



Politecnico
di Bari

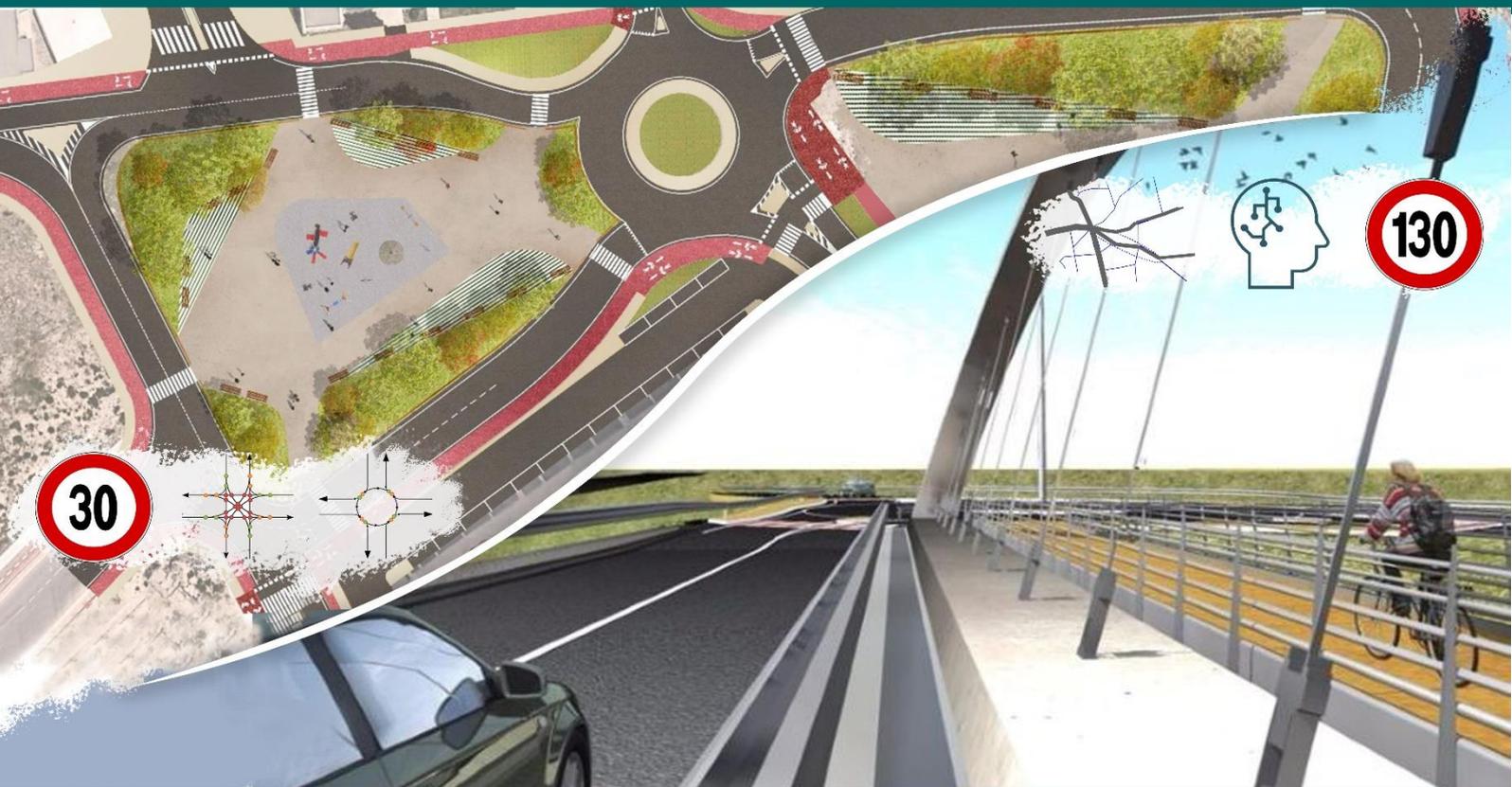


DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE,
DEL TERRITORIO,
EDILE E DI CHIMICA

Pasquale Colonna
Nicola Berloco Paolo Intini Vittorio Ranieri

Manuale

per i Progetti di Adeguamento alla Sicurezza Stradale Sostenibile



FrancoAngeli
OPEN ACCESS

Copyright © 2021 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy. ISBN 9788835125259



Il presente volume è pubblicato in open access, ossia il file dell'intero lavoro è liberamente scaricabile dalla piattaforma **FrancoAngeli Open Access** (<http://bit.ly/francoangeli-oa>).

FrancoAngeli Open Access è la piattaforma per pubblicare articoli e monografie, rispettando gli standard etici e qualitativi e la messa a disposizione dei contenuti ad accesso aperto. Oltre a garantire il deposito nei maggiori archivi e repository internazionali OA, la sua integrazione con tutto il ricco catalogo di riviste e collane FrancoAngeli ne massimizza la visibilità e favorisce la facilità di ricerca per l'utente e la possibilità di impatto per l'autore.

Per saperne di più:

http://www.francoangeli.it/come_pubblicare/pubblicare_19.asp

I lettori che desiderano informarsi sui libri e le riviste da noi pubblicati possono consultare il nostro sito Internet: www.francoangeli.it e iscriversi nella home page al servizio "Informatemi" per ricevere via e-mail le segnalazioni delle novità.



Politecnico
di Bari



DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA CIVILE,
AMBIENTALE,
DEL TERRITORIO,
EDILE E DI CHIMICA

**Pasquale Colonna
Nicola Berloco Paolo Intini Vittorio Ranieri**

Manuale

per i Progetti di Adeguamento alla Sicurezza Stradale Sostenibile

FrancoAngeli

OPEN  ACCESS

Copyright © 2021 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy. ISBN 9788835125259

Pasquale Colonna è autore e responsabile scientifico del progetto editoriale.

Paolo Intini è co-autore e ha curato in particolare i capitoli 2, 3 e 4.

Nicola Berloco e Vittorio Ranieri sono co-autori e hanno svolto funzione di revisione e supervisione del progetto editoriale.

Si ringraziano Stefano Coropulis e Gabriele Cavalluzzi (appartenenti al gruppo di ricerca rispettivamente in qualità di dottorando e assegnista di ricerca nel periodo di scrittura del testo) che hanno collaborato alla stesura definitiva dei capitoli 5 e 6.

Si ringraziano gli studenti del Politecnico di Bari Gianmichele Cristofaro e Damiano De Gennaro per il loro contributo, fornito durante il periodo di tesi magistrale al Politecnico di Bari, allo sviluppo, rispettivamente, dei capitoli 5 e 6.

Si ringrazia il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio, Edile e di Chimica (DICATECh) del Politecnico di Bari per aver finanziato la pubblicazione di questo libro. Si ringrazia il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, che ha finanziato il progetto di ricerca Pa.S.S.S. (Parco Scientifico della Sicurezza Stradale, ente capofila: Comune di Bari, principale partner scientifico: Dipartimento DICATECh, Politecnico di Bari, responsabile scientifico: prof. Colonna), nell'ambito del quale sono stati condotti alcuni studi di ricerca inclusi in questo libro.

Copyright © 2021 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy.

Pubblicato con licenza *Creative Commons Attribuzione-Non opere derivate 4.0 Internazionale*
(CC-BY-ND 4.0)

L'opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla legge sul diritto d'autore. L'Utente nel momento in cui effettua il download dell'opera accetta tutte le condizioni della licenza d'uso dell'opera previste e comunicate sul sito

<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.it>

Indice

Prefazione, di Pasquale Colonna	pag.	9
1. Introduzione	»	11
1.1 Riferimenti	»	12
2. Generalità su metodologie e normative relative alla sicurezza stradale	»	13
2.1 Il processo di gestione della sicurezza stradale	»	13
2.2 La normativa in merito alla sicurezza stradale	»	14
2.3 I fattori che influiscono sull'incidentalità	»	18
2.4 Riferimenti	»	19
3. La misura e la previsione della incidentalità stradale	»	20
3.1 Criteri per la misura della sicurezza stradale e aspetti collegati	»	20
3.2 Criteri per la previsione della sicurezza stradale e aspetti collegati	»	21
3.2.1 Modelli di previsione dell'incidentalità	»	21
3.2.2 Metodo HSM per la previsione dell'incidentalità: SPF, CMF e Cc	»	23
3.2.3 Metodo HSM per la previsione dell'incidentalità: l'incidentalità attesa	»	25
3.2.4 Relazioni tra SPF e misura dell'incidentalità	»	27
3.2.5 SPF utilizzate a scopo di classificazione dei siti: i Livelli di Servizio della Sicurezza	»	27
3.2.6 Coefficienti di calibrazione delle SPF per il contesto italiano	»	29
3.3 Riferimenti	»	31
4. Definizione del protocollo di progetto degli interventi di adeguamento	»	32
4.1 Presupposti	»	32
4.2 Protocollo di progetto degli interventi di adeguamento	»	33
4.3 Cenni sulla fase di selezione delle contromisure	»	33

4.4 Cenni sulla valutazione economica	pag.	34
4.5 Cenni sulla gerarchizzazione dei progetti	»	34
4.6 Riferimenti	»	35
5. Esempio applicativo: strade extraurbane	»	36
5.1 Introduzione	»	36
5.2 Riferimenti normativi	»	36
5.3 Inquadramento del progetto	»	37
5.3.1 Contesto del progetto	»	37
5.3.2 Determinazione della frequenza prevista di incidentalità per la strada in esame	»	37
5.3.3 Determinazione della frequenza di incidentalità osservata per la strada in esame	»	38
5.3.4 Determinazione della pericolosità relativa per la strada in esame	»	38
5.4. Analisi delle caratteristiche geometriche e funzionali	»	41
5.4.1 Individuazione delle caratteristiche geometriche	»	41
5.4.2 Ricostruzione planimetrica	»	41
5.4.3 Ricostruzione dell'andamento altimetrico	»	43
5.4.4 Individuazione preliminare dei tratti stradali omogenei	»	44
5.5 Diagnosi generale del tronco	»	45
5.5.1 Analisi dei dati di sicurezza	»	46
5.5.2 Valutazione delle condizioni in sito (D.Lgs 35/2011)	»	50
5.5.3 Verifiche del tracciato	»	55
5.5.4 Metodo del Diagramma di aderenza (FDM – Friction Diagram Method) lungo il tracciato	»	71
5.5.5 La matrice di Haddon	»	76
5.5.6 Possibili contromisure per ogni tratto omogeneo	»	79
5.6 Scelta delle contromisure	»	84
5.6.1 CMFs delle possibili contromisure	»	85
5.6.2 CMFs per possibili pacchetti di contromisure	»	87
5.7 Analisi costi-benefici	»	98
5.7.1 Benefici delle contromisure	»	98
5.7.2 Costi delle contromisure	»	99
5.7.3 Gerarchizzazione dei progetti	»	100
5.8 Focus sulle contromisure per gli accessi e le intersezioni	»	101
5.9 Riferimenti	»	103

6. Esempio applicativo: strade urbane	pag. 105
6.1 Introduzione	» 105
6.2 Contesto del progetto per il caso di studio urbano	» 105
6.2.1 Vista generale dell'intersezione I	» 106
6.2.2 Vista generale dell'intersezione II	» 107
6.2.3 Vista generale dell'intersezione III	» 107
6.2.4 Vista generale dell'intersezione IV	» 108
6.3 Criterio di scelta del sito	» 109
6.3.1 Determinazione della frequenza prevista di incidentalità per il nodo in esame	» 109
6.3.2 Determinazione della frequenza osservata di incidentalità per il nodo in esame	» 110
6.3.3 Determinazione della pericolosità relativa per il nodo in esame	» 110
6.4 Categorie e funzioni dei tronchi stradali	» 112
6.4.1 Funzione dei tronchi stradali	» 112
6.4.2 Categoria del tronco stradale	» 114
6.4.3 Analisi dei nodi di interconnessione	» 115
6.5 Ricostruzione geometrica	» 115
6.5.1 Ricostruzione geometrica dell'andamento planimetrico dell'asse stradale	» 115
6.5.2 Ricostruzione della segnaletica orizzontale e verticale	» 118
6.5.3 Sezioni trasversali tipologiche dei tronchi e delle intersezioni analizzate e comparazione con le sezioni trasversali presenti nel D.M. 6792/2001-Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade	» 119
6.6 Diagnosi	» 132
6.6.1 Ispezioni e valutazione delle condizioni di sito (Decreto legge n. 35/2011)	» 132
6.6.2 Controlli di visibilità	» 142
6.6.3 Analisi dei dati di traffico e della localizzazione degli incidenti	» 144
6.6.4 Ricostruzione delle matrici di Haddon per gli incidenti	» 149
6.6.5 Frequenza e tasso di incidentalità	» 152
6.6.6 Diagramma delle condizioni	» 155
6.6.7 Diagramma delle collisioni	» 158
6.7 Selezione delle contromisure	» 159
6.7.1 Possibili contromisure	» 159
6.7.2 CMF per i possibili pacchetti di contromisure	» 180
6.8. Modellazione e applicazione del metodo predittivo EB	» 181

6.8.1 Metodo predittivo (Highway Safety Manual, HSM, 2010)	pag.	181
6.8.2 Crash Modification Factors (CMFs)	»	182
6.8.3 Safety Performance Functions per i tronchi urbani	»	183
6.8.4 Safety Performance Functions per le intersezioni urbane	»	185
6.9. Analisi costi-benefici	»	186
6.9.1 Ranking dei progetti	»	187
6.10 Riferimenti	»	189

Prefazione

Perché, noi Ricercatori e Tecnici, lavoriamo per la Sicurezza Stradale?

Per un numero che compare in una statistica, a vantaggio di una Umanità Impersonale che non potremo mai conoscere.

Ma questo NON BASTA!!

Il «NOI» della Umanità Impersonale è fatto in realtà di tanti «IO», di tanti «TU».

Infatti uno dei più grandi sostenitori del prevalere della Umanità Impersonale, Karl Marx, purtuttavia così scrive alla moglie il 21 giugno del 1856:

«lo mi sento di nuovo un uomo, perché provo una grande passione, e la molteplicità in cui lo studio e la cultura moderna ci impigliano, e lo scetticismo con cui necessariamente siamo portati a criticare tutte le impressioni soggettive e oggettive, sono fatti apposta per renderci tutti piccoli e deboli e lamentosi e irrisolti. Ma l'amore non per l'uomo di Feuerbach, non per il metabolismo di Moleschott, non per il proletariato, bensì L'AMORE per l'amata, PER TE, FA DELL'UOMO NUOVAMENTE UN UOMO».

Di conseguenza questo lavoro desidero che venga dedicato o ogni «TU» che ciascuno di noi ha conosciuto e che ha perso la vita in un incidente stradale, ciascuno di noi potrà dedicarlo a chi sa.

Io in particolare lo dedico ad Enzo Piccinini, un grande chirurgo di Modena, un grande professore universitario e un grande educatore, l'uomo che mi ha insegnato che è possibile vivere:

- rimanendo sempre se stessi,
- cercando sempre la felicità.



Enzo è morto sull'Autostrada del Sole nei pressi di Fidenza, nella sua auto che ha preso fuoco dopo che ha abbattuto il guardrail e si è arrestata ai piedi della scarpata il 26 maggio 1999.

Il giorno seguente ho iniziato a fare ricerca sulla sicurezza stradale non soltanto per il lavoro, ma per un «TU».

A ciascuno di noi resta il compito, con il nostro lavoro, di ridare la gioia di vivere, di essere se stessi e di essere felici, a tanti «TU» che non ne saranno coscienti.

Qualcuno ci ringrazierà..

Pasquale COLONNA

1. Introduzione

Molti Paesi con una rete stradale diffusa stanno investendo sul miglioramento delle infrastrutture esistenti in misura maggiore rispetto alla realizzazione di nuove strade. Il miglioramento delle infrastrutture esistenti passa necessariamente per il miglioramento delle performance di sicurezza stradale.

Tuttavia, allo stesso tempo, si registra una diffusa mancanza di conoscenza specifica degli interventi e dei metodi per il miglioramento della sicurezza stradale, nonché una mancanza di protocolli da applicare concretamente per la progettazione. Negli ultimi anni, nel campo della sicurezza stradale, la ricerca ha prodotto risultati eccezionali, anche se non è comunque giunta a modelli teorici univoci validi nei diversi contesti. Forse questo ritardo è dovuto alla necessità di interazione tra aspetti tecnico-ingegneristici e comportamento umano, e quest'ultimo è per sua natura difficilmente inquadrabile in leggi deterministiche.

La pubblicazione dell'*Highway Safety Manual (HSM)* (2010)¹ ha costituito una pietra miliare per l'identificazione e l'applicazione dei metodi quantitativi correlati ai progetti di miglioramento della sicurezza stradale, in quanto è stato il primo lavoro organico che ha tentato di dare una forma scientifica alle incertezze sull'approccio ingegneristico nel settore di riferimento. L'applicazione di questo manuale, integrata con altre linee guida e buone pratiche nazionali e internazionali, è infatti utile per affrontare il tentativo di sopperire alla mancanza di un protocollo tecnico e normativo operativo unico per progettare e realizzare interventi di sicurezza sulle infrastrutture esistenti.

Il presente manuale rappresenta un'edizione sintetica, rivista ed aggiornata, con un taglio sostanzialmente focalizzato sulle applicazioni pratiche, del testo pubblicato nel 2016 *Sicurezza stradale – Un approccio scientifico a un problema tecnico e comportamentale*², scritto dagli stessi autori, che era nato invece per gli studenti del corso di “Sicurezza Stradale” del Politecnico di Bari. Esso ambisce a fornire strumenti operativi utili ai professionisti del settore che devono concretamente prendere decisioni e/o fornire soluzioni tecniche e progettuali legate alla sicurezza stradale. Inoltre, questo manuale è stato fortemente voluto come un'edizione open-access, per disseminare i metodi all'avanguardia nel campo della sicurezza stradale. Infatti, lo scopo ultimo degli autori è quello di dare priorità al valore umano, grazie ai benefici da riduzione degli incidenti stradali gravi, potenzialmente ottenibili dall'applicazione della guida fornita da questo libro.

Il libro mira a fornire un protocollo operativo da seguire da parte dei professionisti nell'affrontare la progettazione di un intervento di adeguamento/miglioramento della sicurezza stradale. Tale aspetto costituirà dunque il nucleo centrale del manuale nonché la parte più estesa dello stesso. Infatti, il manuale è composto così come di seguito descritto:

- una prima parte sintetica, che contiene i cenni teorici essenziali alla comprensione dei metodi applicati nei successivi capitoli;
- una parte operativa, in cui è affrontato nel dettaglio il problema della progettazione degli interventi di miglioramento della sicurezza stradale, sia su strade extraurbane che su urbane esistenti.

In dettaglio, la prima parte è così composta: nel Capitolo 2 verranno proposti cenni sulle metodologie generali, normative e concetti relativi alla sicurezza stradale; nel Capitolo 3 saranno introdotti i fondamenti relativi alla misura ed alla previsione della incidentalità stradale, utili per le applicazioni progettuali; nel Capitolo 4 sarà brevemente descritta la metodologia utilizzata negli esempi applicativi di progettazione degli interventi di miglioramento della sicurezza stradale (basata sull'HSM, ma considerando la realtà locale).

¹American Association of State Highway and Transportation Officials -AASHTO- (2010), *Highway Safety Manual*, 1st Edition.

²Colonna P., Berloco N., Intini P., Ranieri V. (2016), *Sicurezza stradale. Un approccio scientifico a un problema tecnico e comportamentale*, Wip Edizioni.

Il Capitolo 5 ed il Capitolo 6 spiegano l'applicazione della metodologia descritta in ambito, rispettivamente, extraurbano ed urbano. Le applicazioni sono state svolte seguendo nel dettaglio ogni step della procedura in modo da fornire una guida operativa ai professionisti.

In particolare per quanto riguarda l'ambito urbano, le soluzioni progettuali mostrate sono mirate sia al miglioramento della sicurezza stradale che a raggiungere obiettivi globali di sostenibilità, con incentivo alla mobilità lenta oltre che di riduzione della incidentalità stradale.

1.1 Riferimenti

American Association of State Highway and Transportation Officials -AASHTO- (2010), *Highway Safety Manual*, 1st Edition.

Colonna P., Berloco N., Intini P., Ranieri V. (2016), *Sicurezza stradale. Un approccio scientifico a un problema tecnico e comportamentale*, Wip Edizioni.

2. Generalità su metodologie e normative relative alla sicurezza stradale

In questo capitolo viene offerta una panoramica generale delle metodologie e degli argomenti di base relativi alla sicurezza stradale e delle principali rilevanti normative nazionali (con riferimento a buone pratiche internazionali). Tali considerazioni generali saranno utili per fornire un quadro conoscitivo sintetico dello scenario in cui tecnici e professionisti si trovano ad operare nel caso di interventi relativi alla sicurezza stradale. In tale scenario si inseriscono i protocolli progettuali e le applicazioni che saranno presentati negli ultimi capitoli del presente manuale. Dato il taglio volutamente applicativo della trattazione, non si pretende in questa sede di entrare nel merito delle singole questioni affrontate, che potranno invece essere approfondite nei testi specifici di settore.

2.1 Il processo di gestione della sicurezza stradale

L'ingegnere che si trova ad operare nel campo della sicurezza stradale è inevitabilmente coinvolto in una delle macro-fasi del processo di gestione della sicurezza stradale. Tale processo è rappresentato nella seguente figura.



Fig. 2.1: Macro-fasi del processo continuo di gestione della sicurezza stradale (basato su AASHTO, 2010¹)

Il processo di gestione della sicurezza stradale è un processo continuo e iterativo, quando implementato a regime. È un processo che dovrebbe essere implementato da parte di tutti gli Enti amministratori di una rete

¹American Association of State Highway and Transportation Officials -AASHTO- (2010), *Highway Safety Manual*, 1st Edition.

stradale di qualsiasi importanza (con maggiore priorità per strade di interesse internazionale e nazionale). Esso si basa sulle seguenti macro-fasi, così come indicate dal manuale Americano HSM¹:

- screening della rete, nella quale si analizzano le performance di sicurezza stradale dei tronchi e delle intersezioni di cui è composta la rete di riferimento;
- diagnosi, nella quale si analizzano le problematiche relative all'incidentalità nei punti attenzionati nella fase precedente;
- selezione delle contromisure, nella quale si progettano le soluzioni per ridurre l'incidentalità nei punti attenzionati;
- valutazione economica, nella quale si valutano dal punto di vista economico i costi relativi alle soluzioni proposte ed i benefici in termini di riduzione della incidentalità;
- gerarchizzazione dei progetti, nella quale si valutano comparativamente diverse alternative progettuali per risolvere lo stesso punto critico (o anche diversi progetti relativi a più punti critici) e si effettua un ranking in rapporto alla valutazione economica studiata per ogni alternativa;
- valutazione di efficacia, nella quale si monitorano gli effetti delle soluzioni proposte nel tempo, per un determinato periodo, prima di ricominciare con lo screening della rete (processo ciclico).

Il tecnico coinvolto nel processo della sicurezza stradale può essere:

- un tecnico dell'Ente gestore, che dunque si deve occupare principalmente a) della fase di screening della rete al fine di individuare i punti critici da destinare ad una progettazione di interventi di miglioramento e b) della valutazione di efficacia degli interventi (monitoraggio nel tempo);
- un progettista degli interventi di miglioramento della sicurezza stradale, che dunque deve affrontare un iter progettuale che parte dalla diagnosi e finisce con la valutazione economica o con la gerarchizzazione dei progetti;
- un consulente, che segue nello specifico una delle macro-fasi (ad esempio il tecnico qualificato che conduce le ispezioni di sicurezza sulla rete).

Tale classificazione risulta alquanto approssimativa, in quanto l'Ente gestore potrebbe, per esempio, condurre internamente la progettazione oppure simulare diversi possibili interventi sulla rete e gerarchizzare i progetti alternativi per stabilire un ranking di priorità. Tuttavia lo schema sopra riportato risulta abbastanza diffuso.

Al di là della gestione della rete esistente, vi è poi il problema della sicurezza stradale nell'ambito delle nuove progettazioni che, inevitabilmente, può includere soltanto una valutazione economica delle diverse possibili alternative (previste come più o meno sicure in base alle conoscenze attuali) ed una gerarchizzazione delle stesse.

2.2 La normativa in merito alla sicurezza stradale

La normativa nazionale in merito alla progettazione ed alla gestione delle strade include:

- il Decreto Ministeriale n. 6792 del 05/11/2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", per i tronchi stradali;
- il Decreto Ministeriale del 19/04/2006 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali", per le intersezioni stradali;
- il Decreto Legislativo n. 285 del 30/04/1992, "Nuovo Codice della Strada" (aggiornato dalla L. 8 del 28/02/2020), che regola la circolazione stradale;
- il Decreto Ministeriale del 22/04/2004 "Modifica del decreto 5 Novembre 2001, n. 6792, recante Norme geometriche e funzionali per la costruzione delle strade", che avrebbe dovuto regolamentare l'adeguamento delle strade esistenti nella fase transitoria in attesa di una nuova normativa specifica (allo stato attuale non ancora emanata);
- il Decreto Legislativo n. 35 del 2011 "Gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali", che recepisce la Direttiva Europea 2008/96/CE, ed esplicita i criteri di gestione della sicurezza stradale, con annesse "Linee guida per la gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali", in vigore dal 2012 inizialmente per la sola rete TEN e progressivamente per le altre reti.

Attualmente le normative generali devono essere tenute in conto per la progettazione di nuove infrastrutture e devono essere assunte come riferimento per l'adeguamento delle infrastrutture esistenti.

In particolare, per quanto riguarda la sicurezza stradale nel D. Lgs. 35/2011 viene definito il processo di gestione della sicurezza stradale presentato all’inizio del capitolo e calato nel contesto italiano, in accordo con la Normativa Europea.

In particolare, il D.Lgs. 35/2011 è basato sui seguenti quattro pilastri che, a regime, costituiscono un ciclo continuo (iterativo):

- analisi della rete;
- ispezioni;
- classificazione;
- interventi.

Ciascuno di questi quattro pilastri costituisce una macro-fase del processo di gestione della sicurezza stradale. Essi sono dettagliati nel seguito.

L’Analisi della Rete consiste essenzialmente nello studio della rete di competenza da parte dell’Ente gestore/proprietario e nella individuazione dei “tratti omogenei” (dal punto di vista geometrico e funzionale) con una elevata concentrazione degli incidenti.

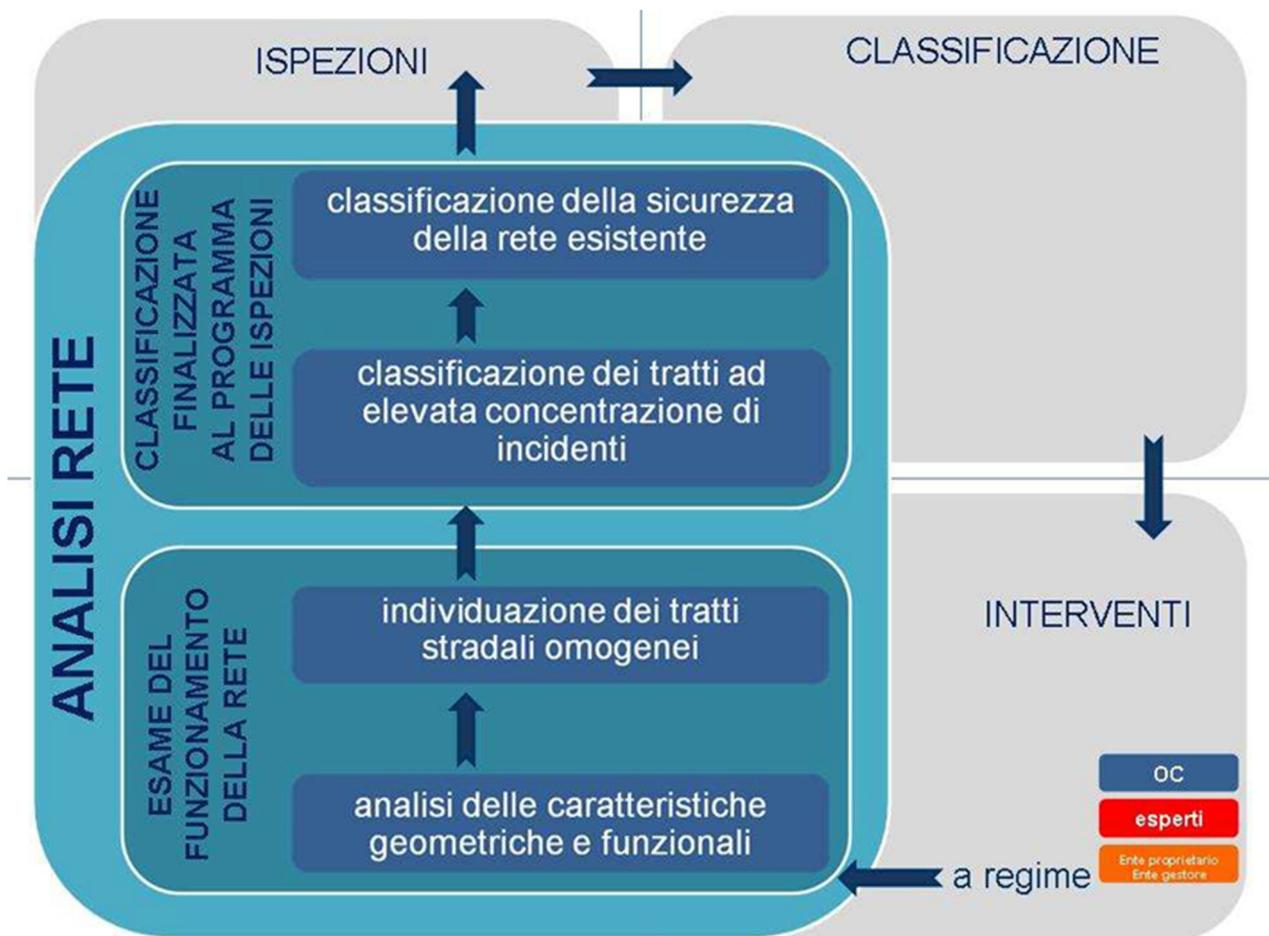


Fig. 2.2: Dettagli sulla fase dell’Analisi della rete (Linee Guida per la gestione delle infrastrutture stradali²)

Sui tratti nei quali è stata rilevata una elevata concentrazione di incidenti, l’Ente gestore/proprietario deve condurre le Ispezioni (seconda macro-fase), programmandone la realizzazione, individuando gli ispettori (la cui formazione e individuazione è indicata nello stesso D.Lgs. 35/2011) e acquisendo le risultanze delle ispezioni, una volta svolte.

²Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2011), *Linee Guida per la Gestione delle Infrastrutture Stradali* (Decreto Legislativo n. 35 del 2011).

La terza macro-fase è la Classificazione che prevede, sulla scorta dell'analisi della rete e delle ispezioni, una valutazione economica di massima che permetta di individuare quali sono le priorità di intervento, ovvero quali adeguamenti possono fornire i maggiori benefici in termini di riduzione della incidentalità. Una volta individuate tali priorità, si pianificano gli interventi da effettuare (gestionali o infrastrutturali, minimi o significativi).

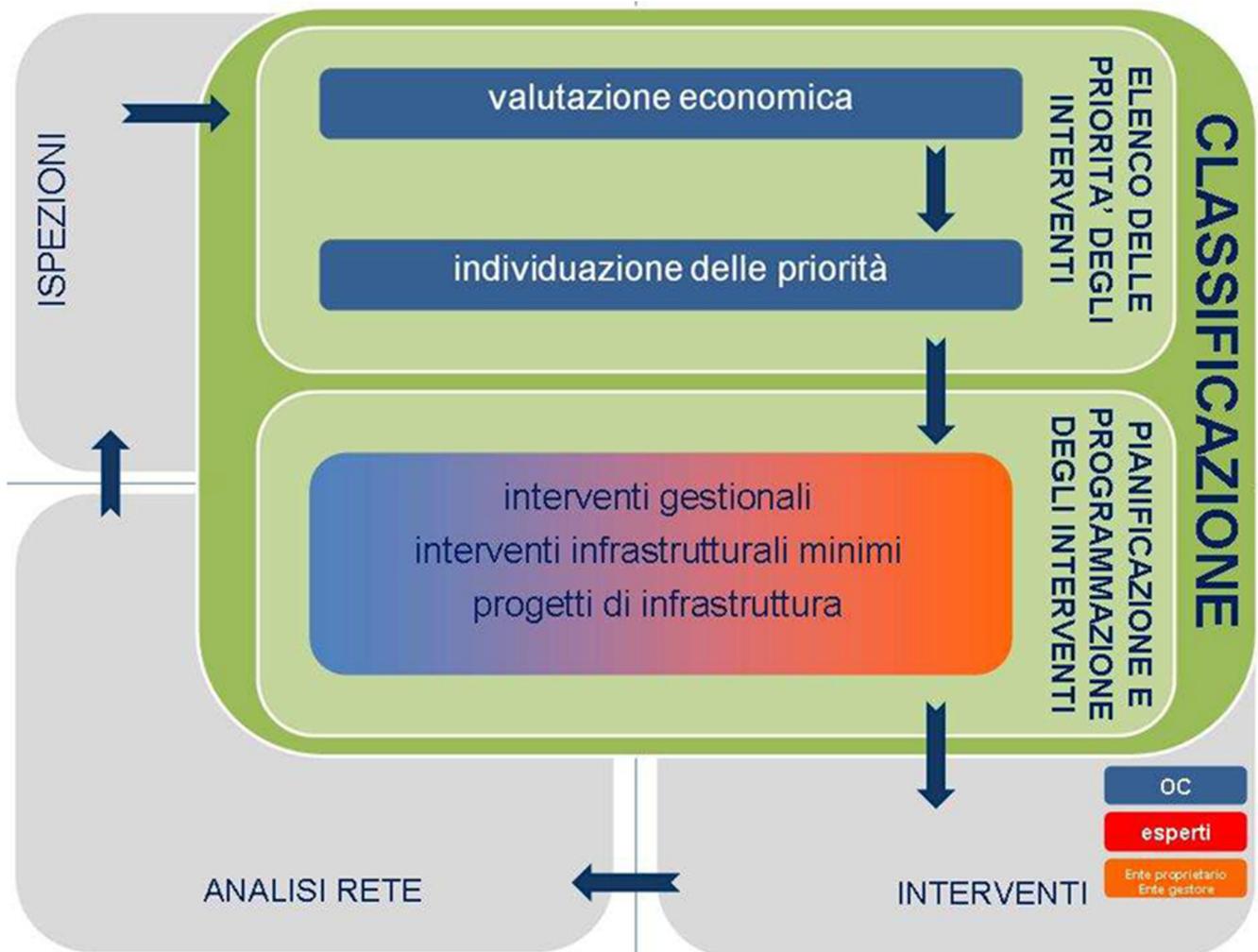


Fig. 2.3: Dettagli sulla fase della Classificazione (Linee Guida per la gestione delle infrastrutture stradali²)

Come riportato nella seguente figura, gli interventi possono essere di manutenzione ordinaria (interventi gestionali o infrastrutturali minimi) o di manutenzione straordinaria. In quest'ultimo caso, o per nuove progettazioni e comunque secondo le tempistiche previste nel Decreto, potrebbe essere prevista la Valutazione di Impatto sulla Sicurezza Stradale (VISS) e appositi controlli da effettuare sui progetti, focalizzati sulle possibili criticità relative alla sicurezza stradale.

