'estensione del territorio comunale di Due Carrare va invece, dal chilometro 12,2 al chilometro 14,6. Il secondo tratto è situato nel comune di Stanghella, con i dati provenienti dalla postazione 231, collocata al chilometro 31+401. Il territorio di Stanghella si estende dal chilometro 29.3 al chilometro 35.9. Questi dati provengono dalle sezioni di conteggio presenti nei due comuni, tramite le quali è stato registrato il numero di veicoli, distinti in leggeri⁶⁸ e pesanti⁶⁹. In seguito, nella Figura 3.6, è illustrato il punto di rilievo presente nel comune di Stanghella.

⁶⁸ Motocicli e veicoli a 2 assi con altezza minore/uguale a 1,30m in corrispondenza del primo asse.

⁶⁹ Veicoli a 2 assi con altezza > 1,30m in corrispondenza del primo asse e, veicoli e convogli costruiti a 3 o più assi.

<https://www.stradeanas.it/it/classificazione-mezzi>

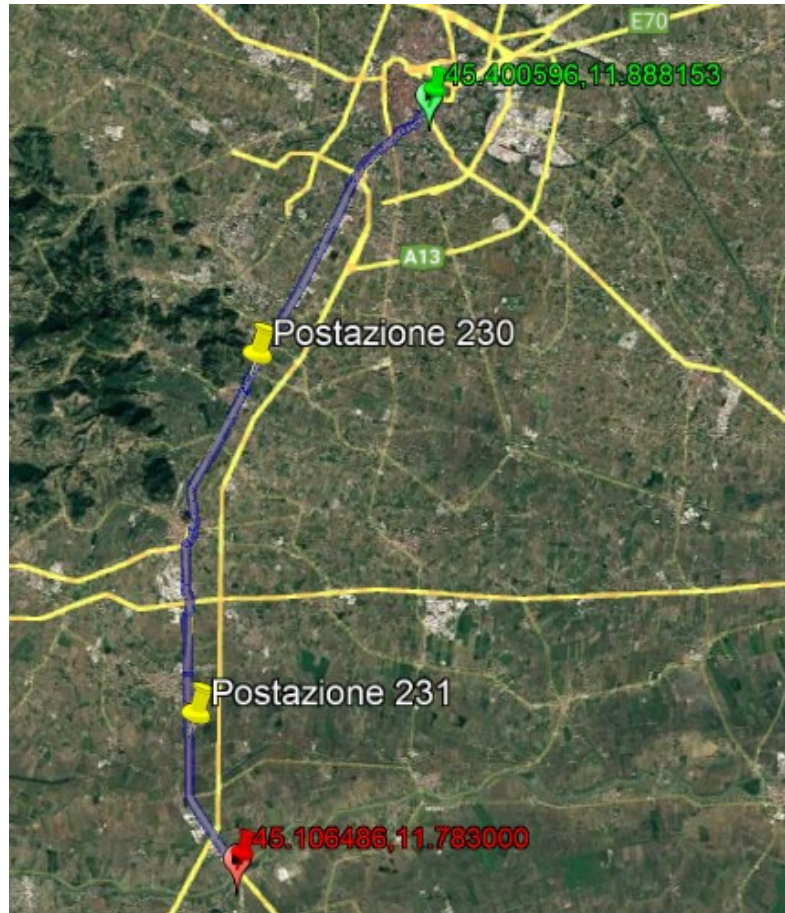


Figura 3.5 - Localizzazione delle postazioni lungo la SS16



Figura 3.6 - Punto di rilievo nel comune di Stanghella

Successivamente, è stata calcolata la media del traffico veicolare per ciascuna sezione, rapportando il numero totale dei veicoli registrati ai giorni effettivi di monitoraggio.

$$AADT = \frac{\textit{veicoli totali}}{\textit{giorni rilevati}}$$

L'analisi è stata effettuata considerando, per ciascun comune, i dati relativi agli ultimi tre anni, come si può osservare nella Tabella 3.10. Poiché tali dati rappresentano l'unica base informativa reperibile, per stimare il traffico nei comuni rimanenti si procederà mediante un'analisi proporzionale, basata su diversi criteri. In particolare, si terrà conto della distribuzione della popolazione e dell'estensione territoriale dei comuni ⁷⁰ attraversati dalla strada statale 16 nella provincia di Padova, ovvero: Albignasego, Montegrotto Terme, Due Carrare, Battaglia Terme, Monselice, Solesino, Stanghella e Boara Pisani.

Per garantire una stima più precisa, si effettuerà un'ulteriore proporzione prendendo come riferimento una strada statale con caratteristiche fisiche e amministrative simili, ossia una strada a carreggiata unica con doppio senso di marcia situata anch'essa nella provincia di Padova: la strada statale 53 nel comune di Carmignano di Brenta.

Nello specifico, il calcolo del traffico giornaliero medio annuale (AADT) per ciascun comune privo di dati reali è stato effettuato utilizzando l'AADT noto di Due Carrare, Stanghella e Carmignano di Brenta, rapportato al rispettivo numero di abitanti e applicato proporzionalmente alla popolazione dei comuni privi di dati. Tale metodologia può essere espressa dalla seguente equazione:

⁷⁰ tuttitalia, statistiche demografiche in provincia di Padova
<https://www.tuttitalia.it/veneto/provincia-di-padova/>

$$\frac{\text{AADT noto}}{\text{abitanti del comune con traffico noto}} = \frac{X}{\text{abitanti del comune incognito}}$$

Dove X rappresenta il valore ignoto dell'AADT del comune da stimare.

Ad esempio, per il comune di Monselice, assumendo Due Carrare come riferimento, l'equazione diventa:

$$\frac{21.703}{8.980} = \frac{X}{17.153}$$

Da cui si ottiene un valore stimato di X= 41.456 veicoli/giorno.

Lo stesso procedimento è stato applicato utilizzando come riferimento i comuni di Stanghella e Carmignano di Brenta, ottenendo per Monselice valori stimati rispettivamente pari a 56.318 e 34.257 veicoli/giorno (Tabella 3.12).

Successivamente, è stata calcolata la media aritmetica dei tre valori ottenuti, determinando un valore finale di 44.010 veicoli/giorno per il comune di Monselice come mostra la tabella 3.13.

Tale metodo di stima è stato applicato a tutti i comuni lungo la Strada Statale 16 e ha dimostrato un buon grado di affidabilità. Infatti, confrontando i valori stimati con quelli reali forniti da ANAS per i comuni di Due Carrare, Stanghella e Carmignano di Brenta, si è osservata una sostanziale coerenza. Tuttavia, per i comuni di Due Carrare e Stanghella, che rappresentano i tratti di interesse per l'analisi, si è deciso di adottare direttamente i valori ufficiali forniti da ANAS anziché quelli stimati, poiché ritenuti più accurati.

Pertanto, il traffico giornaliero medio annuo di tutti i comuni è stato stimato proporzionalmente, utilizzando i dati rilevati nei tratti disponibili della strada statale

16, corrispondenti ai comuni di Due Carrara e Stanghella, e i dati relativi alla strada statale 53, riferiti al comune di Carmignano di Brenta. I risultati di questa analisi sono riportati nelle tabelle sottostanti, in particolare nella Tabella 3.13, che riporta il valore finale risultante da tale elaborazione.

2023								
TRATTA	STRADA	KM	COMUNE	PROVINCIA	GIORNI	LEGGERI	PESANTI	AADT
230	SS16	14.541	Due Carrare	PD	298	22573	170	22743
231	SS16	31.401	Stanghella	PD	334	12425	808	13233
2022								
TRATTA	STRADA	KM	COMUNE	PROVINCIA	GIORNI	LEGGERI	PESANTI	AADT
231	SS16	31.401	Stanghella	PD	335	12590	822	13412
2021								
TRATTA	STRADA	KM	COMUNE	PROVINCIA	GIORNI	LEGGERI	PESANTI	AADT
230	SS16	14.541	Due Carrare	PD	289	20882	344	21226
231	SS16	31.401	Stanghella	PD	284	12990	966	13956
2017								
TRATTA	STRADA	KM	COMUNE	PROVINCIA	GIORNI	LEGGERI	PESANTI	AADT
230	SS16	14.541	Due Carrare	PD	360	20735	406	21141

Tabella 3.10 - Dati TGM dei comuni "Stanghella e Due Carrare" (PD)
Source: ANAS

COMUNE: Carmignano di Brenta				
ANNO	GIORNI	AADT	ABITANTI	MEDIA
2023	348	14208	7421	14821
2022	357	14103		
2019	348	16151		

Tabella 3.11 - Dati TGM – SS 53 Carmignano di Brenta (PD)
Source: ANAS

COMUNE	ABITANTI	DAL KM	AL KM	AADT in riferimento a:		
				Due Carrare	Stanghella	Carmignano di Brenta
PADOVA (precedente A13)	103751	0	1.2	250751	340643	207204
PADOVA (successiva A13)	51876	1.2	4.4	125375	170322	103602
ALBIGNASEGO	27119	4.4	7.1	65543	89039	54160
MONTEGROTTO TERME	11477	7.1	12.2	27738	37682	22921
DUE CARRARE	8980	12.2	14.6	21703	29484	17934
BATTAGLIA TERME	3785	14.6	17.4	9148	12427	7559
MONSELICE	17153	17.4	27.7	41456	56318	34257
SOLESINO	6733	27.7	29.3	16273	22106	13447
STANGHELLA	4122	29.3	35.9	9962	13534	8232
BOARA PISANI	2372	35.9	37.85	5733	7788	4737

Tabella 3.12 - Dati TGM – SS 16 Adriatica (PD)

COMUNE	DAL KM	AL KM	AADT medio
PADOVA (precedente A13)	0	1.2	266199
PADOVA (successiva A13)	1.2	4.4	133100
ALBIGNASEGO	4.4	7.1	69581
MONTEGROTTO TERME	7.1	12.2	29447
DUE CARRARE	12.2	14.6	21703
BATTAGLIA TERME	14.6	17.4	9711
MONSELICE	17.4	27.73	44010
SOLESINO	27.73	29.3	17275
STANGHELLA	29.3	35.9	13534
BOARA PISANI	35.9	37.85	6086

Tabella 3.13 - Valore medio TGM dei tre comuni– SS 16 Adriatica (PD)

Dai dati analizzati, si osserva come il tratto stradale situato nel comune di Padova sia stato suddiviso in due sezioni distinte: una precedente e una successiva allo svincolo che conduce all'autostrada A13. La prima sezione, compresa tra il chilometro 0 e il chilometro 1.2, registra un traffico medio giornaliero (AADT) di circa 270.000 veicoli. Tale valore è stato stimato attraverso una proporzione basata su metà della popolazione residente nella città di Padova. Nella sezione successiva, compresa tra il chilometro 1.2 e il chilometro 4.4, il valore dell'AADT risulta ulteriormente dimezzato, attestandosi intorno ai 140.000 veicoli. Questa riduzione è stata ipotizzata considerando una suddivisione del traffico tra coloro che proseguono la strada statale 6 e coloro che imboccano l'autostrada A13. Questa scelta da parte degli utenti può essere influenzata da diversi fattori, tra cui i tempi di percorrenza, che rappresentano una variabile determinante nella decisione di preferire un percorso rispetto a un altro, nonché dalla presenza o meno di un pedaggio, che può incidere sulla convenienza economica del tragitto. In particolare, l'autostrada A13 offre tempi di percorrenza inferiori grazie a una maggiore velocità di scorrimento, ma comporta un costo economico dovuto al pedaggio. Al contrario, la strada statale 16, pur avendo tempi di percorrenza più elevati, risulta priva di pedaggio, rappresentando così una scelta preferibile per chi intende ridurre i costi di spostamento a discapito della rapidità.

Infine, si nota una progressiva diminuzione del traffico medio giornaliero all'aumentare della distanza dal centro urbano di Padova. Questo fenomeno può essere spiegato dalla riduzione della densità abitativa nei comuni limitrofi e dalla tendenza del traffico a muoversi prevalentemente in direzione opposta, ossia dai paesi periferici verso la città. Questa ipotesi può essere giustificata da diversi fattori, tra cui la concentrazione delle opportunità lavorative e dei servizi nella provincia.

Nella seconda fase dello studio, che prosegue con l'elaborazione dei dati precedentemente trattati, si approfondisce l'analisi dei due metodi: reattivo e proattivo. Come già illustrato nel capitolo precedente, entrambi i metodi prevedono, nel loro processo, una fase di segmentazione.

3.1.2 Metodo reattivo

Per quanto concerne il metodo reattivo, come illustrato nella tabella 3.14, è stata effettuata una segmentazione lungo un tratto di 37,85 chilometri. Tale segmentazione è stata realizzata seguendo i parametri suggeriti dal manuale NWA, il quale consiglia di suddividere le sezioni in modo approssimativo tra due intersezioni successive. I punti di inizio e fine di ciascuna sezione sono definiti dai punti medi delle intersezioni stesse. Ogni sezione può essere ulteriormente suddivisa in sottosezioni omogenee, in base a criteri quali la curvatura, il numero di corsie e il volume di traffico. Per la strada primaria extraurbana a carreggiata unica, le lunghezze delle sezioni consigliate sono comprese tra i 2 e i 5 km, per una rappresentazione adeguata dell'entità del segmento. Successivamente, in base all'estensione della sezione, è stata effettuata un'interpolazione dei dati relativi al numero di incidenti e al traffico giornaliero.