È opportuno notare che, a seguito degli interventi, il ciclo della gestione delle infrastrutture stradali riparte regime con una nuova Analisi della Rete, da programmare a seguito degli interventi realizzati, trascorso un dato periodo di tempo.

Di seguito viene inoltre riportato uno schema riassuntivo che compara le macro-fasi previste dalle Linee Guida con le macro-fasi del processo di gestione della sicurezza stradale indicate dall'HSM.



Fig. 2.4: Dettagli sulla fase degli Interventi (Linee Guida per la gestione delle infrastrutture stradali²)

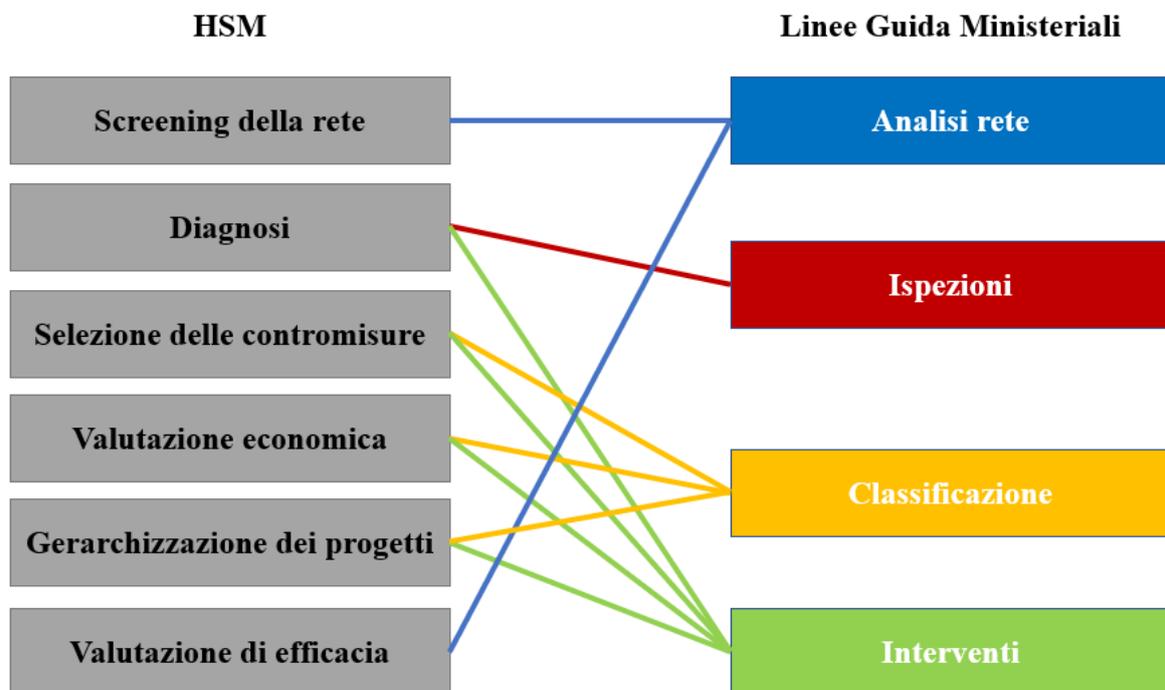


Fig. 2.5: Corrispondenza tra fasi del processo secondo l'HSM¹ e le Linee Guida per la gestione delle infrastrutture stradali²)

Sebbene le macro-fasi indicate dalle Linee Guida siano denominate in modo leggermente diverso rispetto a quelle proposte dall’HSM e siano più sintetiche, il processo di gestione della sicurezza prevede comunque step molto simili in entrambi i casi. È evidente come le fasi centrali del processo previste dall’HSM: Diagnosi, Selezione delle contromisure, Valutazione economica e Gerarchizzazione dei progetti possano agire su due livelli paralleli se confrontate con le Linee Guida:

- possono essere incluse nella macro-fase Classificazione (da Selezione contromisure a Gerarchizzazione dei progetti), nel caso in cui l’Ente proprietario/gestore abbia come obiettivo quello di decidere quali interventi realizzare. In questo caso la selezione delle contromisure è evidentemente speditiva, in quanto funzionale soltanto alla determinazione di una valutazione economica preliminare per i diversi possibili interventi.
- possono essere incluse nella macro-fase Interventi (da Diagnosi a Gerarchizzazione dei progetti), nel caso in cui i progettisti vogliano utilizzare gli strumenti della diagnosi (a livello di singoli tronchi e intersezioni) e della selezione di possibili contromisure alternative, al fine di perseguire l’alternativa progettuale che presenti la maggiore riduzione di incidentalità in funzione dei costi.

Invece, la fase HSM della Diagnosi corrisponde con la macro-fase Ispezioni (se valutata dal punto di vista dell’Ente gestore/proprietario), così come lo Screening della rete è equivalente all’Analisi rete. Infine, la Valutazione di efficacia esplicitamente considerata dall’HSM può essere considerata come il primo step dell’Analisi rete una volta ricominciato il ciclo previsto dalle Linee Guida.

In ciascuna di queste macro-fasi, sarà comunque necessario utilizzare misure della incidentalità per effettuare le operazioni di classificazione di siti simili e la previsione della riduzione della stessa in funzione delle diverse alternative progettuali. Tale argomento sarà affrontato nel capitolo successivo.

2.3 I fattori che influiscono sull’incidentalità

A prescindere da indicazioni tecniche e normative, in questo paragrafo si introducono i fattori che influiscono sulla incidentalità, che vanno considerati da parte dei tecnici che operano nel campo della sicurezza stradale, indipendentemente dalle parti di processo in cui sono coinvolti. In questa sede ci si limita solo ad elencarli e descriverli brevemente, data la natura speditiva della presente trattazione. Per maggiori dettagli, si rimanda a testi dedicati che lasciano ampio spazio all’argomento (come ad esempio Colonna et al., 2020³).

I fattori da considerare come influenti sulla incidentalità sono essenzialmente legati alle seguenti sfere^{1,4}:

- uomo, considerando caratteristiche demografiche, condizioni psico-fisiche, attenzione, comportamento alla guida, in funzione delle condizioni al contorno;
- infrastruttura, dal punto di vista geometrico e della manutenzione;
- veicolo, considerandone caratteristiche costruttive, funzionalità permesse e stato d’uso e manutenzione;
- ambiente, sia dal punto di vista delle condizioni al contorno (es.: atmosferiche) che dal punto di vista del contesto stradale (condizioni di traffico: entità e composizione dello stesso).

Generalmente, il fattore umano è predominante tra le circostanze che contribuiscono all’incidentalità. Tuttavia, il fenomeno incidentale avviene fondamentalmente come composizione di diverse concause e circostanze, che derivano dall’interazione dei diversi fattori sopra elencati. Ad esempio, gli utenti potrebbero scegliere velocità e traiettorie che potrebbero risultare inappropriate rispetto al contesto, ma questo potrebbe essere suggerito da un progetto geometrico difficilmente interpretabile dall’utente o da improvvise variazioni delle condizioni al contorno.

³Colonna, P., Berloco, N., Intini, P., Ranieri, V. (2020), *Road safety. technical solutions to a behavioural and technological problem with a scientific approach*, FrancoAngeli.

⁴Elvik, R., Vaa, T., Høy, A., Sørensen, M. (2009), *The Handbook of Road Safety Measures*, second edition, Emerald Group Publishing.

La considerazione di tali aspetti è particolarmente rilevante nella fase di diagnosi della incidentalità, al fine di poter selezionare contromisure ingegneristiche idonee, una volta noti i meccanismi di interazione tra i diversi fattori che hanno contribuito all'incidentalità stessa.

In ogni caso, data l'importanza del fattore umano nell'evento incidentale, tale aspetto è stato oggetto di numerosi studi e teorie che hanno cercato di definire il comportamento alla guida, ponendo l'attenzione sulla percezione del rischio da parte degli utenti stradali (si veda ad esempio^{5,6,7}), studi che risultano attualmente in corso.

2.4 Riferimenti

- American Association of State Highway and Transportation Officials -AASHTO- (2010), *Highway Safety Manual*, 1st Edition.
- Colonna, P., Berloco, N. (2011), "External and internal risk of the user in road safety and the necessity for a control process", in *24th World Road Congress, World Road Assosiation (PIARC)*.
- Colonna, P., Berloco, N., Intini, P., Ranieri, V. (2020), *Road safety. technical solutions to a behavioural and technological problem with a scientific approach*, FrancoAngeli.
- Elvik, R., Vaa, T., Hoyer, A., Sorensen, M. (2009), *The Handbook of Road Safety Measures*, second edition, Emerald Group Publishing.
- Fuller, R. (2005), "Towards a general theory of driver behaviour", *Accident Analysis and Prevention*, 37(3), 461-472.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2011), *Linee Guida per la Gestione delle Infrastrutture Stradali* (Decreto Legislativo n. 35 del 2011).
- Wilde, G. J. S. (1994), *Target Risk*, PDE Publications.

⁵Wilde G. J. S. (1994), *Target Risk*, PDE Publications.

⁶Fuller R. (2005), "Towards a general theory of driver behaviour", *Accident Analysis and Prevention*, 37(3), 461-472.

⁷Colonna P., Berloco N. (2011), "External and internal risk of the user in road safety and the necessity for a control process", in *24th World Road Congress, World Road Assosiation (PIARC)*.

3. La misura e la previsione della incidentalità stradale

In questo capitolo sono riportati i fondamenti relativi alla misura ed alla previsione della incidentalità stradale, utili per il prosieguo della trattazione e ritrovabili anche nelle applicazioni progettuali descritte nei capitoli finali.

Misurare l'incidentalità stradale è fondamentale per le valutazioni comparative durante le fasi di screening della rete, così come prevedere l'incidentalità stradale è fondamentale per determinare la riduzione di incidentalità prevista e dunque effettuare valutazioni economiche comparative tra diverse alternative progettuali (e/o tra diversi set di contromisure). La misura e previsione dell'incidentalità è dunque fondamentale sia per i decisori che per i progettisti degli interventi. Tali misure (basate sullo storico o sulle previsioni future) possono essere mirate a particolari obiettivi, come ad esempio la riduzione dell'incidentalità agli utenti deboli, e dunque possono includere tali caratteristiche (ad esempio considerando esclusivamente gli utenti deboli nella misura dell'incidentalità).

In tutto il capitolo (e per il resto della trattazione), con l'espressione “*incidente stradale*” si considera un incidente su strada che ha visto coinvolto almeno un veicolo motorizzato (per coerenza con i comuni database statistici).

3.1 Criteri per la misura della sicurezza stradale e aspetti collegati

L'incidentalità può essere misurata con riferimento:

- ad una unità temporale (ad esempio tipicamente l'anno);
- ad una unità spaziale (ad esempio tipicamente il chilometro di strada o la particolare intersezione);
- ad una entità amministrativa (ad esempio comune, provincia, regione o unità amministrativa in genere);
- ad una misura demografica (ad esempio per abitante).

Si può scegliere una delle misure sopra elencate a seconda dell'obiettivo dell'analisi. Con riferimento a tale lista, possono essere definite le seguenti misure tipiche:

- numero di incidenti/anno;
- numero di incidenti/km o numero di incidenti/intersezione;
- numero di incidenti/Comune;
- numero di incidenti/abitante.

La prima di queste misure è la fondamentale metrica della sicurezza stradale e forma la base per altre misure di performance più complesse. Essa viene tipicamente denominata “*frequenza di incidentalità*”:

$$\text{frequenza di incidentalità} = F = \frac{\text{incidenti}}{\text{periodo di osservazione (anni)}} \quad (\text{Eq. 2-1})$$

Tale misura può anche essere combinata con altre caratteristiche come l'unità spaziale, amministrativa o demografica (ad esempio: numero di incidenti/anno/km).

Tuttavia la frequenza di incidentalità potrebbe non essere sufficiente per spiegare alcuni fenomeni e soprattutto per comparare diverse infrastrutture molto diverse tra loro, dal punto di vista delle performance di sicurezza. Infatti, per esempio, sarà più probabile avere un numero maggiore di incidenti su una strada molto trafficata che su una strada secondaria minore nello stesso periodo, a parità di altre condizioni.

Per tale motivo è sempre preferibile, nella misura della incidentalità, tener conto anche della “esposizione” al rischio. Nel caso degli incidenti stradali, l’esposizione al rischio è costituita in prima approssimazione dal traffico, convenzionalmente misurato, anch’esso in prima approssimazione, come Traffico Giornaliero Medio (TGM), ovvero numero di veicoli medi giornalieri transitanti nella sezione di interesse. La misura tipica che tiene conto sia della frequenza che della esposizione è il “tasso di incidentalità”:

$$\text{tasso di incidentalità} = T = \frac{\text{incidenti} \cdot 10^6}{\text{periodo} \cdot \text{TGM} \cdot 365 \cdot \text{unità spaziale}} = \frac{F \cdot 10^6}{\text{TGM} \cdot 365 \cdot \text{unità spaziale}} \quad (\text{Eq. 2-2})$$

Nel caso in cui la misura sia riferita ad un segmento, l’unità spaziale è solitamente la lunghezza del segmento (in km), mentre nel caso dell’intersezione, l’unità spaziale sarà l’intersezione stessa (sostituendo dunque unità spaziale con il valore 1).

L’unità di misura del tasso di incidentalità è il numero di incidenti per milioni di veicoli transitati nella sezione e dunque rappresenta la probabilità, basata su eventi passati, che accada un determinato numero di incidenti ogni milione di veicoli (e per kilometro nel caso dei segmenti). Si considera un milione di veicoli come riferimento standard anche per comodità di calcolo e confronto (da cui il termine 10^6 nell’equazione), per evitare numeri relativamente molto piccoli.

La misura dell’esposizione potrebbe essere condotta con misure surrogate in assenza di dati di traffico, come ad esempio la dotazione veicolare o il numero di veicoli circolanti in una determinata zona.

Tutte queste misure potrebbero essere differenziate per *severità*, ovvero per livello di gravità delle conseguenze dell’incidente stradale stesso. Tipicamente (almeno nel contesto italiano), gli incidenti si differenziano dal punto di vista della severità in:

- incidenti mortali (con almeno un morto entro 30 giorni dall’incidente tra le persone coinvolte nello stesso);
- incidenti con feriti (con almeno un ferito tra le persone coinvolte nell’incidente);
- incidenti con danni alle sole proprietà (senza conseguenze alle persone coinvolte).

Tale differenziazione può variare a seconda delle diverse Nazioni (ad esempio negli Stati Uniti si utilizza una scala -KABCO- che divide ulteriormente gli incidenti con feriti in tre classi a seconda della gravità del ferimento (da incidente invalidante ad incidente con ferite non evidenti). In Italia non è attualmente prevista una differenziazione tra diversi livelli di ferimento ai fini della classificazione ISTAT e dunque non è possibile individuare una definizione precisa del “ferito da incidente stradale”, se non il generico riferimento all’aver subito lesioni personali in un incidente registrato. Inoltre, il database di incidentalità ISTAT raccoglie i soli incidenti con lesioni alle persone (con almeno un ferito e/o un morto entro 30 giorni dall’incidente) e dunque, a meno di consultare altre fonti locali, non è possibile considerare anche i numerosi incidenti con danni alle sole proprietà. In genere, la misura della frequenza e del tasso di incidentalità può essere riferita ai soli incidenti mortali o con feriti o all’insieme di tutti gli incidenti, o ancora a quelli che coinvolgono un determinato tipo di utenti o che sono avvenuti con una certa modalità, o che sono avvenuti in determinati ambiti (per es. urbani o extraurbani), a seconda dell’obiettivo dell’analisi ed ai target di riduzione dell’incidentalità.

3.2 Criteri per la previsione della sicurezza stradale e aspetti collegati

La “misura della sicurezza stradale” affrontata nel precedente paragrafo è riferita essenzialmente all’incidentalità osservata in un sito stradale con riferimento ad un periodo passato. Nel caso di progetti di infrastrutture (siano esse nuove o da adeguare), è tuttavia necessario prevedere l’incidentalità stradale sulle stesse (non ancora realizzate), al fine di poter comparare le diverse alternative dal punto di vista del miglioramento della sicurezza stradale.

Tale necessità può essere colmata grazie alla previsione dell’incidentalità per mezzo di modelli di regressione.

3.2.1 Modelli di previsione dell’incidentalità

I modelli di previsione della incidentalità sono costituiti da funzioni che legano la frequenza di incidentalità ad una serie di altre variabili influenti sull’incidentalità. La prima variabile da considerare è quella rappresentativa

del livello di esposizione ovvero generalmente il TGM, a causa della sua rilevante correlazione con l'incidentalità. Altre variabili solitamente considerate nei modelli di regressione, ad esempio con riferimento ad un segmento stradale, sono: raggio di curvatura medio, pendenza longitudinale, larghezza di corsie e di banchine.

Esiste comunque una ampia gamma di forme funzionali e distribuzioni di probabilità per i modelli di regressione che hanno come variabile dipendente la frequenza di incidentalità, ciascuna delle quali presenta caratteristiche che possono più o meno adattarsi al caso specifico in esame¹. Una delle distribuzioni di probabilità più utilizzate a tale scopo è la distribuzione negativa binomiale, che sottende una funzione di link logaritmica tra la frequenza di incidentalità e gli altri fattori considerati. La funzione che ne deriva è:

$$f = \beta_0 e^{\sum_i^n \beta_i x_i} \quad (\text{Eq. 2-3})$$

dove,

- f = stima della frequenza di incidenti per una data categoria di segmenti o intersezioni (incidenti/anno);
- β_0 = costante del modello;
- β_i = parametro stimato tramite il modello di regressione, relativo a ciascun fattore i incluso nel modello;
- x_i = ciascun fattore (variabile indipendente) i tra gli n fattori inclusi nel modello.

Nella pratica della previsione della incidentalità (si veda ad esempio Hauer et al., 2015²), tale funzione è spesso trasformata nelle seguenti equazioni (eq. 2-4 per i segmenti ed eq. 2-5 per le intersezioni):

$$f, s = \beta_0 TGM^{\beta_{TGM}} L^{\beta_L} e^{\sum_i^n \beta_i x_i} \quad (\text{Eq. 2-4})$$

$$f, i = \beta_0 TGM_p^{\beta_{TGM,p}} TGM_s^{\beta_{TGM,s}} e^{\sum_i^n \beta_i x_i} \quad (\text{Eq. 2-5})$$

dove,

- $f, s; f, i$ = frequenze di incidentalità stimate, rispettivamente, per segmenti ed intersezioni;
- β_0 = costante del modello;
- TGM = traffico giornaliero medio (veicoli/giorno);
- TGM_p = traffico giornaliero medio che insiste sulla strada principale afferente all'intersezione (veicoli/giorno);
- TGM_s = traffico giornaliero medio che insiste sulla strada secondaria afferente all'intersezione (veicoli/giorno);
- L = lunghezza del segmento (km), variabile presente solo nel caso dei segmenti stradali;
- $\beta_{TGM}; \beta_{TGM,p}; \beta_{TGM,s}$ = parametri stimati relativi ai rispettivi TGM;
- β_L = parametro stimato relativo al fattore L, solitamente posto pari ad 1 nel caso in cui esista una relazione lineare tra lunghezza del segmento e frequenza di incidentalità;
- β_i = parametro stimato tramite il modello di regressione, relativo a ciascun altro fattore i diverso da traffico e lunghezza del segmento;
- x_i = ciascun fattore (variabile indipendente) i tra gli n fattori inclusi nel modello, diversi da traffico e lunghezza del segmento.

L'equazione riferita alle intersezioni può essere in alternativa espressa riferendosi al solo traffico totale entrante nelle intersezioni e considerando eventualmente un parametro che indichi lo sbilanciamento del traffico tra i tronchi entranti nella stessa^{3,4}.

¹Lord, D., & Mannering, F. (2010), "The statistical analysis of crash-frequency data: a review and assessment of methodological alternatives", *Transportation research part A: policy and practice*, 44(5), 291-305.

²Hauer, E. (2015), *The art of regression modeling in road safety*, Springer.

³Gomes, S. V., Geedipally, S. R., & Lord, D. (2012). "Estimating the safety performance of urban intersections in Lisbon, Portugal", *Safety science*, 50(9), 1732-1739.

⁴Intini, P., Berloco, N., Cavalluzzi, G., Colonna, P., Lord, D., & Ranieri, V. (2020), "The variability of urban Safety Performance Functions with different road elements: an Italian case study", paper accepted for presentation at the 99th Annual Meeting of the Transportation Research Board 2020.

È importante rimarcare che le funzioni descritte in precedenza sono generali e possono essere utilizzabili sia in ambito urbano che extraurbano, oltre che potenzialmente valide per diverse tipologie di segmenti ed intersezioni (ad esempio per segmenti a singola o doppia carreggiata o per intersezioni semaforizzate o non semaforizzate, a tre o quattro bracci).

Le differenze tra tipologie di segmenti ed intersezioni sono invece riflesse nelle diverse variabili x_i influenti sull'incidentalità considerati nei modelli di regressione e che rappresentano le caratteristiche geometriche, di controllo del traffico o altri fattori potenzialmente importanti nei diversi casi.

3.2.2 Metodo HSM per la previsione dell'incidentalità: SPF, CMF e Cc

L'Highway Safety Manual (HSM) (2010)⁵, ha introdotto un metodo previsionale per l'incidentalità che comprende tre step successivi per il calcolo della frequenza di incidentalità rispetto a quello effettuato per mezzo di un unico modello di regressione (che considera simultaneamente misure di esposizione e altri fattori influenti, come mostrato nel precedente capitolo).

Tale metodo si basa su tre concetti fondamentali, le SPF (*Safety Performance Functions*), i CMF (*Crash Modification Factors*) e i Cc (*Coefficienti di Calibrazione Locale*).

Le SPF (*Safety Performance Functions*, ovvero *Funzioni di Prestazione della Sicurezza*, ved. fig. 3.1) sono funzioni che esprimono, per ciascuna categoria di strada, l'andamento medio della frequenza di incidentalità in funzione del TGM tramite diverse relazioni matematiche, anche utilizzando le reti neurali⁶. Tali funzioni sono state codificate principalmente in Nord America elaborando tutta una ampia serie di dati sperimentali riferiti a siti stradali con caratteristiche standardizzate, in specifiche regioni⁷ (per esempio Texas, Ontario, Colorado ecc.).

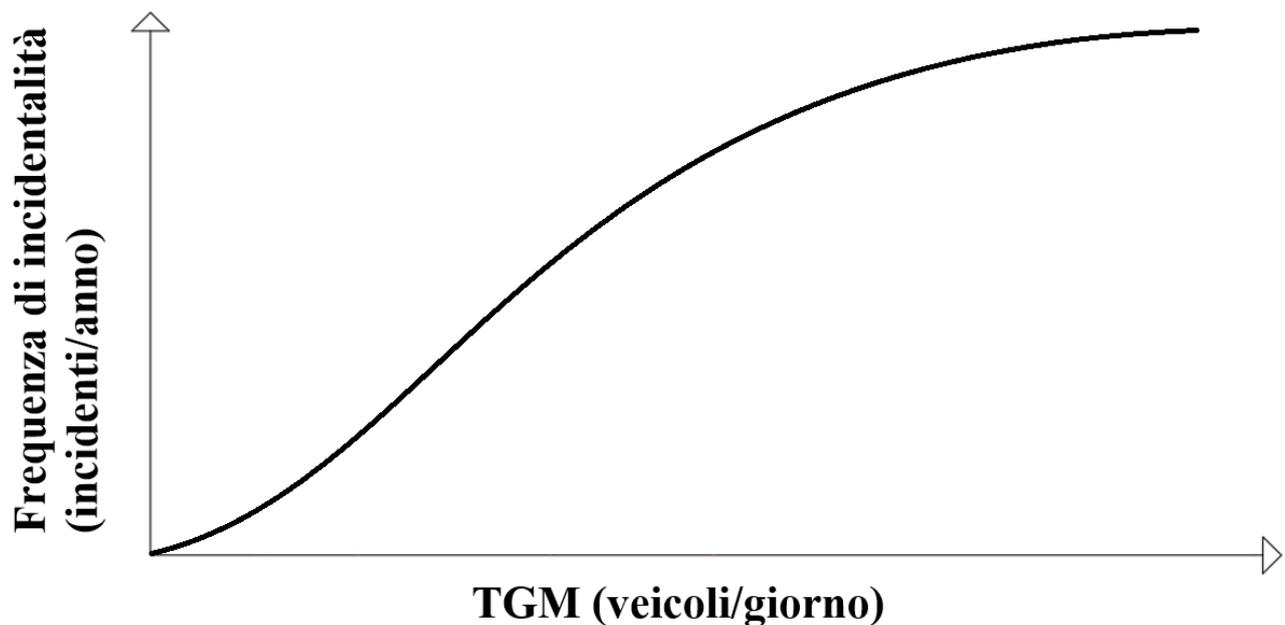


Fig. 3.1: Esempio di SPF base per segmenti stradali di una specifica categoria di strada

⁵American Association of State Highway and Transportation Officials -AASHTO- (2010), *Highway Safety Manual*, 1st Edition.

⁶Kononov, J., Allery, B. (2003), "Level of service of safety: conceptual blueprint and analytical framework", *Transportation research record*, 1840(1), 57-66.

⁷Hauer, E., & Persaud, B. (1997), *Safety analysis of roadway geometric and ancillary features*, Research Report, Transportation Association of Canada.

Inoltre, poiché erano disponibili anche dati riferiti a siti stradali con caratteristiche diverse da quelle standardizzate, è stato possibile determinare l'andamento medio della frequenza di incidentalità in funzione del TGM, per siti caratterizzati dal singolo elemento specifico di diversità, e valutare dunque il fattore modificativo medio della Frequenza di Incidentalità (di incremento se peggiorativo o di riduzione se migliorativo). I fattori modificativi sono stati denominati CMF (*Crash Modification Factors*, ovvero *Fattori di Modifica degli Incidenti*) e, dopo essere stati raccolti in modo organico nella prima edizione del 2010 dell'HSM, sono in continuo aggiornamento, a seguito delle ricerche sperimentali condotte in tutto il mondo, e sono ad esempio ricercabili nel database online "*CMF Clearinghouse*"⁸, che fornisce anche il livello di affidabilità di ciascun fattore.

I *Coefficienti di Calibrazione* locale Cc introdotti dall'HSM servono invece per correggere le previsioni effettuate per mezzo dell'applicazione di SPF e CMF, tenendo conto delle differenze spaziali e temporali tra il contesto di applicazione locale ed il contesto in cui il metodo è stato sviluppato. Infatti, i metodi previsionali sono basati su dati incidentali che possono essere tipici di alcune aree ed essere caratterizzati da particolari fattori locali⁵ (politiche di mobilità, soglie di registrazione degli incidenti, tipologie di incidenti registrati, condizioni di traffico, ecc.). Inoltre, modelli sviluppati a partire da dati relativi ad un determinato periodo potrebbero non essere più validi in periodi successivi (variazione del fenomeno incidentale nel tempo).

Secondo tale approccio, le SPF proposte nel primo step del metodo predittivo proposto dall'HSM sono espresse dalle seguenti funzioni base (di seguito riportate per segmenti ed intersezioni, con la stessa nomenclatura utilizzata nelle eq. 2-4 e 2-5):

$$f, s, spf = \beta_0 TGM^{\beta_{TGM}} L \quad (\text{Eq. 2-6})$$

$$f, i, spf = \beta_0 TGM_p^{\beta_{TGM,p}} TGM_s^{\beta_{TGM,s}} \quad (\text{Eq. 2-7})$$

Le stime di frequenza ottenibili tramite le funzioni SPF sono riferite a condizioni base che sono proprie dei segmenti e delle intersezioni stradali a cui si riferiscono (ad esempio, determinate larghezze di corsia, banchina, pendenze longitudinali e trasversali o curvatura dei segmenti).

Per riportare tali stime di frequenza alle condizioni specifiche del sito di cui si vuole prevedere l'incidentalità, si utilizzano i CMF, definiti in questo caso come:

$$CMF, j = \frac{f(\text{condizione "S"})}{f(\text{condizione "O"})} \quad (\text{Eq. 2-8})$$

dove,

- CMF, j = CMF relativo alla j -esima variabile (ad esempio raggio di curvatura del segmento);
- $f(\text{condizione } S)$ = frequenza di incidentalità nella condizione specifica del sito "S", con riferimento ad una determinata variabile (ad esempio un determinato raggio di curvatura);
- $f(\text{condizione } O)$ = frequenza di incidentalità nella condizione di riferimento ("O") per quella famiglia di siti stradali (ad esempio, segmenti di strade extraurbane a due corsie, doppio senso di marcia), con riferimento ad una determinata variabile (ad esempio, per il caso dei raggi di curvatura, la condizione base è un segmento rettilineo, per valutare l'effetto della variazione di curvatura sull'incidentalità).

Dunque, in definitiva, la frequenza prevista di incidentalità viene stimata come nel seguito (equazione valida sia per segmenti che per intersezioni) considerando anche l'applicazione del Coefficiente di Calibrazione Cc):

$$f = f, spf \cdot \prod_j^n CMF_j \cdot Cc \quad (\text{Eq. 2-9})$$

E' evidente che, nel modello dell'HSM, è prevista la moltiplicazione di tutti i fattori di modifica degli incidenti (CMF) che derivano dalla comparazione tra condizioni in sito (o in progetto) e condizioni di riferimento disponibili per segmenti ed intersezioni di una determinata famiglia. Ciò presuppone una indipendenza degli effetti dovuti alle diverse variabili considerate.

⁸<http://www.cmfclearinghouse.org/>

Le funzioni SPF dell’HSM sono riportate in diversi casi anche per vari livelli di severità (incidenti con morti, feriti o danni alle sole proprietà) e diverse tipologie di incidenti (per i quali inoltre sono applicabili diverse classi di CMF). Infatti, alcuni fattori possono essere maggiormente influenti su incidenti di alcune tipologie o alcune severità, piuttosto che sul fenomeno incidentale nella sua globalità.

3.2.3 Metodo HSM per la previsione dell’incidentalità: l’incidentalità attesa

Nel paragrafo precedente è stato mostrato il fondamento del metodo proposto nel manuale HSM per quanto riguarda la previsione della incidentalità. Tuttavia, se si conducono analisi di sicurezza su siti esistenti con una pregressa storia di incidentalità e per i quali si vuole prevedere l’incidentalità futura (anche a seguito di interventi da realizzare), è anche disponibile una misura della incidentalità osservata.

Dunque, in questi casi, il metodo HSM prevede la stima di una particolare misura, l’“*incidentalità attesa*”, che viene determinata come media pesata dell’incidentalità prevista per il sito specifico (tramite l’applicazione della SPF relativa alla famiglia di appartenenza del sito e dei CMF per il sito specifico) e della incidentalità osservata. Tale misura viene determinata tramite l’utilizzo di un metodo statistico di tipo “*Empirico-Bayesiano*” (EB), come di seguito riportato:

$$E(F) = w f + (1 - w) F \quad (\text{Eq. 2-10})$$

dove,

- $E(F)$ = valore atteso della frequenza di incidentalità o frequenza media attesa di incidentalità;
- f = stima della frequenza di incidentalità o frequenza media prevista di incidentalità tramite il metodo previsionale (SPF+CMF);
- F = misura della frequenza di incidentalità o frequenza media osservata di incidentalità in sito;
- w = peso statistico da assegnare all’incidentalità prevista, definito come in seguito.

$$w = (1 + k \sum_p F)^{-1} \quad (\text{Eq. 2-11})$$

dove,

- k = parametro di sovradisersione (parametro tipico della SPF utilizzata per la previsione, se ottenuta per mezzo di una distribuzione negativa binomiale, collegato alla rappresentatività statistica);
- P = periodo di osservazione (numero di anni per cui è disponibile il numero di incidenti osservati F riferiti ad ogni anno).

L’utilizzo della frequenza media attesa di incidentalità permette di combinare i vantaggi dell’utilizzo della frequenza media osservata e prevista di incidentalità, oltre che risolvere gli svantaggi principali dell’utilizzo del valore osservato (come riportato nella seguente tabella). In particolare, considera il fenomeno della “regressione verso la media”, ovvero dell’errore che si potrebbe avere nel considerare una misura di incidentalità osservata riferita ad un breve periodo (solitamente dai 3 ai 5 anni), che potrebbe non catturare il valore “vero” della frequenza di incidentalità che solitamente è più attendibile se riferito a lunghi periodi (ad esempio almeno 10 anni, ma solo nel caso in cui non intervengano modifiche geometriche o delle condizioni al contorno). Infatti, la frequenza annua di incidentalità fluttua naturalmente nel breve periodo intorno ad un valore medio di lungo termine. Tuttavia, come già detto, è estremamente difficile ottenere una misura di incidentalità osservata riferita ad un sito specifico che sia riferita ad un periodo molto lungo in cui non siano intervenute modifiche al sito specifico o alle condizioni al contorno.

Dunque è opportuno combinare la frequenza osservata di incidentalità con una frequenza prevista, in modo da tener conto della media degli incidenti previsti per un sito con le stesse caratteristiche, a partire da una popolazione di siti simili. Il peso che viene assegnato alla stima ottenuta dal modello previsionale viene attribuito in funzione della affidabilità statistica del modello (minor peso alla stima f per una elevata sovradisersione misurata tramite il parametro k , minor peso alla stima f per un elevato numero di incidenti osservati, che possono ritenersi maggiormente affidabili).

Tab. 3.1: Sintesi dei principali vantaggi e svantaggi della frequenza media osservata, prevista e attesa di incidentalità (basata su HSM⁵)

Valori	Vantaggi	Svantaggi
Frequenza media osservata di incidentalità F	Misura immediatamente reperibile, riferita al sito specifico	Soffre dell'errore di "regressione verso la media", ovvero della tendenza a fluttuare nel breve termine intorno ad un valore medio di lungo periodo
Frequenza media prevista di incidentalità f	Permette di ottenere stime di incidentalità per siti con determinate caratteristiche non ancora esistenti (strade in costruzione o adeguamenti di strade esistenti)	Stima ottenibile solo tramite l'applicazione di un modello previsionale che potrebbe essere non immediatamente disponibile
Frequenza media attesa di incidentalità $E(F)$	Permette di ottenere stime di incidentalità per siti con determinate caratteristiche non ancora esistenti, tiene conto del fenomeno della "regressione verso la media"	Stima basata sull'applicazione di un modello previsionale che potrebbe non essere immediatamente disponibile

In ogni caso, anche l'incidentalità attesa è soggetta allo svantaggio di doversi basare su di un modello previsionale per la parte riguardante l'incidentalità prevista. Infatti, potrebbe non essere disponibile un modello adatto per la tipologia di siti sotto esame, oppure il modello potrebbe essere datato o sviluppato per contesti territoriali molto diversi da quello in cui esso viene applicato. Per superare tali svantaggi, esistono procedure di calibrazione di modelli trasferiti da altri contesti locali o temporali, di cui si discuterà nel seguito.

Dunque, dal punto di vista operativo, lo schema tipo da adottare per il calcolo della frequenza attesa di incidentalità $E(F)$ è il seguente:

- reperimento dei dati di base (incidentalità osservata, dati di traffico, dati geometrici ecc.);
- calcolo della frequenza media osservata di incidentalità F in un dato periodo (eq. 2-1);
- reperimento di un modello predittivo locale e recente (o in sua assenza si può far riferimento a SPF e CMF proposti dall'HSM ma ricorrendo agli opportuni Coefficienti di Calibrazione locali C_c);
- calcolo della frequenza media prevista di incidentalità f nello stesso periodo (eq. 2-4 o 2-5 in caso di modelli locali oppure eq. 2-9 in caso di SPF+CMF);
- calcolo della frequenza media attesa di incidentalità $E(F)$ tramite l'eq. 2-10.

Nel caso in cui non siano disponibili dati di incidentalità, non è possibile calcolare la frequenza media attesa di incidentalità $E(F)$ e dunque si farà riferimento alla sola frequenza media prevista di incidentalità f .

Si riporta di seguito un semplice esempio applicativo per il calcolo della frequenza media attesa di incidentalità $E(F)$, considerando una strada extraurbana secondaria con $TGM = 8000$ veicoli/giorno, lunghezza = 1 km, frequenza media di incidentalità osservata uguale a 1 incidente/anno (valutata su un periodo di 3 anni, e dunque 3 incidenti in totale), avente per semplicità caratteristiche tutte compatibili con la SPF base proposta dall'HSM per questa categoria di strade. Si considera dunque l'applicazione di tale SPF (riferita alle unità di misura italiane) con CMF unitari e $C_c = 1$. Di seguito sono riportati i calcoli effettuati in base alle eq. 2-9 e 2-10.

$$f = f_{spf} \cdot \prod_j^n CMF_j \cdot C_c = (0,000166 * TGM * L) * 1 * 1 = (0,000166 * 8000 * 1) * 1 * 1 = 1,33 \frac{\text{incidenti}}{\text{anno}} = 3,99 \text{ incidenti (in 3 anni)} \quad (\text{Eq. 2-12})$$

$$E(F) = w f + (1 - w) F = 0,29 * 3,99 + 0,71 * 3 = 3.29 \text{ incidenti (in 3 anni)} = 1,10 \text{ incidenti/anno} \quad (\text{Eq. 2-13})$$

in cui⁹:

$$w = (1 + k \sum_p F)^{-1} = (1 + 0,81 * 3)^{-1} = 0,29 \quad (\text{Eq. 2-14})$$

⁹In questo caso è stato utilizzato il parametro di sovradisersione della SPF HSM calibrato dagli autori per il contesto pugliese e pari a 0,81/L (km).

3.2.4 Relazioni tra SPF e misura dell'incidentalità

Le SPF sono usate per la previsione della incidentalità. L'output di una SPF è la frequenza di incidentalità (prevista) per un determinato sito, in funzione di un determinato valore del traffico giornaliero medio e di una data lunghezza del segmento (nel caso di previsione per segmenti), come riportato nelle eq. 6 e 7.

La relazione tra frequenza di incidentalità e traffico è generalmente non lineare (Fig. 3.1). La pendenza della retta che congiunge l'origine con un qualsiasi punto sulla SPF (Fig. 3.2) è invece matematicamente relazionata al tasso di incidentalità (essendo espressa come il rapporto tra frequenza di incidentalità, normalizzata rispetto alla lunghezza in km nel caso dei segmenti, e traffico giornaliero medio), a meno dei coefficienti riportati nella eq. 2.2.

Da ciò discende che il tasso di incidentalità è generalmente variabile in funzione del traffico, invece di essere costante. Ciò infatti avverrebbe solo in caso di relazione lineare tra traffico e frequenza di incidentalità.

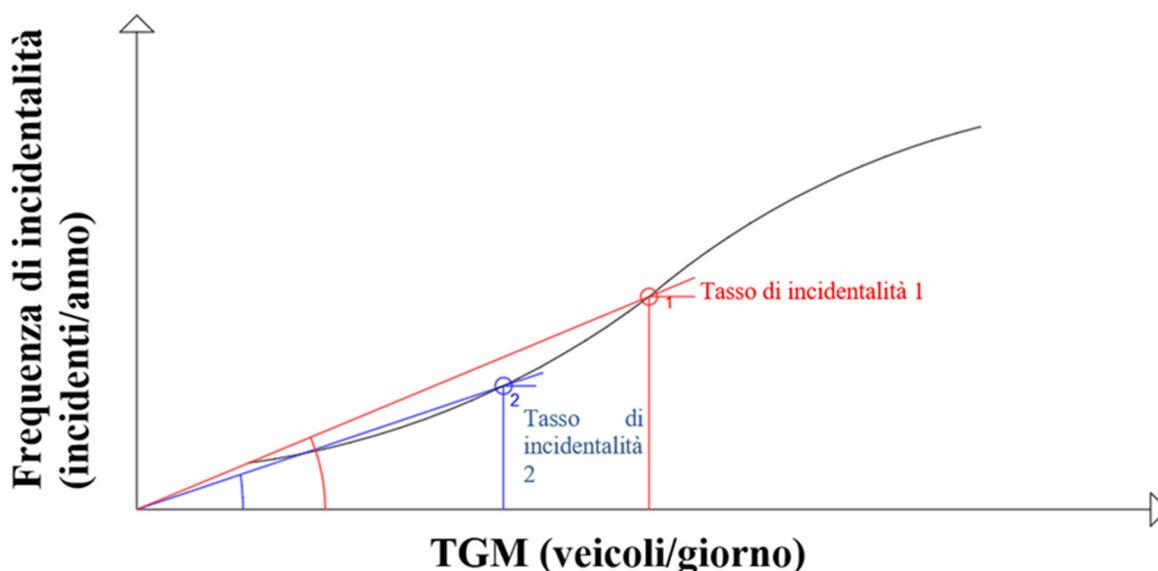


Fig. 3.2: Relazione tra SPF e tasso di incidentalità. Nel solo caso dei segmenti, la frequenza di incidentalità in ordinata si intende normalizzata rispetto alla lunghezza dei segmenti: incidenti/anno/km (basato su Kononov e Allery, 2003⁶)

La variabilità del tasso di incidentalità con il traffico ha importanti conseguenze per l'utilizzo del parametro "tasso di incidentalità" ai fini di confrontare tra loro siti con traffici diversi. Infatti, tale confronto è influenzato dalla natura della relazione tra traffico e frequenza di incidentalità (chilometrica). Dunque, sebbene per alcuni aspetti il tasso di incidentalità sia preferibile alla semplice frequenza di incidentalità osservata (perché considera l'esposizione), la frequenza media attesa di incidentalità definita come indicato nel paragrafo precedente è generalmente da preferire al tasso di incidentalità.

3.2.5 SPF utilizzate a scopo di classificazione dei siti: i Livelli di Servizio della Sicurezza

Le SPF possono anche essere utilizzate a scopo di classificazione dei siti. Infatti, è possibile valutare in modo comparativo la misura di incidentalità riferita ad un sito specifico rispetto ad una misura media riferita a tutti i siti simili a quel determinato sito (ad esempio un segmento stradale extraurbano a due corsie). In pratica, una volta determinato il valore della incidentalità osservata (o meglio attesa) per un determinato sito, l'HSM⁵ propone una serie di metriche di comparazione di tale valore rispetto al valore medio desumibile dalla SPF per quella famiglia di siti.

Tra questi criteri, uno dei più utilizzati è quello dei Livelli di Servizio della Sicurezza⁶ (in inglese abbreviato come "LOSS", Levels of Service of Safety), che divide l'area del grafico Frequenza di incidentalità

(chilometrica)-Traffico Giornaliero Medio in quattro sezioni, in funzione della pericolosità (la divisione in sezioni è stata poi aggiornata in seguito¹⁰):

- LOSS I – pericolosità molto bassa, punti al di sotto della SPF traslata di -1,5 deviazioni standard;
- LOSS II – pericolosità bassa, punti situati tra la SPF e la SPF traslata di -1,5 deviazioni standard;
- LOSS III – pericolosità moderata (superiore alla media), punti situati tra la SPF e la SPF traslata di 1,5 deviazioni standard;
- LOSS IV – pericolosità elevata, punti situati oltre la SPF traslata di 1,5 deviazioni standard.

Dunque, una volta definita la misura della frequenza di incidentalità osservata (o meglio attesa) per un determinato sito, è possibile inserirlo nel grafico e determinarne la collocazione in funzione del rispettivo LOSS di appartenenza (nell'esempio nella figura seguente, il sito ricadrà nel LOSS III).

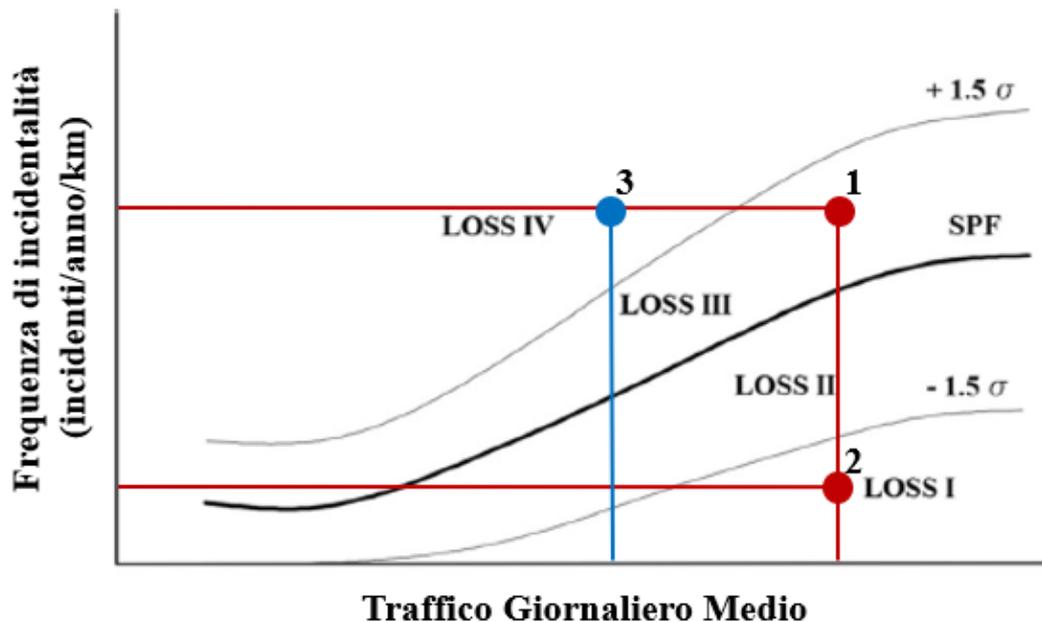


Fig. 3.3: Definizione dei Livelli di Servizio della Sicurezza Stradale (LOSS)⁶

Tale criterio permette di valutare, in modo comparativo tra loro, diversi siti riferiti alla stessa SPF e dunque della stessa tipologia, in modo da evidenziare quelli che necessitano di interventi in modo prioritario. Il metodo rientra dunque tra i criteri di “classificazione” che però non considerano aspetti economici.

Ad esempio, considerando la coppia di punti 1 e 2 in figura (aventi lo stesso TGM, ma diversi valori della frequenza di incidentalità media) ed il punto 3 (con un TGM inferiore, ma valore della frequenza di incidentalità media uguale al punto 1), sono evidenti le seguenti considerazioni:

- il sito 1 ed il sito 2 presentano lo stesso valore di TGM, ma il sito 1 ricade nella fascia LOSS III (incidentalità superiore alla media) mentre il sito 2 ricade nella fascia LOSS I (incidentalità notevolmente inferiore alla media). Dunque è possibile che vi siano notevoli differenze in termini di pericolosità anche a parità di TGM.
- Il sito 1 ed il sito 3 presentano lo stesso valore di frequenza di incidentalità media ma diverso TGM (il sito 1 presenta un TGM maggiore del sito 3). In questo caso, il sito 1 ricade nel LOSS III ed il sito 3 nel LOSS IV (incidentalità notevolmente superiore alla media). Dunque, in maniera speculare rispetto al caso precedente, è possibile che vi siano differenze in termini di pericolosità anche a parità di incidentalità, per diversi TGM.

¹⁰Kononov, J., Durso, C., Lyon, C., Allery, B. (2015), “Level of service of safety revisited”, *Transportation research record*, 2514(1), 10-20.

3.2.6 Coefficienti di calibrazione delle SPF per il contesto italiano

Come discusso in precedenza, nel caso in cui si voglia applicare un modello previsionale sviluppato in altri contesti e/o datato, è necessario ricorrere all'applicazione dei Coefficienti di Calibrazione locali Cc. Tale necessità è molto frequente poichè è generalmente difficile avere a disposizione SPF locali ed aggiornate per ogni tipologia di strada, considerando in particolare l'ambito italiano di riferimento. Un archivio utile per ricavare SPF locali è il database online di SPF (denominate in questo caso APM -*Accident Prediction Models*) messo a disposizione tramite il progetto di ricerca Europeo "PRACT"¹¹. Tuttavia, sebbene l'utilizzo di una SPF locale sia incoraggiato⁵, si possono ottenere risultati accettabili anche utilizzando una SPF calibrata¹².

Di conseguenza, si riportano nel seguito alcuni coefficienti di calibrazione relativi al contesto italiano, utili per le applicazioni pratiche del metodo predittivo presentato in questo capitolo. Tutti i coefficienti riportati nella tabella seguente fanno riferimento parzialmente o integralmente al metodo di calibrazione previsto dall'HSM (a cui si rimanda per dettagli specifici).

Per quanto riguarda invece le possibili SPF base da utilizzare, nei capitoli applicativi saranno forniti dettagli specifici sia per l'ambito urbano che per l'ambito extraurbano.

Tab. 3.2: Dati sintetici a riguardo degli studi di calibrazione per il contesto italiano

Tipologia di tronchi stradali	Area Geografica	Autori	Anni	Cc
Autostrade	Sicilia	Cafiso et al. (2012) ¹³	2005 - 2008	1.26 (MF)**
Autostrade*	Italia	La Torre et al. (2014) ¹⁴	2005 - 2009	1.52 (MV, MF)** 1.19 (MV, DSP)** 0.36 (SV, MF)** 0.64 (SV, DSP)**
Strade extraurbane a due corsie (statali, provinciali e locali)	Toscana (Provincia di Arezzo)	Martinelli et al. (2009) ¹⁵	2002 - 2004	0.37
Strade extraurbane a due corsie (statali, provinciali e locali)	Piemonte (Provincia di Torino)	Sacchi et al. (2012) ¹⁶	2005 - 2008	0.44 (MF)**
Strade extraurbane a due corsie (statali e provinciali)	Italia	Colonna et al. (2016) ¹⁷	2008 - 2012	1.44 (MF)**

*In tale studio sono stati sviluppati dei coefficienti di calibrazione anche per le aree di svincolo.

**Coefficienti validi rispettivamente per: MV = Incidenti con più veicoli coinvolti, SV = incidenti a veicoli isolati, MF = incidenti con morti e feriti, DSP = incidenti con danni alle sole proprietà.

In particolare, per le strade extraurbane a due corsie (statali e provinciali), esistono anche stime del coefficiente di calibrazione (sempre a partire dalle funzioni base introdotte dall'HSM) per incidenti con morti e feriti, disaggregate in funzione di:

- range di traffico giornaliero medio (maggiore o minore di 10000 veicoli/giorno);
- macro-regione (Italia Settentrionale o Centro-Meridionale);

¹¹<https://www.pract-repository.eu/apm-search-page>.

¹²Intini, P., Berloco, N., Cavalluzzi, G., Colonna, P., Lord, D., Ranieri, V. (2020), "The variability of urban Safety Performance Functions with different road elements: an Italian case study", *paper accepted for presentation at the 99th Annual Meeting of the Transportation Research Board 2020*.

¹³La Torre, F., Domenichini, L., Corsi, F., Fanfani, F. (2014), "Transferability of the Highway Safety Manual Freeway Model to the Italian Motorway Network", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 61-71.

¹⁴Cafiso, S., Di Silvestro, G., Di Guardo, G. (2012), "Application of Highway Safety Manual to Italian divided multilane highways", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 53, 910-919.

¹⁵Martinelli, F., La Torre, F., Vadi, P. (2009), "Calibration of the Highway Safety Manual's Accident Prediction Model for Italian secondary road network", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2103), 1-9.

¹⁶Sacchi, E., Persaud, B., Bassani, M. (2012), "Assessing international transferability of highway safety manual crash prediction algorithm and its components", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2279(1), 90-98.

¹⁷Colonna P., Berloco N., Intini P., Perruccio A., Ranieri V., Vitucci V. (2016), "Variability of the Calibration Factors of the HSM SPF with Traffic, Region and Terrain. The Case of the Italian Rural Two-Lane Undivided Road Network", *Compendium of Papers of the 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board 2016*.

- tipo di terreno (pianeggiante o collinare).

Tali coefficienti di calibrazione dettagliati possono svolgere una funzione pratica importante, laddove sia necessario differenziare il coefficiente in funzione delle diverse condizioni al contorno.

Si sottolinea tuttavia che tutti i coefficienti mostrati in questo paragrafo saranno soggetti ad aggiornamenti futuri, per le intrinseche necessità di aggiornamento delle attività di calibrazione.

Tab. 3.3: Coefficienti di calibrazione per diverse condizioni di traffico, regione e orografia (Colonna et al., 2016¹⁷)

<i>Variabile</i>	<i>Sotto-gruppo</i>	<i>Range di Traffico Giornaliero Medio</i>	<i>Cc (MF)*</i>
-	Globale (Italia)	Globale	1.44
		< 10000	1.19
		10000-17800	1.75
<i>Tipo di terreno</i>	Terreno collinare (elevazione media \geq 400 m)	Globale	1.38
		< 10000	1.22
		10000-17800	1.62
	Terreno pianeggiante (elevazione media < 400 m)	Globale	1.49
		< 10000	1.17
		10000-17800	1.82
<i>Macro-regione**</i>	Italia Settentrionale	Globale	1.66
		< 10000	1.39
		10000-17800	1.71
	Italia Centro-meridionale	Globale	1.29
		< 10000	1.16
		10000-17800	1.81
<i>Macro-regione/ Tipo di terreno</i>	Italia Settentrionale/ Terreno collinare	Globale	1.73
		< 10000	1.36
		10000-17800	1.84
	Italia Settentrionale/ Terreno pianeggiante	Globale	1.62
		< 10000	1.41
		10000-17800	1.67
	Italia Centro-meridionale/ Terreno collinare	Globale	1.18
		< 10000	1.19
		10000-17800	1.10
	Italia Centro-meridionale/ Terreno pianeggiante	Globale	1.37
		< 10000	1.13
		10000-17800	2.28
<i>Regione</i>	Basilicata	Globale	0.46
		< 10000	0.43
		10000-17800	0.65
	Calabria	Globale	1.61
		< 10000	0.99
		10000-17800	2.73
	Campania	Globale	1.03
		Globale	1.24
		< 10000	2.07
	Emilia Romagna	10000-17800	1.20
		Globale	1.46
		< 10000	0.87
	Lombardia	10000-17800	1.71
		<10000	0.90
		Globale	1.26
	Puglia	< 10000	1.24
		10000-17800	1.34
		< 10000	2.60
	Umbria	Globale	1.90
		< 10000	1.71
		10000-17800	1.94
	Veneto	Globale	1.90
		< 10000	1.71
		10000-17800	1.94

*In grassetto sono riportati i coefficienti di calibrazione statisticamente più affidabili, basati su almeno 30 siti e con associato coefficiente di variazione minore di 0.15. I coefficienti si intendono validi per incidenti con morti e feriti (FI).

**L'Italia Settentrionale include siti appartenenti al territorio di Lombardia, Emilia Romagna, Veneto. L'Italia Centro-Meridionale include siti appartenenti al territorio di Puglia, Basilicata, Campania, Calabria, Molise e Umbria.

La diversità dei coefficienti mostrati nelle tabelle precedenti deriva verosimilmente dalle differenze tra reti stradali analizzate (in alcuni casi strade locali, in altre statali/provinciali o autostrade) e dalla disomogeneità dei database di incidentalità di partenza (con morti e/o feriti o considerando gli incidenti totali, in base a fonti locali). In ogni caso, se utilizzati per progetti relativi ad un solo territorio, la variabilità dei coefficienti di calibrazione è ininfluente, in quanto si compareranno alternative progettuali per le quali la previsione della incidentalità è stata condotta utilizzando lo stesso coefficiente di calibrazione. In sintesi, possibili anomalie nei coefficienti di calibrazione sono mitigate dalla comparazione tra previsioni di incidentalità per progetti siti nello stesso territorio, previsioni che dunque non assumono una valenza assoluta.

Dal punto di vista operativo, riprendendo l'esempio di calcolo della frequenza media prevista di incidentalità (eq. 2-12) e calandolo ad esempio nella Regione Puglia, si considererebbe per il sito in esame (TGM = 8000 veicoli/giorno) un $C_c = 1,24$ in base alla Tab. 3.3. In questo caso, il coefficiente di calibrazione è valido per incidentalità con almeno un ferito e/o un morto (incidenti MF) e dunque si assume una percentuale di tali incidenti pari al 20% sul totale. La eq. 2-12 si trasforma in:

$$f(MF) = f, spf \cdot \prod_j^n CMF_j \cdot C_c \cdot \%MF = (0,000166 * TGM * L) * 1 * 1,24 * 0,2 = (0,000166 * 8000 * 1) * 1 * 1,24 * 0,2 = 0,33 \frac{\text{incidenti MF}}{\text{anno}} = 0,99 \text{ incidenti MF (in 3 anni)} \quad (\text{Eq. 2-15})$$

3.3 Riferimenti

- Cafiso, S., Di Silvestro, G., Di Guardo, G. (2012), "Application of Highway Safety Manual to Italian divided multilane highways", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 53, 910-919.
- Colonna, P., Berloco, N., Intini, P., Perruccio, A., Ranieri, V., Vitucci, V. (2016), "Variability of the Calibration Factors of the HSM Safety Performance Functions with Traffic, Region, and Terrain: The Case of the Italian Rural Two-Lane Undivided Road Network", *paper accepted for presentation at the 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board 2016*.
- Gomes, S. V., Geedipally, S. R., Lord, D. (2012), "Estimating the safety performance of urban intersections in Lisbon, Portugal", *Safety science*, 50(9), 1732-1739.
- Hauer, E. (2015), "The art of regression modeling in road safety", Springer.
- Hauer, E., Persaud, B. (1997), "Safety analysis of roadway geometric and ancillary features", Research Report, Transportation Association of Canada.
- Intini, P., Berloco, N., Binetti, R., Fonzone, A., Ranieri, V., Colonna, P. (2019), "Transferred versus local Safety Performance Functions: A geographical analysis considering two European case studies", *Safety Science*, 120, 906-921.
- Intini, P., Berloco, N., Cavalluzzi, G., Colonna, P., Lord, D., Ranieri, V. (2020), "The variability of urban Safety Performance Functions with different road elements: an Italian case study", *paper accepted for presentation at the 99th Annual Meeting of the Transportation Research Board 2020*.
- Kononov J., Allery B. (2003), "Level of service of safety: conceptual blueprint and analytical framework", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1840(1), 57-66.
- Kononov, J., Durso, C., Lyon, C., Allery, B. (2015), "Level of service of safety revisited", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2514(1), 10-20.
- La Torre, F., Domenichini, L., Corsi, F., Fanfani, F. (2014), "Transferability of the Highway Safety Manual Freeway Model to the Italian Motorway Network", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 61-71.
- Lord, D., Mannering, F. (2010), "The statistical analysis of crash-frequency data: a review and assessment of methodological alternatives", *Transportation research part A: policy and practice*, 44(5), 291-305.
- Martinelli, F., La Torre, F., Vadi, P. (2009), "Calibration of the Highway Safety Manual's Accident Prediction Model for Italian secondary road network", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2103), 1-9.
- Sacchi, E., Persaud, B., Bassani, M. (2012), "Assessing international transferability of highway safety manual crash prediction algorithm and its components", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2279(1), 90-98.

4. Definizione del protocollo di progetto degli interventi di adeguamento

In questo capitolo si propone un protocollo di progetto degli interventi di adeguamento delle strade esistenti, finalizzato al miglioramento della sicurezza stradale. Tale protocollo può essere utilizzato per tutti gli adeguamenti in generale, indipendentemente dalla tipologia di strada e dall'ambito di riferimento, con opportuni accorgimenti a seconda dei casi specifici. Esso considera sia la normativa nazionale che le buone pratiche internazionali, già presentate nei precedenti capitoli.

4.1 Presupposti

La definizione del protocollo progettuale scaturisce dal seguente problema. In Italia, non esiste attualmente un protocollo certo, basato su consolidata normativa, da seguire per i progetti di adeguamento alla sicurezza di strade esistenti.

Inoltre, la normativa italiana non fornisce prescrizioni relative alle seguenti questioni:

- definizione dei criteri da utilizzare per l'analisi della rete (ad esempio: lunghezza significativa degli elementi costitutivi, soglie da utilizzare per definire i punti critici dal punto di vista incidentale);
- definizione dettagliata degli indicatori da utilizzare per misurare l'incidentalità stradale ed effettuare confronti tra siti con caratteristiche simili (se non per alcuni indicatori basati su valutazioni economiche definite nelle Linee Guida);
- definizione di come debba essere valutato e misurato il miglioramento della incidentalità stradale nelle varie alternative progettuali, nel caso di interventi di adeguamento;
- utilizzo di modelli previsionali della incidentalità stradale.

Queste questioni, come mostrato nei capitoli precedenti, possono interessare i tecnici coinvolti nel processo di gestione della sicurezza stradale ad ogni livello. In particolare, i progettisti degli interventi di adeguamento si trovano a dover rispondere alle seguenti problematiche:

- quali sono le problematiche incidentali sul sito da adeguare, che hanno portato alla necessità dell'intervento di miglioramento della sicurezza?
- Quali sono, considerando i budget a disposizione, le più idonee contromisure ingegneristiche in funzione delle problematiche evidenziate?
- Come possono essere valutate le diverse alternative progettuali in modo comparativo (sia dal punto di vista dell'incidentalità che dal punto di vista economico)?

Tali problematiche sono di interesse, in particolare per ottemperare all'art. 4 del D.M. 22/04/2004 "Modifica del decreto 5 novembre 2001, n. 6792, recante -Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade-", che riporta il seguente testo:

"fino all'emanazione delle suddette norme, per il conseguimento delle finalità di cui al precedente articolo, i progetti di adeguamento delle strade esistenti devono contenere una specifica relazione dalla quale risultino analizzati gli aspetti connessi con le esigenze di sicurezza, attraverso la dimostrazione che l'intervento, nel suo complesso, e' in grado di produrre, oltre che un miglioramento funzionale della circolazione, anche un innalzamento del livello di sicurezza, fermo restando la necessità di garantire la continuità di esercizio della infrastruttura".

Dal momento in cui non sono state emanate altre normative specifiche (se non il D.Lgs. 35/2011, con annesse Linee Guida, valide però solo per le reti stradali più importanti e, soprattutto, che non trattano in dettaglio l'aspetto progettuale), tale articolo rimane valido, seppur non sia evidente come affrontare le problematiche sopra riportate.

Per tale ragione, si propone, per gli interventi di adeguamento, un protocollo progettuale che possa rispondere alle problematiche riportate in precedenza e che possa guidare il progettista nelle scelte tecniche, considerando sia la normativa nazionale che le buone pratiche internazionali, in attesa della definizione di protocolli normativi specifici ed aggiornati per tutta la rete.

4.2 Protocollo di progetto degli interventi di adeguamento

In base a quanto descritto in precedenza, il protocollo di progetto degli interventi di adeguamento dal punto di vista della sicurezza stradale, è composto come di seguito descritto.

- Analisi preliminare del sito da adeguare, con riferimento alla comparazione della storia di incidentalità del sito in esame rispetto all'incidentalità media su siti simili (valutazione del potenziale di miglioramento dal punto di vista della sicurezza stradale);
- caratterizzazione del sito da analizzare, con riferimento alla geometria stradale (con confronti normativi) ed a tutte le condizioni al contorno che possono essere di interesse per la progettazione, con individuazione dei tratti omogenei (segmenti con caratteristiche omogenee ed intersezioni di diverso tipo) in cui il sito stradale può essere scomposto;
- diagnosi: caratterizzazione del fenomeno incidentale sul sito esaminato, in base ai dati disponibili;
- ispezioni: utilizzo delle Linee Guida Ministeriali per condurre ispezioni di dettaglio sul sito in esame, in modo da avere un quadro dettagliato delle problematiche (a latere dell'analisi della storia incidentale);
- selezione delle contromisure: individuazione delle possibili contromisure per risolvere le problematiche evidenziate nelle fasi di diagnosi ed ispezione (eventualmente raggruppando più contromisure in scenari che possano risolvere le stesse problematiche);
- previsione della incidentalità: applicazione di metodi predittivi (basandosi su SPF locali o su SPF non locali corrette con opportuni coefficienti di calibrazione Cc) per poter stimare la variazione di incidentalità che si otterrebbe con l'implementazione delle contromisure (o scenari) ipotizzati (tramite l'utilizzo degli opportuni fattori di modifica degli incidenti CMF);
- comparazione delle diverse alternative con valutazione economica delle stesse (dal punto di vista della analisi benefici-costi, considerando le risultanze della previsione futura di incidentalità e dei costi per l'implementazione delle contromisure);
- gerarchizzazione delle alternative progettuali (generazione di un ranking di alternative in base alla valutazione economica effettuata).

L'elenco delle fasi descritte in precedenza è stato utilizzato come base per lo sviluppo delle applicazioni progettuali in ambito urbano ed extraurbano descritte nei successivi capitoli. Di seguito inoltre, si riportano alcuni cenni sulle fasi di selezione delle contromisure, valutazione economica e gerarchizzazione dei progetti, utili per comprendere le applicazioni riportate nei capitoli successivi.

4.3 Cenni sulla fase di selezione delle contromisure

La fase di selezione delle contromisure è basata sulla fase di diagnosi della incidentalità, in cui sono stati ricostruiti tutti gli incidenti stradali avvenuti in sito e sono stati individuati i fattori influenti. In particolare, sarebbe utile riferirsi alle matrici di Haddon¹ per individuare i fattori che influiscono sull'incidentalità:

- prima dell'incidente (che contribuiscono a generare la situazione di rischio, ad esempio in riferimento a comportamenti dell'utente o condizioni di rischio legate alla strada);

¹Haddon, W. (1980), "Options for the prevention of motor vehicle crash injury", *Israel journal of medical sciences*, 16(1), 45-65.

- durante l'incidente (che contribuiscono a determinare la severità dell'incidente, ad esempio con riferimento all'utilizzo dei dispositivi di protezione);
- dopo l'incidente (che contribuiscono a determinarne l'esito, ad esempio con riferimento ai soccorsi).

Di seguito si riporta un generico esempio di tali matrici che possono essere costruite per ogni incidente, in cui l'autore proponeva inoltre di differenziare i fattori in afferenti alle sfere: uomo, veicolo e strada, in modo da poter evidenziare aree su cui intervenire in modo prioritario.

Tab. 4.1: Esempio di matrice di Haddon applicata ad un incidente stradale^{1,2}

	Fattore Uomo	Fattore Veicolo	Fattore Strada
Pre-incidente	Condizioni psico-fisiche alterate, distrazione, mancanza di familiarità con il tracciato	Cattiva manutenzione	Insufficiente consistenza geometrica, pavimentazione bagnata, difetti di visibilità
Incidente	Età, mancato utilizzo di dispositivi di protezione	Design del veicolo (predisposizione all'urto)	Aderenza
Post-incidente	Età	Design del veicolo (facilità di estrarre persone)	Prontezza soccorsi

Dall'analisi dei fattori influenti, è possibile identificare idonee contromisure, volte alla riduzione della frequenza e/o della severità degli incidenti. Per effettuare una valutazione preliminare delle contromisure da adottare, è possibile utilizzare i Crash Modification Factors (CMF) introdotti nel precedente capitolo con finalità predittive, ovvero per quantificare in via speditiva l'effetto di una determinata contromisura al fine di poter scegliere tra diverse tipologie di contromisure.

4.4 Cenni sulla valutazione economica

La valutazione economica è necessaria per poter comparare tra di loro:

- i benefici derivanti dall'introduzione delle contromisure in termini di riduzione della incidentalità;
- i costi derivanti dall'implementazione delle contromisure stesse.