Infine, si procede all'elaborazione di una classifica e al calcolo del punteggio complessivo relativo a ciascuna sezione, utilizzando un foglio Excel fornito dal manuale NWA, basato sulle soglie determinate attraverso gli intervalli di confidenza del tasso di incidentalità per la classificazione del rischio. Questi intervalli vengono determinati dal valore osservato degli incidenti (k) in una sezione durante il periodo di analisi e dal livello di confidenza (α), che viene generalmente impostato a 0,05, corrispondente a una confidenza del 95%. Tale livello indica la percentuale di sicurezza che il tasso reale di incidente si trovi all'interno di un determinato intervallo. Inoltre, un aspetto di particolare rilevanza in questa analisi è il tasso di incidenti (R), che nel caso specifico risulta pari a 9,06 incidenti per 10^8 veicolo-chilometro [acc/ 10^8 veh*km]. Questo valore rappresenta una misura fondamentale per valutare la sicurezza della sezione stradale analizzata, poiché esprime il numero di incidenti in relazione all'esposizione al traffico.

Tale dato è stato calcolato tramite la seguente formula, che tiene conto del numero di incidenti (N), del traffico medio giornaliero (AADT), della lunghezza della sezione stradale (L) e del periodo di osservazione (y):

$$R = \frac{N * 10^8}{365,25 * AADT * y * L} = \frac{168 * 10^8}{365,25 * 44.553 * 3 * 37,850} = 9,06 \text{ acc}/10^8 \text{ veh} * \text{km}$$

Gli intervalli di confidenza vengono calcolati utilizzando una distribuzione statistica adeguata per i conteggi di eventi rari, come la distribuzione di Poisson, attraverso le relative formule:

$$\begin{aligned} \text{Intervallo di confidenza inferiore} &= \text{chisquare} \frac{\left[\frac{\alpha}{2}, 2 * k \right]}{2} \\ \text{Intervallo di confidenza superiore} &= \text{chisquare} \frac{\left[1 - \frac{\alpha}{2}, 2 * (k + 1) \right]}{2} \end{aligned}$$

Si ricorda che, il metodo consiste nel confrontare i valori osservati di R con i limiti degli intervalli, al fine di valutare il rischio associato a ciascuna sezione stradale, tenendo conto della variabilità accettabile, legata al livello di confidenza. Se il tasso osservato di incidenti R è inferiore all'intervallo di confidenza inferiore, la sezione presenta un basso rischio. Se il tasso R rientra all'interno dell'intervallo di confidenza, il rischio è medio. Infine, se il tasso R supera l'intervallo di confidenza superiore, la sezione è classificata come ad alto rischio. Come già menzionato, si sottolinea che il valore del tasso di incidentalità R è pari a **9,06 [acc/10⁸veh*km]**.

APPROCCIO REATTIVO (PD)								Final ranking
Start point	End point	Accidents	AADT	Lower Accident CI	Upper Accident CI	Lower Acc. Rate	Upper Acc. Rate	Status
0	1.2	0	266'199	0	4	0	1.14	Low Risk
1.2	3	2	133'100	1	8	0.38	3.05	Low Risk
3	4.4	3	133'100	1	9	0.49	4.41	Low Risk
4.4	7.1	16	69'581	10	26	4.86	12.63	Unsure
7.1	11	31	29'447	22	45	17.48	35.76	High Risk
11	12.2	4	29'447	2	11	5.17	28.41	Unsure
12.2	14.6	8	21'703	4	16	7.01	28.03	Unsure
14.6	15.8	7	9'711	3	15	23.49	117.47	High Risk
15.8	17.4	13	9'711	7	23	41.11	135.09	High Risk
17.4	20.5	10	44'010	5	19	3.34	12.71	Unsure
20.5	21.6	5	44'010	2	12	3.77	22.62	Unsure
21.6	22.5	5	44'010	2	12	4.61	27.65	Unsure
22.5	25.4	11	44'010	6	20	4.29	14.3	Unsure
25.4	30.1	13	17'275	7	23	7.87	25.85	Unsure
30.1	32.7	9	13'534	5	18	12.97	46.68	High Risk
32.7	35.9	10	13'534	5	19	10.54	40.04	High Risk
35.9	37.85	21	6'086	13	33	99.97	253.77	High Risk

Tabella 3.14 - Classificazione in base al tasso di incidentalità
Source: file excel "NWA-reactive_Tool"

Dall'analisi della tabella si evince come i punti critici precedentemente individuati attraverso un'osservazione dettagliata su Google Earth, corrispondenti ad aree potenzialmente a rischio, ovvero alla chilometrica 7+300 e nell'ultimo segmento alla chilometrica 37+800, siano confermati anche dal metodo reattivo, che ne indica uno stato di elevata criticità. Questi due punti sono stati gli unici ad alto rischio ad essere stati analizzati, sebbene, non rappresentino le uniche zone problematiche, poiché ne vengono individuate anche altre potenzialmente a rischio.

Nel contesto del metodo reattivo per la classificazione del rischio, è stato utilizzato il parametro del tasso di incidentalità come principale indicatore per la valutazione del rischio. Questo parametro è stato preferito rispetto alla densità degli incidenti, come indicato dal manuale Network Wide Road Safety Assessment, poiché, oltre a considerare il numero degli incidenti, tiene conto anche dei flussi di traffico. La densità degli incidenti, pur rappresentando una misura di riferimento utile, non tiene conto di questo aspetto cruciale, risultando quindi meno completa per una valutazione accurata del rischio.

A seguito di queste considerazioni, è stato effettuato un confronto tra i risultati ottenuti tramite il tasso di incidentalità (Tab. 3.14) e quelli derivanti dalla densità degli incidenti (Tab. 3.15).

La tabella seguente 3.15 evidenzia innanzitutto l'assenza della colonna relativa ai flussi di traffico, in quanto non presi in considerazione nel calcolo della densità. Inoltre, si osserva che, delle 17 sezioni stradali analizzate, solo tre sono state classificate con un rischio specifico: due con rischio alto e una con rischio basso, mentre tutte le altre sono state classificate come rischio intermedio. I tratti stradali ad alto rischio corrispondono a quelli precedentemente designati come critici (ovvero quelli relativi alla chilometrica 7+300 e 37+800). Tuttavia, tale riscontro era prevedibile, poiché questi tratti sono caratterizzati da un elevato numero di incidenti, che rappresenta l'unico indicatore di pericolo preso in considerazione nel calcolo della densità.

Alcune sezioni stradali, pur essendo classificate come ad alto rischio nella valutazione basata sul tasso di incidentalità (Tab. 3.14), risultano invece a rischio intermedio nella classificazione fondata sulla densità degli incidenti (Tab. 3.15). Questo potrebbe indicare che il metodo basato sulla densità tende a sottostimare il livello di pericolosità.

Un esempio di tale discrepanza si riscontra nel tratto compreso tra il chilometro 14,6 e 17,4 e tra il chilometro 30,1 e 35,9.

Al contrario, altre sezioni, sebbene valutate a basso rischio secondo il tasso di incidentalità, appaiano a rischio intermedio quando si considera la densità degli incidenti. In questo caso, il metodo basato sulla densità potrebbe sovrastimare il livello di pericolosità, portando a una valutazione più rigorosa del rischio. Un esempio di questa situazione è osservabile nel tratto compreso tra il chilometro 1,2 e 4,4.

Queste differenze possono essere spiegate dalle caratteristiche specifiche dei due indicatori. La densità degli incidenti considera il numero di sinistri per unità di lunghezza della strada, senza però tener conto del volume di traffico. Di conseguenza, tende ad enfatizzare il rischio nei tratti più brevi e con incidenti concentrati, anche se il numero di veicoli che vi transitano è ridotto. Al contrario, il tasso di incidentalità include anche i flussi veicolari, valutando il numero di incidenti rispetto alla lunghezza del tratto e al volume di traffico e questo approccio può portare a una sottostima del rischio in aree con bassi volumi di traffico.

Pertanto, l'impiego congiunto di entrambe le metriche potrebbe offrire una valutazione più completa e bilanciata del livello di pericolosità di una rete stradale.

APPROCCIO REATTIVO (PD)							Final ranking
Start point	End point	Accidents	Lower Accident CI	Upper Accident CI	Lower Acc. Density	Upper Acc. Density	Status
0	1.2	0	0	4	0	1.11	Low Risk
1.2	3	2	1	8	0.19	1.48	Unsure
3	4.4	3	1	9	0.24	2.14	Unsure
4.4	7.1	16	10	26	1.23	3.21	Unsure
7.1	11	31	22	45	1.88	3.85	High Risk
11	12.2	4	2	11	0.56	3.06	Unsure
12.2	14.6	8	4	16	0.56	2.22	Unsure
14.6	15.8	7	3	15	0.83	4.17	Unsure
15.8	17.4	13	7	23	1.46	4.79	Unsure
17.4	20.5	10	5	19	0.54	2.04	Unsure
20.5	21.6	5	2	12	0.61	3.64	Unsure
21.6	22.5	5	2	12	0.74	4.44	Unsure
22.5	25.4	11	6	20	0.69	2.3	Unsure
25.4	30.1	13	7	23	0.5	1.63	Unsure
30.1	32.7	9	5	18	0.64	2.31	Unsure
32.7	35.9	10	5	19	0.52	1.98	Unsure
35.9	37.85	21	13	33	2.22	5.64	High Risk

Tabella 3.15 - Classificazione in base alla densità degli incidenti
Source: file excel "NWA-reactive_Tool"

Per questa classificazione, sono state applicate le stesse soglie di confidenza utilizzate per il tasso di incidentalità. Tuttavia, queste soglie sono state calcolate in base alla densità degli incidenti, che si ottiene tramite la formula:

$$d = \frac{f}{L} = \frac{168}{3} * \frac{1}{37,850} = 1,47 \text{ (acc/anno * km)}$$

Dove f rappresenta la frequenza di incidentalità, calcolata come il rapporto tra il numero totale di incidenti (168) per il periodo di analisi (3 anni), e successivamente dividendo per la lunghezza L totale della sezione stradale (37,850 km). Questo calcolo ha portato a un valore di densità pari a 1,47 incidenti lesivi annui per chilometro.

3.1.3 Metodo proattivo

In riferimento al secondo metodo, ossia quello proattivo, dalla tabella 3.16 emerge una segmentazione che si differenzia da quella adottata nel metodo precedente. Questo approccio prevede la suddivisione della rete stradale in sezioni omogenee, la cui lunghezza non dovrebbe superare i 2 chilometri né essere inferiore a 200 metri, secondo quanto riportato nel manuale NWA.

Tuttavia, nel caso specifico, è stato utilizzato un segmento di circa 2,2km, che va dalla chilometrica 22,6 a 24,8 e un segmento di 2,4km dalla chilometrica 30,1 e 32,5. Questa scelta è stata effettuata al fine di mantenere il carattere omogeneo della valutazione a livello di rete.

Le sezioni omogenee sono definite in base a variabili quali il volume di traffico, il numero di corsie, i limiti di velocità e le caratteristiche del terreno. Un ulteriore criterio adottato consiste nell'allineare i punti iniziali e finali dei segmenti definiti con il metodo reattivo a quelli del metodo proattivo, al fine di semplificare l'integrazione dei risultati ottenuti dalle due metodologie. Questo è stato possibile solo quando le condizioni lo consentivano con approssimazione accettabile; in caso contrario si è proceduto con una segmentazione specifica per ciascun metodo, prevedendo successivamente, in fase di integrazione, un'ulteriore suddivisione dei segmenti.

Per quanto riguarda le strade extraurbane a carreggiata unica, la segmentazione viene effettuata considerando una singola valutazione che copre entrambi i sensi di marcia. Questa scelta è motivata dal fatto che una carenza di sicurezza in una direzione può generare incidenti che coinvolgono veicoli provenienti da entrambe le direzioni.

Successivamente sono stati stimati i fattori di riduzione per ciascun parametro (larghezza delle corsie, la presenza e le caratteristiche del margine stradale, la curvatura del tracciato, la densità degli accessi alle proprietà, intersezioni, i possibili

conflitti tra pedoni/ciclisti e veicoli motorizzati, larghezza e tipo di banchina, corsie di sorpasso e la qualità dei dispositivi di segnalazione verticale e segnaletica orizzontale) e calcolato il punteggio totale di ogni sezione tramite il foglio Excel fornito dal manuale NWA. Una volta determinato il punteggio finale per ciascuna sezione, questa viene assegnata a una specifica classe di sicurezza in base a soglie differenti, stabilite per ogni tipologia stradale (autostrade, strade extraurbane a carreggiata unica e a carreggiata separata).