Il problema principale risiede dunque nel convertire la riduzione di incidentalità (ottenuta dal metodo predittivo come differenza tra incidentalità attesa nella situazione post-intervento a seguito delle contromisure e incidentalità attesa nella situazione pre-intervento) in valore monetario, in modo da poter effettuare il confronto con i costi delle contromisure. Tale processo è reso possibile dalla stima dei costi sociali della incidentalità³, utili appunto per convertire un incidente stradale in valore monetario (somma di danni arrecati alla società da mancata produttività, danni morali e danni materiali), in funzione della gravità dell'incidente.

Inoltre, prima di poter essere confrontati, costi e benefici dovranno essere attualizzati secondo semplici procedure che saranno mostrate nei capitoli applicativi.

4.5 Cenni sulla gerarchizzazione dei progetti

In seguito alla valutazione economica, in cui sono valutati costi e benefici di ciascun progetto alternativo, tali progetti dovranno essere ordinati in un ranking di priorità. La generazione di tale ranking dipende dal tipo di analisi benefici-costi condotta e in particolare dal tipo di indicatore scelto.

Tra gli indicatori più diffusi vi sono:

- il VAN (Valore Attuale Netto), differenza tra benefici e costi attualizzati di ogni singolo progetto;
- il BCR, rapporto tra benefici e costi attualizzati di ogni singolo progetto.

Nel primo caso, si ha un riscontro positivo se il VAN è maggiore di 0. Nel secondo caso, la condizione necessaria è che il BCR sia maggiore di 1. Effettuate queste valutazioni preliminari, sarà sufficiente ordinare i progetti in funzione del valore ottenuto di VAN e/o BCR.

²American Association of State Highway and Transportation Officials -AASHTO- (2010), *Highway Safety Manual*, 1st Edition.

³Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2011), *Studio di valutazione dei Costi Sociali dell'incidentalità stradale*.

Un'altra possibilità che fornisce risultati maggiormente attendibili è data dall'utilizzo del metodo del BCR incrementale². Secondo tale metodo, basato sul calcolo del BCR, bisogna rispettare i seguenti passi:

- ordinare i progetti con $BCR > 1$ in ordine crescente di costo;
- calcolare la differenza di costi e benefici tra primo e secondo progetto meno costosi;
- calcolare il rapporto tra la differenza di benefici e la differenza di costi (BCR incrementale);
- se il BCR incrementale è maggiore di 1, si passa a confrontare il secondo progetto (più costoso, ma vincente nel confronto) con il terzo in graduatoria, altrimenti si confronta il primo (meno costoso) con il terzo;
- una volta ripetuti tutti i necessari confronti, il progetto selezionato a seguito dell'ultimo confronto è individuato come progetto più vantaggioso.

4.6 Riferimenti

American Association of State Highway and Transportation Officials -AASHTO- (2010), "*Highway Safety Manual*", 1st Edition.

Haddon, W. (1980), "Options for the prevention of motor vehicle crash injury", *Israel journal of medical sciences*, 16(1), 45-65.

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2011), *Studio di valutazione dei Costi Sociali dell'incidentalità stradale*.

5. Esempio applicativo: strade extraurbane

5.1 Introduzione

Il seguente capitolo descrive un'applicazione del metodo introdotto nei capitoli precedenti. In particolare, mira a fornire, agli attuali e futuri professionisti, una guida pratica sulla corretta progettazione di interventi di sicurezza delle strade extraurbane esistenti. Il capitolo è strutturato in maniera tale da costituire un esempio di relazione tecnica descrittiva, con l'obiettivo di supportare i progettisti, le autorità pubbliche e gli studenti di ingegneria nel compito di migliorare la sicurezza delle strade. Analogamente, sarà seguito lo stesso iter anche per il capitolo successivo, ma con la differenza che si tratterà di un esempio di strada urbana.

Il protocollo proposto per gli interventi di sicurezza stradale viene di seguito applicato a un tratto di strada extraurbana a due corsie, una per ciascun senso di marcia. Il segmento individuato non presenta intersezioni con strade aventi analoga categoria. Tuttavia, nell'ultimo paragrafo del presente capitolo saranno forniti alcuni esempi al fine di fornire spunti di riflessione per la soluzione di problemi legati a intersezioni con questo tipo di strade.

L'applicazione in questione si riferirà alla normativa italiana, come meglio descritta nel paragrafo successivo (2.2). Tuttavia, il quadro presentato prescinde dal paese di origine, anche perché i criteri di base utilizzati dalle norme internazionali per la progettazione stradale sono in gran parte simili. Pertanto, il quadro generale per gli interventi di sicurezza stradale, comprensivo sia di criteri quantitativi per la stima degli incidenti stradali (rivenienti principalmente dal manuale HSM, 2010), sia di criteri qualitativi per la valutazione delle condizioni di sicurezza (riferiti principalmente alle linee guida dell'UE), potrebbe potenzialmente essere applicato in qualsiasi paese ed integrato con gli standard locali.

5.2 Riferimenti normativi

Il principale riferimento normativo italiano per l'analisi delle condizioni di sicurezza e la progettazione degli interventi di sicurezza stradale è il Decreto Legislativo 15/03/2011 n. 35 “Attuazione della Direttiva 2008/96/CE sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture” e le “Linee guida per la gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali”, pubblicato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti nel 2012, ai sensi dell'articolo 8 incluso nel suddetto decreto.

Le Linee guida stabiliscono quali sono i “criteri e le procedure per i controlli di sicurezza stradale sui progetti, le ispezioni di sicurezza delle infrastrutture esistenti e per l'attuazione del processo di classificazione della sicurezza delle reti stradali”. Le stesse hanno anche lo scopo di guidare, coordinare e standardizzare le attività di tutti coloro che sono coinvolti nella sicurezza delle infrastrutture stradali, comprese le autorità locali, le agenzie stradali competenti, i gestori e gli esperti di sicurezza stradale, ovvero i controllori di progetto e gli ispettori delle strade esistenti. Oltre all'utilizzo delle “Linee guida per la gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali”, si è fatto riferimento al manuale americano “Highway Safety Manual (HSM)-1^a edizione”, che delinea le tecniche attualmente disponibili per misurare, stimare e valutare le misure di incidentalità di un'infrastruttura stradale. In particolare, il manuale HSM, 2010¹ è stato spesso utilizzato per la maggior parte delle analisi relative agli interventi di sicurezza stradale, in quanto le Linee Guida 2012, pur sottolineando l'importanza di altri aspetti come le ispezioni, non individuano esplicitamente metodi quantitativi dettagliati per la misurazione e la previsione degli

¹ AASHTO (2010), *Highway Safety Manual, First Edition*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., USA.

incidenti, basati su dati statistici o scientifici. Per le verifiche geometriche e funzionali degli elementi stradali si è fatto riferimento al Decreto Ministeriale del 5 novembre 2001 n. 6792 (Gazzetta Ufficiale S.O. dal n. 5 al n. 3. del 04/01/02) “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”.

5.3 Inquadramento del progetto

5.3.1 Contesto del progetto

Il tratto stradale selezionato per l’esempio applicativo fa parte della strada “S.P. 239” (ex S.S.604), gestita dalla Città Metropolitana di Bari. Si trova a circa 45 km a sud del capoluogo e si estende per circa 2 km (dal km 6+000 al km 8+000).

Come mostrato nella figura 5.1, il tronco rientra nei confini amministrativi del Comune di Noci al confine con il Comune di Gioia del Colle. La strada oggetto di indagine è stata scelta come esempio applicativo perché, nell’ultimo decennio, è stata interessata da diversi incidenti stradali (anche con conseguenze fatali).



Fig. 5.1: Quadro dell’area di studio (Fonte: Open street map)

Il motivo per il quale tale sito può essere considerato come un candidato ideale per il miglioramento della sicurezza stradale è fornito nel seguito, ove vengono applicati i metodi matematico-statistici introdotti nel Capitolo 3. I progettisti a cui siano affidati progetti di adeguamento di specifici siti già individuati a priori possono anche saltare i prossimi paragrafi e continuare con il capitolo 5.4 successivo. Tuttavia, conoscere il potenziale di miglioramento della sicurezza di un determinato sito può essere utile per il progettista, al fine di riconoscere l’effettivo margine di miglioramento e dunque di intervento progettuale. Al contrario, i paragrafi successivi sono essenziali per coloro i quali debbano effettuare una scelta tecnica di intervento tra diversi siti candidati per gli interventi di miglioramento di sicurezza stradale.

5.3.2 Determinazione della frequenza prevista di incidentalità per la strada in esame

Secondo la Safety Performance Function (SPF) per le strade extraurbane a due corsie calibrate per il contesto pugliese², per ogni valore medio giornaliero di traffico, si può prevedere un numero previsto di incidenti per chilometro e per anno in base alla tipologia stradale considerata.

La SPF di base è fornita da Highway Safety Manual (2010)¹ con coefficienti qui modificati per tener conto delle unità di misura italiane.

$$N_{SPF} = 1,66 \times 10^{-4} \times TGM \times L \times Cc \quad (\text{Eq. 5-1})$$

² Colonna P., Berloco N., Intini P., Perruccio A., Ranieri V., Vitucci V. (2016), “Variability of the Calibration Factors of the HSM Safety Performance Functions with Traffic, Region and Terrain. The case of the Italian rural two-way undivided road network”, *Compendium of Papers of the 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D. C., USA.

Dove:

- N_{SPF} : frequenza media prevista di incidentalità (incidenti per anno).
- TGM: Traffico Giornaliero Medio espresso in veicoli/giorno. In questo caso il valore esaminato è pari a 4202 veicoli/giorno. Si noti che i dati di traffico sono estrapolati a partire dai rilievi effettuati parte della regione Puglia nel 2007 (sit.puglia.it).
- L: lunghezza del tronco esaminato espressa in km.
- Cc, coefficiente di calibrazione locale, in questo caso disponibile per il caso pugliese, pari a 1,26 (come si ricava dalla tab. 3, capitolo 3).

Di conseguenza, applicando la formula precedente per calcolare la frequenza media prevista di incidentalità (per anno e per kilometro) sul tronco in esame, il totale degli incidenti previsti dalla SPF calibrata per la Regione Puglia risulta pari a 0,88 incidenti/anno/km (N_p nella seguente figura 5.3).

5.3.3 Determinazione della frequenza di incidentalità osservata per la strada in esame

La strada oggetto di indagine, nell'ultimo decennio, è stata interessata da diversi incidenti stradali (anche con conseguenze fatali). Per quanto riguarda il numero di incidenti osservati, sono stati considerati solo quelli mortali e con feriti riscontrati nel tratto in questione nella finestra temporale che va dal 2008 al 2014.

Si noti che il numero degli incidenti osservati è stato ricavato in questo caso dai report di incidentalità forniti dalla polizia locale e da ASSET- Agenzia Regionale Strategica per lo Sviluppo Ecosostenibile del Territorio.

La frequenza media osservata di incidentalità per la strada in esame è determinata come nel seguito.

$$N_{\text{Osservato,MF}} = 11 \text{ incidenti con morti e feriti (MF)}^3 \quad (\text{Eq. 5-2})$$

$$N_{\text{Osservato,MF(per anno e per km)}} = \frac{N \text{ incidenti osservati (MF)}}{N \text{ anni} * N \text{ km}} = \frac{11}{7 * 2} = 0,79 \quad (\text{Eq. 5-3})$$

5.3.4 Determinazione della pericolosità relativa per la strada in esame

Il confronto fra gli incidenti avvenuti in sito (numero di incidenti osservati) e gli incidenti previsti dalla SPF, permette di ottenere una misura quantitativa della pericolosità del sito di interesse. In questo modo, le condizioni di sicurezza del sito possono essere confrontate con siti simili per caratteristiche geometriche, funzionali e geografiche (in questo caso i dati si riferiscono alla regione Puglia).

In particolare, per verificare la effettiva pericolosità del sito in esame, è opportuno utilizzare anche il metodo dei Livelli di Servizio della Sicurezza (LOSS) proposto da Kononov et al. (2003)⁴ e indicato nel manuale HSM (2010)¹ come uno dei possibili indicatori di prestazione di sicurezza stradale.

Secondo questo metodo, è possibile classificare i LOSS grazie ad una SPF ottenuta per siti simili. I possibili LOSS sono quattro e sono delimitati come in figura 5.2. I siti per i quali si osserva che gli incidenti per anno per chilometro, per un dato valore di traffico, superano il valore previsto dalla SPF, possono essere classificati come aventi LOSS III o IV, a seconda che il valore superi (o meno) di 1,5s la previsione media della SPF.

Tali siti (in particolare quelli per i quali si riscontra un livello IV) sono i più pericolosi e quindi con il maggior potenziale di miglioramento dal punto di vista della sicurezza.

³ Tra i dati di incidentalità a disposizione, gli incidenti con morti e feriti sono stati ritenuti i più affidabili, a causa del fenomeno della deficitaria registrazione degli incidenti con danni alle sole proprietà.

⁴ Kononov J., Allery B. (2003), "Level of Service of Safety. Conceptual Blueprint and Analytical Framework", *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, 1840(1), 57-66.

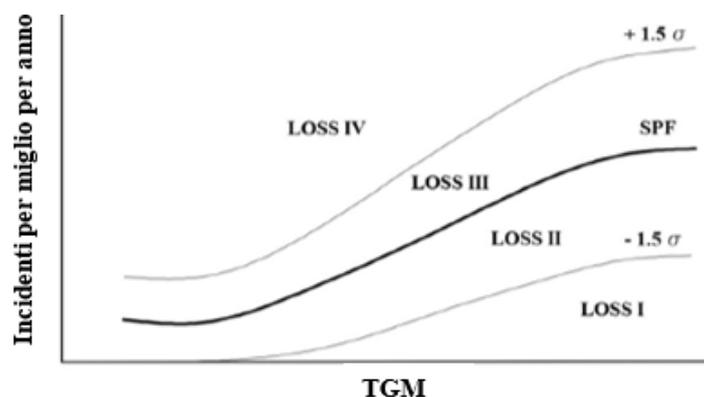


Fig. 5.2: I quattro Livelli di Servizio della Sicurezza, LOSS (basato su Kononov et al., 2003⁴).

Tuttavia l'utilizzo di una distanza fissa (corrispondente alla deviazione standard di $1,5\sigma$, ovvero al valore medio incrementato di una volta e mezzo la deviazione standard, considerando una distribuzione normale) dalla media della SPF può presentare alcuni problemi (Kononov et al., 2015⁵). Infatti, la distribuzione delle frequenze di incidentalità usate per sviluppare la SPF è spesso asimmetrica rispetto alla media e dunque gli stessi autori del metodo hanno dunque proposto una soluzione alternativa (Kononov et al., 2015⁶) che prevede di considerare i percentili estremi di una distribuzione di probabilità del tipo Gamma, per individuare i limiti tra le zone corrispondenti ai LOSS I-II e III-IV.

La figura 5.3 mostra l'applicazione del metodo sopra descritto per l'individuazione dei Livelli di Servizio della Sicurezza per la regione Puglia, facendo riferimento alla SPF per strade extraurbane a due corsie, una per ciascun senso di marcia, opportunamente calibrate per il contesto regionale.

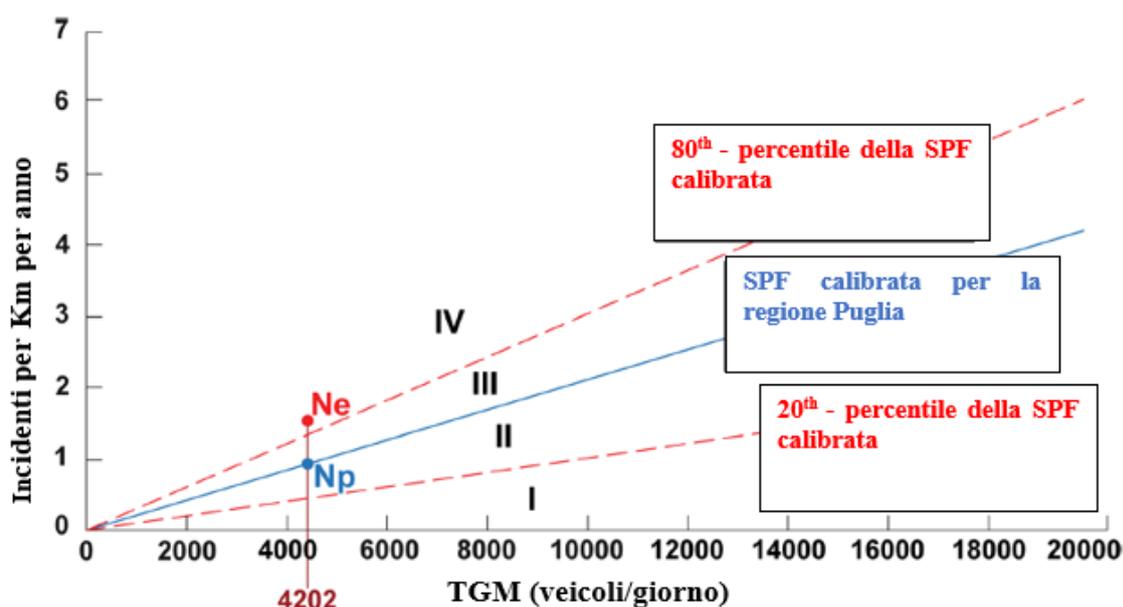


Fig. 5.3: Livelli di Servizio della Sicurezza per strade extraurbane ad una corsia per senso di marcia nella regione Puglia con indicazione del numero di incidenti previsto dalla SPF ed il numero di incidenti atteso per il sito studiato (Colonna et. al. 2018⁷).

Nella figura precedente sono confrontati i Livelli di Servizio della Sicurezza con il valore di incidentalità media attesa riferita al sito in esame (N_e), determinata a partire dalla frequenza di incidentalità media prevista (N_p) ed osservata (N_o). Infatti, il calcolo della frequenza media prevista o di quella osservata non è sufficiente ad individuare la pericolosità di un sito, dato che i due parametri sono soggetti ad alcune criticità che non possono

⁵ Kononov J., Durso C., Lyon C., Allery B. (2015), "Level of service of safety revisited", *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, 2514(1), 10-20.

⁶ Kononov J., Durso C., Lyon C., Allery B. (2015), "Level of service of safety revisited", *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, 2514(1), 10-20.

⁷ Colonna P., Intini P., Berloco N., Ranieri V. (2018), "Integrated American-European protocol for safety interventions on existing two-lane rural roads", *European transport research review*, 10(1), 5.

essere colmate. La frequenza osservata infatti è soggetta al problema dell'aleatorietà: l'incidentalità è un evento casuale, aleatorio, cambia di anno in anno ed è necessario un lungo periodo di osservazione per evitare di incorrere nell'errore di regressione verso la media.

La frequenza media di incidentalità, invece, rifacendosi ad un modello sviluppato per una specifica tipologia di sito e per specifiche condizioni geometriche e di traffico, è soggetta ad errori riconducibili alla variazione delle condizioni stradali, sia in termini di degrado dell'infrastruttura che in termini di variazione dei volumi di traffico. Pertanto, la scelta del primo parametro può essere sufficiente se si dispone di un lungo periodo di osservazione. Viceversa, la scelta del secondo è preferibile per brevi periodi.

Come indicato nel Capitolo 3, il manuale HSM propone l'utilizzo del metodo Empirico-Bayesiano EB per il calcolo della frequenza media attesa di incidentalità, che si avvale di un coefficiente w inteso come un peso che può attribuire più o meno importanza al dato previsto o osservato in funzioni di alcuni parametri. Si riporta di seguito il calcolo della frequenza media attesa di incidentalità per il sito in esame (inserita in figura 5.3), per l'intero periodo di osservazione.

$$N_{Atteso} = w \times N_{previsto} + (1 - w) \times N_{osservato} \quad (\text{Eq. 5-4})$$

Dalla precedente equazione 5-1:

$$N_{previsto, MF}^8 = 0,88 \frac{\text{incidenti}}{\text{anno} \times \text{km}} \times 2 \text{ km} \times 7 \text{ anni} \times \%MF = 3,95 \text{ incidenti MF} \quad (\text{Eq. 5-5})$$

$$w = \frac{1}{1+k \times N_{previsto, MF}} = \frac{1}{1+\left(\frac{0,38}{2 \text{ km}}\right) \times 3,95 \text{ incidenti MF}} = 0,57^9 \quad (\text{Eq. 5-6})$$

Pertanto, considerando il numero totale di incidenti con morti e feriti osservati sull'intero tronco:

$$N_{Atteso, MF} = w \times N_{previsto, MF} + (1 - w) \times N_{osservato, MF} = 0,57 \times 3,95 + (1 - 0,57) \times 11 = 6,97 \text{ incidenti MF} \quad (\text{Eq. 5-7})$$

Volendo riportare tale dato all'incidentalità totale, per facilitare il confronto con la SPF base riferita all'incidentalità totale (figura 5.3):

$$N_{Atteso} = 6,97 \text{ incidenti MF} \times \frac{100}{0,321} = 21,72 \text{ incidenti} \quad (\text{Eq. 5-8})$$

Il valore calcolato è da intendersi come il numero di incidenti atteso sui 2 km di tronco analizzato nei 7 anni di osservazione. Pertanto, il numero di incidenti atteso per anno e per chilometro risulta pari a:

$$N_{Atteso} = \frac{21,72 \text{ incidenti}}{7 \text{ anni} \times 2 \text{ km}} = 1,55 \frac{\text{incidenti}}{\text{anno} \times \text{km}} \quad (\text{Eq. 5-9})$$

Questo valore, come si può osservare dalla figura 5.3 (N_e), rientra nell'area LOSS-IV (il limite tra LOSS-III e LOSS-IV è stato fissato in questo caso nell'80esimo percentile della previsione SPF e corrisponde a 1,27 incidenti/anno/km totali per TGM=4202 veicoli/giorno).

Pertanto, secondo il metodo LOSS, il sito esaminato rientrerebbe nel ventesimo percentile dei siti più "pericolosi" della regione Puglia con riferimento ad una SPF calibrata a livello regionale. Questa circostanza indica che il sito ha un elevato potenziale di miglioramento, motivo per cui è stato destinato ad interventi di sicurezza stradale.

Tuttavia, se non fossero disponibili SPF native o non fossero noti i coefficienti di calibrazione locali (per i coefficienti di calibrazione riferiti ad altre regioni italiane in contesti diversi si veda la tab. 3 del capitolo 3 e Colonna et al., 2016² per maggiori dettagli), si potrebbero usare altri indicatori per la determinazione della pericolosità di un sito, anche se sicuramente meno attendibili. Infatti, in prima approssimazione, si potrebbe considerare la differenza tra le frequenze osservate di incidentalità disponibili per il sito in esame (le più affidabili e reperibili sono quelle riferite agli incidenti con morti e feriti) e soglie stabilite in base al contesto di riferimento.

⁸ Frequenza riferita all'intero tronco e all'intero periodo di osservazione. La percentuale di morti e feriti (%MF) sul totale è uguale al valore di default fornito dal manuale HSM per questa categoria di strada, in assenza di specifici dati locali.

⁹ w = peso da attribuire al numero previsto di incidenti da una SPF calibrata. Si è scelto di utilizzare il parametro di sovradisersione fornito dall'HSM per questo tipo di strada, convertito nel sistema metrico decimale: $k=0,38/(L \text{ (km)})$, essendo stato calcolato il coefficiente pugliese. Si noti che si è scelto di calcolare il peso w in base al numero previsto di incidenti con morti e feriti (MF), in coerenza con le scelte effettuate per il numero osservato, dettate dalle incertezze nel dato di incidentalità totale indicate in precedenza.

5.4 Analisi delle caratteristiche geometriche e funzionali

È possibile riassumere in cinque fasi la procedura di analisi del tratto stradale oggetto di indagine:

- ricostruzione plano-altimetrica del tracciato e identificazione degli elementi geometrici che lo compongono: rettifili, curve a raggio costante o variabile (curve di transizione), curve verticali;
- diagnosi della rete: analisi dei dati di incidentalità, ricostruzione temporale e spaziale degli incidenti, ispezione dell'infrastruttura con identificazione dei punti critici e dei deterioramenti;
- verifica del tracciato: confronto dei valori ottenuti dalla ricostruzione plano-altimetrica con le specifiche tecniche della normativa italiana (D.M. 05/11/2001¹⁰);
- analisi delle possibili contromisure, in relazione alla valutazione effettuata nelle fasi precedenti, studiandone l'efficacia e valutando la relativa variazione degli incidenti;
- valutazione economica delle contromisure, in cui è possibile indicare la contromisura (o l'insieme di contromisure) che fornisce il massimo rapporto o la massima differenza tra benefici e costi.

5.4.1 Individuazione delle caratteristiche geometriche

Al fine di ricostruire gli elementi geometrici del segmento stradale oggetto di studio, è certamente consigliabile effettuare un rilievo celerimetrico dettagliato. Esso identificherà le caratteristiche dell'infrastruttura stradale e del territorio circostante. In questo esempio applicativo, le ricostruzioni sono state invece effettuate, in prima approssimazione, utilizzando le mappe tecniche regionali disponibili in formato digitale (www.sit.puglia.it). Non essendo stata condotta alcuna campagna completa e dettagliata di rilievi celerimetrici, sono state effettuate ispezioni per verificare le pendenze longitudinali e trasversali.

La ricostruzione del tracciato e le elaborazioni grafiche sono state realizzate in ambiente CAD, riportando e sovrapponendo le carte tecniche e tematiche su foto aeree della Regione Puglia.

5.4.2 Ricostruzione planimetrica

La ricostruzione planimetrica del tratto stradale di interesse prevede l'individuazione della successione degli elementi planimetrici che lo costituiscono:

- rettifili (caratterizzati dalla lunghezza L_{ri});
- curve circolari (caratterizzate dallo sviluppo L_{ci} e dal raggio R_i);
- clotoidi (caratterizzate dallo sviluppo L_{ai} e parametro A_i).

Per l'identificazione dei rettifili si è proceduto tracciando alcune rette lungo i cigli stradali (o lungo le strisce di segnaletica orizzontale desumibili dalla foto aerea) così da individuare i punti in cui le stesse si discostano in maniera sensibile dai cigli (o dalla segnaletica), determinando, quindi, gli estremi di ciascun rettifilo.



Fig. 5.4: Esempio di ricostruzione dei rettifili.

Successivamente, per la determinazione delle curve circolari, sono state inserite alcune sezioni trasversali lungo i tronchi curvilinei da esaminare e sono state tracciate alcune circonferenze per tre punti (i punti medi delle sezioni

¹⁰ Decreto Ministeriale n. 6792 of 5 November 2001, *Norme Funzionali e Geometriche delle Strade*.

trasversali precedentemente inserite) ripetendo l'operazione per ottenere l'arco di circonferenza più verosimile possibile. La stessa operazione può essere effettuata prendendo a riferimento la striscia di segnaletica orizzontale di mezzzeria, ove desumibile dalla foto aerea.



Fig. 5.5: Esempio di ricostruzione delle curve circolari.

Una volta individuati gli archi di circonferenza rappresentativi dei raccordi planimetrici a raggio costante, le restanti parti del tracciato (non rappresentate dai rettifili e dagli archi di circonferenza) possono essere identificate come raccordi clotoidici. L'arco di clotoide è rappresentato geometricamente dall'equazione:

$$r \times s = A^2 \quad (\text{Eq. 5-10})$$

dove:

- r = raggio di curvatura;
- s = sviluppo curvilineo;
- A = parametro di scala.

Nella sezione in cui avviene la transizione da clotoide a curva circolare, il valore "r" dell'equazione della clotoide coincide con il valore del raggio della curva circolare; il valore "s" coincide invece con lo sviluppo totale dell'arco di clotoide (dal termine del rettilineo all'inizio della curva). Dunque, è possibile ricavare il parametro "A" in maniera inversa:

$$A = \sqrt{R_{curva} \times S_{clotoide}} \quad (\text{Eq. 5-11})$$

Misurando questi parametri, sono disponibili gli elementi chiave per la ricostruzione planimetrica del tracciato.

Tab 5.1: Sintesi delle caratteristiche planimetriche del tracciato.

Tipo	Punto iniziale	Punto finale	Lunghezza	Parametro	Raggio iniziale	Raggio finale	Direzione	Pendenza trasversale sx	Pendenza trasversale dx	Velocità
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]		[%]	[%]	[km/h]
Rettilineo	0,0	220,9	220,9	0,0	0,0	0,0		-2,5	-2,5	100,0
Clotoide	220,9	258,5	37,6	80,0	0,0	170,0	Sx	0,0	0,0	74,0
Arco	258,5	282,1	23,6	0,0	170,0	170,0	Sx	6,7	-6,7	69,0
Clotoide	282,1	329,7	47,6	90,0	170,0	0,0	Sx	0,0	0,0	75,0
Rettilineo	329,7	686,7	357,0	0,0	0,0	0,0		-2,5	-2,5	100,0
Clotoide	686,7	721,2	34,5	100,0	0,0	290,0	Dx	0,0	0,0	89,0
Arco	721,2	778,3	57,1	0,0	290,0	290,0	Dx	-5,6	5,6	85,0
Clotoide	778,3	855,9	77,6	150,0	290,0	0,0	Dx	0,0	0,0	94,0
Rettilineo	855,9	1053,1	197,2	0,0	0,0	0,0		-2,5	-2,5	94,0
Clotoide	1053,1	1068,7	15,6	50,0	0,0	160,0	Sx	0,0	0,0	70,0
Arco	1068,7	1163,6	95,0	0,0	160,0	160,0	Sx	6,2	-6,2	68,0
Clotoide	1163,6	1179,3	15,6	50,0	160,0	0,0	Sx	0,0	0,0	70,0
Rettilineo	1179,3	1582,3	403,1	0,0	0,0	0,0		-2,5	-2,5	91,0
Clotoide	1582,3	1613,6	31,3	50,0	0,0	80,0	Dx	0,0	0,0	56,0
Arco	1613,6	1649,3	35,7	0,0	80,0	80,0	Dx	-6,5	6,5	51,0
Clotoide	1649,3	1680,6	31,3	50,0	80,0	0,0	Dx	0,0	0,0	56,0
Rettilineo	1680,6	1921,8	241,2	0,0	0,0	0,0		-2,5	-2,5	91,0

In alcuni casi si verifica un discostamento tra la carta tecnica regionale (C.T.R.) e le foto aeree più recenti. Dato che tale mancanza di uniformità potrebbe derivare dall'epoca di realizzazione delle carte tecniche (in alcuni casi remota), per la ricostruzione del tracciato è stata utilizzata, in quanto più attendibile, la foto aerea regionale.

Il tratto stradale di 2 km oggetto di studio non è indipendente dal resto del tracciato della S.P. 239. Infatti, per effettuare alcune verifiche geometriche e funzionali del segmento, è necessario analizzare il contesto di riferimento e gli elementi geometrici della linea di mezzieria immediatamente adiacenti al tratto in esame.

In particolare, si è osservato che prima della Curva 1 è presente una tangente lunga 6 km; questa è interrotta da un'intersezione segnalata circa 3,70 km prima della Curva 1. Allo stesso tempo, la tangente che segue la Curva 4 è lunga 1,76 km.

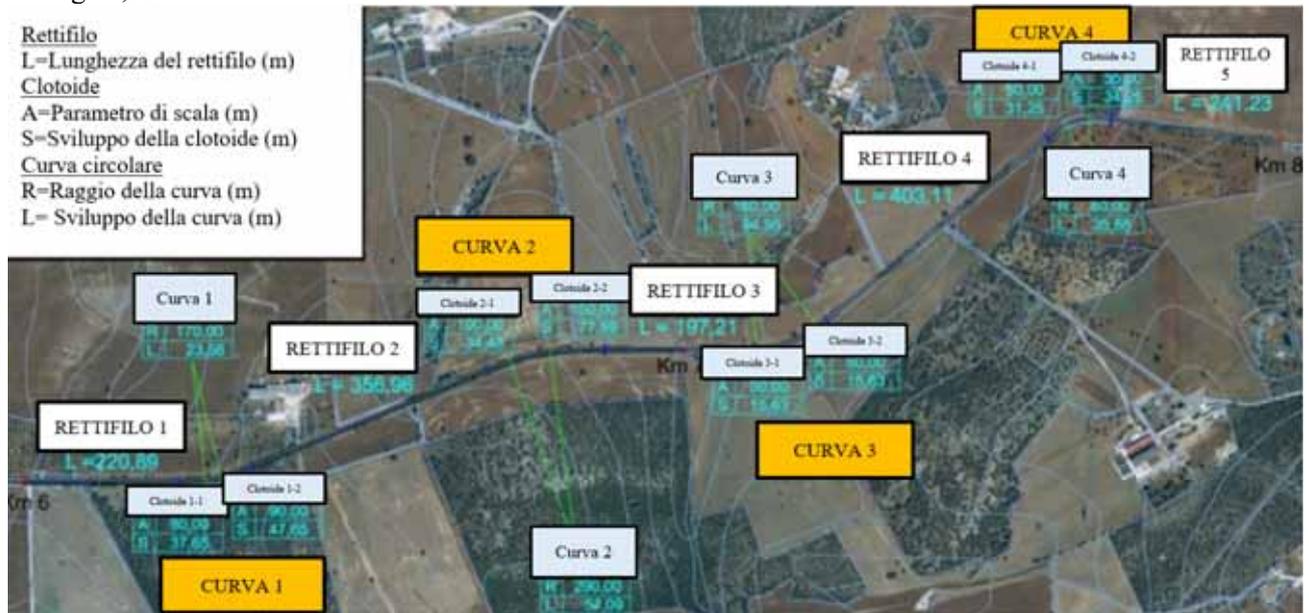


Fig. 5.6: Panoramica generale del tratto analizzato opportunamente suddiviso in tratti omogenei (Colonna et al., 2018⁷).

5.4.3 Ricostruzione dell'andamento altimetrico

La ricostruzione altimetrica del tratto stradale di interesse prevede l'individuazione della successione degli elementi che costituiscono lo stesso:

- le livellette (caratterizzate dalla pendenza i);
- i raccordi verticali (dossi e sacche, caratterizzati dal raggio verticale R_v).

Per le successive operazioni e verifiche si consiglia l'utilizzo di un software di progettazione stradale. Nel presente studio, è stato utilizzato il software "Civil Design" (Digicorp Ingegneria S.r.l.) poiché fornisce licenze educational ad esclusivo scopo didattico, ai docenti ed agli studenti del Settore Scientifico-Disciplinare ICAR/04 del Politecnico di Bari.

La ricostruzione dell'andamento altimetrico si concretizza con la realizzazione del profilo longitudinale del tracciato in cui sono indicati:

- il profilo del terreno;
- il profilo dell'asse stradale.
- il profilo dei cigli.

Per ricavare l'andamento longitudinale del terreno è necessario a monte avvalersi del modello digitale del terreno (D.T.M.) fornito da enti locali (in questo caso reperibile su: sit.puglia.it) ed implementabile nel software precedentemente indicato. Per ricostruzioni di dettaglio, è necessario invece ottenere un rilievo in sito con strumenti idonei che possa permettere di conoscere le quote del terreno e della sede stradale.

Una volta ricostruito il modello digitale del terreno, si ricostruisce il tracciato planimetrico sul software e si procede all'estrazione iniziale del profilo del terreno e della linea di progetto.

In seguito, sarà necessario modificare le quote dell'asse e le pendenze delle livellette in funzione dei dati desumibili dai rilievi e/o dalle ispezioni effettuate in sito per ottenere un andamento altimetrico fedele rispetto allo stato di fatto.

Quindi, ottenute le livellette collegando punti noti, è possibile disegnare le curve verticali per raccordare le livellette tra loro. Ciò è facilitato tramite i software di progettazione stradale in ambiente CAD. Anche in questo caso, sono cruciali le informazioni recuperate dai rilievi, dalle mappe digitali e dalle ispezioni in sito.

Di seguito viene riportato il risultato finale delle operazioni descritte in precedenza.

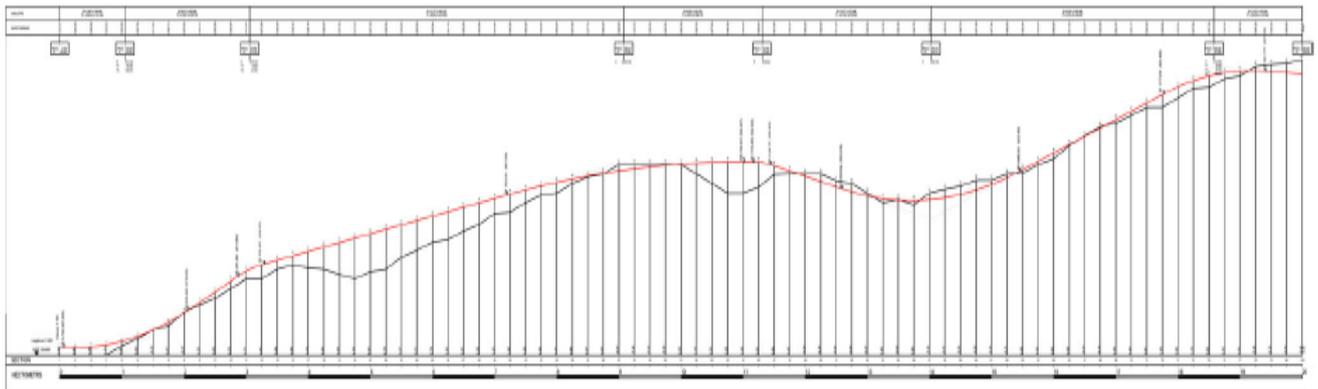


Fig. 5.7: Profilo longitudinale (Colonna et al., 2018⁷).

Tab 5.2: Caratteristiche altimetriche dell'asse stradale.

Livellette						
ID	km	Quota iniziale[m]	Pendenza [%]	Dislivello	Lunghezza [m]	
0	0,0	375,2	0,0	0,0	0,0	
1	110,5	372,3	-2,6	-2,9	110,6	
2	393,5	386,3	4,9	14,0	283,3	
3	549,0	378,5	-2,0	-7,8	155,6	
4	687,1	378,4	0,0	0,0	138,2	
5	1007,5	363,7	-4,6	-14,7	320,7	
6	1337,0	367,6	1,2	4,0	329,6	
7	1897,8	386,1	3,3	18,4	555,1	

Raccordi verticali							
ID	Tipo	Raggio Vert. (m)	Delta i (%) *	Lunghezza	Punto iniziale	Punto finale	V _p (km/h)**
1	Parabolico	783,9	7,5	59,0	81,0	140,0	90,9
2	Parabolico	977,2	-9,9	97,1	345,0	442,0	88,8
3	Parabolico	1246,4	5,0	61,9	518,0	579,9	100,0
4	Parabolico	2063,8	-4,6	94,3	640,0	734,3	93,9
5	Parabolico	947,5	5,8	55,0	980,0	1035,0	79,0
6	Parabolico	4606,0	2,1	97,8	1288,1	1385,9	90,9
7	Parabolico	1777,5	-0,9	16,4	1883,6	1900,0	87,8

*Delta i [%]: esprime il dislivello tra l'elemento n ed n+1

**V_p [Km/h]: velocità di progetto

5.4.4 Individuazione preliminare dei tratti stradali omogenei

L'analisi delle caratteristiche geometriche del tracciato stradale oggetto di studio conduce alla sua suddivisione in ulteriori tronchi denominati "tratti stradali omogenei". Per l'individuazione dei tronchi omogenei, devono essere esaminati i seguenti elementi:

- caratteristiche geometriche del tracciato;

- classe funzionale della strada (ed eventuali ulteriori suddivisioni all'interno della classe in base a diverse organizzazioni della sezione trasversale, quali ad esempio la variazione del numero delle corsie);
- contesto ed inserimento ambientale (ad esempio tratto in pianura o montagna);
- traffico (volumi, componenti, densità, variabilità temporale, ecc.)

L'analisi delle caratteristiche geometriche del tracciato consente preliminarmente di operare una suddivisione in "archi", ovvero i tratti stradali, ed in "nodi", ovvero le intersezioni.

A sua volta l'arco stradale compreso tra due nodi può essere costituito da diversi tronchi stradali omogenei: se all'interno di un arco stradale vi è una discontinuità rilevante delle caratteristiche geometriche (variazione della larghezza carreggiata, presenza/assenza banchina, variazioni importanti della pendenza delle livellette, ecc.) l'arco deve essere suddiviso in ulteriori tronchi, ciascuno con caratteristiche funzionali e geometriche omogenee.

Inoltre, l'HSM (2010)¹ prevede una lunghezza minima del tratto omogeneo pari a 1/10 di miglio (circa 160 m). Conseguentemente, il primo tratto omogeneo, non rispettando la lunghezza minima sufficiente, è stato ampliato di circa 20 metri prima della progressiva di 6,000 km (figura seguente). La divisione è rappresentata in figura 5.6.

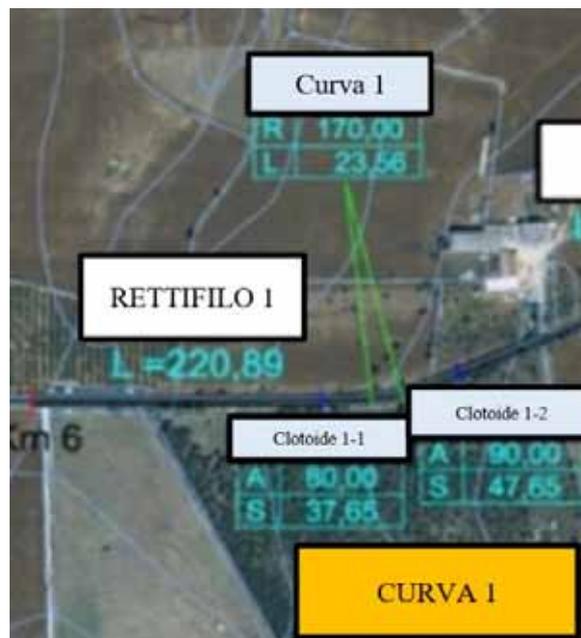


Fig. 5.8: Dettaglio della curva 1 (Colonna et al., 2018⁷).

Di seguito sono riportati i tratti stradali omogenei, preliminarmente individuati sul tracciato oggetto di studio:

- Tratto omogeneo 1 = L1 = 160,00m, Pendenza long. $p_1 = 2,60\%$
- Tratto omogeneo 2 = C1 = 226,66m, Pendenza long. $p_2 = 4,93\%$
- Tratto omogeneo 3 = L2a = 160,00m, Pendenza long. $p_3 = 5,00\%$
- Tratto omogeneo 4 = L2b = 160,00 m, Pendenza long. $p_4 = 0,03\%$
- Tratto omogeneo 5 = C2 = 169,16m, Pendenza long. $p_5 = 4,60\%$
- Tratto omogeneo 6 = L3 = 163,41m, Pendenza long. $p_6 = 4,60\%$
- Tratto omogeneo 7 = C3 = 160,00m, Pendenza long. $p_7 = 1,20\%$
- Tratto omogeneo 8 = L4a = 160,73m, Pendenza long. $p_8 = 1,20\%$
- Tratto omogeneo 9 = L4b = 211,47m, Pendenza long. $p_9 = 3,32\%$
- Tratto omogeneo 10 = C4 = 160,00 m, Pendenza long. $p_{10} = 3,32\%$
- Tratto omogeneo 11 = L5 = 210,31m, Pendenza long. $p_{11} = 3,32\%$

5.5 Diagnosi generale del tronco

Come emerso nella parte introduttiva, il primo step di analisi prevede uno Screening simulato e preliminare della rete (manuale HSM - 2010¹), da cui si evince l'alto potenziale di miglioramento della sicurezza del sito in esame. Pertanto, il tronco è stato oggetto di un'indagine approfondita.

La seconda fase del processo di analisi e gestione della sicurezza del tronco stradale è rappresentata dalla “diagnosi” descritta nel manuale HSM, 2010¹. L'obiettivo è quello di identificare le cause degli incidenti e di trarne insegnamento per possibili miglioramenti.

La procedura di diagnosi è composta da tre fasi:

- Fase 1: Analisi dei dati di sicurezza;
- Fase 2: Valutazione della documentazione di supporto;
- Fase 3: Valutazione delle condizioni in sito.

5.5.1 Analisi dei dati di sicurezza

La diagnosi di un sito parte dalla conoscenza e dall'analisi dei dati di incidentalità passati. Gli incidenti si suddividono in base alla severità, al tipo, alle condizioni atmosferiche e locali. L'analisi dei dati può identificare le cause relative al periodo della giornata, al senso di marcia prima dell'incidentalità, alle condizioni atmosferiche o ai comportamenti del conducente.

I dati generalmente sono raccolti nei report di incidentalità delle forze dell'ordine. In questo caso i dati sono stati ottenuti grazie alla Polizia Municipale del Comune di Noci con riferimento alla finestra temporale compresa dal 2008 al 2014.

Tali dati, però, non fanno riferimento alla totalità degli incidenti avvenuti, ma rappresentano solamente quegli incidenti rilevati dalla categoria di Forze dell'Ordine che interviene sul posto. Una piccola parte dei dati proviene dall'Agenzia Regionale per la Mobilità della Puglia (A.R.E.M.-adesso ASSET), agenzia che, per conto di I.S.T.A.T., raccoglie i dati d'incidentalità regionali da diversi anni. Nel caso di studio, il luogo degli incidenti è preciso, la finestra temporale è breve, ma le informazioni sulla direzione di marcia sono spesso assenti.

Tuttavia, quest'ultimo punto è fondamentale per la ricostruzione dell'incidente.

Non vi sono neppure indicazioni sul guasto dei veicoli negli incidenti perché le informazioni sono sintetiche e provenienti da fonti diverse.

Tuttavia, i dati sono finalizzati alla ricostruzione ingegneristica ai soli fini del miglioramento della sicurezza.

La corretta analisi dei dati di incidentalità deve prendere in considerazione:

- le statistiche descrittive delle condizioni dell'incidentalità;
- la localizzazione degli incidenti.

5.5.1.1 Statistiche descrittive delle condizioni dell'incidentalità

I dati di incidentalità sono elaborati per essere clusterizzati al fine di identificarne le potenziali cause/fenomeni ricorrenti. Le statistiche descrittive degli incidenti includono:

- caratteristiche identificative: data, giorno della settimana, ora del giorno, progressiva;
- tipi di incidente, suddivisi dall'H.S.M. in:
 - tamponamento;
 - collisione laterale;
 - angolare;
 - nella svolta;
 - frontale;
 - uscita di strada;
 - collisione con oggetto fisso-con animale;
 - Perdita di controllo;
- Severità dell'incidente, in accordo con la scala americana KABCO definite da HSM. Tuttavia, in base al report di incidentalità sono state prese in considerazione tre classi: incidenti con morti (K), feriti (A/B/C), solo danni alle proprietà (O) e numero di persone coinvolte;
- sequenza di eventi: direzione di marcia e causa del fenomeno incidentale;
- veicoli coinvolti: veicolo isolato o più veicoli;
- condizione della pavimentazione al momento dell'incidente: asciutta, bagnata;
- condizioni meteo al momento dell'incidente: sereno, nuvoloso, nebbia, pioggia.

Un esempio dei risultati dell'analisi è riportato nelle tabelle seguenti:

Tab 5.3: Esempio di analisi di incidentalità.

N. incidenti	Data	Giorno della settimana	Periodo	Luogo	Severità	Tipo di incidente	Stato pavimentazione	Condizioni atmosferiche	Geometria stradale	Direzione	Veicoli	Dinamica	Morti	Feriti	PDO
9	/	Feriale	Giorno	km 7,00	B/C	Perdita di controllo	Bagnato	Pioggia	Rettifilo	-	Auto	-	/	1	/
11	/	Feriale	Notte	km 7,70	B/C	Perdita di controllo	Bagnato	Pioggia	Curva	-	Auto	-	/	1	/

Considerando il numero disponibile di incidenti ($n_{\text{incidenti}}$) avvenuti su questo segmento di strada durante la finestra temporale fissa, è possibile stimare oltre che la frequenza di incidentalità osservata il tasso di incidenti.

Il tasso di incidenti osservato è il rapporto tra il numero di incidenti osservati in un periodo fisso (quindi la frequenza di incidentalità osservata) e l'esposizione (ad esempio, i km percorsi o il volume medio di traffico su un dato segmento per lo stesso periodo di tempo utilizzato per il conteggio degli incidenti osservati).

Le equazioni che ne permettono il calcolo sono riportate di seguito:

$$N_{\text{Osservato}} = \frac{N_{\text{incidenti osservati (con morti e feriti) sul tratto in esame}}}{N_{\text{anni}}} = \frac{11}{7} = 1,57 \frac{\text{incidenti MF}}{\text{anno}} \quad (\text{Eq. 5-12})$$

$$T = \frac{N_{\text{Osservato}} \times 10^{-6}}{TGM * 365 * Km} = \frac{n_{\text{incidenti MF}} \times 10^{-6}}{N_{\text{anni (periodo di osservazione)}} * TGM * 365 * Km} = \frac{11 \times 10^{-6}}{7 * 4202 * 365 * 2} = 0,51 \frac{\text{incidenti MF}}{\text{milioniveicolikm}} \quad (\text{Eq. 5-13})$$

Il tasso d'incidentalità osservato può essere interpretato come la probabilità (basata su eventi accaduti in passato) di essere coinvolti in un incidente per ciascuna unità di misura dell'esposizione. Ad esempio, se il tasso d'incidentalità è pari a un incidente per un milione di veicoli, per chilometro e per anno, allora ciò significa che esiste la probabilità di 1/1.000.000 che il veicolo sia coinvolto in un incidente per ciascun chilometro percorso su quel tronco. Sono stati considerati solo gli incidenti con morti e feriti perché più affidabili tra i dati disponibili.

Il risultato ottenuto indica che si ha una probabilità di 0,51 incidenti con morti e feriti su un milione di veicoli, per chilometro e per anno.

5.5.1.2 Luogo degli incidenti

L'analisi della localizzazione di un incidente può essere condotta attraverso il diagramma delle collisioni ed il diagramma delle condizioni al contorno. Tali strumenti grafici possono mettere in evidenza la causa del sinistro connessa alla rispettiva localizzazione.

Diagramma delle collisioni

Il diagramma delle collisioni consiste in una planimetria schematica che permette di rappresentare graficamente e con ottima sintesi la localizzazione degli incidenti e la loro tipologia, in modo da avere, appunto, una visione sintetica degli eventi. Gli incidenti sono rappresentati da simboli che identificano il tipo di veicolo, il giorno e l'ora, la direzione di percorrenza, le condizioni della pavimentazione, le condizioni atmosferiche la tipologia e la severità dell'incidente. La legenda utilizzata corrisponde a quella proposta dal manuale HSM (2010)¹, tranne che per l'uso del simbolo riferito alla "perdita di controllo del mezzo" poiché quasi tutti gli incidenti sono riconducibili a questa causa. È invece proposta una simbologia diversa che rappresenta il punto di inizio della perdita di controllo (ipotetico) e il punto di fine corsa (rilevato dalle Forze dell'Ordine). La legenda degli incidenti è riportata sul diagramma con il numero complessivo di incidenti con morti e feriti. La ricostruzione degli incidenti è influenzata dalla mancanza di informazioni sulla direzione di percorrenza del tracciato. Un esempio di diagramma di collisione è mostrato di seguito.

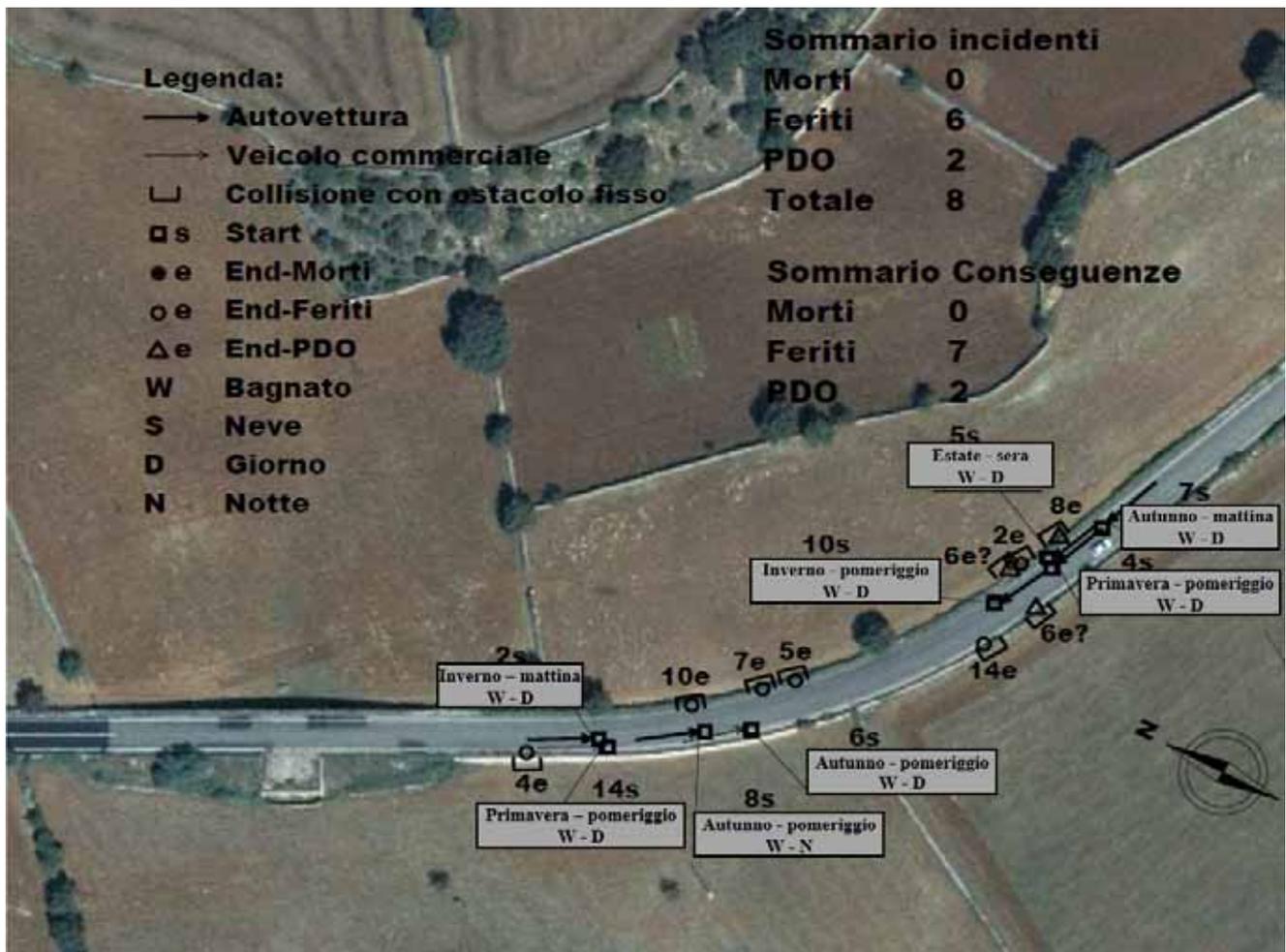


Fig. 5.9: Esempio di diagramma delle collisioni - Curva 3 (basato su Colonna et al., 2018⁷).

Diagramma delle condizioni al contorno

Il diagramma delle condizioni al contorno è un elaborato planimetrico in cui si riporta il maggior numero di informazioni relative al sito oggetto di studio. Lo scopo è evidenziare le criticità dell'infrastruttura che possono condizionare le circostanze dell'incidente o contribuire a causare l'incidente stesso. Perciò, il diagramma delle condizioni dovrebbe essere messo a confronto con quello delle collisioni. In particolare, nei diagrammi delle condizioni al contorno ricavati per il sito in oggetto, si è fatto particolare riferimento agli elementi caratteristici della sede stradale, che potenzialmente influiscono sia sulle cause che sulle conseguenze degli incidenti rilevati. Tali elementi caratteristici sono:

- presenza di muretti a secco;
- stato di manutenzione del fosso di guardia;
- assenza di dispositivi di gestione del deflusso delle acque nel tratto di strada;
- condizioni del manto stradale (buche, avvallamenti, fessurazioni, crepe, ormaimenti);
- assenza o inadeguatezza delle barriere stradali;
- presenza di alberi, vegetazione o ostacoli nell'area adiacente;
- presenza di segnali di avvertimento in curva (fig. II 468 C.d.S.¹¹).

¹¹ Decreto Legislativo n. 285, 30 aprile 1992, *Codice della strada*.



Fig. 5.10: Esempio delle condizioni al contorno - Curva 1 (basato su Colonna et al., 2018⁷).

La figura mostra problemi relativi alla curva 1: vi è un dosso con problemi di smaltimento delle acque superficiali. Ciò è dovuto alla presenza, in quel punto, di due accessi, la cui pendenza è verso la strada principale, e quindi il deflusso dagli accessi confluisce sulla stessa.

5.5.1.3 Analisi della documentazione di supporto e dei dati di traffico

La valutazione della documentazione di supporto rappresenta la seconda fase operativa della diagnosi di un sito. L'obiettivo è quello di ottenere ed analizzare informazioni documentate o testimonianze, da parte del personale del trasporto locale, degli addetti alla manutenzione o degli stakeholders in generale che forniscano ulteriori prospettive per la revisione dei dati. In questa fase si consultano anche atti documentali che possano arricchire l'analisi dei dati d'incidentalità.

I seguenti tipi di informazioni possono essere utilizzati come documenti di supporto per valutare la sicurezza del sito (come indicato dal manuale HSM, 2010¹):

- elaborati esecutivi del progetto dell'infrastruttura;
- volumi di traffico attuali per tutte le direzioni di marcia (e studi recenti sui trasporti, se disponibili);
- criteri di progettazione e linee guida pertinenti;
- inventario delle condizioni in sito, supportato anche da foto e video;
- registri di manutenzione;
- mappatura del territorio e caratteristiche di controllo dell'accesso al traffico (considerando anche i piani di miglioramento esistenti);
- andamento delle condizioni climatiche;
- altre informazioni.

Nel caso in esame, essendo la progettazione della Strada Provinciale risalente a molti decenni addietro, gli elaborati progettuali, non essendo disponibili, sono stati ricostruiti tramite le procedure descritte in precedenza. I criteri di progettazione e di conseguenza il confronto con le normative (D.M. 05/11/2001¹⁰ e D.M. 19/04/2006¹²) saranno descritti dettagliatamente in seguito.

Non avendo a disposizione dati recenti, l'analisi del volume di traffico è stata condotta su rilievi risalenti al 2007. Le rilevazioni sono state effettuate su entrambi i sensi di marcia¹³, contando 2135 veicoli (compresi i veicoli pesanti). La velocità operativa V_{85} rilevata è stata di 127 Km/h. Nella direzione opposta i veicoli rilevati sono stati 2067 (compresi i veicoli pesanti) con velocità operativa V_{85} pari a 118 Km/h. Il numero totale di veicoli in viaggio è stato dunque di 4202 (compresi i veicoli pesanti).

¹² Decreto Ministeriali del 19 Aprile 2006, *Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali*.

¹³ Regione Puglia (2008), *Piano Regionale dei Trasporti*.

5.5.2 Valutazione delle condizioni in sito (D.Lgs. n. 35/2011¹⁴)

La fase di diagnosi può essere completata da un'indagine in sito. Le osservazioni sul campo servono per convalidare i problemi di sicurezza identificati con una revisione dei dati di incidentalità o della documentazione di supporto. L'appendice C del manuale HSM (2010)¹ include una guida su come valutare le condizioni sul campo. In questo studio si è privilegiato l'uso delle "Linee guida per la gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali¹⁵" perché più vicine alla realtà italiana.

Le Linee Guida sono state emanate nel 2012, ai sensi dell'art. 8 del Decreto Legislativo n. 35/2011, che recepisce la Direttiva UE 2008/96/CE sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali. Queste stabiliscono criteri e modalità per: 1) effettuare controlli di sicurezza sui progetti; 2) eseguire ispezioni di sicurezza delle infrastrutture esistenti; 3) classificare le strade in base alle loro prestazioni di sicurezza. I controlli di sicurezza delle infrastrutture esistenti, definiti come "analisi della sicurezza stradale", sono preventivi. Il loro scopo è individuare i potenziali problemi di sicurezza e le criticità delle caratteristiche operative della strada, sia nelle nuove che nelle esistenti infrastrutture. Le ispezioni di sicurezza sulle infrastrutture stradali sono strutturate sia con riferimento all'ambito extraurbano che all'ambito urbano, nonché per tipologia di strada. Il caso di studio riguarda una strada extraurbana a due corsie.

Le ispezioni di sicurezza possono essere di tipo "puntuale" qualora si voglia analizzare il singolo punto critico ovvero di tipo "diffuso" per ogni segmento stradale omogeneo. Come prescritto dalle linee guida, tutte le ispezioni devono essere condotte sia di giorno che di notte per entrambe le direzioni di marcia.

L'ispezione diffusa ha la finalità di acquisire informazioni circa la percezione che l'utente ha dell'ambiente circostante e di acquisire ulteriori informazioni inerenti alla specificità della strada. Essa consta di una serie di ispezioni condotte lungo l'asse stradale e di una serie di ispezioni condotte in corrispondenza dei punti singolari, quali intersezioni, accessi e diramazioni di particolare forma e dimensione, tratti in corrispondenza di opere d'arte, restringimenti, barriere di sicurezza, ecc.

Per condurre una ispezione generalmente sono richiesti l'uso di una specifica metodologia di ispezione e l'utilizzo di alcuni strumenti, simili a quelli impiegati per le ispezioni puntuali. L'ispezione diffusa consta, inoltre, di una ispezione preliminare e di una ispezione generale.

Queste sono state effettuate sul tronco oggetto di studio a bordo di un veicolo a velocità costante (50 Km/h), in modo da cogliere tutti i dettagli utili per entrambe le direzioni, come prescritto dalle linee guida.

L'ispezione diffusa è stata effettuata con l'ausilio di riprese video e, successivamente, di riprese fotografiche, per facilitare la compilazione a posteriori delle schede di indagine e della relazione di ispezione.

5.5.2.1 Ispezione preliminare

Lo scopo principale di una ispezione preliminare è l'analisi della interazione tra il conducente e l'ambiente circostante. Nella scheda di ispezione sono riportati l'identificazione della strada (nome, coordinate, lunghezza del segmento omogeneo) e altre annotazioni generali. La suddetta scheda compilata per entrambi i sensi di marcia è suddivisa in: Macro-voci, voce specifica, parametri e indicatori secondo una tabella gerarchica.

Le macro-voci e le voci sono elementi che rimangono costanti all'interno dello stesso ambito (urbano o rurale), mentre gli altri parametri variano a seconda del tipo di strada. Le macro-voci sono aspetti generali (condizioni critiche al contorno, traffico, condizioni del paesaggio circostante, velocità e sistema di segnaletica stradale) e caratteristiche geometriche della strada (tracciato planimetrico e altimetrico e coordinamento tra essi). Queste devono essere valutate attraverso un giudizio qualitativo e descrittivo da parte dell'ispettore.

Gli elementi analizzati in dettaglio sono riportati di seguito.

- **Voce:** "Condizioni ambientali critiche".
 - *Parametro - Condizione pavimentazione stradale:* il tratto analizzato risulta avere due differenti tipologie di pavimentazione. Dal km 6,200 to km 7,200 è stato implementato un asfalto permeabile. Gli altri chilometri della strada sono coperti da un regolare asfalto impermeabile, anche se spesso è danneggiato da avvallamenti, buche e fessurazioni.

¹⁴ Decreto legislativo 15 marzo 2011 n. 35: *Attuazione della direttiva 2008/96/CE sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali.*

¹⁵ Decreto Ministeriale n. 137 del 2 maggio 2012, *Linee guida per la gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali ai sensi dell'art. 8 del Decreto Legislativo 15 marzo 2011, n. 35.*



Fig. 5.11: Esempio di condizioni della pavimentazione stradale.

- **Voce:** “Traffico”.
 - *Parametro - “Tipologia”:* il traffico giornaliero medio registrato è di 4202 veicoli al giorno (2007). Il 6% di questo volume è costituito da veicoli pesanti.
- **Voce:** “Paesaggio Circostante”.
 - *Parametro - Fasce pertinenza:* la sua larghezza è poco estesa e invasa costantemente da alberi e muretti a secco (a volte gli alberi si trovano nei muri a secco).



Fig. 5.12: Esempio di alberature intercluse nei muretti a secco.

- *Parametro - Fasce di rispetto:* Lungo tutto il tracciato stradale ci sono alberi che impediscono una visuale ottimale per i conducenti o nascondono i segnali stradali verticali.



Fig. 5.13: Esempio di segnaletica verticale nascosta dagli alberi.

- **Voce:** “Velocità”.
 - *Parametro - Velocità di progetto - Velocità massima consentita:* il limite di velocità imposto è pari a 60 km/h; la differenza tra la velocità di progetto, ottenuta dal diagramma delle velocità (che si descriverà più avanti), e il limite imposto risulta essere, in diversi tratti, superiore a 30 km/h ed in alcuni punti pari anche a 40 km/h.
 - *Parametro - Velocità massima consentita - Velocità operativa:* tenendo presente che il limite di velocità imposto è pari a 60 km/h, anche in questo caso, la differenza tra la V_{85} , calcolata con formule teoriche in varie sezioni, ed il limite imposto risulta essere, per diverse sezioni, superiore a 30 km/h, raggiungendo anche picchi di 60 km/h. Le differenze maggiori si notano sui due rettili di approccio al tronco in esame: dai rilievi di traffico e delle velocità, la V_{85} del rettilo di maggiore estensione, risulta essere pari a 118 km/h in direzione Noci e pari a 127 km/h in direzione Gioia del Colle. Si noti che i valori delle V_{85} sono stati ricavati dai report integrativi ai rilievi di traffico utilizzati. Se non si dispone dei suddetti dati è possibile ricavare la suddetta velocità a mezzo di formule empiriche, basate sulle caratteristiche del sito in esame (Intini et al., 2020¹⁶)
- **Voce:** “Sistema segnaletico”.
 - *Parametro - Segnaletica verticale:* non sono presenti segnali indicanti le distanze ettometriche; il segnale di avvertimento della curva in corrispondenza della curva 1 (direzione: Noci) è assente; non tutti gli accessi sono dotati di apposita segnaletica verticale.
- **Voce:** “Tracciato planimetrico”.
 - *Parametro - Rettifilo:* da segnalare la presenza di un rettilo esteso circa 6 km dalla chilometrica 0,000 alla chilometrica 6,300, interrotto da un’intersezione semaforica a circa 3,7 km dalla Curva 1.
 - *Parametro - Clotoide:* da segnalare la presenza di una clotoide avente sviluppo molto breve, in corrispondenza della Curva 3.
 - *Parametro - Curva circolare:* il raggio della Curva 4 (Km 7,700) è inadeguato. Lo sono anche i raggi delle curve successive.
- **Voce:** “Tracciato altimetrico”.
 - *Parametro - Raccordi convessi:* il raccordo è localizzato al km 6,500, e non rispetta la lunghezza minima. Inoltre, ci sono due accessi in prossimità di esso, senza adeguata segnaletica stradale.
- **Voce:** “Coordinamento plano-altimetrico”.

¹⁶ Intini, P., Berloco, N., Ranieri, V., & Colonna, P. (2020), “Geometric and operational features of horizontal curves with specific regard to skidding proneness”, *Infrastructures*, 5(1), 3.

- *Parametro - Percezione dell'allineamento*: l'unico problema evidente è legato a una leggera falsa piega dei cigli della strada alla curva 3 (direzione: Noci).

Un riassunto della scheda di controllo preliminare (come previsto dalle linee guida citate) è riportato nella tabella seguente.

Tab 5.4: Scheda di Ispezione preliminare (Colonna et al., 2018⁷).