Nel caso delle strade extraurbane a carreggiata unica, oggetto del presente studio, il manuale NWA classifica il livello di rischio come segue: basso (classe 1) per punteggi pari o superiori all'80%, codificato con il colore verde, intermedio (classe 2) per punteggi compresi tra il 50% e l'80%, identificato con il colore giallo e alto (classe 3) per punteggi inferiori al 50%, codificato con il colore rosso.

Nella tabella seguente, si osserva che, nei tratti identificati come ad alto rischio attraverso il metodo proattivo, non sempre vi è una corrispondenza con i risultati ottenuti mediante il metodo reattivo. Tuttavia, si riscontrano alcune coincidenze significative.

La prima corrispondenza si rileva tra il chilometro 9.5 e il chilometro 9.9, in prossimità di un'intersezione a tre rami priva di impianto semaforico e di corsie dedicate alla manovra di svolta. Una seconda coincidenza emerge tra il chilometro 15 e il chilometro 16.2, in corrispondenza del centro abitato di Battaglia Terme, dove si registra un'elevata densità di accessi laterali e attraversamenti pedonali, oltre alla presenza di marciapiedi lungo l'intero tratto. Infine, si osserva un'ulteriore concordanza nell'ultimo tratto, già descritto in precedenza e soggetto ad un'analisi ulteriore e dettagliata nelle pagine successive.

Per quanto riguarda invece le discrepanze riscontrate tra il metodo proattivo e il metodo reattivo nell'analisi del rischio stradale, emergono le seguenti differenze: la prima divergenza si osserva nel tratto compreso tra il chilometro 30,1 e il chilometro 35,9. In questa sezione, il metodo reattivo indica un livello di rischio elevato, mentre il metodo proattivo rileva un rischio intermedio. Tale differenza può essere attribuita a diversi fattori. In particolare, nel metodo reattivo, il livello di pericolosità è influenzato direttamente dal numero di incidenti registrati: tra il chilometro 30,1 e 32,7 si sono verificati 9 incidenti, mentre tra il chilometro 32,7 e 35,9 ne sono stati rilevati 10, nell'arco temporale dei tre anni analizzati. La lunghezza di tali sezioni è rispettivamente di 2,6km e 3,2km. Tali valori risultano essere relativamente omogenei rispetto alle altre tratte analizzate. Tuttavia, ciò che contribuisce ad aumentare il rischio nel metodo reattivo è il volume di traffico significativamente inferiore agli altri segmenti, pari a 13.534 veicoli al giorno. Questo valore più basso, a fronte di un numero consistente di sinistri, fa sì che l'indice di pericolosità risulti più elevato. Nel metodo proattivo, invece, lo stesso tratto è classificato a rischio intermedio, quindi con un punteggio compreso tra il 50% e l'80%. È opportuno sottolineare che i valori ottenuti sono comunque prossimi al limite inferiore di questa fascia di rischio: i punteggi rilevati lungo il tratto in questione sono pari a 52.9, 54.2, 51.4. Questo suggerisce che, sebbene il metodo proattivo indichi un rischio intermedio, il livello di pericolosità rimane significativo. Tra le principali criticità emerse si evidenziano l'assenza di illuminazione pubblica lungo il tratto, la mancanza di barriere di sicurezza (*guardrail*) ai margini stradali, che aumenta il rischio di uscita di carreggiata con possibile caduta nei pendii adiacenti, e la conformazione prevalentemente rettilinea del tracciato, che favorisce l'aumento della velocità dei veicoli, incrementando ulteriormente il pericolo.

Una seconda discrepanza significativa si rileva nel tratto tra il chilometro 17,4 e il chilometro 20,5. Secondo il metodo reattivo, questa sezione è classificata come a rischio intermedio, con un totale di 10 incidenti registrati nei tre anni analizzati e un volume di traffico pari a 44.010 veicoli al giorno. Al contrario, il metodo proattivo assegna a questo tratto un livello di rischio basso. Tale differenza può essere spiegata dalle caratteristiche infrastrutturali della strada: il tratto è dotato di un'intersezione a rotonda che separa fisicamente i flussi di traffico in ingresso e in uscita, la presenza di banchine ampie lungo l'intero segmento e l'installazione di barriere di sicurezza su entrambi i lati della carreggiata. Questi elementi di mitigazione del rischio, considerati nel metodo proattivo, contribuiscono a una valutazione di minore pericolosità, nonostante il numero di incidenti registrati sia rilevante.

È importante evidenziare che le differenze tra i due approcci derivano dalla diversa metodologia adottata nella valutazione del rischio. Il metodo reattivo, basandosi prevalentemente sull'analisi storica degli incidenti, tende a enfatizzare il rischio in aree che hanno già registrato un'elevata sinistrosità, senza considerare in maniera approfondita le caratteristiche geometriche e infrastrutturali della strada. Di contro, il metodo proattivo si concentra sull'analisi preventiva dei fattori di rischio strutturali e ambientali, fornendo una valutazione più articolata che tiene conto delle misure di sicurezza esistenti e delle condizioni geometriche del tracciato.

APPROCCIO PROATTIVO (PD)				Final ranking	
Section code	Start point (km)	End point (km)	Input Length (km)	Punteggio	Status
1	3.0	4.4	1.4	63.1	Intermediate risk
2	4.4	4.6	0.2	62.1	Intermediate risk
3	4.6	5.1	0.5	49.2	High Risk
4	5.2	6.1	0.9	57.7	Intermediate risk
5	6.2	7.1	0.9	72	Intermediate risk
6	7.1	7.4	0.3	52.6	Intermediate risk
7	7.5	8.2	0.7	54.2	Intermediate risk
8	8.2	8.5	0.3	59	Intermediate risk
9	8.5	9.4	0.9	64.2	Intermediate risk
10	9.5	9.9	0.4	47.7	High Risk
11	10.0	10.6	0.6	53.6	Intermediate risk
12	10.6	11.0	0.4	64.9	Intermediate risk
13	11.0	11.6	0.6	59.4	Intermediate risk
14	11.6	12.2	0.6	68.8	Intermediate risk
15	12.3	14.0	1.7	76.1	Intermediate risk
16	14.0	14.2	0.2	68.4	Intermediate risk
17	14.2	14.9	0.7	58.7	Intermediate risk
18	15.0	15.8	0.8	49.4	High Risk
19	15.8	16.2	0.4	45.9	High Risk
20	16.3	17.4	1.1	61	Intermediate risk
21	17.5	17.8	0.3	64.4	Intermediate risk
22	17.8	19.7	1.9	74.5	Intermediate risk
23	19.8	20.2	0.4	80.3	Low Risk
24	20.2	20.5	0.3	85.3	Low Risk
25	20.5	20.7	0.2	85.8	Low Risk
26	20.7	21.6	0.9	52.9	Intermediate risk
27	21.7	22.5	0.8	45.2	High Risk
28	22.6	24.8	2.2	54.4	Intermediate risk
29	24.9	26.2	1.3	79	Intermediate risk
30	26.3	27.4	1.1	62.9	Intermediate risk
31	27.5	28.9	1.4	51.3	Intermediate risk
32	29.0	30.1	1.1	57.4	Intermediate risk
33	30.1	32.5	2.4	69.8	Intermediate risk
34	32.5	32.7	0.2	56.6	Intermediate risk
35	32.7	33.8	1.1	52.9	Intermediate risk
36	33.8	34.6	0.8	54.2	Intermediate risk
37	34.6	35.9	1.3	51.4	Intermediate risk
38	35.9	36.4	0.5	64	Intermediate risk
39	36.5	37.0	0.5	50.9	Intermediate risk
40	37.0	37.9	0.9	49.7	High Risk

Tabella 3.16 - Approccio proattivo SS 16 (PD)
Source: file excel "NWA-proactive_Tool"

Il metodo proattivo applicato alla valutazione della sicurezza stradale rappresenta un approccio preventivo volto a identificare e mitigare i fattori di rischio prima che si verifichino incidenti. A differenza del metodo reattivo, che si basa sull'analisi storica degli incidenti, il metodo proattivo utilizza parametri oggettivi, come le caratteristiche geometriche e funzionali della strada, per stimare il livello di pericolosità di ciascuna sezione.

Nel caso specifico, la tabella 3.16 presentata evidenzia una classificazione del rischio ("High Risk", "Intermediate Risk", "Low Risk") associata a ciascuna sezione stradale analizzata. Tale classificazione è il risultato di un'analisi approfondita di diversi Reduction Factor (RF), ossia i fattori che incidono direttamente sulla probabilità e sulla gravità degli incidenti.

I Reduction Factor rappresentano variabili cruciali per determinare il livello di rischio e includono elementi geometrici, funzionali e di contesto. Tra i principali RF che influenzano la sicurezza stradale si possono citare:

- **Larghezza e tipologia della banchina:** Sezioni con banchine strette o assenti tendono ad avere un rischio maggiore, poiché limitano lo spazio di manovra in caso di emergenza.
- **Numero di accessi privati:** Un elevato numero di accessi aumenta l'interazione tra il traffico principale e i veicoli in entrata/uscita, incrementando così il potenziale di conflitto.
- **Attraversamenti pedonali:** La presenza o l'assenza di attraversamenti influisce sul rischio per gli utenti vulnerabili. Attraversamenti non protetti o non segnalati aumentano il pericolo per pedoni e ciclisti.

Nella tabella seguente, vengono evidenziate le differenze tra sezioni stradali con diversi livelli di rischio, si è scelto di analizzare tre tratti con uguale estensione

chilometrica, ciascuno rappresentativo di una specifica categoria di rischio: alto (High Risk), intermedio (Intermediate Risk) e basso (Low Risk).

L'obiettivo di questa analisi comparativa è quello di mettere in luce come specifici Reduction Factor (RF) incidano sul livello di pericolosità di una sezione stradale. I tre fattori di riduzione presi in considerazione sono: le caratteristiche del margine stradale con riferimento al Roadside Hazard Rating – RHR, la densità degli accessi alle proprietà private e i conflitti tra pedoni, ciclisti e veicoli motorizzati.

La tabella 3.17 seguente sintetizza l'analisi comparativa di queste tre sezioni stradali, evidenziando come la variazione di questi parametri sia strettamente correlata al livello di rischio complessivo.

Sezione [km]	15.8 - 16.2	19.8 - 20.2	10.6 - 11.0
Livello di rischio	High Risk	Low Risk	Intermediate risk
Caratteristiche margine stradale (RHR)	6	3	4
Densità degli accessi alle proprietà private	8	-	5
Conflitti tra pedoni/ciclisti e veicoli motorizzati	Marciapiede + 2 attraversamenti pedonali	-	-

Tabella 3.17 - analisi comparativa di tre sezioni stradali della SS16

L'analisi delle tre sezioni stradali conferma in modo chiaro l'influenza determinante dei Reduction Factor nel definire il livello di rischio di un tratto viario.

1. Caratteristiche del margine stradale (RHR):

- Nella sezione ad alto rischio (RHR = 6): la *clear zone* risulta inferiore o uguale a 1,52m e non sono presenti barriere di protezione laterale;
- Nella sezione a rischio intermedio (RHR = 4): la *clear zone* varia tra 1,52m e 3,05m.
- Nella sezione a basso rischio (RHR = 3), la *clear zone* è pari a circa 3,05m.

2. Densità degli accessi alle proprietà private:

-La densità elevata di accessi nella sezione ad alto rischio (8 accessi) genera numerosi punti di conflitto tra veicoli in transito e in manovra, aumentando la possibilità di collisioni a bassa velocità e tamponamenti.

-Al contrario, l'assenza di accessi nella sezione a basso rischio elimina queste interazioni critiche, garantendo un flusso veicolare più sicuro e regolare.

3. Conflitti tra pedoni, ciclisti e veicoli motorizzati:

- La sezione ad alto rischio presenta marciapiedi e due attraversamenti pedonali, creando ulteriori punti di interazione tra utenti vulnerabili e traffico motorizzato.

- Nelle sezioni a rischio intermedio e basso, l'assenza di attraversamenti o conflitti con pedoni riduce sensibilmente la complessità del sistema viario e, di conseguenza, la probabilità di incidenti.

L'analisi evidenzia come il livello di rischio di una sezione stradale sia strettamente legato a condizioni infrastrutturali e geometriche specifiche. In particolare, la sezione ad alto rischio è caratterizzata da margini insufficienti, elevata densità di accessi e presenza di attraversamenti pedonali, fattori che aumentano la probabilità di incidenti. La sezione a rischio intermedio presenta condizioni geometriche più favorevoli ma ancora con criticità locali, come una densità moderata di accessi privati o una clear zone limitata. Infine, la sezione a basso rischio offre una geometria ottimale, con margini ampi, assenza di accessi e assenza di conflitti pedonali, garantendo così un elevato livello di sicurezza.

I tassi di incidentalità diminuiscono dall'alto rischio al basso rischio in relazione ai Crash Modification Factors (CMF) dei parametri infrastrutturali analizzati. Nella

sezione ad alto rischio, il roadside hazard rating elevato (valore = 6) comporta un CMF = 1,24, aumentando il rischio, mentre nelle sezioni a rischio intermedio (rating = 4) e basso rischio (rating = 3) il $CMF \leq 1$ riflette condizioni più sicure.

Anche la densità degli accessi incide significativamente: se non ci sono accessi, il CMF = 1, ma con 12 accessi il CMF sale a 1,73, aumentando il tasso di incidentalità con un fattore di riduzione di 0,575. Lo stesso vale per la presenza di attraversamenti pedonali, che aumenta il CMF e, di conseguenza, il rischio di incidente. Questi fattori spiegano perché il tasso di incidentalità è maggiore nella sezione ad alto rischio e si riduce progressivamente nelle altre sezioni con condizioni infrastrutturali più favorevoli.

3.1.4 Metodo integrato

A questo punto, per combinare i risultati derivanti dai due approcci metodologici e fornire una valutazione integrata, ogni variazione di sezione identificata nelle metodologie iniziali (reattiva e proattiva) comporta una corrispondente modifica nella sezione della valutazione integrata.

A supporto di tale integrazione, il manuale propone uno schema esplicativo, come mostrato nella Figura 3.7. L'unione dei risultati ottenuti dal metodo reattivo con quelli del metodo proattivo darà luogo a una classificazione che si suddivide in cinque classi (very high priority, high priority, intermediate priority, low priority e very priority). Questa classificazione è fondamentale per determinare con quale urgenza uno specifico tratto stradale debba essere oggetto di attenzione, studio e intervento, affinché si possano intraprendere le azioni necessarie per ottimizzare la gestione della rete stradale. Nella figura, inoltre, non sono riportate informazioni relative alla non disponibilità dei dati ["No data" cfr. Cap. 2 Fig 2.2], in quanto tutti i dati necessari sono presenti e quindi la problematica non si applica al caso specifico.

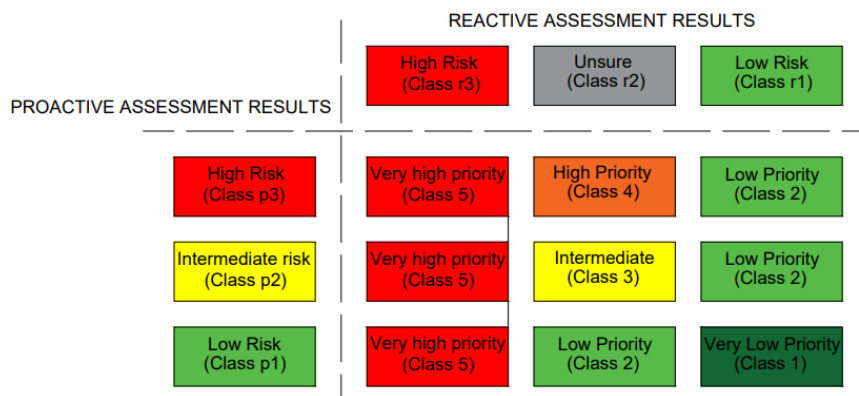


Figura 3.7 - Schema per la valutazione integrata

Quindi, è di fondamentale importanza che i risultati delle due metodologie vengano organizzate in modo adeguato, affinché sia possibile visualizzare e confrontare direttamente i risultati relativi alla medesima porzione di strada. Tale disposizione consente un'analisi più efficace e coerente, come evidenziato nella Tabella 3.18.

APPROCCIO INTEGRATO (PD)				Final ranking
Section code	Start point (km)	End point (km)	Input Length (km)	Status
1	0	1.2	1.2	Low Priority (Class 2)
2	1.2	3.0	1.8	Low Priority (Class 2)
3	3.0	4.4	1.4	Low Priority (Class 2)
4	4.4	4.6	0.2	Intermediate Priority (Class 3)
5	4.6	5.1	0.5	High Priority (Class 4)
6	5.2	6.1	0.9	Intermediate Priority (Class 3)
7	6.2	7.1	0.9	Intermediate Priority (Class 3)
8	7.1	7.4	0.3	Very High Priority (Class 5)
9	7.5	8.2	0.7	Very High Priority (Class 5)
10	8.2	8.5	0.3	Very High Priority (Class 5)
11	8.5	9.4	0.9	Very High Priority (Class 5)
12	9.5	9.9	0.4	Very High Priority (Class 5)
13	10.0	10.6	0.6	Very High Priority (Class 5)
14	10.6	11.0	0.4	Very High Priority (Class 5)
15	11.0	11.6	0.6	Intermediate Priority (Class 3)
16	11.6	12.2	0.6	Intermediate Priority (Class 3)
17	12.3	14.0	1.7	Intermediate Priority (Class 3)
18	14.0	14.2	0.2	Intermediate Priority (Class 3)
19	14.2	14.9	0.7	Intermediate Priority (Class 3)
20	15.0	15.8	0.8	Very High Priority (Class 5)
21	15.8	16.2	0.4	Very High Priority (Class 5)
22	16.3	17.4	1.1	Very High Priority (Class 5)
23	17.5	17.8	0.3	Intermediate Priority (Class 3)
24	17.8	19.7	1.9	Intermediate Priority (Class 3)
25	19.8	20.2	0.4	Low Priority (Class 2)
26	20.2	20.5	0.3	Low Priority (Class 2)
27	20.5	20.7	0.2	Low Priority (Class 2)
28	20.7	21.6	0.9	Intermediate Priority (Class 3)
29	21.7	22.5	0.8	High Priority (Class 4)
30	22.6	24.8	2.2	Intermediate Priority (Class 3)
31	24.9	26.2	1.3	Intermediate Priority (Class 3)
32	26.3	27.4	1.1	Intermediate Priority (Class 3)
33	27.5	28.9	1.4	Intermediate Priority (Class 3)
34	29.0	30.1	1.1	Intermediate Priority (Class 3)
35	30.1	32.5	2.4	Very High Priority (Class 5)
36	32.5	32.7	0.2	Very High Priority (Class 5)
37	32.7	33.8	1.1	Very High Priority (Class 5)
38	33.8	34.6	0.8	Very High Priority (Class 5)
39	34.6	35.9	1.3	Very High Priority (Class 5)
40	35.9	36.4	0.5	Very High Priority (Class 5)
41	36.5	37.0	0.5	Very High Priority (Class 5)
42	37.0	37.9	0.9	Very High Priority (Class 5)

Tabella 3.18 - Approccio integrato SS 16 (PD)

3.1.5 Studio di un elemento infrastrutturale: intersezione tra la SS16 e la Strada Provinciale 1

Dall'analisi della tabella di integrazione dei due metodi adottati, si evince che, tra i punti critici individuati lungo il tratto stradale oggetto del presente studio, ossia quelli caratterizzati da un'alta priorità di intervento, è stata selezionata per un'analisi approfondita l'intersezione a quattro rami tra la SS16 e la strada Provinciale 1, situata tra il chilometro 37+700 e il chilometro 37+850.

Tale analisi è stata resa possibile grazie all'utilizzo delle immagini fornite da Google Street View, risalenti a ottobre 2023, le quali hanno permesso di rilevare alcune criticità potenzialmente impattanti sulla sicurezza stradale.

Di seguito vengono evidenziate le criticità che richiedono interventi specifici al fine di migliorare la sicurezza dell'intersezione oggetto di analisi. Inoltre, si presentano in dettaglio le immagini relative alle situazioni descritte, al fine di supportare visivamente quanto esposto.



*Figura 3.8 - Zoom dell'intersezione "SS16 – Strada provinciale 1"
Immagine tratta da "Street View, Google Maps"*



Figura 3.9 - Zoom del "Ponte sull'Adige"
Immagine tratta da "Street View, Google Maps"

1. Illuminazione carente o assente presso il ponte: L'area nei pressi del ponte risulta priva di un'illuminazione adeguata, rappresentando un potenziale problema per la sicurezza, soprattutto durante le ore serali o in condizioni meteorologiche avverse. La scarsa visibilità potrebbe compromettere la percezione delle corsie e della segnaletica orizzontale. Tuttavia, è stata rilevata la presenza di illuminazione lungo l'incrocio adiacente. Tali aspetti sono illustrati nella Figura 3.8.
2. Segnaletica confusa all'ingresso del ponte: La presenza di un elevato numero di segnali stradali in prossimità del ponte può rappresentare un fattore di distrazione o confusione per gli automobilisti, compromettendo l'efficacia delle indicazioni fornite. Tale carenza è evidenziata nella Figura 3.9.
3. Segnali di pericolo vicini all'intersezione: Il segnale triangolare che indica un'intersezione pericolosa è posizionato a breve distanza dall'incrocio, riducendo il tempo di reazione a disposizione degli automobilisti (Figura 3.8).

4. Mancanza di segnaletica orizzontale chiara: Le corsie non appaiono ben delineate, soprattutto nell'area dell'incrocio laterale a destra. Questa situazione può rendere difficile per gli automobilisti capire come immettersi correttamente o quale corsia mantenere.
5. Confusione per i veicoli in uscita: Le uscite e le immissioni lungo l'area in esame appaiono poco segnalate, con il rischio di generare situazioni di pericolo.
6. Condizioni inadeguate del passaggio pedonale: Il passaggio pedonale situato vicino all'ingresso del ponte non dispone di un marciapiede adeguato né di barriere protettive sufficienti a separare i pedoni dal traffico veicolare. Inoltre, non sono presenti strisce pedonali per l'attraversamento, aggravando ulteriormente la situazione e rendendo pericoloso il transito pedonale (Figura 3.9).

3.2 Infrastruttura di studio: Strada statale 6

La Strada Statale 6, nota come Via Casilina, rappresenta una delle principali arterie per la mobilità di Roma, svolgendo un ruolo strategico nel collegare il centro storico della capitale con le aree periferiche ed extraurbane. Si tratta di un'importante infrastruttura viaria a carattere regionale e statale che collega la città di Roma al comune di Pastorano, situato nella provincia di Caserta, con un'estensione complessiva di circa 200km.

In questa tesi, l'analisi si concentra sul tratto della strada che attraversa il contesto urbano della città di Roma. La via Casilina ha origine nei pressi di Porta Maggiore, punto che segna la chilometrica 0+000.

Il tratto gestito dall'Anas inizia al chilometro 19+920 e si sviluppa lungo il margine del centro storico, in prossimità di un'importante intersezione che collega la via Casilina con il Grande Raccordo Anulare e altre arterie extraurbane.

In questa prima parte del tratto analizzato, la strada presenta una configurazione a carreggiata unica con doppio senso di marcia, caratterizzata dalla presenza di numerose intersezioni semaforizzate e attraversamenti a raso.

L'intensa urbanizzazione e il costante aumento dei flussi veicolari, soprattutto nelle ore di punta, hanno trasformato via Casilina in un asse frequentemente soggetto a congestione, compromettendo la sua funzione di strada a scorrimento veloce.

Per ovviare a tali criticità, è stata affiancata dall'autostrada A1 Milano-Napoli, che corre parallelamente a una parte del tratto analizzato nella presente tesi, garantendo una viabilità più efficiente.

La Figura 3.10, ottenuta utilizzando il software Google Earth, rappresenta la rete viaria oggetto di analisi, riportando le coordinate geografiche relative ai punti di inizio e di termine della strada in esame. Nella rappresentazione sono inoltre evidenziate le principali infrastrutture stradali dell'area, nonché i centri abitati di riferimento situati nella medesima zona.



Figura 3.10 - SS 6 – Via Casilina per il tratto in provincia di Roma
Source: Google Earth Pro

Il procedimento adottato seguirà la medesima metodologia già applicata in precedenza per l'analisi della strada statale 16 nel territorio di Padova.

3.2.1 Analisi dell'incidentalità stradale e dei flussi di traffico

La fase iniziale dello studio consiste nella costruzione di un database finalizzato alla raccolta e all'organizzazione dei dati relativi agli incidenti stradali e al traffico giornaliero medio annuo. In particolare, per quanto riguarda gli incidenti, è stata predisposta una tabella contenente le informazioni disponibili, comprensive della localizzazione geografica degli eventi. Dall'analisi dei dati è emerso che, lungo il tratto oggetto di studio, della lunghezza complessiva di 54,185km, sono stati rilevati complessivamente 503 incidenti nell'arco di un periodo di osservazione di tre anni (2022, 2019 e 2018).

Facendo riferimento alla tabella sotto riportata, i primi 10 chilometri della strada oggetto di studio non sono stati considerati nell'analisi dell'incidentalità e non saranno inclusi nelle fasi successive dello studio, sia per quanto riguarda il metodo reattivo che quello proattivo. Tale scelta è motivata dal fatto che questo tratto si sviluppa all'interno di un'area urbana densamente popolata, situata entro il Grande Raccordo Anulare, caratterizzata da numerose intersezioni, attività commerciali e traffico intenso. La presenza costante di ingorghi e le basse velocità di percorrenza riducono significativamente il rischio di incidenti rilevanti, motivo per cui non sono stati registrati eventi significativi nel database. La decisione di escludere questa sezione è stata presa per garantire un'analisi più omogenea e rappresentativa delle condizioni di traffico extraurbano effettivo.