Macro-voce	Voce	Parametro	Indicatore	Giudizio (da riempire a cura dell'ispettore stradale)	
Aspetti Generali	Condizioni Ambientali Critiche	Condizioni Atmosferiche (Nebbia, Vento, Neve, Pioggia)	Mancanza o insufficiente avviso utenza	✓	
			Inadeguatezza contromisure	✓	
	Traffico	Condizioni Pavimentazione Stradale (Ghiaccio, Allagamenti, Detriti)	Volume	Mancanza o insufficiente avviso utenza	✓
				Inadeguatezza contromisure	✓
			Tipologia	Inadeguatezza sezione	✓
				Presenza di component particolari	✓
	Paesaggio Circostante	Fasce di Rispetto e Oltre	Fasce di Pertinenza	Presenza di ostacoli, pericoli, strade di servizio, ecc.	✓
			Fasce di Rispetto	Presenza di costruzioni, alberi ecc.	✓
			Fasce di Rispetto e Oltre	Distrazione per particolari problemi, Presenza viabilità ecc.	✓
	Velocità	Velocità di progetto-Velocità massima consentita	Velocità massima consentita-Velocità operativa	Differenza eccessiva (+/-)	✓
				Differenza eccessiva (+/-)	✓
	Sistema segnaletico	Segnaletica orizzontale	Segnaletica verticale	Disomogeneità	✓
				Disomogeneità	✓
				Informazione inefficace	✓
Geometria	Tracciato planimetrico	Rettifilo	Eccessiva lunghezza	✓	
			Clotoide	Assenza o inadeguatezza	✓
				Curva	Raggio di curvature inadeguato
	Tracciato altimetrico	Livellette	Raccordi convessi	Eccessiva pendenza	✓
				Eccessiva lunghezza	✓
			Raccordi concavi	Presenza di dossi	✓
				Presenza di sacche	✓
	Percezione tracciato	Percezione tracciato	Visibilità non corretta	✓	
			Perdita del tracciato	✓	

5.5.2.2 Ispezione generale

L'obiettivo dell'ispezione generale è identificare i problemi specifici lungo il tracciato a seconda del tipo di strada e del contesto in cui si trova. Gli aspetti specifici sono poi associati ad una localizzazione georeferenziata.

Nella prima parte della scheda di ispezione generale, così come in quella preliminare, sono riportati i dati dell'operatore che effettua l'ispezione e gli identificativi del tronco stradale analizzato. La seconda parte deve essere compilata con i segni di spunta (dopo aver verificato in loco lo stato dell'arte dei parametri). Nella tabella seguente, i segni di spunta rappresentano un problema di sicurezza di crescente gravità (M= problema medio, G = problema grave). Questa procedura è soggettiva, ma l'ispettore tenta di effettuare una stima accurata delle criticità stradali per ogni parametro osservato e rilevato.

Tab 5.5: Esempio di scheda di ispezione generale (Prima parte di una scheda, direzione: Noci).

Informazioni generali sul tronco		SP 239 (Ex SS 604) - strada extraurbana secondaria ("C2")									
Chilometrica (Km)		Inizio: km 6			Fine: km 8						
		Diurna	Notturna	Data	Ora di inizio			Ora di fine			
1 ^a Ispezione		X		08/05/15	10:40			10:43			
2 ^a Ispezione			X	23/05/15	21:36			21:39			
Macro-voce	Voce	Parametro	Indicatore	km	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0		
Assenza	Banchina	Assenza o insufficienza larghezza	M								
			G	✓	✓	✓	✓	✓			
		Restringimento in corrispondenza opera d'arte	M								
			G								
		Corsie di marcia e sorpasso	Insufficiente larghezza	M	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
				G							
			Eccessiva larghezza	M							
				G							
		Piattaforma, margini, fasce di pertinenza	Assenza	M	✓					✓	
				G							
	Inadeguatezza del tipo		M	✓							
			G								
	Dispositivi di ritenuta		Inadeguatezza transizioni e terminali	M							
				G			✓				
			Installazione non corretta	M							
				G							
	Ostacoli non protetti	M									
		G									
	Scarpate	Insufficiente manutenzione della vegetazione	M								
			G								
Assenza di dispositivi di protezione		M									
		G									
Drenaggi	Insufficiente manutenzione	M	✓		✓	✓	✓	✓			
		G		✓							
Recinzione	Insufficiente manutenzione	M									
		G									
Segnaletica	Segnaletica orizzontale	Visibilità strisce di margine	Insufficiente retroriflettenza	M							
				G							
		Visibilità corsie	Insufficiente retroriflettenza	M							
				G							
		Guida nei punti singoli	Assenza o inadeguatezza	M							
				G							
	Strisce di mezzzeria	Inadeguatezza per il sorpasso	M								
			G								
	Segnaletica verticale	Segnali di pericolo, prescrizione e indicazione	Insufficiente visibilità	M		✓	✓				
				G							
		Inadeguatezza leggibilità	M								
			G								
Inadeguatezza intellegibilità		M									
		G									
Limiti di velocità	Assenza o scorretto posizionamento	M									
		G									
	Inadeguatezza rispetto velocità di progetto	M	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
		G									
Inadeguatezza rispetto velocità operativa	M							✓			
	G	✓	✓	✓	✓						
Segnali luminosi	Segnali di pericolo e prescrizione	Inefficienza manutenzione	M								
			G								
	Lanterne corsie/ imbocchi galleria/ lampeggianti	Inefficienza manutenzione	M								
			G								
Delineatori di margine	Inefficienza manutenzione	M									
		G									
Segnaletica complementare	Delineatori di curve	Assenza o inadeguatezza	M								
			G								
	Delineatori di margine	Assenza o inadeguatezza	M	✓	✓						
G					✓	✓	✓	✓			

In questa parte il foglio di ispezione è suddiviso in colonne indicanti sezioni progressive del tronco in esame di lunghezza 200 m. La lunghezza massima coperta per ogni foglio di ispezione è di 2 km (cioè dieci colonne; a titolo esemplificativo nella tabella precedente si è rappresentato soltanto la progressiva fino al km 1).

Questo foglio è diviso anche in macro-voci, voci, parametri e indicatori. Le macro-voci sono: *sezione stradale, segnaletica stradale, accessi, marciapiedi, sistemi di illuminazione, altri aspetti*.

Si noti la necessità di compilare la scheda di ispezione per ogni senso di marcia.

I seguenti aspetti sono da considerare gravi:

- la larghezza della banchina è insufficiente;
- elevata differenza tra limiti di velocità: velocità di progetto e velocità operativa;
- i marcatori di corsie sono assenti o illeggibili, come sottolineato durante le ispezioni notturne;
- assenza di aree di sosta (devono trovarsi ad una distanza massima di 1 km, secondo D.M. 05/11/2011, n.6792¹⁰).

Inoltre, vi è il già citato problema dei due accessi, privi di segnaletica stradale, in corrispondenza del dosso (km 6,500), che causano problemi di deflusso dell'acqua. L'acqua di deflusso è piena di detriti e fango che rendono la pavimentazione stradale scivolosa e compromettono il drenaggio, accelerando l'effetto di intasamento della pavimentazione permeabile e impedendo il deflusso nei fossi di guardia laterali.

5.5.2.3 Ispezione puntuale

Partendo dall'analisi delle criticità espresse nelle precedenti ispezioni, è possibile approfondire l'analisi attraverso le ispezioni puntuali. Queste sono effettuate sia durante le ore notturne che diurne, per individuare i problemi di sicurezza in alcuni punti specifici: dove si è verificato un elevato numero di incidenti (legati all'esposizione) o dove vi sono criticità evidenziate dalle ispezioni diffuse. Le ispezioni puntuali sono eseguite in tutti i singoli punti del tracciato stradale, utilizzando le schede di ispezione ad hoc: incroci, interferenze significative (gallerie, ponti, ecc.).

A causa della mancanza di singoli punti, in questo caso sono stati analizzati solo i punti critici già evidenziati.

5.5.3 Verifiche del tracciato

Il paragrafo ha l'obiettivo di fornire un'analisi critica del tracciato stradale secondo la normativa, in particolare la normativa di riferimento è quella italiana: D.M. 05/11/2001¹⁰. La strada esaminata è stata progettata prima dell'introduzione della normativa vigente e questo potrebbe portare a non soddisfare taluni criteri prescritti.

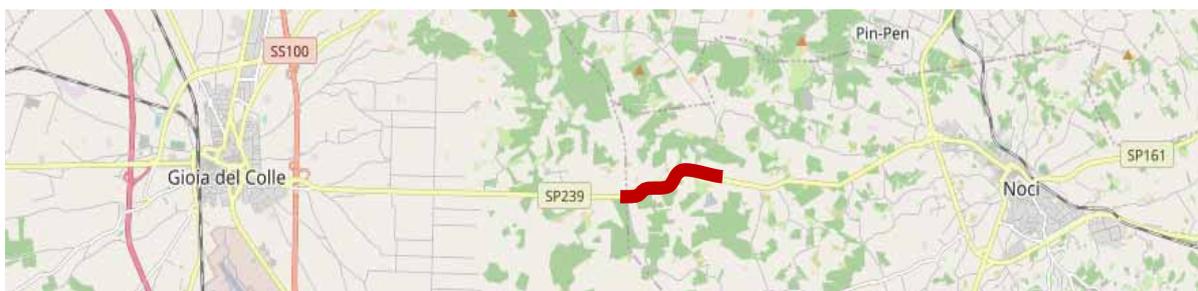


Fig. 5.14: Quadro generale in cui è collocato il segmento stradale (in rosso) (fonte: Open Street Map).

La strada esaminata è classificata come strada extraurbana secondaria, "C2", con una velocità di progetto compresa tra 60 Km/h e 100 Km/h. Sebbene la strada abbia caratteristiche geometriche simili a quelle di una strada extraurbana locale, "F2", la sua funzione nel contesto generale non è paragonabile a quella di una "strada di accesso", come per le strade locali. La SP 239 è, di fatto, una strada extraurbana che serve un movimento veicolare di penetrazione verso la rete locale. Infatti, i flussi veicolari provenienti dall'Autostrada A14 e dalla Strada Statale 100, nei pressi di Gioia del Colle, devono convergere sulla SP 239 per raggiungere una delle destinazioni della Valle d'Itria. La stessa considerazione vale per i flussi provenienti dall'entroterra murgiano (Altamura, Santeramo in Colle, ecc.) diretti verso la medesima destinazione.

5.5.3.1 Verifiche planimetriche

Le caratteristiche geometriche di una strada secondaria extraurbana secondaria “C2” (indicate di seguito con pedice “DM”) sono mostrate e confrontate con le caratteristiche geometriche della SP 239 come segue:

Corsia: $1 = 3,00 \text{ m} \div 1_{DM} = 3,50 \text{ m} \rightarrow \text{NON VERIFICATO}$

Banchina: $1 = 0,50 \div 1_{DM} = 1,25 \rightarrow \text{NON VERIFICATO}$

Larghezza totale della carreggiata = 7,00 m

$V_{p, \min} = 60 \text{ Km/h}$

$V_{p, \max} = 100 \text{ Km/h}$

$i_{c, \min} = 2,50\%$ (pendenza trasversale sui rettifili) $\rightarrow \text{VERIFICATO}$

$i_{c, \max} = 7,00\%$ (pendenza trasversale in curva) $\rightarrow \text{VERIFICATO}$

Verifiche dei rettifili

La lunghezza dei rettifili deve essere compresa tra un valore minimo ed uno massimo:

$$L_{\min} < L < L_{\max} \quad (\text{Eq. 5-14})$$

dove:

$$L_{\max} = 22 \times V_{p, \max} \quad (\text{Eq. 5-15})$$

quindi pari a

$$L_{\max} = 22 \times 100 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 2200 \text{ m} \quad (\text{Eq. 5-16})$$

Secondo il D.M. 05/11/2001¹⁰, la lunghezza del rettifilo deve risultare non inferiore ai seguenti valori, per poter esser percepito come tale dall'utente.

Tab 5.6: verifica delle lunghezze minime.

$V_p^* (\text{km/h})$	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
$L_{\min} (\text{m})$	30	40	50	65	90	115	150	190	250	300	360

*Desumibile dal diagramma di velocità

Come desumibile dalla tabella successiva, la verifica della lunghezza massima per il “Rettifilo 1” non è soddisfatta.

Tab 5.7: Verifica dei rettifili.

Rettifilo	$V_{\max} (\text{Km/h})$	$L (\text{m})$	$L_{\min} (\text{m})$	Verifica: L_{\min}	Verifica: L_{\max}
Rettifilo 1	100	6000,00	150,00	Verificato	Non Verificato
Rettifilo 2	100	356,96	150,00	Verificato	Verificato
Rettifilo 3	94	197,21	118,50	Verificato	Verificato
Rettifilo 4	91	403,11	129,00	Verificato	Verificato
Rettifilo 5	100	1760,00	150,00	Verificato	Verificato

La pendenza trasversale del tratto stradale è del 2,50% sul rettifilo, per cui risulta sempre verificata.

Verifiche delle curve circolari

Successione tra rettifili e curve

Tra un rettifilo di lunghezza L_R ed il raggio R più piccolo fra quelli delle due curve site alle due estremità del

rettifilo, deve essere rispettata la relazione:

$$\text{Se } L_R < 300m \rightarrow R > L_R \quad (\text{Eq. 5-17})$$

$$\text{Se } L_R > 300m \rightarrow R \geq 400m \quad (\text{Eq. 5-18})$$

Per quanto attiene la verifica della successione fra rettifili e curve del tracciato oggetto di studio, essa non viene soddisfatta in alcun caso.

Tab 5.8: Verifica successione rettifili e curve.

Rettifilo	$L_{\text{Rettifilo}} (m)$	$R_{\text{Prec.}} (m)$	$R_{\text{Succ.}} (m)$	R_{DM}	Verifica
Rettifilo 2	356,96	$R_1 = 170,00$	$R_2 = 290,00$	$R_1 > 400m$	Non Verificato
Rettifilo 3	197,21	$R_2 = 290,00$	$R_3 = 160,00$	$R_3 > L_{r3}$	Non Verificato
Rettifilo 4	403,11	$R_3 = 160,00$	$R_4 = 80,00$	$R_4 > 400m$	Non Verificato

Sviluppo delle curve

Una curva circolare deve essere correttamente percepita dal conducente e quindi deve avere uno sviluppo percorribile nel tempo di almeno 2,5 secondi, in relazione alla velocità di progetto della curva. Deve essere rispettata, infatti, l'equazione seguente:

$$L \geq \frac{V_p}{3.6} \times t \quad (\text{Eq. 5-19})$$

Come si evince dall'equazione sopra indicata, lo sviluppo circolare dipende dalla velocità di progetto V_p la quale risulta desumibile dal diagramma di velocità (vedi figura 5.19).

Nel caso studio, questa relazione non è rispettata due volte su quattro, come riportato nella tabella seguente.

Tab 5.9: Verifiche sviluppo minimo curve circolari.

Curva	$V_p (km/h)$	Sviluppo (m)	Sviluppo minimo (m)	Verifica
Curva 1	69	23,56	48,05	Non Verificato
Curva 2	85	57,09	58,88	Non Verificato
Curva 3	68	94,95	46,94	Verificato
Curva 4	51	35,68	35,53	Verificato

Raggio delle curve

L'equazione generale che lega la velocità di progetto con il raggio, il coefficiente d'aderenza e la pendenza trasversale in curva è la seguente:

$$\frac{V_p^2}{R \times 127} = q + f_t \quad (\text{Eq. 5-20})$$

Dove:

V_p : velocità di progetto della curva [km/h];

R : raggio della curva [m];

q : pendenza trasversale ($i_c/100$);

f_t : quota parte del coeff. di aderenza impegnato trasversalmente.

Per quanto riguarda la quota limite del coefficiente di aderenza impegnabile trasversalmente $f_{t_{max}}$, valgono i valori di seguito riportati. Tali valori tengono conto, per ragioni di sicurezza, che una quota parte dell'aderenza possa essere impegnata anche longitudinalmente in curva.

Tab 5.10: Coefficienti f_t in funzioni delle velocità e del tipo di strada.

Velocità km/h	25	40	60	80	100	120	140
Aderenza trasversale max f_{tmax} per strade di tipo A, B, C, F extraurbane, e relative strade di servizio	-	0,21	0,17	0,13	0,11	0,10	0,09
Aderenza trasversale max f_{tmax} per strade di tipo D, E, F urbane, e relative strade di servizio	0,22	0,21	0,20	0,16	-	-	-

Per velocità intermedie fra quelle indicate si provvede all'interpolazione lineare.

Il valore minimo del raggio (R) viene calcolato secondo l'equazione precedente. Con la velocità di progetto (V_p) pari a 60 Km/h, il coefficiente di aderenza trasversale (f_t), sempre dipendente dalla velocità e pari in questo caso a 0,17, il raggio minimo è di 118 m. Nel caso esaminato, il raggio è inferiore al valore minimo (118 m) in un caso su quattro.

Tutte le pendenze trasversali sono inferiori al 7% (la curva 2 ha una pendenza trasversale inferiore al 6%).

Tab 5.11: Verifiche sul raggio e sulle pendenze trasversali.

Curva	Raggio (m)		Verifica	q (%)	Verifica
Curva 1	170	$R_{min} < R < R^*$	Verificato	6,73	Non Verificato
Curva 2	290	$R_{min} < R < R^*$	Verificato	5,60	Non Verificato
Curva 3	160	$R_{min} < R < R^*$	Verificato	6,20	Non Verificato
Curva 4	80	$R < R_{min}$	Non Verificato	6,46	Non Verificato

Nel grafico seguente, tratto dal D.M. 6792/2001¹⁰, sono riportati i valori dei raggi caratteristici, insieme ai valori dei raggi di questo caso di studio (R_1, R_2, R_3, R_4).

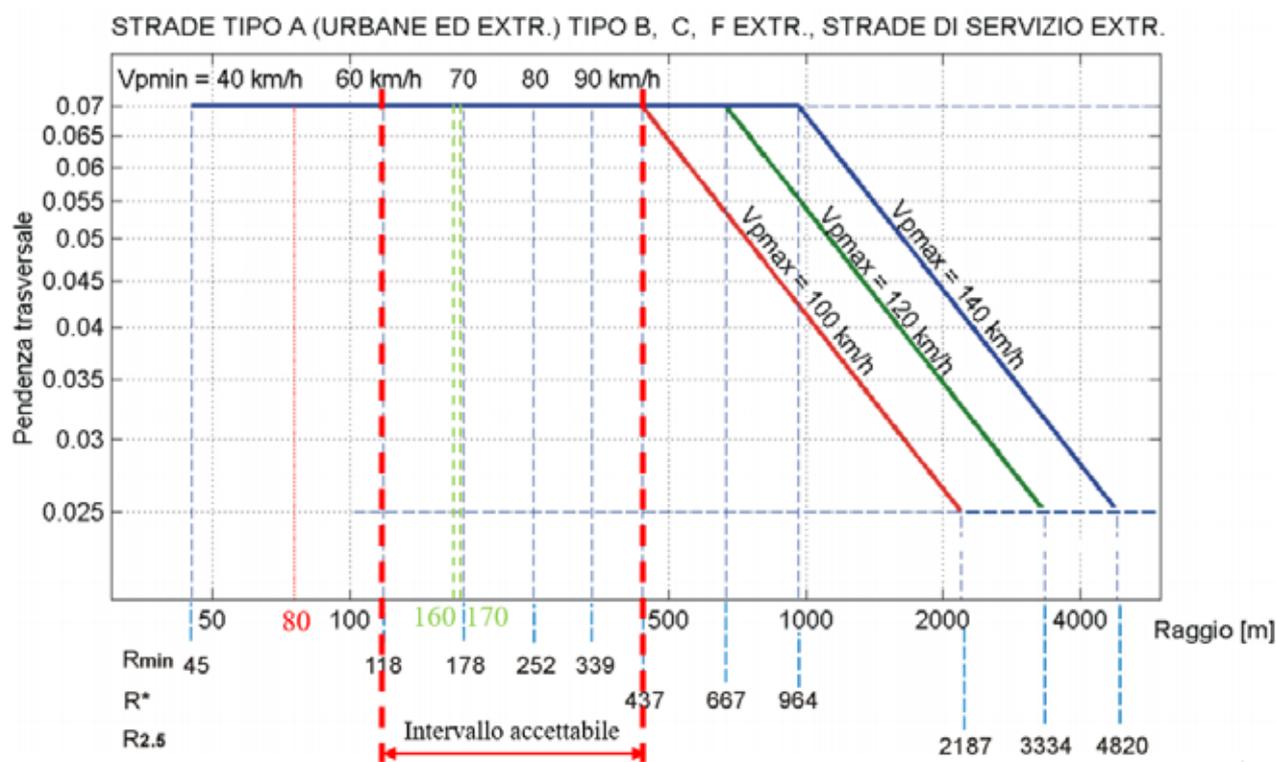


Fig. 5.15: Abaco n. 5.2.4.a, tratto dal D.M. 05/11/2001¹⁰, il raggio di curvatura è sulle ascisse (m), la pendenza trasversale sulle ordinate (-) per differenti valori di velocità di progetto (V_{pmin} = velocità minima di progetto, V_{pmax} = velocità massima di progetto). La velocità massima di progetto per questo caso studio è di 100 km/h (linea diagonale rossa nella figura).

Verifica della successione tra i raggi delle curve

Due curve successive devono avere raggi il cui rapporto sia conforme all'abaco presente in normativa (D.M. 6792/2001¹⁰). Questo abaco suggerisce, per ogni categoria stradale, qual è il range accettato o ottimale per il rapporto tra i raggi successivi. Solo per le strade di categoria A e B si impone che il suddetto rapporto sia collocato nella "zona buona" del grafico sottostante.

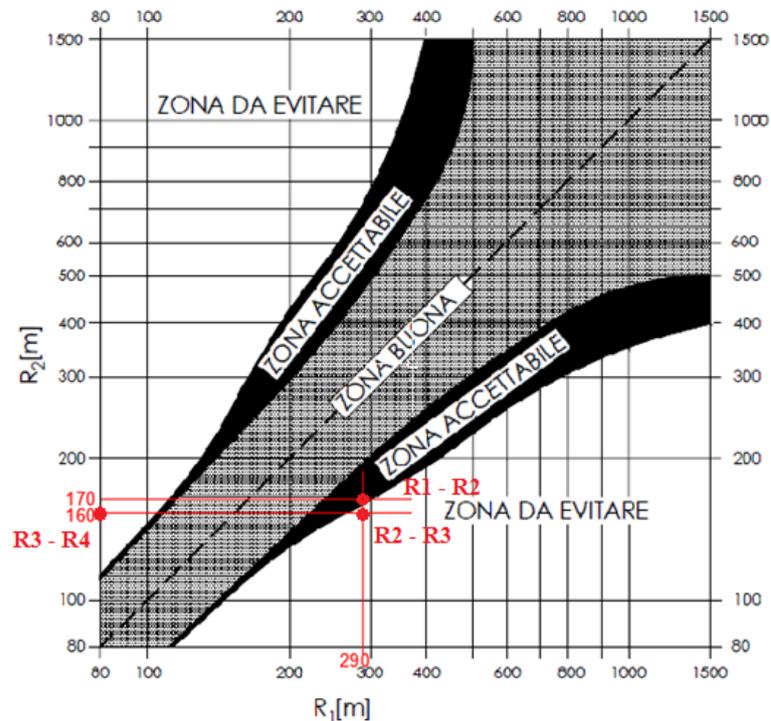


Fig. 5.16: Abaco n.5.2.2.a, D.M. 11/05/2001¹⁰

Dalla tabella successiva si evince che nel caso in esame due successioni su tre non sono verificate.

Tab 5.12: Verifica della successione tra raggi delle curve.

Elementi	Raggi (m)	Zona diagramma	Verifica
R ₁ - R ₂	170 - 290	Accettabile	Verificato
R ₂ - R ₃	290 - 160	Da evitare	Non Verificato
R ₃ - R ₄	160 - 80	Da evitare	Non Verificato

Verifiche clotoidi

Criterio 1 (limitazione del contraccollo)

Lungo la clotoide, l'accelerazione laterale deve variare gradualmente per evitare il "contraccollo". Pertanto, il parametro A della curva di transizione deve essere maggiore di un valore minimo relativo alla velocità massima V (km/h), ottenuta dal profilo di velocità, secondo la seguente equazione:

$$A \geq A_{min} = \sqrt{\frac{V^3}{c} - \frac{g V R (q_f - q_t)}{c}} \quad (\text{Eq. 5-21})$$

Trascurando il secondo addendo del radicando e assumendo per il contraccollo il valore limite:

$$c_{max} = \frac{50,4}{V} \left(\frac{m}{s^3}\right) \quad (\text{Eq. 5-22})$$

Il parametro A è:

$$A \geq 0.021 \times V^2 \quad (\text{Eq. 5-23})$$

Tab 5.13: Verifica parametro A - contraccollo.

Clotoide	A	V (Km/h)	A _{min}	Verifica
Clotoide 1-1	80,00	73,804	114,40	Non verificato
Clotoide 1-2	90,00	75,030	118,20	Non verificato
Clotoide 2-1	100,00	88,659	165,10	Non verificato
Clotoide 2-2	150,00	93,774	184,70	Non verificato
Clotoide 3-1	50,00	69,601	101,70	Non verificato
Clotoide 3-2	50,00	69,644	101,90	Non verificato
Clotoide 4-1	50,00	55,732	65,20	Non verificato
Clotoide 4-2	50,00	55,730	65,20	Non verificato

Dalla tabella si evince che i valori del parametro A risultano essere sempre inferiori al valore minimo di A relativo al primo criterio, per le otto clotoidi prese in considerazione.

Criterio 2 (variazione graduale della pendenza trasversale da rettilineo a curva)

Nella sezione iniziale e finale di una clotoide, il tracciato presenta differenti pendenze trasversali che vanno raccordate longitudinalmente, introducendo una sovra pendenza delle linee di ciglio della carreggiata. Nel caso in cui il raggio iniziale sia di valore infinito (rettilineo o punto di flesso), il parametro deve verificare la seguente disuguaglianza:

$$A \geq A_{min} = \sqrt{\frac{R}{\Delta i_{max}}} \times 100 \times B_i (q_i + q_f) \quad (\text{Eq. 5-24})$$

dove:

B_i = distanza fra l'asse di rotazione ed il ciglio della carreggiata nella sezione iniziale della clotoide.

Δ_{imax} (%) = 18 * (B_i/V) = sovra pendenza longitudinale massima della linea costituita dai punti che distano B_i dall'asse di rotazione (V = velocità di progetto in Km/h).

Nella seguente tabella, sono sintetizzate le verifiche del secondo criterio condotte su 8 clotoidi prese in considerazione: per quattro clotoidi la verifica non viene soddisfatta.

Tab 5.14: Parametro A – sovra pendenza longitudinale.

Clotoide	A	A _{min}	Verifica
Clotoide 1-1	80,00	80,20	Non verificato
Clotoide 1-2	90,00	80,90	Verificato
Clotoide 2-1	100,00	107,6	Non verificato
Clotoide 2-2	150,00	110,6	Verificato
Clotoide 3-1	50,00	73,40	Non verificato
Clotoide 3-2	50,00	73,40	Non verificato
Clotoide 4-1	50,00	48,50	Verificato
Clotoide 4-2	50,00	48,50	Verificato

Criterio 3 (ottico)

Per garantire la corretta percezione ottica della clotoide, è necessario verificare la seguente relazione:

$$A \geq R/3 \quad (\text{Eq. 5-25})$$

Inoltre, per la corretta percezione della seguente curva circolare, è necessario verificare anche il requisito:

$$A \leq R \quad (\text{Eq. 5-26})$$

La tabella che riassume questi controlli sulle curve a spirale è riportata di seguito.

Tab 5.15: Verifica del parametro A di scala – criterio ottico.

Clotoide	A	R/3 (m)	R (m)		Verifica
Clotoide 1-1	80,00	56,67	170,00	R/3 < A < R	Verificato
Clotoide 1-2	90,00	56,67	170,00	R/3 < A < R	Verificato
Clotoide 2-1	100,00	96,67	290,00	R/3 < A < R	Verificato
Clotoide 2-2	150,00	96,67	290,00	R/3 < A < R	Verificato
Clotoide 3-1	50,00	53,33	160,00	A < R/3	Verificato
Clotoide 3-2	50,00	53,33	160,00	A < R/3	Verificato
Clotoide 4-1	50,00	26,67	80,00	R/3 < A < R	Verificato
Clotoide 4-2	50,00	26,67	80,00	R/3 < A < R	Verificato

Verifica allargamenti in curva

Allo scopo di consentire la sicura iscrizione dei veicoli nei tratti curvilinei del tracciato, conservando i necessari franchi fra la sagoma limite dei veicoli ed i margini delle corsie, è necessario che, nelle curve circolari, ciascuna corsia sia allargata di una quantità E, data dalla seguente relazione:

$$E = \frac{K}{R} \quad [m] \quad (\text{Eq. 5-27})$$

Dove K è pari a 45 e R è il raggio esterno della corsia, espresso in metri.

Se l'allargamento E è minore di 20 cm, la corsia, in curva, rimane invariata. Nel caso oggetto di studio si evince che:

- le curve 1, 2 e 3 non presentano allargamenti in curva;
- la curva 4 presenta un allargamento E pari a 3,30 m misurato come differenza tra larghezza standard di 7 m ed il ciglio interno disegnato.

Tab 5.16: Verifica allargamenti in curva, E.

Curva	Re (m)	EDM (m)	ESito (m)	Verifica
Curva 1	173,50	0,26	0	Non verificato
Curva 2	293,50	0,15	0	Verificato
Curva 3	163,50	0,28	0	Non verificato
Curva 4	83,50	0,54	3,30	Verificato

Analizzando la clotoide, l'allargamento inizia 7,50 m e termina 7,50 m dopo la sezione finale della clotoide stessa. L'allargamento si estende per una lunghezza pari a Lz:

$$L_z = 2 \times 7,50 + L \quad (\text{Eq. 5-28})$$

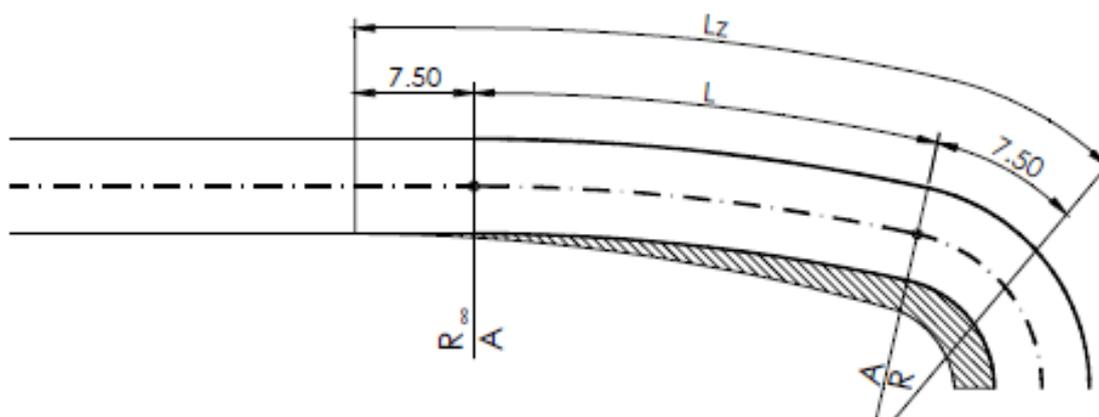


Fig. 5.17: Allargamento in caso di raccordo clotoidico (D.M. 6792/2001¹⁰).

Nel caso della curva 4, l'allargamento della clotoide 4.1 (sulla sinistra nella figura 5.16), termina 3,35 m prima della fine della clotoide risultando, dunque, non adeguato. Invece l'allargamento della clotoide 4.2 (a destra nella figura 5.16) ha un allargamento che termina 11,14 m dopo la fine della clotoide, risultando adeguato.

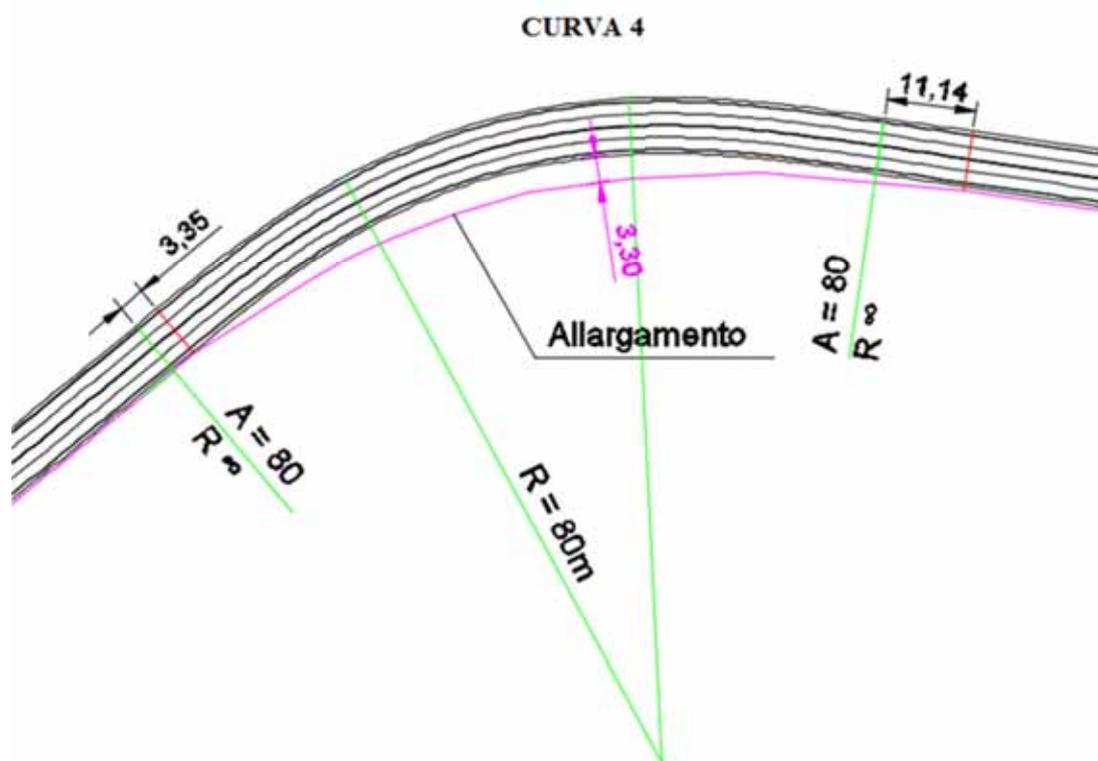


Fig. 5.18: Allargamento "curva 4".

Verifica piazzole di sosta

Le aree di sosta sono completamente assenti per l'intero tratto analizzato. La normativa vigente, invece, prevede la presenza di aree di sosta almeno ogni chilometro, su entrambi i sensi di marcia.

5.5.3.2 Verifica del diagramma delle velocità

La velocità limite su questo tratto è di 60 Km/h ma la V_{85} è maggiore di 100 Km/h. Poiché la velocità è uno dei principali fattori legati alla severità dell'incidente, il diagramma di velocità ottenuto secondo la normativa italiana D.M. 6792/2001¹⁰ è stato ricostruito in base alla geometria della strada, prescindendo dal valore della velocità limite. L'analisi risulta essere, in questo modo, più vicina alla realtà, considerati i valori di V_{85} riscontrati.