Inoltre, nei primi circa 20 chilometri, fino al punto in cui la gestione della strada passa sotto la competenza di ANAS, manca la segnaletica di progressiva chilometrica, il che rende l'analisi stradale più difficile e meno efficiente. Questa situazione comporta una

difficoltà significativa, poiché il tratto compreso tra il chilometro 10 e il chilometro 20 è caratterizzato dal numero più elevato di incidenti, correlato anche a un maggiore flusso veicolare. Per affrontare tale problema, è stato necessario ricorrere ai servizi offerti da Google Maps, utilizzando in particolare il riferimento lineare per la misurazione delle lunghezze e calcolando le distanze tra punti specifici tramite la piattaforma, ottenendo così una stima approssimativa delle distanze tra i vari punti di interesse.

Un ulteriore aspetto che merita attenzione è la sezione compresa tra il chilometro 12,2 e il chilometro 14, dove la strada presenta una tipologia diversa rispetto al resto del tracciato. In questo tratto, infatti, la strada è extraurbana a carreggiata separata, mentre il resto della strada oggetto di studio è extraurbana a carreggiata unica. Per tale ragione, questo segmento non è stato incluso nell'analisi, in quanto non avrebbe consentito un confronto omogeneo con le altre sezioni della strada e con il tratto situato nel territorio della provincia di Padova.

DA KM	A KM	2022					2019					2018				
		INCIDENTI	INC. MORTALI	I. TOT	M.	F.	INCIDENTI	INC. MORTALI	I. TOT	M.	F.	INCIDENTI	INC. MORTALI	I. TOT	M.	F.
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	11	6	0	6	0	8	9	1	10	1	10	3	0	3	0	3
11	12	6	0	6	0	6	18	0	18	0	22	14	0	14	0	17
12	13	19	1	20	1	28	20	0	20	0	26	19	1	20	1	21
13	14	11	0	11	0	14	8	0	8	0	17	1	0	1	0	1
14	15	16	0	16	0	23	9	0	9	0	10	4	0	4	0	6
15	16	13	1	14	1	15	6	0	6	0	13	3	0	3	0	3
16	17	23	0	23	0	28	13	1	14	1	19	7	0	7	0	9
17	18	18	1	19	1	29	19	1	20	1	23	15	0	15	0	21
18	19	17	0	17	0	21	15	1	16	1	24	21	0	21	0	25
19	20	8	0	8	0	12	2	0	2	0	3	8	0	8	0	14
20	21	3	0	3	0	3	3	0	3	0	5	1	1	2	1	0
21	22	4	0	4	0	6	2	0	2	0	2	3	0	3	0	6
22	23	2	0	2	0	3	1	0	1	0	1	2	0	2	0	2
23	24	1	0	1	0	1	2	0	2	0	2	3	0	3	0	7
24	25	1	0	1	0	2	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1
25	26	1	0	1	0	2	1	0	1	0	1	3	0	3	0	4
26	27	1	0	1	0	4	1	0	1	0	1	2	0	2	0	4
27	28	6	0	6	0	17	2	1	3	1	2	3	0	3	0	3
28	29	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	3	0	3	0	4
29	30	6	0	6	0	6	4	1	5	1	7	5	0	5	0	6
30	31	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	2	0	2	0	10
31	32	0	0	0	0	0	2	0	2	0	4	1	0	1	0	1
32	33	4	0	4	0	8	2	0	2	0	3	1	0	1	0	1
33	34	3	0	3	0	6	1	0	1	0	4	1	0	1	0	2
34	35	2	0	2	0	2	4	0	4	0	7	1	0	1	0	1
35	36	2	0	2	0	3	2	0	2	0	2	1	0	1	0	1
36	37	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	38	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
38	39	3	0	3	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	40	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
40	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	2
41	42	1	0	1	0	1	1	0	1	0	3	0	0	0	0	0
42	43	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
43	44	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	2	0	2	0	4
44	45	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	46	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
46	47	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	48	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
48	49	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2	3	0	3	0	5
49	50	3	1	4	1	5	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
50	51	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
51	52	0	0	0	0	0	2	0	2	0	4	0	0	0	0	0
52	53	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	54	1	0	1	0	1	1	0	1	0	5	3	0	3	0	3
54	54.185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 3.19 - Localizzazione incidenti stradali 2022,2019,2018 – SS6 Via Casilina (RM)

Source: ACI

Dall'analisi dei dati disponibili, si rileva che il tratto maggiormente interessato da eventi incidentali è compreso tra il chilometro 12 e il chilometro 13, con un totale di 60 sinistri registrati nei 3 anni analizzati. In particolare, un'analisi approfondita consente di individuare un punto critico in corrispondenza di un'intersezione a tre rami, regolata da un impianto semaforico, situata intorno al chilometro 12+200, all'incrocio tra la Strada Statale 6 e via di Tor Vergata. Tale intersezione si caratterizza per un cambiamento della tipologia della sede stradale, che passa da carreggiata unica a carreggiata separata, nonché per la presenza di attraversamenti pedonali, elementi che possono influire sulla sicurezza della circolazione (Fig. 3.11).



Figura 3.11 - Intersezione tra la SS 6 e via di Tor Vergata

Un'ulteriore criticità potrebbe non essere riconducibile a una specifica localizzazione, bensì essere distribuita lungo l'intero tratto compreso tra i chilometri 12 e 13. In questo caso, la variazione della configurazione stradale, ovvero il passaggio da carreggiata separata a carreggiata unica o viceversa, potrebbe aver indotto nei conducenti una percezione alterata della sicurezza. Nello specifico, il passaggio da una strada a

carreggiata separata, generalmente percepita come più sicura, a una carreggiata unica, potenzialmente meno sicura, potrebbe aver indotto una riduzione della velocità per una maggiore cautela. Al contrario, il passaggio opposto, potrebbe aver prodotto un senso di eccessiva fiducia, traducendosi in un aumento della velocità. Tali variazioni comportamentali, legate alla percezione della sicurezza, potrebbero aver contribuito all'incidentalità rilevata lungo il tratto analizzato.

La seconda area con i livelli più elevati di incidentalità si registra tra il chilometro 17 e il chilometro 19, dove, in questi due chilometri, si contano un totale di 108 incidenti. La criticità di questa sezione stradale è attribuibile all'ingresso in zona urbana di Roma, considerando che il maggior flusso di traffico proviene dalle aree periferiche verso il centro della capitale. Pertanto, l'incremento degli incidenti potrebbe essere spiegato da un aumento del traffico giornaliero, dall'incremento degli utenti vulnerabili e da una maggiore densità di attraversamenti pedonali e intersezioni. Un esempio di tratto che caratterizza l'area appena descritta è mostrato nella figura 3.12.



Figura 3.12 – Esempio di tratto stradale tra le chilometriche 17 e 19

Per quanto concerne l'analisi del traffico giornaliero medio annuo, si farà riferimento a due specifici tratti della strada statale 6 come illustrato nella figura 3.13: il primo tratto si trova nel comune di San Cesareo, con i dati resi disponibili tramite la postazione 412032, situata al chilometro 24+485. L'estensione del territorio comunale di San Cesareo va invece, dal chilometro 24 al chilometro 30.5. Il secondo tratto è localizzato nel comune di Valmontone, con i dati provenienti dalla postazione 412056, collocata al chilometro 47+030. Il territorio di Valmontone si estende dal chilometro 38.9 al chilometro 48.8. I dati utilizzati provengono dalle sezioni di conteggio presenti in entrambi i comuni, attraverso le quali è stato registrato il volume di traffico, distinguendo i veicoli in due categorie: leggeri e pesanti. In seguito, nella Figura 3.14, è illustrato il punto di rilievo presente nel comune di Valmontone.

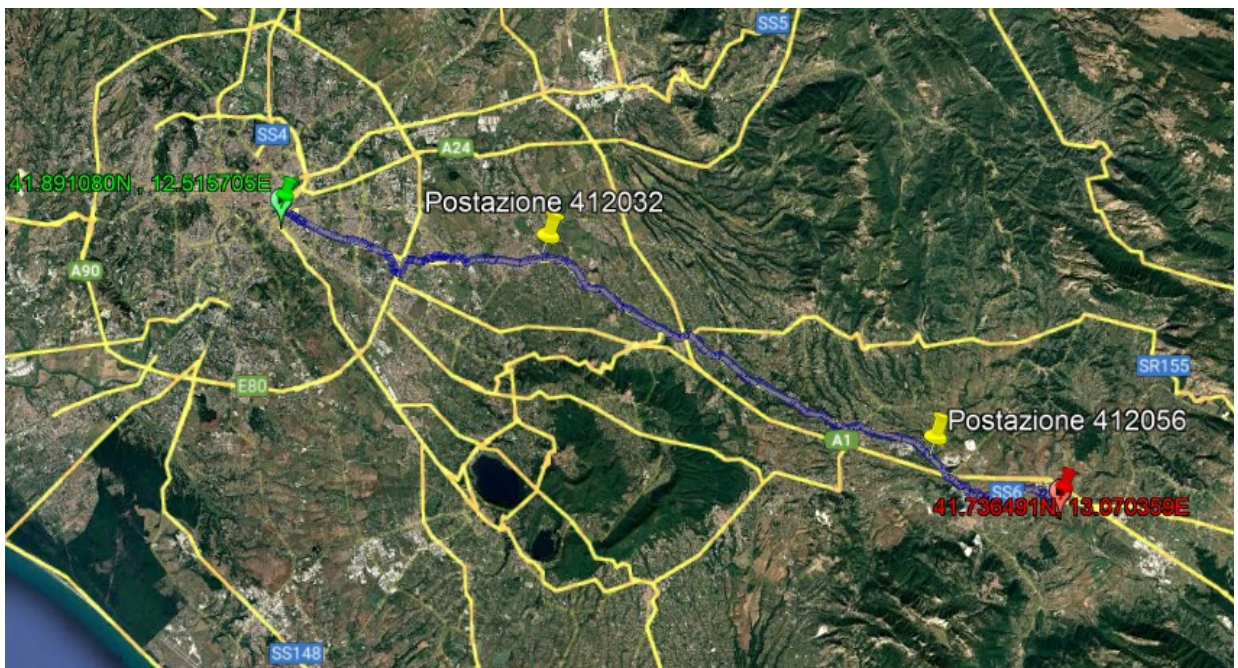


Figura 3.13 - Localizzazione delle postazioni lungo la SS6



Figura 3.14 - Punto di rilievo nel comune di Valmontone

Successivamente, per ciascuna sezione, è stata calcolata la media del traffico veicolare. L'analisi è stata condotta prendendo in considerazione i dati relativi agli ultimi tre anni, come riportato nella Tabella 3.20. Poiché tali informazioni rappresentano l'unica base informativa disponibile, la stima del traffico per i restanti comuni verrà effettuata tramite un'analisi di tipo proporzionale, fondata su criteri specifici. In particolare, si considereranno la distribuzione della popolazione e l'estensione territoriale⁷¹ dei comuni attraversati dalla strada statale 6 nella provincia di Roma, ossia: Monte Compatri, Colonna, San Cesareo, Palestrina, Labico, Valmontone, Colferro e Segni Scalo.

Al fine di ottenere una stima più accurata, si procederà con un ulteriore confronto proporzionale, adottando come riferimento una strada statale caratterizzata da condizioni fisiche e amministrative simili.

⁷¹ tuttitalia, statistiche demografiche in provincia di di Roma
<https://www.tuttitalia.it/lazio/provincia-di-roma/>

Nello specifico, si farà riferimento a una strada a carreggiata unica con doppio senso di marcia, situata nella provincia di Frosinone e precisamente nel comune di Ferentino. Tale strada rappresenta, di fatto, la naturale prosecuzione della medesima arteria stradale oggetto dell'analisi, che, prosegue oltre i confini della provincia di Roma, sviluppandosi appunto nella provincia di Frosinone.

Quindi, la stima del traffico per i comuni privi di dati reali è stata effettuata mediante un'analisi proporzionale, basata sul rapporto tra l'AADT noto dei comuni di San Cesareo, Valmontone e Ferentino e il rispettivo numero di abitanti, applicando tale proporzione ai comuni oggetto di studio. Tali operazioni sono state descritte in dettaglio nel capitolo dedicato alla strada statale di Padova e, di seguito, vengono riportate le tabelle relative alla strada di Roma.

2023								
TRATTA	STRADA	KM	COMUNE	PROVINCIA	GIORNI	LEGGERI	PESANTI	AADT
412032	SS6	24.485	San Cesareo	RM	349	12070	222	12292
412056	SS6	47.03	Valmontone	RM	360	12807	265	13072
2022								
TRATTA	STRADA	KM	COMUNE	PROVINCIA	GIORNI	LEGGERI	PESANTI	AADT
412032	SS6	24.496	San Cesareo	RM	360	12056	221	12277
412056	SS6	46.988	Valmontone	RM	355	12630	252	12882
2021								
TRATTA	STRADA	KM	COMUNE	PROVINCIA	GIORNI	LEGGERI	PESANTI	AADT
412032	SS6	24.496	San Cesareo	RM	365	11373	242	11615
412056	SS6	46.988	Valmontone	RM	359	11579	262	11841

Tabella 3.20 - Dati TGM – SS6 Via Casilina (RM)
Source: ANAS

COMUNE (FR) Ferentino				
ANNO	GIORNI	AADT	ABITANTI	MEDIA
2023	322	14654	20056	14136
2022	364	14645		
2021	352	13109		

Tabella 3.21 - Dati TGM – SS 6 Ferentino (FR)
Source: ANAS

COMUNE	ABITANTI	DAL KM	AL KM	AADT in riferimento a:		
				San Cesareo	Valmontone	Ferentino
COMUNE DI ROMA	400000	10.7	20.4	298234	320772	281931
MONTE COMPATRI	40825	20.4	23.8	30439	32739	28775
COLONNA	30347	23.8	26	22626	24336	21389
SAN CESAREO	16177	26	30.5	12061	12973	11402
PALESTRINA	22138	30.5	34.2	16506	17753	15603
LABICO	16469	34.2	38.9	12279	13207	11608
VALMONTONE	15710	38.9	48.8	11713	12598	11073
COLLEFERRO	20514	48.8	52	15295	16451	14459
SEGNI SCALO	8976	52	54.185	6692	7198	6327

Tabella 3.22 - Dati TGM – SS 6 Via Casilina (RM)

COMUNE	DAL KM	AL KM	AADT medio
COMUNE DI ROMA	10.7	20.4	300312
MONTE COMPATRI	20.4	23.8	30651
COLONNA	23.8	26	22784
SAN CESAREO	26	30.5	12061
PALESTRINA	30.5	34.2	16621
LABICO	34.2	38.9	12365
VALMONTONE	38.9	48.8	12598
COLLEFERRO	48.8	52	15402
SEGNI SCALO	52	54.185	6739

Tabella 3.23 - Valore medio TGM dei tre comuni– SS 6 Via Casilina (RM)

Mediante l'analisi dei dati emerge che il tratto stradale situato nel comune di Roma presenta un volume di traffico pari a circa 300.000 veicoli, un valore significativamente elevato rispetto a quello registrato nei comuni successivi lungo la stessa strada, e comparabile a quello rilevato nel primo tratto antecedente lo svincolo dell'autostrada A13 nel comune di Padova. La stima di tale valore è stata effettuata attraverso un metodo proporzionale che considera il numero di abitanti residenti a Roma, unitamente alle diverse alternative di percorso a loro disposizione, come, ad esempio, l'utilizzo di arterie stradali alternative quali l'autostrada A1.

Si osserva, inoltre, una progressiva riduzione del traffico medio giornaliero all'aumentare della distanza dal centro urbano di Roma. Tale tendenza risulta analoga a quanto osservato lungo l'asse viario del comune di Padova, dove si registra una dinamica simile.

Nella seconda fase della ricerca, viene approfondita l'analisi dei due approcci: reattivo e proattivo. Per entrambi i metodi è stata eseguita una segmentazione su un tratto stradale di 54,185 chilometri, ma utilizzando criteri differenti suggeriti dal manuale NWA e dettagliatamente descritti nel paragrafo precedente.

3.2.2 Metodo reattivo

Per quanto riguarda il primo metodo, come mostrato nella tabella 3.24, a seguito di questa segmentazione, sono stati interpolati i dati relativi al numero di incidenti e al traffico giornaliero in base all'estensione di ciascuna sezione.

Successivamente, sono stati calcolati i punteggi complessivi per ogni sezione, utilizzando un foglio Excel fornito dal manuale NWA, che si basa sulle soglie determinate tramite gli intervalli di confidenza del tasso di incidentalità per la classificazione del rischio.

Nel caso particolare, il tasso di incidenti per chilometro risulta pari a 13,38 incidenti per 10^8 veicolo-chilometro [$acc/10^8veh*km$]. Questo valore rappresenta una misura fondamentale per valutare la sicurezza della sezione stradale analizzata, poiché esprime il numero di incidenti in relazione all'esposizione al traffico.

Tale dato è stato calcolato tramite la seguente formula, che tiene conto del numero di incidenti (N), del traffico medio giornaliero (AADT), della lunghezza della sezione stradale (L) e del periodo di osservazione (y):

$$R = \frac{N * 10^8}{365,25 * AADT * y * L} = \frac{503 * 10^8}{365,25 * 78.925 * 3 * 42,780} = 13,38 \text{ acc}/10^8 \text{ veh} * km$$

APPROCCIO REATTIVO (PD)								Final ranking
Start point	End point	Accidents	AADT	Lower Accident CI	Upper Accident CI	Lower Acc. Rate	Upper Acc. Rate	Status
10.7	12	57	300'312	44	74	10.29	17.3	Unsure
12	13	60	300'312	46	78	13.98	23.7	High Risk
13	14.4	20	300'312	13	31	2.82	6.73	Low Risk
14.4	15.2	32	300'312	22	46	8.36	17.47	Unsure
15.2	16.8	60	300'312	46	78	8.74	14.81	Unsure
16.8	18.6	83	300'312	67	103	11.31	17.39	Unsure
18.6	20.4	50	300'312	38	66	6.42	11.14	Low Risk
20.4	22.3	15	30'651	9	25	14.1	39.18	High Risk
22.3	23.8	8	30'651	4	16	7.94	31.76	Unsure
23.8	26	10	22'784	5	19	9.1	34.59	Unsure
26	27	4	12'534	2	11	14.56	80.09	High Risk
27	30.5	35	12'534	25	49	52.01	101.94	High Risk
30.5	33	12	16'621	7	21	15.37	46.12	High Risk
33	34.2	5	16'621	2	12	9.15	54.91	Unsure
34.2	35.1	7	12'365	3	15	24.6	123.01	High Risk
35.1	37.4	6	12'365	3	14	9.63	44.93	Unsure
37.4	38.9	5	12'365	2	12	9.84	59.05	Unsure
38.9	40.8	4	12'172	2	11	7.89	43.41	Unsure
40.8	43	4	12'172	2	11	6.82	37.49	Unsure
43	45.8	6	12'172	3	14	8.03	37.49	Unsure
45.8	46.8	1	12'172	1	6	7.5	44.99	Unsure
46.8	48.8	5	12'172	2	12	7.5	44.99	Unsure
48.8	52	8	15'894	4	16	7.18	28.71	Unsure
52	54.185	6	6'954	3	14	18.02	84.09	High Risk

Tabella 3.24 – Classificazione in base al tasso di incidentalità
Source: file excel “NWA-reactive_Tool”

A seguito di questa classificazione, emerge chiaramente che il punto critico incidentale precedentemente individuato, corrispondente a un'area potenzialmente a rischio, ovvero la chilometrica 12+200, è stato confermato anche dal metodo reattivo, che ne segnala uno stato di elevata criticità. È altresì evidente, come riportato nella tabella sottostante, che tale punto non rappresenta l'unico tratto problematico, poiché il metodo identifica anche altre zone potenzialmente a rischio.

Al contrario, il secondo punto critico incidentale precedentemente descritto, compreso tra le chilometriche 17 e 19, nel metodo adottato è stato suddiviso in due tratti distinti: il primo tra le chilometriche 16,8 e 18,6 e il secondo tra le chilometriche 18,6 e 20,4.

In questa classificazione, tali tratti non risultano ad alto rischio, ma sono stati rispettivamente assegnati a uno stato di medio e basso rischio. Ciò è dovuto al fatto che, nonostante il numero relativamente alto di incidenti in quest'area, la sua relazione con il traffico giornaliero, che presenta valori piuttosto elevati, comporta una riduzione dello stato di rischio in conseguenza del ridotto tasso di incidentalità. A tal proposito, è opportuno sottolineare come il manuale NWA suggerisca l'utilizzo del tasso di

incidenti, che riflette la relazione tra il numero di incidenti e il volume del traffico giornaliero medio annuo.

Tuttavia, se la classificazione fosse stata effettuata adottando il secondo criterio metodologico indicato nel manuale, basato sulla densità degli incidenti, si sarebbe registrato uno stato di alto rischio lungo l'intero tratto compreso tra circa il decimo e il ventesimo chilometro come si osserva in Tabella 3.25.

Inoltre, dall'analisi della tabella sottostante si osserva come, a partire dal ventesimo chilometro, la maggior parte delle sezioni risulti caratterizzata da un basso livello di rischio, in contrasto con quanto evidenziato nella tabella relativa al tasso di incidentalità. Tale discrepanza sottolinea ulteriormente le caratteristiche di questo parametro, il quale non tiene conto dei volumi di traffico, ma si basa esclusivamente sul numero di incidenti e sulla lunghezza del tratto considerato.

APPROCCIO REATTIVO (PD)							Final ranking
Start point	End point	Accidents	Lower Accident CI	Upper Accident CI	Lower Acc. Density	Upper Acc. Density	Status
10.7	12	57	44	74	11.28	18.97	High Risk
12	13	60	46	78	15.33	26	High Risk
13	14.4	20	13	31	3.1	7.38	Unsure
14.4	15.2	32	22	46	9.17	19.17	High Risk
15.2	16.8	60	46	78	9.58	16.25	High Risk
16.8	18.6	83	67	103	12.41	19.07	High Risk
18.6	20.4	50	38	66	7.04	12.22	High Risk
20.4	22.3	15	9	25	1.58	4.39	Unsure
22.3	23.8	8	4	16	0.89	3.56	Low Risk
23.8	26	10	5	19	0.76	2.88	Low Risk
26	27	4	2	11	0.67	3.67	Low Risk
27	30.5	35	25	49	2.38	4.67	Unsure
30.5	33	12	7	21	0.93	2.8	Low Risk
33	34.2	5	2	12	0.56	3.33	Low Risk
34.2	35.1	7	3	15	1.11	5.56	Unsure
35.1	37.4	6	3	14	0.43	2.03	Low Risk
37.4	38.9	5	2	12	0.44	2.67	Low Risk
38.9	40.8	4	2	11	0.35	1.93	Low Risk
40.8	43	4	2	11	0.3	1.67	Low Risk
43	45.8	6	3	14	0.36	1.67	Low Risk
45.8	46.8	1	1	6	0.33	2	Low Risk
46.8	48.8	5	2	12	0.33	2	Low Risk
48.8	52	8	4	16	0.42	1.67	Low Risk
52	54.185	6	3	14	0.46	2.14	Low Risk

Tabella 3.25 Classificazione in base alla densità degli incidenti
Source: file excel "NWA-reactive_Tool"

Per questa classificazione, sono state applicate le stesse soglie di confidenza utilizzate per il tasso di incidentalità. Tuttavia, queste soglie sono state calcolate in base alla densità degli incidenti, che si ottiene tramite la formula:

$$d = \frac{f}{L} = \frac{503}{3} * \frac{1}{42,780} = 3,86 \text{ (acc/anno * km)}$$

Dove f rappresenta la frequenza di incidentalità, calcolata come il rapporto tra il numero totale di incidenti (503) per il periodo di analisi (3 anni), e successivamente dividendo per la lunghezza L totale della sezione stradale (42,780 km). Questo calcolo ha portato a un valore di densità pari a 3,86 incidenti lesivi annui per chilometro.

3.2.3 Metodo proattivo

Il secondo metodo, denominato metodo proattivo, si basa sulla suddivisione della rete stradale in sezioni omogenee, la cui estensione, secondo le indicazioni riportate nel manuale NWA, dovrebbe essere compresa tra un minimo di 200 metri e un massimo di 2km. Tuttavia, nel caso specifico oggetto di studio, è stato adottato un segmento di circa 2,2km, compreso tra le progressive chilometriche 48,8 e 51. Questa scelta è stata motivata dalla necessità di preservare l'omogeneità dell'analisi condotta a livello di rete.

Successivamente, sono stati stimati i fattori di riduzione per ciascun parametro⁷² e determinato il punteggio complessivo di ogni sezione mediante il foglio Excel fornito dal manuale NWA. Una volta ottenuti i punteggi finali per ciascuna sezione, è stato

⁷² Cfr. p. 124

possibile individuare un valore di rischio, assegnato in base a soglie specifiche stabilite per la tipologia di infrastruttura analizzata, ossia una strada extraurbana a carreggiata unica.