Ai fini di un'analisi di sicurezza stradale non avrebbe infatti efficacia considerare un diagramma delle velocità che tenga conto dei limiti imposti, quando gli stessi sono disattesi dalla maggior parte degli utenti stradali (circostanza evidente in questo caso dai valori riscontrati di velocità operativa).

Tuttavia, tale circostanza potrebbe essere diversa in altri casi, a seconda delle condizioni al contorno e della differenza tra limite di velocità imposto e velocità operativa (e/o di progetto) effettivamente riscontrata.

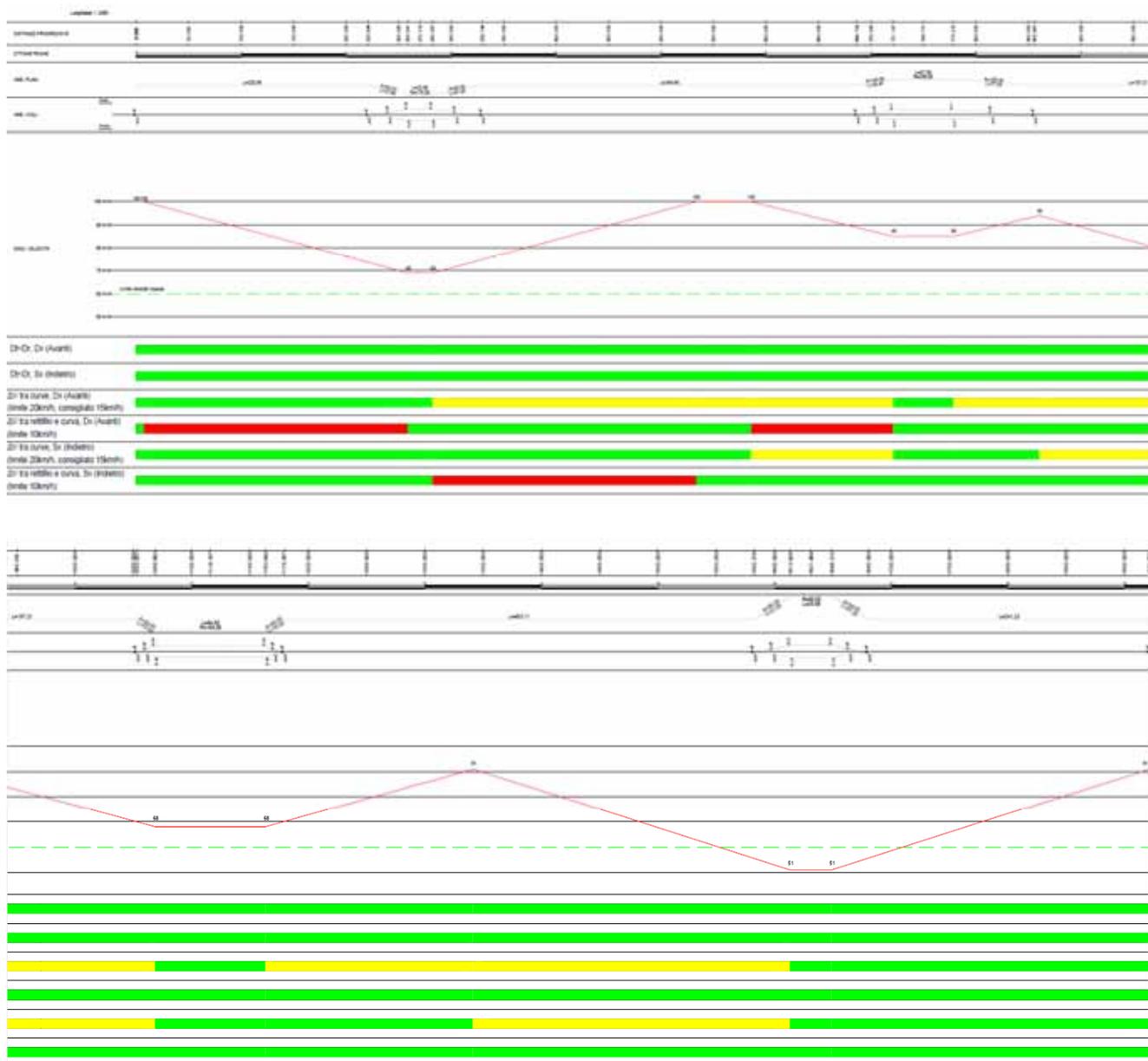


Fig. 5.19: Diagramma delle velocità (parte 1 in alto e parte 2 in basso) ottenuto per mezzo del software utilizzato nel caso di studio (Civil Design).

Dall'analisi del tronco stradale oggetto di studio si evince quanto segue:

- L'analisi del diagramma di velocità ha portato ad evidenziare i seguenti aspetti: la lunghezza di transizione è sempre verificata e inferiore alla distanza necessaria per riconoscere gli ostacoli per l'intero tracciato;
- si rileva un'eccessiva differenza tra le velocità di due elementi geometrici successivi come dimostrato nei seguenti casi:
 - 17.19 km/h è la maggiore differenza di velocità tra due curve successive: curva 2 e 3;
 - 48.83 km/h è la maggiore differenza di velocità tra un rettifilo (rettifilo 5) ed una curva (curva 4).

Tab 5.17: Verifiche diagramma di velocità.

Verifica ΔV con $V_{pmax} = 100 \text{ km/h}$				
Elemento planimetrico	Velocità (km/h)	$ \Delta V $ (limite di 10 km/h)		$ \Delta V $ tra curve (limite di 20 km/h)
Rettifilo 1	100,00			
		30,81	NV	
Curva 1	69,19			
		30,81	NV	
Rettifilo 2	100,00			15,60 A
		15,21	NV	
Curva 2	84,79			
		9,50	V	
Rettifilo 3	94,29			17,19 A
		26,69	NV	
Curva 3	67,60			
		23,28	NV	
Rettifilo 4	90,88			
		39,71	NV	16,43 A
Curva 4	51,17			
		48,83	NV	
Rettifilo 5	100,00			

Note - V: output verificato; NV: output non verificato; A: output accettabile

5.5.3.3 Verifiche di visibilità

È sempre necessario garantire opportune visuali libere come primo requisito di sicurezza stradale. La visuale libera è intesa dalla normativa stradale come: “la lunghezza del tratto di strada che il conducente riesce a vedere davanti a sé senza considerare l’influenza del traffico, delle condizioni atmosferiche e di illuminazione della strada”. La distanza di visuale libera in ogni sezione del tracciato stradale deve essere confrontata, in fase di progettazione con le seguenti distanze (riprese testualmente dal D.M. 6792/2001¹⁰):

- distanza di visibilità per l'arresto, che è pari allo spazio minimo necessario perché un conducente possa arrestare il veicolo in condizione di sicurezza davanti ad un ostacolo imprevisto;
- distanza di visibilità per il sorpasso, che è pari alla lunghezza del tratto di strada occorrente per compiere una manovra di completo sorpasso in sicurezza, quando non si possa escludere l’arrivo di un veicolo in senso opposto;
- distanza di visibilità per la manovra di cambiamento di corsia, che è pari alla lunghezza del tratto di strada occorrente per il passaggio da una corsia a quella ad essa adiacente nella manovra di deviazione in corrispondenza di punti singolari (intersezioni, uscite, ecc.).

Per il calcolo delle sopracitate distanze si rimanda al D.M. 6792/2001¹⁰. Si noti che nel caso in esame non è richiesta la verifica di visibilità per il cambio di corsia, in quanto si tratta di una strada extraurbana ad una corsia per senso di marcia. È invece da condursi sia la verifica della distanza di visibilità per l'arresto che quella per il sorpasso (per quanto quest'ultimo risulta ad oggi vietato lungo tutto il tronco esaminato).

In particolare, deve verificarsi che la distanza di visibilità richiesta dal veicolo sia minore di quella disponibile. Il valore della distanza disponibile può essere dedotto dal grafico presente in normativa (figura 5.21), partendo dalla velocità di progetto e dalla pendenza longitudinale (premesso che la livelletta sia costante; in caso contrario la normativa suggerisce di prendere il valor medio delle due livellette intersecanti). Il valore della distanza richiesta viene invece valutata di volta in volta in funzione delle caratteristiche geometriche del sito e dei possibili ostacoli presenti.

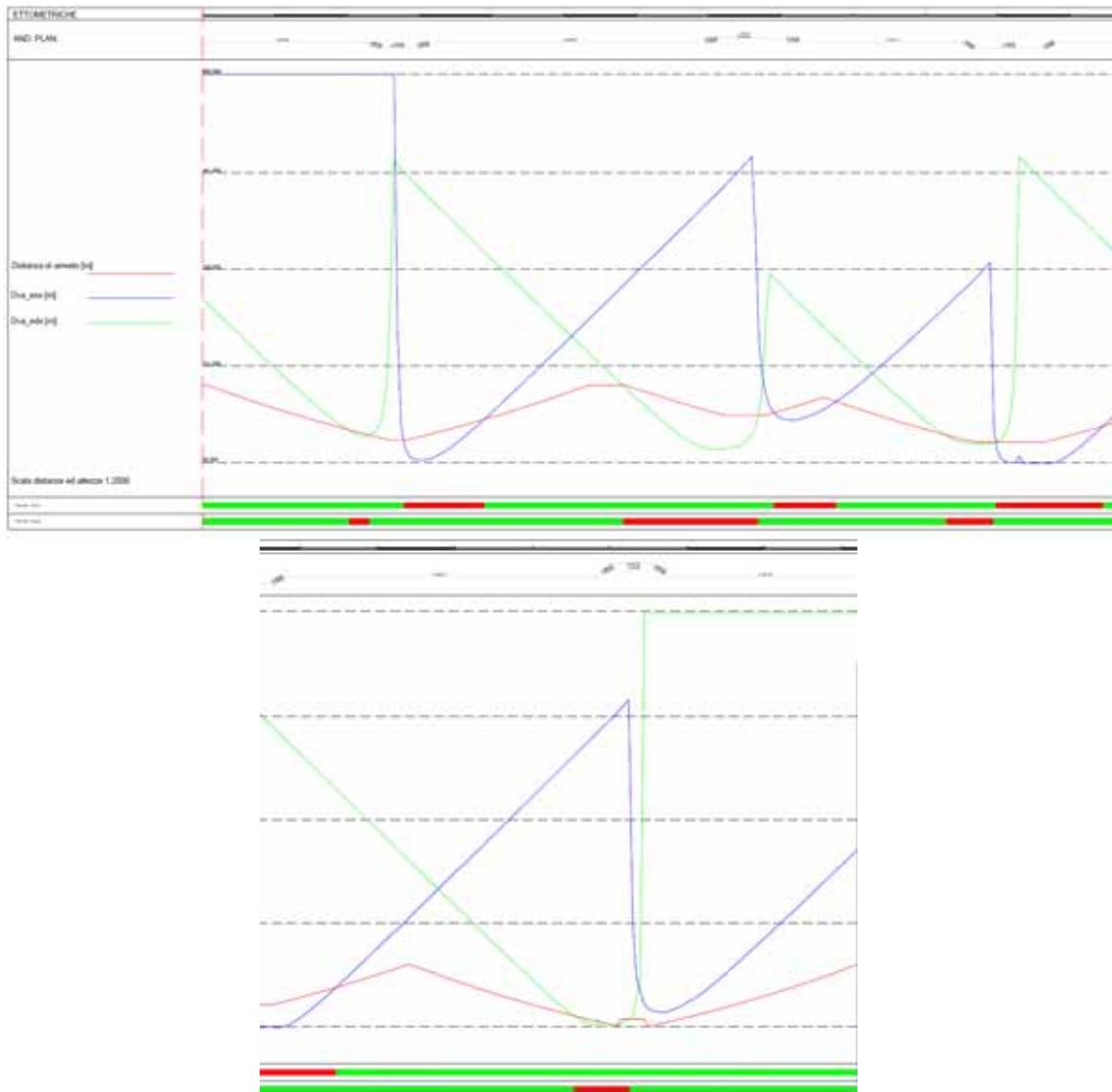


Fig. 5.20: diagramma di visibilità (parte 1 in alto e parte 2 in basso) ottenuto per mezzo del software utilizzato nel caso di studio (Civil Design).

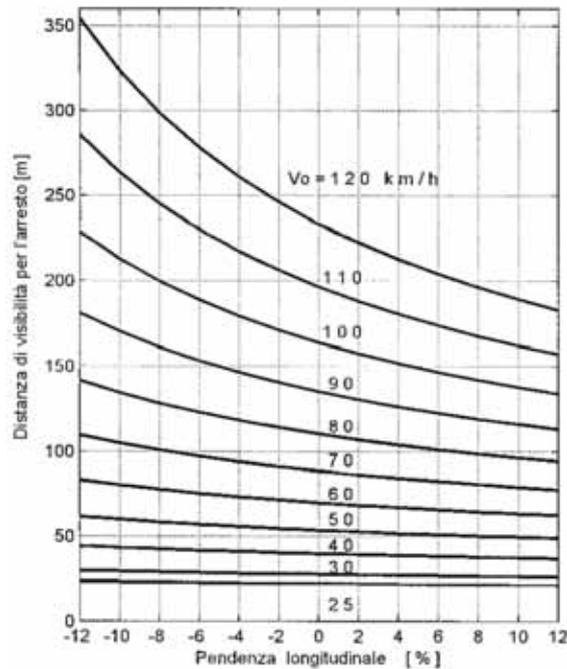


Figura 5.21: Fig 5.1.2.c del D.M. 6792/2001¹⁰.

Sulla base di quanto indicato dal diagramma di velocità e di quanto descritto in precedenza, il tratto oggetto di studio presenta diverse criticità in entrambi i sensi di marcia nei punti indicati in figura.

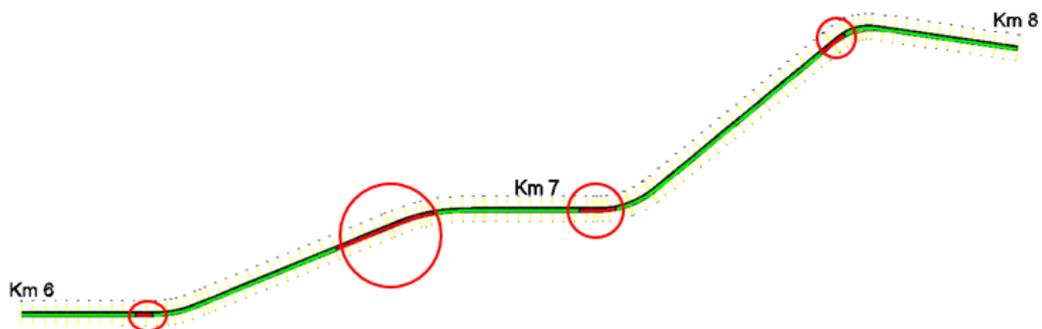


Fig. 5.22: Verifica visibilità per l'arresto (direzione: Noci).

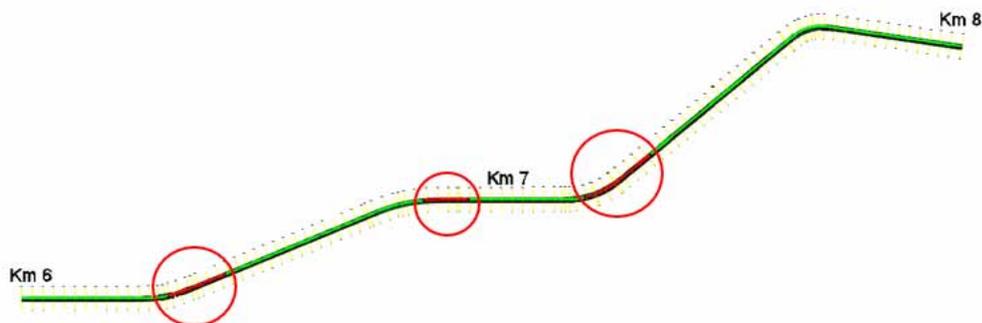


Fig. 5.23: Verifica visibilità per l'arresto (direzione: Gioia del Colle).

Non è stata condotta la verifica di visibilità per il sorpasso in quanto, nell'esempio riportato, tale manovra è impedita lungo tutta l'estensione del tronco, caratterizzato da curve planimetriche successive che la impediscono. Generalmente, tale verifica andrà sicuramente condotta in tutti i tronchi oggetti di studio in cui sia consentito il sorpasso.

5.5.3.4 Verifiche altimetriche

Dall'analisi dell'altimetria del tracciato risulta quanto segue:

- le livellette hanno sempre pendenze inferiori rispetto a quella longitudinale massima fissata dalla normativa per questa categoria di strada (pari al 7%);
- la livelletta 4 ha una pendenza longitudinale molto ridotta (0,03%). Si noti che la livelletta 4 si estende in un tratto in rilevato con pendenza trasversale pari al 2,5%, per cui il deflusso delle acque meteoriche è garantito dalla pendenza trasversale;
- i raccordi verticali e la distanza di visibilità relative sono spesso inadeguati, come mostrato di seguito.

Verifica dei raccordi verticali: i dossi

La seguente tabella mostra le verifiche effettuate per i dossi, seguendo quanto definito dal D.M. 6792/2001¹⁰. Nelle tabelle sono indicate le informazioni inerenti alle seguenti variabili:

- lunghezza, in metri, dei raccordi verticali (L);
- la pendenza media espressa in percentuale (i_{medio});
- il valore massimo della velocità espresso in km/h (V_{max});
- la distanza di visibilità, in metri (D);
- la variazione di pendenza, in percentuale (Δi);
- il rapporto che intercorre tra la distanza di visibilità e la lunghezza della curva rilevata in sito, $D > L$ o $D < L$;
- il raggio di curvatura rilevato in sito, espresso in metri (R_{sito});
- il raggio minimo accettabile in accordo con il D.M. 6792/2001¹⁰, espresso in metri (R_{min});
- la verifica: se $R_{\text{sito}} > R_{\text{min}}$.

Tab 5.18: Verifica dosso 1.

$L(m)$	$i_{\text{medio}}(\%)$	$V_{\text{max}}(km/h)$	$D(m)$	Δi	$D > / < L$	$R_{\text{sito}}(m)$	$R_{\text{min}}(m)$	Verifica
97,04	-0,035	88,79	132,00	9,93	$D > L$	997,20	4630	Non verificato

Tab 5.19: Verifica dosso 2.

$L(m)$	$i_{\text{medio}}(\%)$	$V_{\text{max}}(km/h)$	$D(m)$	Δi	$D > / < L$	$R_{\text{sito}}(m)$	$R_{\text{min}}(m)$	Verifica
94,28	-2,32	93,90	152,00	4,57	$D > L$	2064	5950	Non verificato

Tab 5.20: Verifica dosso 3.

$L(m)$	$i_{\text{medio}}(\%)$	$V_{\text{max}}(km/h)$	$D(m)$	Δi	$D > / < L$	$R_{\text{sito}}(m)$	$R_{\text{min}}(m)$	Verifica
16,44	-2,86	8775	137,00	0,93	$D > L$	1777,49	Tutti i valori	Non verificato

Verifica sacca

La seguente tabella mostra le verifiche effettuate per le sacche, seguendo quanto definito dal D.M. 6792/2001¹⁰. Le stesse variabili descritte nel paragrafo precedente sono indicate nelle seguenti tabelle.

Tab 5.21: Verifica sacca 1.

$L(m)$	$i_{\text{medio}}(\%)$	$V_{\text{max}}(km/h)$	$D(m)$	Δi	$D > / < L$	$R_{\text{sito}}(m)$	$R_{\text{min}}(m)$	Verifica
59,03	1,165	90,95	134,50	7,53	$D > L$	783,89	3150	Non verificato

Tab 5.22: Verifica sacca 2.

$L(m)$	i_{medio} (%)	V_{max} (km/h)	$D(m)$	Δi	$D > / < L$	R_{sito} (m)	R_{min} (m)	Verifica
61,92	-2,515	98,10	167,00	4,97	$D > L$	1246,40	4070	Non verificato

Tab 5.23: Verifica sacca 3.

$L(m)$	i_{medio} (%)	V_{max} (km/h)	$D(m)$	Δi	$D > / < L$	R_{sito} (m)	R_{min} (m)	Verifica
54,95	-1,7	78,96	110,80	5,80	$D > L$	947,50	2500	Non verificato

Tab 5.24: Verifica sacca 4.

$L(m)$	i_{medio} (%)	V_{max} (km/h)	$D(m)$	Δi	$D > / < L$	R_{sito} (m)	R_{min} (m)	Verifica
97,77	-2,26	84,41	130,00	2,12	$D > L$	4606	100	Verificato

5.5.3.5 Verifica del coordinamento piano altimetrico

La verifica del coordinamento piano altimetrico non mostra particolari criticità, eccetto che per la curva 3 in direzione Noci. Questa curva è situata immediatamente dopo una sacca, pertanto, genera nel conducente una percezione errata del tracciato. In particolare, il conducente percepisce un raggio di curvatura maggiore di quello reale. Tale criticità è dimostrata anche dal rapporto tra i raggi di curvatura del raccordo, R_v , e della curva planimetrica, R : $947,50m/160,00m = 5,96 < 6$ (Non verificato). La soluzione a questa problematica richiede la riprogettazione del tracciato come proposto nel pacchetto D delle contromisure a lungo termine.



Fig. 5.24: Curva 3 (direzione: Noci).

5.5.3.6 Verifica degli accessi

Il D.M. 19/04/2006¹² definisce gli accessi come “punti di immissione per veicoli” da un’area o da un edificio privato alla strada di uso pubblico, o viceversa. La possibilità di prevedere accessi dipende dalla categoria di strada indicata dal Codice della Strada⁹.

La strada oggetto di studio è di tipo “C”, per cui la normativa prevede una distanza tra gli accessi di almeno 300 m. Tuttavia, essendo l’infrastruttura antecedente al D.M. 19/04/2006¹², in questo specifico caso il valore minimo accettabile può essere ridotto a 100 m. Questo valore è la distanza minima consentita dall’ente stradale. La seguente figura e tabella mostrano la posizione degli accessi ed il passo fra essi.

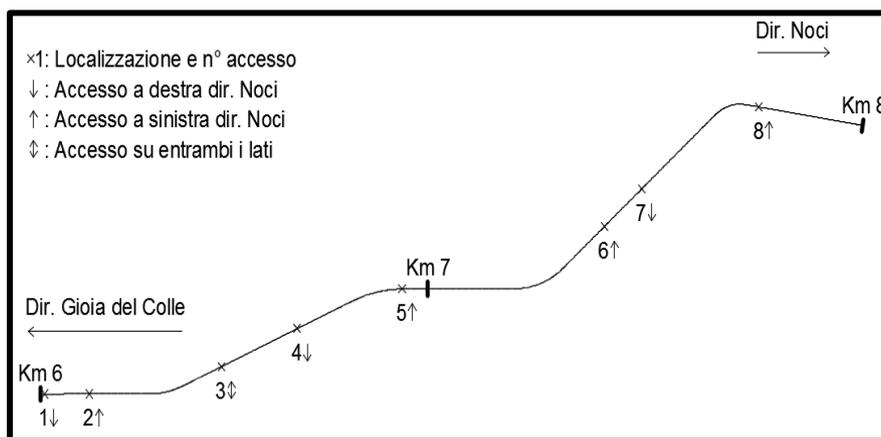


Fig. 5.25: Posizione degli accessi.

Tab 5.25: Verifica del passo tra gli accessi.

Accessi	Distanze (m)	Verifica
D ₁₋₂	96,00	Non verificato
D ₂₋₃	292,50	Verificato
D ₃₋₄	178,00	Verificato
D ₄₋₅	237,50	Verificato
D ₅₋₆	473,00	Verificato
D ₆₋₇	105,00	Verificato
D ₇₋₈	305,00	Verificato

La distanza tra il primo ed il secondo accesso non è verificata.

Inoltre, la verifica di visuale libera è stata ripetuta per ogni accesso prendendo come punti di conflitto quelli indicati nella figura 5.21.

Il punto di conflitto è individuato dall'intersezione tra i due assi delle strade che confluiscono nel nodo. Il secondo punto di conflitto è il punto sull'asse della corsia da cui è visibile il punto di conflitto, considerando la tangente all'ostacolo interposto.

Considerare tale punto di conflitto, tuttavia, risulta non perfettamente coerente con la realtà, in quanto la posizione del reale punto di conflitto risulta variabile, data l'aleatorietà con cui l'automobilista effettua la manovra di svolta.

Nella maggior parte dei casi, però, questa approssimazione risulta essere accettabile in quanto a vantaggio di sicurezza. Nella figura successiva è mostrato un esempio grafico per il calcolo della visuale libera.

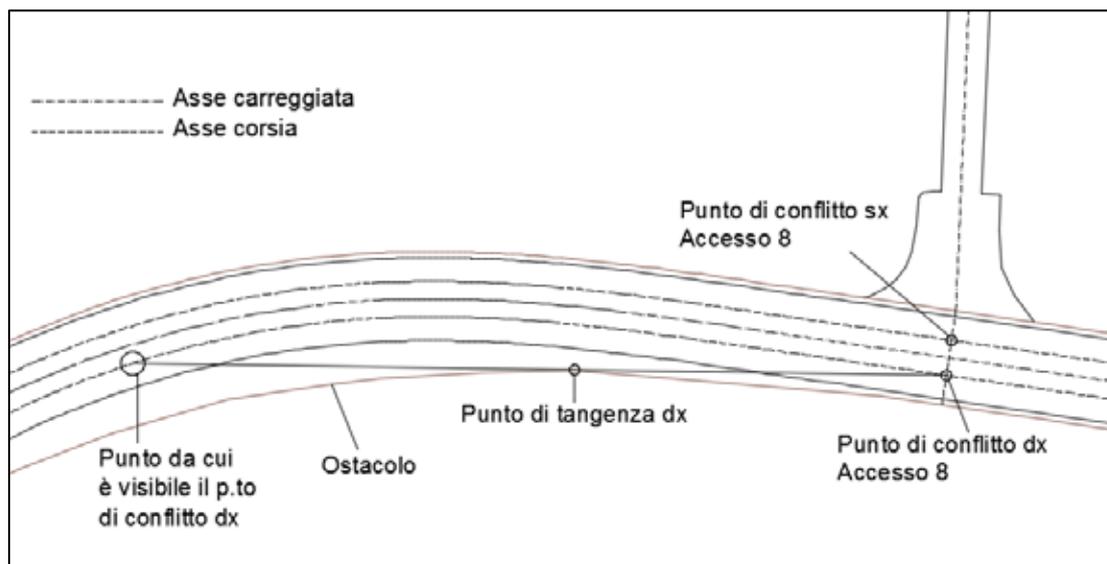


Fig. 5.26: Distanza di visibilità per gli accessi.

La distanza di visibilità altimetrica è stata misurata dal punto di conflitto (che coincide con l'asse dell'accesso nel profilo longitudinale), con altezza h_2 , fino al generico osservatore, avente altezza h_1 , considerando, nel tracciare la retta, la tangenza al dosso.

Per le verifiche sono stati considerati i seguenti valori di altezze:

- altezza del generico osservatore posizionato sulla strada principale, $h_1 = 1,10$ m;
- altezza dell'ostacolo nel punto di conflitto, $h_2 = 0,10$ m.

Il valore assunto h_2 è a vantaggio di sicurezza perché il veicolo può avere un'altezza maggiore durante la svolta rispetto a quella assunta per la verifica.

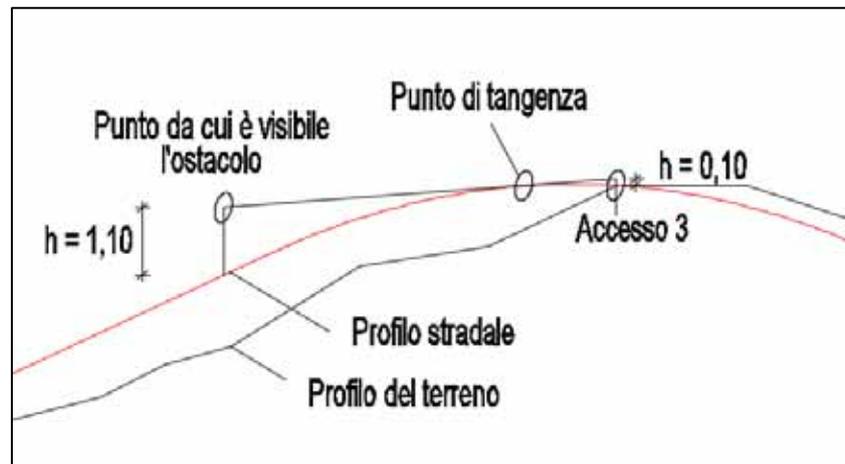


Fig. 5.27: Distanza di visibilità altimetrica per gli accessi.

I risultati sono indicati nella tabella 5.26.

Tab 5.26: Verifica di visibilità degli accessi.

Accesso	Conflitto	Verifica planimetrica				Verifica altimetrica			
		Progressiva planimetrica da cui è visibile (m)	Distanza di visibilità (m)	Distanza di arresto (m)	Esito	Progressiva altimetrica da cui è visibile (m)	Distanza di visibilità (m)	Distanza di arresto (m)	Esito
1	Sx	269,48	277,98	87,44	✓	413,09	403,57	123,15	✓
1	Dx	--	600,00	164,00	✓	--	142,02	164,00	✗
2	Sx	271,30	201,37	87,44	✓	394,83	289,46	117,79	✓
2	Dx	--	600,00	164,00	✓	--	203,98	164,00	✓
3	Sx	764,86	383,05	121,99	✓	465,76	60,10	140,06	✗
3	Dx	252,83	149,89	88,94	✓	338,95	60,78	101,97	✗
4	Sx	772,05	205,00	121,99	✓	710,71	134,04	125,00	✓
4	Dx	260,47	309,19	87,44	✓	385,33	191,50	115,06	✓
5	Sx	1090,97	290,88	84,31	✓	--	1106,72	164,00	✓
5	Dx	736,55	77,45	121,99	✗	644,36	150,85	138,42	✓
6	Sx	1627,34	348,95	65,94	✓	--	635,01	164,00	✓
6	Dx	1123,01	183,98	84,31	✓	--	691,00	164,00	✓
7	Sx	1628,50	282,38	65,94	✓	--	531,02	164,00	✓
7	Dx	1126,51	297,85	84,31	✓	--	1028,79	164,00	✓
8	Sx	--	600,00	164,00	✓	--	225,81	164,00	✓
8	Dx	1627,98	67,92	65,94	✓	--	1357,08	164,00	✓

Conflitto Sx: riferito a corsia avente direzione da Noci a Gioia del Colle

Conflitto Dx: riferito a corsia avente direzione da Gioia del Colle a Noci

Gli accessi che non verificano almeno uno delle due distanze di visibilità (altimetrica e planimetrica) sono:

- accesso 1, posto subito dopo un dosso (da Gioia del Colle a Noci);
- accesso 3, costituito da due accessi, uno di fronte l'altro e posizionati sulla sommità di un dosso, il cui raggio è risultato non verificato dall'analisi effettuata nella verifica precedente (per entrambe le direzioni);
- accesso 5, posto a circa metà della clotoide in uscita dalla curva 2 (da Gioia del Colle a Noci).

Fra i dati di incidentalità disponibili non vi sono incidenti avvenuti in prossimità degli accessi o attribuibili alla loro presenza. Inoltre, le distanze di arresto sono state calcolate considerando le velocità ottenute dal diagramma delle velocità e non il limite di velocità vigente sulla Strada Provinciale (60 km/h). Perciò, nel prosieguo della trattazione, non sono considerate le contromisure tipicamente utili a mitigare l'incidentalità dovuta agli accessi (ad esempio la realizzazione di una complanare di servizio o la variazione dell'andamento piano altimetrico della strada principale) ma si considereranno le tipologie di incidenti (e le relative contromisure specifiche e più critiche del caso in oggetto di studio). Tuttavia, particolare attenzione dovrà essere posta alla velocità di percorrenza dei veicoli, individuando soluzioni ed eventuali contromisure che garantiscano il rispetto del limite imposto. Si noti che, per essere precisi, si dovranno tracciare dei triangoli di visuale libera anche per gli accessi, come indicato dalle norme italiane per le intersezioni (D.M. 19/04/2006¹²).

5.5.4 Metodo del Diagramma di aderenza (FDM - Friction Diagram Method) lungo il tracciato

Il seguente paragrafo non corrisponde a prescrizioni normative ma a studi scientifici in atto. Pertanto, i risultati di questi approfondimenti devono essere interpretati dal lettore come suggerimenti e non come prescrizioni.

L'aderenza permette di trasferire ogni forza che agisce sul veicolo sulla pavimentazione stradale. Un veicolo in movimento ha un "Capitale di aderenza", inteso come aderenza potenziale. Se questo valore venisse superato il veicolo potrebbe non essere più sotto controllo.

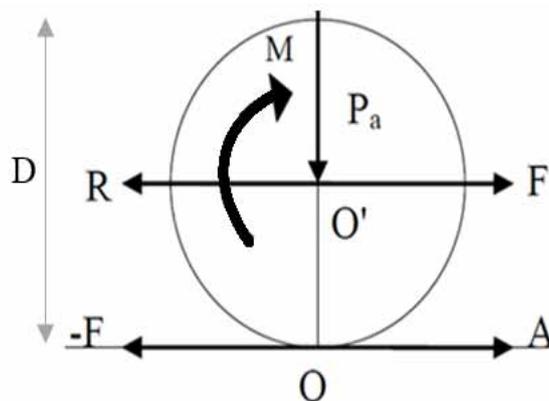


Fig. 5.28: Ruota motrice.