Nella tabella sottostante si osserva che i tratti identificati come ad alto rischio mediante il metodo proattivo non trovano corrispondenza nei risultati ottenuti attraverso l'applicazione del metodo reattivo. In particolare, nel segmento compreso tra le progressive chilometriche 18,6 e 20,4, il metodo reattivo indica un basso livello di rischio, mentre il metodo proattivo segnala un rischio elevato. Tale discrepanza potrebbe suggerire l'assenza di una correlazione tra il numero di incidenti stradali, in relazione al traffico veicolare, e le caratteristiche progettuali dell'infrastruttura viaria di riferimento. Di conseguenza, si potrebbe ipotizzare che le cause degli incidenti siano attribuibili a fattori esterni all'infrastruttura stessa, come le condizioni del veicolo o il comportamento degli utenti della strada.

APPROCCIO PROATTIVO (RM)				Final ranking	
Section code	Start point (km)	End point (km)	Input Length (km)	Punteggio	Status
1	10.2	12	1.8	63.3	Intermediate risk
2	12	12.8	0.8	56.7	Intermediate risk
3	14	15	1	63.2	Intermediate risk
4	15	16	1	71.1	Intermediate risk
5	16	16.8	0.8	41	High Risk
6	16.8	17.2	0.4	45.1	High Risk
7	17.2	17.9	0.7	46.1	High Risk
8	17.9	18.6	0.7	45.2	High Risk
9	18.6	19.1	0.5	38	High Risk
10	19.1	19.9	0.8	41.8	High Risk
11	19.9	20.4	0.5	55.4	Intermediate risk
12	20.4	21.7	1.3	53.2	Intermediate risk
13	21.7	22.3	0.6	64	Intermediate risk
14	22.3	22.7	0.4	66	Intermediate risk
15	22.7	23.4	0.7	46.6	High Risk
16	23.4	23.8	0.4	74.7	Intermediate risk
17	23.8	24.5	0.7	61.5	Intermediate risk
18	24.5	25.4	0.9	53.7	Intermediate risk
19	25.4	26	0.6	48.5	High Risk
20	26.1	26.7	0.6	65.3	Intermediate risk
21	26.7	27	0.3	62.2	Intermediate risk
22	27	27.8	0.8	54.8	Intermediate risk
23	27.8	29	1.2	56.2	Intermediate risk
24	29	30.5	1.5	59.2	Intermediate risk
25	30.5	31	0.5	56.2	Intermediate risk
26	31	31.8	0.8	55.3	Intermediate risk
27	31.8	33	1.2	60.7	Intermediate risk
28	33	33.4	0.4	45.1	High Risk
29	33.4	34.2	0.8	55.3	Intermediate risk
30	34.2	35.3	1.1	72.2	Intermediate risk
31	35.1	35.3	0.2	49.3	High Risk
32	35.3	36.2	0.9	50.8	Intermediate risk
33	36.2	37.4	1.2	50.2	Intermediate risk
34	37.4	38.5	1.1	51.3	Intermediate risk
35	38.5	38.9	0.4	46.2	High Risk
36	38.9	40	1.1	70.7	Intermediate risk
37	40	40.8	0.8	62.4	Intermediate risk
38	40.8	42.3	1.5	64	Intermediate risk
39	42.3	43	0.7	56.1	Intermediate risk
40	43	44.8	1.8	62.4	Intermediate risk
41	44.8	45.8	1	65.3	Intermediate risk
42	45.8	46.5	0.7	63.7	Intermediate risk
43	46.5	47.1	0.6	82.3	Low Risk
44	47.1	47.9	0.8	68.3	Intermediate risk
45	47.9	48.8	0.9	82.1	Low Risk
46	48.8	51	2.2	54.2	Intermediate risk
47	51	52	1	54.3	Intermediate risk
48	52	52.8	0.8	51.9	Intermediate risk
49	52.8	53.8	1	59.6	Intermediate risk
50	53.8	54.185	0.385	52.9	Intermediate risk

Tabella 3.26 - Approccio proattivo SS 6 (RM)
Source: file excel "NWA-proactive_Tool"

Nella tabella 3.26 è presentata una classificazione del rischio associato a ciascuna sezione stradale oggetto di analisi. Tale classificazione è il risultato di un'accurata valutazione condotta attraverso l'esame di diversi Reduction Factor (RF). Questi fattori rappresentano variabili fondamentali per la determinazione del livello di rischio e comprendono elementi di natura geometrica e funzionale. Tra i principali aspetti che influenzano la sicurezza stradale si citano la larghezza e la tipologia della banchina, il numero di accessi privati e la presenza di attraversamenti pedonali.

Analogamente a quanto osservato per la strada statale di Padova, anche in questo caso vengono messe in evidenza le differenze tra le sezioni stradali caratterizzate da diversi livelli di rischio ma con pari estensione chilometrica. L'obiettivo di questa analisi comparativa è quello di evidenziare in che modo specifici Reduction Factor (RF) influenzino il grado di pericolosità di una sezione stradale. La tabella 3.27 riassume i principali risultati:

Sezione [km]	25.4 - 26	46.5 - 47.1	21.7 - 22.3
Livello di rischio	High Risk	Low Risk	Intermediate risk
Caratteristiche margine stradale (RHR)	4	3	4
Densità degli accessi alle proprietà private	12	1	5
Conflitti tra pedoni/ciclisti e veicoli motorizzati	Marcia piede + 2 attraversamenti pedonali	-	-

Tabella 3.27 - analisi comparativa di tre sezioni stradali della SS6

L'analisi delle tre sezioni stradali conferma in modo chiaro l'influenza determinante dei Reduction Factor nella definizione del livello di rischio di un tratto viario.

1. Caratteristiche del margine stradale (RHR):

-Nella sezione ad alto rischio e a rischio intermedio (RHR = 4), la *clear zone* varia tra 1,52m e 3,05m.

-Nella sezione a basso rischio (RHR = 3), la *clear zone* è pari a circa 3,05m.

2. Densità degli accessi alle proprietà private:

-La densità elevata di accessi nella sezione ad alto rischio (12 accessi) genera numerosi punti di conflitto tra veicoli in transito e in manovra, aumentando la probabilità di collisioni a bassa velocità e tamponamenti.

-Al contrario, nella sezione a basso rischio e a rischio intermedio, la presenza limitata di accessi riduce sensibilmente queste interazioni critiche, garantendo un flusso veicolare più sicuro e regolare.

3. Conflitti tra pedoni, ciclisti e veicoli motorizzati:

- La sezione ad alto rischio presenta marciapiedi e due attraversamenti pedonali, che determinano ulteriori punti di interazione tra utenti vulnerabili e traffico motorizzato.

- Nelle sezioni a rischio intermedio e basso, l'assenza di attraversamenti o conflitti con pedoni riduce la complessità del sistema viario e, di conseguenza, la probabilità di incidenti.

Anche questa analisi conferma come il livello di rischio di una sezione stradale sia strettamente legato a specifiche condizioni infrastrutturali e geometriche e che i tassi di incidentalità diminuiscono dall'alto rischio al basso rischio in relazione ai Crash Modification Factors (CMF) dei parametri infrastrutturali analizzati.

3.2.4 Metodo integrato

A questo punto, i risultati derivanti dai due approcci metodologici vengono combinati al fine di fornire una valutazione integrata. L'unione dei dati ottenuti dal metodo reattivo con quelli derivanti dal metodo proattivo consente di elaborare una classificazione articolata in cinque classi di rischio⁷³. Tale classificazione assume un ruolo fondamentale nella determinazione del livello di urgenza con cui un determinato tratto stradale deve essere monitorato, analizzato e sottoposto a eventuali interventi, consentendo così l'adozione delle misure necessarie per una gestione ottimale della rete viaria.

Dall'analisi della tabella 3.28 che sintetizza l'integrazione dei due metodi emerge che i tratti classificati come ad alto rischio o basso rischio secondo il metodo reattivo conservano tale valutazione, indipendentemente dal livello di rischio assegnato dal metodo proattivo. Al contrario, per i tratti individuati come a medio rischio nel metodo reattivo, la classificazione finale dipende anche dall'esito fornito dall'approccio proattivo.

⁷³ Cfr. p. 127

APPROCCIO INTEGRATO (RM)				Final ranking
Section code	Start point (km)	End point (km)	Input Length (km)	Status
1	0	10.2	10.2	-
2	10.2	12	1.8	Intermediate Priority (Class 3)
3	12	12.8	0.8	Very High Priority (Class 5)
4	12.8	14	1.2	-
5	14	14.4	0.4	Low Priority (Class 2)
6	14.4	15	1	Intermediate Priority (Class 3)
7	15	16	1	Intermediate Priority (Class 3)
8	16	16.8	0.8	High Priority (Class 4)
9	16.8	17.2	0.4	High Priority (Class 4)
10	17.2	17.9	0.7	High Priority (Class 4)
11	17.9	18.6	0.7	High Priority (Class 4)
12	18.6	19.1	0.5	Low Priority (Class 2)
13	19.1	19.9	0.8	Low Priority (Class 2)
14	19.9	20.4	0.5	Low Priority (Class 2)
15	20.4	21.7	1.3	Very High Priority (Class 5)
16	21.7	22.3	0.6	Very High Priority (Class 5)
17	22.3	22.7	0.4	Intermediate Priority (Class 3)
18	22.7	23.4	0.7	High Priority (Class 4)
19	23.4	23.8	0.4	Intermediate Priority (Class 3)
20	23.8	24.5	0.7	Intermediate Priority (Class 3)
21	24.5	25.4	0.9	Intermediate Priority (Class 3)
22	25.4	26	0.6	High Priority (Class 4)
23	26.1	26.7	0.6	Very High Priority (Class 5)
24	26.7	27	0.3	Very High Priority (Class 5)
25	27	27.8	0.8	Very High Priority (Class 5)
26	27.8	29	1.2	Very High Priority (Class 5)
27	29	30.5	1.5	Very High Priority (Class 5)
28	30.5	31	0.5	Very High Priority (Class 5)
29	31	31.8	0.8	Very High Priority (Class 5)
30	31.8	33	1.2	Very High Priority (Class 5)
31	33	33.4	0.4	High Priority (Class 4)
32	33.4	34.2	0.8	Intermediate Priority (Class 3)
33	34.2	35.1	0.9	Very High Priority (Class 5)
34	35.1	35.3	0.2	Very High Priority (Class 5)
35	35.3	36.2	0.9	Intermediate Priority (Class 3)
36	36.2	37.4	1.2	Intermediate Priority (Class 3)
37	37.4	38.5	1.1	Intermediate Priority (Class 3)
38	38.5	38.9	0.4	High Priority (Class 4)
39	38.9	40	1.1	Intermediate Priority (Class 3)
40	40	40.8	0.8	Intermediate Priority (Class 3)
41	40.8	42.3	1.5	Intermediate Priority (Class 3)
42	42.3	43	0.7	Intermediate Priority (Class 3)
43	43	44.8	1.8	Intermediate Priority (Class 3)
44	44.8	45.8	1	Intermediate Priority (Class 3)
45	45.8	46.5	0.7	Intermediate Priority (Class 3)
46	46.5	47.1	0.6	Low Priority (Class 2)
47	47.1	47.9	0.8	Intermediate Priority (Class 3)
48	47.9	48.8	0.9	Low Priority (Class 2)
49	48.8	51	2.2	Intermediate Priority (Class 3)
50	51	52	1	Intermediate Priority (Class 3)
51	52	52.8	0.8	Very High Priority (Class 5)
52	52.8	53.8	1	Very High Priority (Class 5)
53	53.8	54.185	0.385	Very High Priority (Class 5)

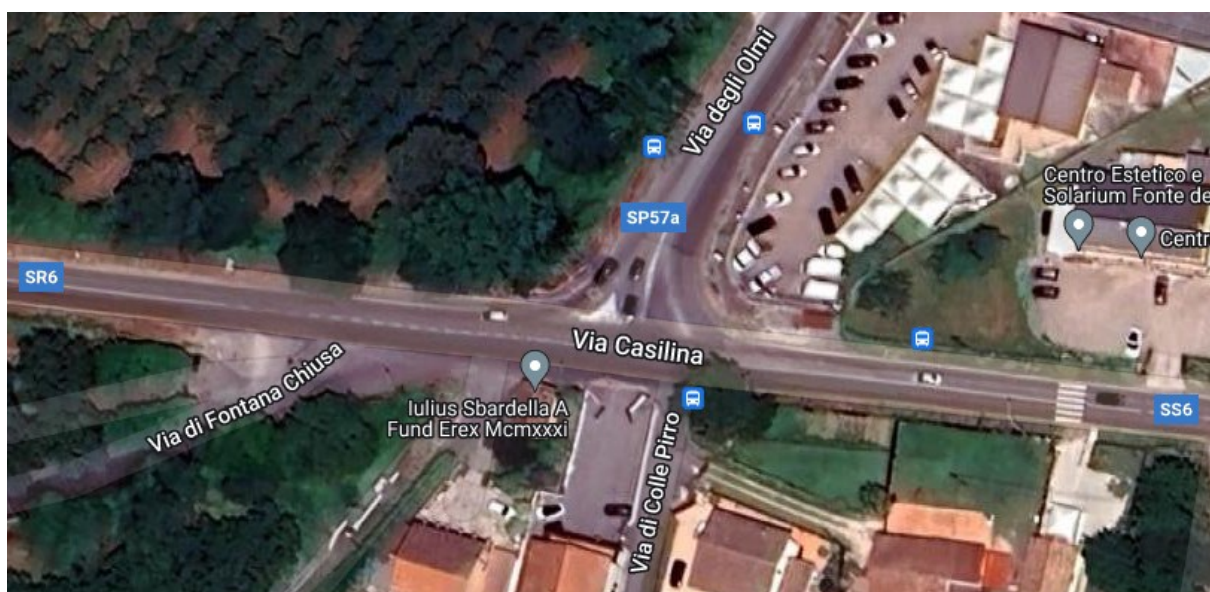
Tabella 3.28 – Approccio integrato SS 6 (RM)

3.2.5 Studio di un elemento infrastrutturale: intersezione tra la SS6 e la Strada Provinciale 57

Tra le aree critiche identificate lungo il tratto stradale oggetto del presente studio, ovvero quelle con maggiore necessità di intervento, è stata selezionata per un'analisi dettagliata l'intersezione a tre rami tra la Strada Statale 6 (SS6) e la strada Provinciale 57 (SP57), denominata Via degli Olmi, compresa tra il chilometro 34+950 e il chilometro 35+100.

L'analisi è stata condotta avvalendosi delle immagini fornite da Google Street View, risalenti a luglio 2024, le quali hanno consentito di individuare alcune problematiche potenzialmente rilevanti per la sicurezza stradale.

Di seguito vengono individuate le principali criticità che rendono necessari interventi mirati per il miglioramento della sicurezza dell'intersezione oggetto di analisi. Inoltre, vengono presentate in dettaglio le immagini relative alle condizioni riscontrate, al fine di fornire un supporto visivo a quanto esposto.



*Figura 3.15 - Intersezione "SS6 – Strada provinciale 57"
Immagine tratta da "Google Maps"*



Figura 3.16 - Zoom I parte dell'intersezione "SS6 – Strada provinciale 57"
Immagine tratta da "Street View, Google Maps"



Figura 3.17 - Zoom II parte dell'intersezione "SS6 – Strada provinciale 57"
Immagine tratta da "Street View, Google Maps"

1. Assenza di corsie di accelerazione e decelerazione: La SS57 si immette direttamente sulla SS6 senza la presenza di una corsia dedicata all'accelerazione. Tale configurazione costringe i veicoli ad inserirsi nel traffico principale con difficoltà, aumentando il rischio di conflitti veicolari. Analogamente, l'assenza di una corsia di decelerazione per i veicoli che, provenendo dalla SS6, svoltano a destra sulla SP 57 rappresenta un ulteriore elemento critico. Inoltre, non è presente un'isola di canalizzazione che

permetta una separazione fisica tra i flussi di traffico, con conseguente riduzione della sicurezza stradale. Questo aspetto è rappresentato nella Figura 3.15.

2. Segnaletica verticale poco visibile o assente: Si riscontra una carenza di segnaletica verticale che avvisino i conducenti in transito sulla SS6 dell'immissione di veicoli dalla SP57. Inoltre, manca una segnalazione luminosa anticipata che possa indicare in modo chiaro la presenza dell'intersezione, riducendo la percezione del rischio da parte degli utenti della strada (Figura 3.16).

3. Segnaletica orizzontale sbiadita o non adeguata: Le linee di canalizzazione e le linee di arresto risultano sbiadite e poco visibili, compromettendo la chiarezza delle manovre da eseguire.

4. Limitata visibilità e interferenze ambientali: La presenza di vegetazione a ridosso delle banchine stradali compromette la visibilità della segnaletica verticale e orizzontale, riducendo l'efficacia delle indicazioni fornite agli utenti. In particolare, la scarsa visibilità della delimitazione della carreggiata lungo la SP57 rappresenta un ulteriore elemento critico, specialmente nelle ore notturne o in condizioni meteorologiche avverse. Tale problematica è evidenziata nella Figura 3.17.

5. Mancanza di infrastrutture per la mobilità pedonale: Non sono presenti infrastrutture dedicate alla mobilità pedonale, quali marciapiedi o percorsi protetti. Inoltre, si riscontra l'assenza di attraversamenti pedonali, nonostante la presenza di spazi potenzialmente utilizzabili per l'attesa dei pedoni su entrambi i lati della strada. La mancanza di tali dispositivi compromette significativamente la sicurezza degli utenti vulnerabili. Questa criticità risulta particolarmente evidente nella Figura 3.16.

CONCLUSIONI

L'analisi condotta sulle strade statali situate nelle province di Padova e Roma ha evidenziato le potenzialità e i limiti dell'approccio integrato basato sul modello Network Wide Road Safety Assessment (NWA), nelle more delle assunzioni e delle analisi semplificate che si sono rese necessarie per la mancanza di dati specifici (flussi di traffico lungo tutto il tratto analizzato, specifici elaborati tecnici e/o monitoraggi delle caratteristiche geometrico-compositive delle strade).

L'indagine è stata effettuata mediante un'analisi comparata che ha coinvolto sia l'osservazione diretta tramite Google Earth, sia l'elaborazione di dati ottenuti attraverso due distinti metodi di analisi. Il primo metodo, di natura reattiva, si basa sull'esame dei tassi di incidentalità, mentre il secondo, di tipo proattivo, considera le caratteristiche geometriche e funzionali della strada.

Successivamente, l'integrazione dei risultati provenienti da entrambi i metodi ha evidenziato due situazioni differenti per le strade di riferimento.

Nel caso della strada statale di Padova, si riscontra una significativa coerenza tra le criticità individuate dai due approcci: le aree problematiche evidenziate dai dati sugli incidenti trovano conferma nelle caratteristiche infrastrutturali rilevate. Tale concordanza conferisce solidità e attendibilità al metodo integrativo proposto, suggerendone una valida applicabilità in contesti simili per l'individuazione e la valutazione delle criticità infrastrutturali.

Per la strada statale di Roma, invece, l'integrazione dei due metodi ha rilevato una scarsa coerenza tra le criticità individuate. Nello specifico, le aree problematiche identificate sulla base dei dati sugli incidenti non trovano riscontro nelle caratteristiche

infrastrutturali della strada, a meno che l'analisi non venga condotta considerando la densità di incidenti anziché i tassi di incidentalità.

Questa discrepanza suggerisce che i fattori di rischio siano riconducibili ad elementi esterni all'infrastruttura stradale, come il comportamento degli utenti o le condizioni del veicolo, oppure che il modello Network Wide Road Safety Assessment (NWA) presenti limiti in termini di affidabilità e solidità, o ancora che le discrepanze evidenziate soprattutto facendo riferimento ai tassi di incidentalità siano in realtà imputabili ad assunzione di traffici transitanti significativamente difformi rispetto a quelli reali.

I risultati ottenuti confermano che il modello Network Wide Road Safety Assessment risulta efficace quando le caratteristiche infrastrutturali costituiscono il principale fattore di rischio. Tuttavia, in scenari più articolati, in cui l'incidentalità è influenzata da variabili esterne all'infrastruttura, il modello mostra limiti che suggeriscono l'opportunità di perfezionare l'approccio integrativo. In particolare, come già evidenziato nel terzo capitolo, l'adozione congiunta di entrambe le metriche nel metodo reattivo – densità di incidenti e tasso di incidentalità – potrebbe offrire una valutazione più completa e bilanciata, riducendo le discrepanze emerse nel caso della strada statale di Roma e migliorando l'individuazione delle aree a maggiore criticità.

Un aspetto positivo del modello Network Wide Road Safety Assessment risiede nella sua semplicità di utilizzo, che consente di integrare in modo efficiente dati storici di incidentalità e volumi di traffico con le caratteristiche infrastrutturali della rete viaria. Il modello si distingue per la rapidità e la chiarezza della sua applicazione, non richiedendo un impegno particolarmente oneroso per la comprensione e l'implementazione. Tale facilità d'uso è ulteriormente agevolata dalla disponibilità di

file allegati Excel, che supportano lo studio, l'elaborazione e l'interpretazione dei dati, rendendo lo strumento accessibile anche a chi si avvicina per la prima volta a questo tipo di analisi.

Oltre a fornire una valutazione dettagliata delle criticità presenti, il metodo facilita l'individuazione di interventi mirati, contribuendo così a un miglioramento proattivo della sicurezza stradale.

Infine, un ulteriore vantaggio del modello è la possibilità di fornire un criterio di riferimento unificato per gli ingegneri incaricati nella valutazione della rete stradale. Ciò favorisce un'analisi più omogenea tra i diversi professionisti, garantendo coerenza e uniformità nei processi di valutazione e nelle strategie di intervento.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

1. Global status report on road safety 2023 (World Health Organization - The Department of Social Determinants of Health, Safety and Mobility Unit), 23 dicembre 2023.
2. Il Rapporto DEKRA sulla Sicurezza Stradale 2023.
3. EU road safety policy framework 2021-2030 – Next steps towards ‘Vision Zero’ (European Union, 2020).
4. Istat Working Papers: Costi sociali degli incidenti stradali - N. 9/2023 (Giordana Baldassarre, Silvia Bruzzone, Alessia Grande, Lucia Pennisi, Francesca De Blasi)
5. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), “Highway Safety Manual, 1st Edition”, 2010.
6. Parlamento Europeo e Consiglio dell’Unione Europea, “Direttiva 2008/96/CE sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture”, 19 Novembre 2008.
7. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, “Attuazione della direttiva 2008/96/CE sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture”, D. Lgs. 15 Marzo 2011, n. 35.
8. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, “Linee Guida per la gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali”, D.M. 02 Maggio 2012, n.137.
9. Parlamento Europeo e Consiglio dell’Unione Europea, “Direttiva 2019/1936 che modifica la direttiva 2008/96/CE sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali”, 23 ottobre 2019.
10. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, “Attuazione della direttiva 2008/96/CE sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture”, D. Lgs. 15 Marzo 2011, n. 35.

11. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, “Attuazione della direttiva 2019/1936 e modifica il D. Leg.vo 35/2011 sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali”, D. Lgs. 21 Novembre 2021, n. 213.
12. Network Wide Road Safety Assessment (Methodology and Implementation Handbook - 2023).
13. World Health Organization, Road traffic injuries
https://www.who.int/health-topics/road-safety#tab=tab_1
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries/>
14. World Health Organization, The *Global status report on road safety 2023*
<https://www.who.int/teams/social-determinants-of-health/safety-and-mobility/global-status-report-on-road-safety-2023>
15. European Commission, Mobility and Transport, 10 October 2024
https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/20400-lives-lost-eu-road-crashes-last-year-2024-10-10_en
16. ISTAT, Incidenti stradali in Italia, 25 luglio 2023
<https://www.istat.it/comunicato-stampa/incidenti-stradali-in-italia-2023/>
17. ISTAT, Infografica sugli incidenti stradali in Italia, 2023
<https://www.istat.it/infografiche/infografica-sugli-incidenti-stradali-anno-2023/>
18. European Commission, European Parliament resolution of 6 October 2021 on the EU Road Safety Policy Framework 2021-2030 – Recommendations on next steps towards ‘Vision Zero’
https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-9-2021-0407_EN.html
19. PUBMED, La probabilità di morte negli incidenti stradali. Quanto è importante una risposta medica rapida?
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20441812/>

20. PUBMED, Confronto tra i risultati dei test Euro NCAP e i dati sugli incidenti reali
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21128188/>
21. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Metodologia per il calcolo del costo sociale degli incidenti stradali, novembre 2022
[https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/progetti/2023-02/Allegato A Costi%20Sociali Nota%20Metodologica 0.pdf](https://www.mit.gov.it/nfsmitgov/files/media/progetti/2023-02/Allegato_A_Costi%20Sociali_Nota%20Metodologica_0.pdf)
22. AIPSS, Le novità introdotte dalla nuova Direttiva Europea sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali (Ing. Carlo Polidori)
http://www.aipss.it/Direttiva_Ue-%202019-1936.html
23. ACI (Automobile Club d'Italia), Localizzazione degli incidenti stradali
<https://lis.aci.it/#/home>
24. tuttitalia, statistiche demografiche in provincia di Padova e di Roma
<https://www.tuttitalia.it/veneto/provincia-di-padova/>
<https://www.tuttitalia.it/lazio/provincia-di-roma/>
25. ANAS (GRUPPO FS ITALIANE), Dati di traffico giornaliero annuale
<https://www.stradeanas.it/it/le-strade/osservatorio-del-traffico/dati-traffico-medio-giornaliero-annuale>
26. Le intersezioni in ambito extraurbano (Sascia Canale, Salvatore Leonardi, Francesco Nicosia), 2017
file:///c:/users/hp/desktop/le_intersezioni_stradali_in_ambito_extraurbano.pdf
27. iRAP, 2021
<https://irap.org/about-us/>
28. ANAS, Classificazione mezzi
<https://www.stradeanas.it/it/classificazione-mezzi>