In base alle condizioni al contorno brevemente sintetizzabili con le caratteristiche geometriche della strada che sta percorrendo, con lo stato degli pneumatici, le condizioni meteo e lo stile di guida del conducente, lo stesso veicolo in moto consuma un'aliquota della aderenza potenziale che si può definire come aderenza mobilitata. In altre parole, al variare delle condizioni al contorno, varia la parte di capitale di aderenza che si spende lungo il tracciato. Confrontando, dunque, l'aderenza potenziale con l'aderenza mobilitata attraverso la formula della Percentuale di Aderenza Mobilitata è possibile calcolare qual è, in una determinata sezione, il margine di sicurezza rispetto alla perdita di aderenza (moto di slittamento, sbandamento, ecc.).

$$\%A_{mob} = \left(\frac{A_{mob}}{A_{pot}} \right) \times 100 \text{ [%]} \quad (\text{Eq. 5-29})$$

Le condizioni di sicurezza sono definite dalla distanza della percentuale di aderenza mobilitata ($\%A_{mob}$) dal suo valore limite che è del 100%. Quindi, in situazioni molto sicure, $\%A_{mob}$ avrà un valore basso; in situazioni in cui il rischio di slittamento è alto, $\%A_{mob}$ avrà un valore vicino al 100%. Mentre nelle situazioni in cui la stabilità del veicolo non è garantita, $\%A_{mob}$ avrà un valore uguale o superiore al suo limite. Per definire il valore

dell'aderenza mobilitata (in percentuale), bisogna calcolare tutte le azioni che il veicolo trasmette alla pavimentazione che dipendono da:

- caratteristiche della strada:
 - coordinamento plano-altimetrico;
 - condizioni della pavimentazione (asciutto, bagnato, sporco, ecc.);
 - raggi di curvatura planimetrici (curve circolari e clotoidi);
 - raggi di curvatura altimetrici (sacche, dossi);
 - pendenza longitudinale (salite e discese);
 - pendenze trasversali.
- caratteristiche del veicolo:
 - geometria e massa;
 - classe di resistenza degli pneumatici (resistenza specifica al rotolamento).
- caratteristiche del regime di moto:
 - velocità e accelerazione del veicolo nella sezione considerata.

In base alla combinazione delle suddette variabili e di altre condizioni al contorno, si possono definire alcuni veicoli critici, rispetto al raggiungimento dell'aderenza mobilitata pari al 100%. La seguente tabella mostra i veicoli critici derivati dalle caratteristiche di movimento in funzione del diagramma di velocità e dell'andamento plano altimetrico.

Tab 5.27: "Veicolo critico" per ogni possibile combinazione.

Combinazione	Velocità costante	Accelerazione	Frenata	Ruota motrice
Rettifilo in piano	I	I	II	Anteriore
Rettifilo in salita	III	III	IV	Anteriore
Rettifilo in discesa	III	I	II	Posteriore
Rettifilo in dosso	III	III	IV	Anteriore
Rettifilo in sacca	I	V	II	Anteriore
Curva in piano	I	VI	II	Anteriore
Curva in salita	III	III	III	Anteriore
Curva in discesa	III	III	II	Posteriore
Curva in dosso	III	III	III	Anteriore
Curva in sacca	V	V	II	Anteriore
Clotoide in piano (P Sfav)*	I	VI	II	Anteriore
Clotoide in piano (P Fav)*	I	I	II	Anteriore
Clotoide in salita (P Sfav)	III	III	III	Anteriore
Clotoide in salita (P Fav)	III	III	III	Anteriore
Clotoide in discesa (P Sfav)	III	III	II	Posteriore
Clotoide in discesa (P Fav)	III	I	II	Posteriore
Clotoide in dosso (P Sfav)	III	III	III	Anteriore
Clotoide in dosso (P Fav)	III	III	III	Anteriore
Clotoide in sacca (P Sfav)	I	I	II	Anteriore
Clotoide in dosso (P Fav)	I	I	II	Anteriore

*("P || Fav" and "P || sfav" sono le condizioni favorevoli e sfavorevoli dello stesso andamento planimetrico)

Il diagramma di aderenza può essere utilizzato per entrambi i sensi di marcia e per le condizioni della pavimentazione stradale sia sul bagnato che sul ghiaccio. Il coefficiente di aderenza, in questo caso, è stato assunto come dipendente dalla velocità, dal diagramma riportato di seguito, ottenuto dai dati di letteratura^{17, 18}.

¹⁷ Lamm R., Psarianos B., Mailaender T. (1999), *Highway design and traffic safety engineering handbook*, McGraw Hill, New York, USA.

¹⁸ Canale S., Leonardi S., Nicosia F. (1996), "Analisi critica del fenomeno dell'aderenza in campo stradale e ferroviario", *quaderno*

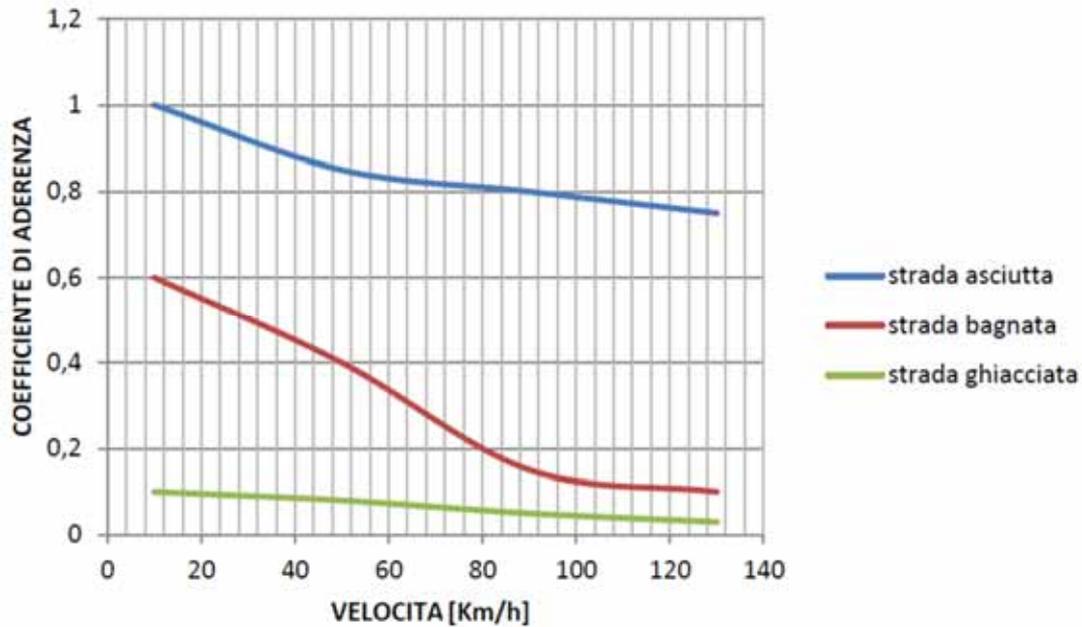


Fig. 5.29: Diagramma velocità - coefficiente di aderenza.

Il diagramma di aderenza è quindi la rappresentazione grafica dell'aderenza mobilitata per ogni sezione trasversale e potrebbe essere disegnato insieme al diagramma di velocità sul profilo longitudinale.

Esso acquisisce per definizione una duplice utilità: potrebbe essere usato come strumento diagnostico utile per evidenziare sezioni stradali non sicure (in cui il valore di aderenza mobilitata è vicino o superiore al 100%) ed allo stesso tempo, in fase di progettazione, uno strumento per una corretta progettazione dell'andamento piano altimetrico per garantire che l'aderenza utilizzata sia sempre inferiore al 100%.

Il diagramma di aderenza si calcola per ogni direzione di marcia, per condizioni di strada bagnata e ghiacciata, per ogni sezione trasversale, considerando ogni veicolo critico, e per ogni combinazione piano-altimetrica.

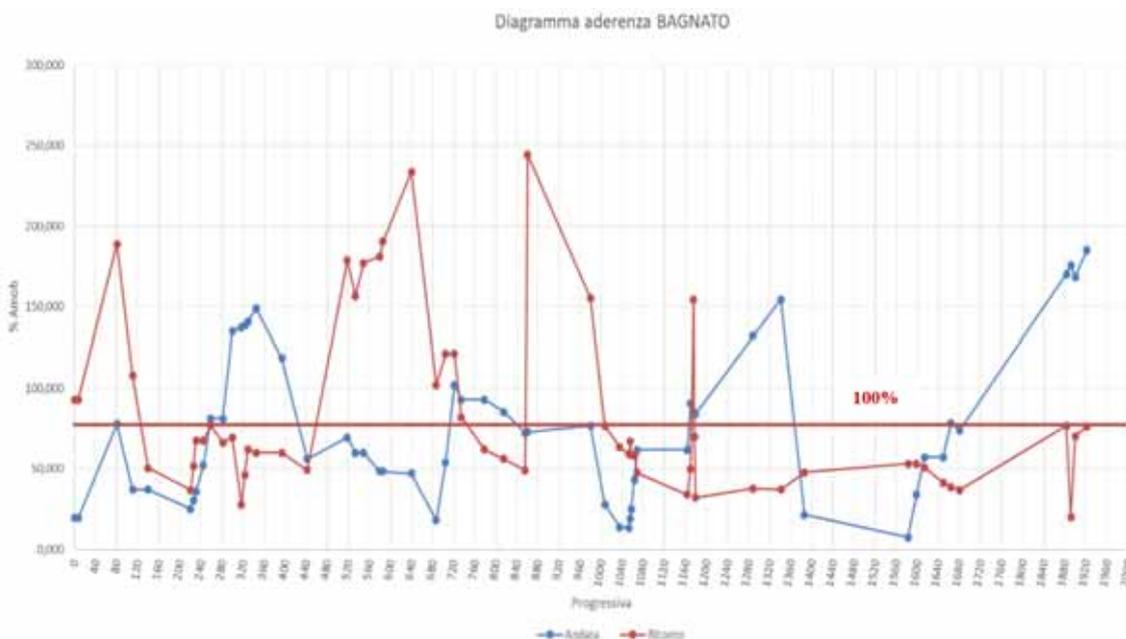


Fig. 5.30: Diagramma di aderenza in caso di strada bagnata (Colonna et al., 2018⁷).

È utile sottolineare che il diagramma di aderenza è un “diagramma teorico” che è lontano dai comportamenti reali del conducente e non tiene conto delle variabili ambientali (come l'andamento verticale). Si consiglia,

qualora si abbia a disposizione, l'utilizzo della velocità operative, sia per i sensi di marcia che per ogni sezione, in quanto essa conduce a risultati più realistici.

Le osservazioni sulle sezioni, nel senso di marcia, dove l'aderenza mobilitata è superiore al 100% (condizioni di bagnato) sono spiegate come segue:

- sezioni trasversali 12-14 (300-323 m), il veicolo critico III, velocità variabile da 71,34 Km/h a 74,26 Km/h, in fase di accelerazione, coefficiente di aderenza da 0,257 a 0,237; il veicolo affronta la clotoide all'uscita dalla Curva 1 con pendenza trasversale variabile dal 6,4% al -2,5% del rettilineo successivo (i parametri della clotoide non sono conformi alla normativa);
- sezioni trasversali 15-16 (330-345 m), veicolo critico III, velocità variabile da 75,03 Km/h a 76,89 Km/h in accelerazione, coefficiente di aderenza variabile da 0,232 a 0,220; il veicolo affronta un tratto in salita la cui pendenza longitudinale è del 4,9%. La forza motrice necessaria per l'accelerazione del veicolo, di massa 1195,31 Kg, pari a 0,8 m/s², è la causa dell'elevato valore di aderenza mobilitata;
- sezione trasversale 17 (394 m), veicolo critico III, velocità pari a 82,84 Km/h in accelerazione, coefficiente di aderenza pari a 0,183. Il veicolo si trova in cima al dosso con un Δi del 9,93% e un raggio verticale, R_v pari a 997,20 m. In un dosso, il peso del veicolo è inferiore grazie alla forza centrifuga diretta verso l'alto in accelerazione, quindi anche il peso aderente è ridotto;
- Sezione 27 (721 m), veicolo critico III, velocità costante pari a 84,79 Km/h e coefficiente di aderenza pari a 0,173; il veicolo affronta la Curva 2, con R pari a 290 m, in corrispondenza di un dosso avente R_v pari a 2064 m, subendone la somma delle due forze centrifughe. Il valore di aderenza mobilitata ottenuto con i dati a disposizione è di poco superiore al 100%;
- Sezione 46(1288 m), veicolo critico III, velocità pari a 83,88 Km/h, coefficiente di aderenza pari a 0,178 in fase di accelerazione; il veicolo affronta una salita con pendenza longitudinale pari a 1,20%; l'elevata percentuale di aderenza mobilitata è dovuta alla forza di trazione necessaria per far accelerare il veicolo di massa 1195,31Kg con un valore di accelerazione pari a 0,8m/s².
- Sezione 47 (1342 m), veicolo critico V, con velocità pari a 90,88 Km/h e coefficiente di aderenza pari a 0,147, in fase di accelerazione. Il veicolo affronta un raccordo altimetrico concavo di transizione tra due livellette in salita, avente un R_v pari a 4606 m. L'elevata percentuale di aderenza mobilitata è dovuta alla forza di trazione necessaria per far accelerare il veicolo di massa 3515,63Kg con un valore di accelerazione pari a 0,8m/s²;
- Sezioni da 55 a 58, veicolo critico III, velocità che varia da 85,35 Km/h a 90,93 Km/h, coefficiente di aderenza che varia da 0,170 a 0,146, in fase di accelerazione; il veicolo affronta una salita con pendenza longitudinale variabile dal 3,32% al 2,40% percorrendo un raccordo verticale convesso avente R_v pari a 1777,49 m; l'elevata percentuale è dovuta alla forza di trazione necessaria per far accelerare il veicolo di massa 1195,31Kg con un valore di accelerazione pari a 0,8m/s².

Le osservazioni sulle sezioni, nella direzione di ritorno, dove l'aderenza mobilitata è superiore al 100% sono spiegate come segue:

- Sezione 16 (1342 m), veicolo critico V velocità pari a 90,88 Km/h, in fase di accelerazione, coefficiente di aderenza pari a 0,147; il veicolo affronta un raccordo altimetrico concavo di transizione tra due livellette in discesa, avente un R_v pari a 4606 m. L'elevata percentuale di aderenza mobilitata è dovuta alla forza di trazione necessaria per far accelerare il veicolo di massa 3515,63 Kg con un valore di accelerazione pari a 0,8m/s²;
- Sezioni 26-27 (980-860 m), veicolo critico III, velocità che varia da 78,960 Km/h a 94,290 Km/h, coefficiente di aderenza che varia da 0,206 a 0,136 in fase di accelerazione; il veicolo affronta una salita con pendenza longitudinale pari al 4,60%; l'elevata percentuale di aderenza mobilitata è dovuta alla forza di trazione necessaria per far accelerare il veicolo di massa 1195,31 Kg con un valore di accelerazione pari a 0,8m/s²;
- Sezioni 32 e 33 (778-734 m), veicolo critico III, velocità costante pari a 84,79 Km/h e coefficiente di aderenza pari a 0,173; il veicolo percorre la Curva 2, avente raggio 290 m, su una livelletta in salita con pendenza del 4,60%; la pendenza trasversale della curva è del 5,60%. Anche ipotizzando nel calcolo una pendenza trasversale del 7%, lasciando invariati gli altri valori, l'aderenza mobilitata supera il 100%;
- Sezione 34 (721 m), veicolo critico III, velocità costante paria 84,790 Km/h e coefficiente di aderenza pari a 0,173; il veicolo percorre la Curva 2 nella parte iniziale di un raccordo altimetrico convesso avente raggio pari a 2063,79 m, subendone la somma delle due forze centrifughe. Da notare che l'aderenza mobilitata è minore rispetto a quella relativa alle sezioni 32 e 33: il contributo della livelletta sulla aderenza mobilitata è quindi maggiore del contributo dato dalla forza centrifuga del raccordo verticale;

- Sezioni da 35 a 37, veicolo critico III, velocità che varia da 86,21 Km/h a 88,15 Km/h e coefficiente di aderenza che varia da 0,166 a 0,157, in fase di accelerazione; il veicolo affronta una clotoide sita su di un dosso, in uscita dalla Curva 2, avente una variazione della pendenza trasversale che va dal 5,60% a -2,50%;
- Sezione 38 (687 m), veicolo critico III, velocità pari a 88,65 Km/h e coefficiente di aderenza pari a 0,155, in fase di accelerazione; il veicolo transita su un rettilineo nella parte finale del raccordo verticale convesso, avente raggio nel vertice della parabola pari a 2063,79 m. L'elevata percentuale di aderenza mobilitata è dovuta alla forza di trazione necessaria per far accelerare il veicolo di massa 1195,31 Kg con un valore di accelerazione pari a $0,8\text{m/s}^2$;
- Sezioni 39 e 40 (640-586), veicolo critico III, velocità che varia da 93,97 Km/h a 100,00 Km/h e coefficiente di aderenza che varia da 0,137 a 0,123, in fase di accelerazione; il veicolo affronta un rettilineo in salita. L'elevata percentuale di aderenza mobilitata è dovuta alla forza di trazione necessaria per far accelerare il veicolo di massa 1195,31 Kg con un valore di accelerazione pari a $0,8\text{m/s}^2$;
- Sezione 55, veicolo critico V, velocità pari a 87,331 Km/h, coefficiente d'aderenza pari a 0,161 in fase di accelerazione; il veicolo affronta una sacca avente Rv di 783,89 m. L'elevata percentuale di A_{mob} è dovuta alla forza di trazione necessaria per far accelerare il veicolo di massa 3515,63 Kg, con un valore di accelerazione pari a $0,8\text{m/s}^2$.
- Sezione 56, veicolo critico III, velocità pari a 90,948 Km/h, coefficiente di aderenza pari a 0,146 in fase di accelerazione; il veicolo affronta una salita con pendenza longitudinale del 2,60%; l'elevata percentuale di aderenza mobilitata è dovuta alla forza di trazione necessaria per far accelerare il veicolo di massa 1195,31 Kg, con un valore di accelerazione pari a $0,8\text{m/s}^2$.

Dalle analisi delle cause delle perdite di aderenza per mitigare questo effetto si è rilevato che possibili contromisure possono consistere nella riprogettazione plano-altimetrica o nella riduzione delle velocità.

Prendendo in considerazione una velocità pari a quella desunta dal diagramma della velocità, in tutte le curve in cui si sono verificati gli incidenti stradali, la percentuale di aderenza mobilitata non supera in nessun caso il 100%.

Ciò comporta che le cause degli incidenti avvenuti lungo le curve sono imputabili all'alta velocità piuttosto che alla perdita di aderenza.

A ogni modo, la perdita di aderenza deve essere presa in considerazione, perché è probabile che influisca sul verificarsi dell'incidente e sulla gravità delle collisioni.

Tuttavia, volendo azzerare il rischio di sbandamento per velocità desunte dall'omonimo diagramma e per ciascun senso di percorrenza, assicurando percentuali di aderenza mobilitata minori del 100% su tutte le sezioni del tracciato, si dovrebbe modificare profondamente sia il tracciato planimetrico, sia l'andamento altimetrico del tronco stradale.

Questa soluzione comporta la modifica dell'intero tracciato stradale con costi elevati associati e forse non abbordabili per le agenzie stradali. La riprogettazione del tracciato stradale dovrebbe essere considerata come alternativa soltanto nei seguenti casi:

- Se il tronco stradale esistente assuma una funzione strategica, nell'ambito della rete stradale di riferimento (per volumi di traffico, assetti territoriali particolari, ecc.);
- in tutti i casi di progettazione di un nuovo tronco stradale.

Nel caso in esame, considerata la funzione territoriale del collegamento oggetto di studio e i vincoli ambientali a cui è soggetto il territorio di competenza, si preferisce ridurre le criticità rinvenienti dal diagramma della aderenza riducendo la velocità di percorrenza, imponendo un opportuno limite di velocità ed individuando soluzioni ed eventuali contromisure che garantiscano il rispetto del limite imposto (controllo delle velocità).

Dopo una serie di processi iterativi, riducendo progressivamente il limite di velocità, inizialmente pari a 100 km/h (come da diagramma delle velocità), è stato individuato che lo stesso debba essere pari a 60 km/h, poiché risultasse una percentuale di aderenza mobilitata in condizioni di pavimentazione bagnata, sempre minore del 100%.

Il valore massimo del limite di velocità utilizzabile per rispettare questa condizione, può essere considerato come "velocità sicura", sia poiché rispetta i requisiti delle norme sia poiché evita lo slittamento (Colonna et al., 2017¹⁹). La soglia può anche essere abbassata per includere un margine di sicurezza (ad esempio, avendo la percentuale di aderenza mobilitata al di sotto dell'80%).

In presenza di asfalto ghiacciato, anche con una velocità di 60 km/h nella maggior parte delle sezioni, l'aderenza si perde (l'aderenza mobilitata supera di gran lunga il 100 %).

Si noti che i diagrammi di aderenza relativi alle velocità estrapolate dal diagramma delle velocità e al limite

¹⁹ Colonna P., Berloco N., Intini P., Ranieri V. (2017), "The method of the friction diagram: New developments and possible applications", In *Transport Infrastructure and Systems: Proceedings of the AIIT International Congress on Transport Infrastructure and Systems*, 309 (Roma, Italia, 10-12 Aprile), CRC Press., Cleveland, USA.

di velocità imposto non sono “proporzionali” fra di loro. Ciò in quanto le diverse velocità, accelerazioni e decelerazioni, cambiando le condizioni al contorno, possono determinare una variazione della tipologia di veicolo critico da considerare in ciascuna delle sezioni analizzate.

5.5.5 La matrice di Haddon

Spesso le cause degli incidenti sono attribuite ad una sola “motivazione”; in realtà, gli incidenti stradali sono il risultato di una serie di eventi a loro volta influenzati da vari fattori che contribuiscono al loro verificarsi (ora del giorno, attenzione del conducente, velocità, condizione del veicolo, progettazione della strada, ecc.). Questi influenzano la sequenza degli eventi, prima, durante e dopo l’incidente.

- **Prima dell’incidente:** contribuiscono ad aumentare/diminuire la probabilità che l’incidente si verifichi (ad es. stato dei freni);
- **durante l’incidente:** contribuiscono ad aumentare/ridurre la gravità dell’incidente (ad es. airbag);
- **dopo l’incidente:** contribuiscono ad aumentare/ridurre i danni e le lesioni (ad es. soccorso).

È possibile delineare i fattori che influenzano principalmente il verificarsi e la gravità degli incidenti nelle seguenti macro categorie^{1,20}:

- **Uomo:** età del conducente, abilità di guida, coscienza, attenzione, stanchezza, esperienza e sobrietà;
- **Veicolo:** progettazione, fabbricazione e manutenzione;
- **Infrastruttura/Ambiente:** progettazione geometrica, sezione trasversale, dispositivi di controllo, aderenza, pendenza, segnaletica, condizioni climatiche, visibilità, ecc.

La matrice di Haddon^{1,17,20} è uno strumento sintetico che collega gli eventi di incidentalità stradale con le categorie dei fattori di incidenti.

5.5.5.1 Ricostruzione delle matrici di Haddon per ciascun incidente

Le seguenti tabelle mostrano alcuni possibili esempi di matrici di Haddon per ogni incidente avvenuto sul tracciato oggetto di studio. Queste tabelle esprimono fattori che potenzialmente possono contribuire alla specifica incidentalità.

Tab 5.28: Matrice di Haddon - incidente n. 1.

Periodo	Fattori umani	Fattori veicolo	Fattori strada
Prima dell’incidente (cause generatrici di pericolo)	Guida distratta, cattiva valutazione della curva	Probabili gomme lisce	Pavimentazione bagnata con probabile presenza di fango, curva inadeguata
Durante l’incidente (cause della severità dell’incidente)	Cintura non indossata	Funzionalità degli airbag	Aderenza e pendenza trasversale della pavimentazione, guard rail non adeguato
Dopo l’incidente (fattori che influenzano l’esito dell’incidente)	Età, sesso	Facilità di rimozione dei passeggeri feriti	Tempo e qualità della risposta di emergenza, cure mediche successive

Tab 5.29: Matrice di Haddon - incidente n. 2.

Periodo	Fattori umani	Fattori veicolo	Fattori strada
Prima dell’incidente (cause generatrici di pericolo)	Guida distratta, cattiva valutazione della curva	Probabili gomme lisce	Pavimentazione bagnata, curva inadeguata
Durante l’incidente (cause della severità dell’incidente)	Cintura non indossata	Funzionalità degli airbag, capacità del veicolo di assorbire l’energia dell’urto	Aderenza e pendenza trasversale della pavimentazione
Dopo l’incidente (fattori che influenzano l’esito dell’incidente)	Età, sesso	Facilità di rimozione dei passeggeri feriti	Tempo e qualità della risposta di emergenza, cure mediche successive

²⁰ Haddon W. (1972), “A logical framework for categorizing highway safety phenomena and activity”, *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 12(3), 193-207.

Tab 5.30: Matrice di Haddon - incidente n. 3.

Periodo	Fattori umani	Fattori veicolo	Fattori strada
Prima dell'incidente (cause generatrici di pericolo)	Guida distratta, età, cattiva valutazione della curva	Probabili gomme lisce	Pavimentazione ghiacciata, curva inadeguata
Durante l'incidente (cause della severità dell'incidente)	Vulnerabilità alle lesioni, età, sesso	Funzionalità degli airbag, capacità del veicolo di assorbire l'energia dell'urto	Aderenza e pendenza trasversale e longitudinale della pavimentazione
Dopo l'incidente (fattori che influenzano l'esito dell'incidente)	Età, sesso		

Tab 5.31: Matrice di Haddon - incidente n. 4.

Periodo	Fattori umani	Fattori veicolo	Fattori strada
Prima dell'incidente (cause generatrici di pericolo)	Guida distratta, età, cattiva valutazione della curva, stanchezza	Probabili gomme lisce	Pavimentazione bagnata, probabile abbagliamento dal sole prima del tramonto, curva inadeguata
Durante l'incidente (cause della severità dell'incidente)	Vulnerabilità alle lesioni, età, cintura non indossata	Funzionalità degli airbag, capacità del veicolo di assorbire l'energia dell'urto	Aderenza e pendenza trasversale della pavimentazione
Dopo l'incidente (fattori che influenzano l'esito dell'incidente)	Età, sesso	Facilità di rimozione dei passeggeri feriti	Tempo e qualità della risposta di emergenza, cure mediche successive

Tab 5.32: Matrice di Haddon - incidente n. 5.

Periodo	Fattori umani	Fattori veicolo	Fattori strada
Prima dell'incidente (cause generatrici di pericolo)	Guida distratta, età, cattiva valutazione della curva, stanchezza	Probabili gomme lisce	Pavimentazione bagnata, probabile abbagliamento dal sole prima del tramonto, curva inadeguata
Durante l'incidente (cause della severità dell'incidente)	Vulnerabilità alle lesioni, età, cintura non indossata	Funzionalità degli airbag, capacità del veicolo di assorbire l'energia dell'urto	Aderenza e pendenza trasversale della pavimentazione
Dopo l'incidente (fattori che influenzano l'esito dell'incidente)	Età, sesso	Facilità di rimozione dei passeggeri feriti	Tempo e qualità della risposta di emergenza, cure mediche successive

Tab 5.33 Matrice di Haddon - incidente n. 6.

Periodo	Fattori umani	Fattori veicolo	Fattori strada
Prima dell'incidente (cause generatrici di pericolo)	Guida distratta, età, cattiva valutazione della curva, stanchezza	Probabili gomme lisce	Pavimentazione bagnata, curva inadeguata
Durante l'incidente (cause della severità dell'incidente)	Vulnerabilità alle lesioni, età, cintura non indossata		Aderenza e pendenza trasversale della pavimentazione
Dopo l'incidente (fattori che influenzano l'esito dell'incidente)	Età, sesso		

Tab 5.34: Matrice di Haddon - incidente n. 7.

Periodo	Fattori umani	Fattori veicolo	Fattori strada
Prima dell'incidente (cause generatrici di pericolo)	Guida distratta, età, cattiva valutazione della curva, stanchezza	Probabili gomme lisce	Pavimentazione bagnata, curva inadeguata
Durante l'incidente (cause della severità dell'incidente)	Vulnerabilità alle lesioni, età, cintura non indossata	Funzionalità degli airbag, capacità del veicolo di assorbire l'energia dell'urto	Aderenza e pendenza trasversale della pavimentazione
Dopo l'incidente (fattori che influenzano l'esito dell'incidente)	Età, sesso	Facilità di rimozione dei passeggeri feriti	Tempo e qualità della risposta di emergenza, cure mediche successive

Tab 5.35: Matrice di Haddon - incidente n. 8.

Periodo	Fattori umani	Fattori veicolo	Fattori strada
Prima dell'incidente (cause generatrici di pericolo)	Guida distratta, età, cattiva valutazione della curva, stanchezza	Probabili gomme lisce	Pavimentazione bagnata
Durante l'incidente (cause della severità dell'incidente)	Vulnerabilità alle lesioni, età, cintura non indossata	Vulnerabilità alle lesioni, età, cintura non indossata	Aderenza e pendenza trasversale della pavimentazione
Dopo l'incidente (fattori che influenzano l'esito dell'incidente)	Età, sesso		

Tab 5.36: Matrice di Haddon - incidente n. 9.

Periodo	Fattori umani	Fattori veicolo	Fattori strada
Prima dell'incidente (cause generatrici di pericolo)	Guida distratta, età	Probabili gomme lisce	Pavimentazione bagnata
Durante l'incidente (cause della severità dell'incidente)	Vulnerabilità alle lesioni, età, cintura non indossata	Funzionalità degli airbag, capacità del veicolo di assorbire l'energia dell'urto	Aderenza e pendenza della pavimentazione
Dopo l'incidente (fattori che influenzano l'esito dell'incidente)	Età, sesso	Facilità di rimozione dei passeggeri feriti	Tempo e qualità della risposta di emergenza, cure mediche successive

Tab 5.37: Matrice di Haddon - incidente n. 10.

Periodo	Fattori umani	Fattori veicolo	Fattori strada
Prima dell'incidente (cause generatrici di pericolo)	Guida distratta, età, cattiva valutazione della curva	Probabili gomme lisce	Pavimentazione bagnata con probabile presenza di fango, curva inadeguata
Durante l'incidente (cause della severità dell'incidente)	Vulnerabilità alle lesioni, età, cintura non indossata	Funzionalità degli airbag, capacità del veicolo di assorbire l'energia dell'urto	Aderenza e pendenza trasversale della pavimentazione
Dopo l'incidente (fattori che influenzano l'esito dell'incidente)	Età, sesso	Facilità di rimozione dei passeggeri feriti	Tempo e qualità della risposta di emergenza, cure mediche successive

Tab 5.38: Matrice di Haddon - incidente n. 11.

Periodo	Fattori umani	Fattori veicolo	Fattori strada
Prima dell'incidente (cause generatrici di pericolo)	Guida distratta, età, cattiva valutazione della curva, stanchezza	Probabili gomme lisce	Pavimentazione bagnata
Durante l'incidente (cause della severità dell'incidente)	Vulnerabilità alle lesioni, età, cintura non indossata	Funzionalità degli airbag, capacità del veicolo di assorbire l'energia dell'urto	Aderenza e pendenza trasversale della pavimentazione
Dopo l'incidente (fattori che influenzano l'esito dell'incidente)	Età, sesso	Facilità di rimozione dei passeggeri feriti	Tempo e qualità della risposta di emergenza, cure mediche successive

Tab 5.39: Matrice di Haddon - incidente n. 12.

Periodo	Fattori umani	Fattori veicolo	Fattori strada
Prima dell'incidente (cause generatrici di pericolo)	Guida distratta, età, stanchezza	Probabili gomme lisce	Pavimentazione con detriti
Durante l'incidente (cause della severità dell'incidente)	Vulnerabilità alle lesioni, età, cintura non indossata	Funzionalità degli airbag, capacità del veicolo di assorbire l'energia dell'urto	Aderenza e pendenza trasversale della pavimentazione
Dopo l'incidente (fattori che influenzano l'esito dell'incidente)	Età, sesso	Facilità di rimozione dei passeggeri feriti	Tempo e qualità della risposta di emergenza, cure mediche successive

Tab 5.40: Matrice di Haddon - incidente n. 13.

Periodo	Fattori umani	Fattori veicolo	Fattori strada
Prima dell'incidente (cause generatrici di pericolo)	Guida distratta, età, cattiva valutazione	Probabili gomme lisce	Pavimentazione bagnata
Durante l'incidente (cause della severità dell'incidente)	Vulnerabilità alle lesioni, età, cintura non indossata	Funzionalità degli airbag, capacità del veicolo di assorbire l'energia dell'urto	Aderenza e pendenza trasversale della pavimentazione con probabile presenza di fango
Dopo l'incidente (fattori che influenzano l'esito dell'incidente)	Età, sesso	Facilità di rimozione dei passeggeri feriti	Tempo e qualità della risposta di emergenza, cure mediche successive

Tab 5.41: Matrice di Haddon - incidente n. 14.

Periodo	Fattori umani	Fattori veicolo	Fattori strada
Prima dell'incidente (cause generatrici di pericolo)	Guida distratta, età, cattiva valutazione della curva	Probabili gomme lisce	Pavimentazione bagnata
Durante l'incidente (cause della severità dell'incidente)	Vulnerabilità alle lesioni, età, cintura non indossata	Funzionalità degli airbag, capacità del veicolo di assorbire l'energia dell'urto	Aderenza e pendenza della pavimentazione
Dopo l'incidente (fattori che influenzano l'esito dell'incidente)	Età, sesso	Facilità di rimozione dei passeggeri feriti	Tempo e qualità della risposta di emergenza, cure mediche successive

5.5.6 Possibili contromisure per ogni tratto omogeneo

In precedenza, la sezione in esame era suddivisa in undici segmenti omogenei in base alle caratteristiche geometriche della strada. Al fine di ottimizzare le contromisure, è necessario considerare altri fattori che identificano i confini dei segmenti omogenei:

- classe funzionale della strada (considerando eventuali ulteriori suddivisioni all'interno della classe in base a diverse organizzazioni della sezione trasversale, quali, ad esempio, la variazione del numero delle corsie);
- contesto ed inserimento ambientale (ad esempio tratto in pianura o montagna);
- traffico (volumi, componenti di traffico, densità, variabilità temporale, ecc.).

In questo caso, la classe funzionale stradale è omogenea lungo i due chilometri analizzati, così come il contesto ambientale. Inoltre, si è ipotizzato che il traffico sia costante perché nel segmento non ci sono intersezioni stradali importanti che causino variazioni significative del TGM. Per questi motivi, la classificazione precedentemente riportata è valida per l'analisi della contromisura.

Di seguito sono proposte alcune contromisure per ogni segmento omogeneo, a seconda del tipo di incidente specifico da ridurre. Gli incidenti mortali e le lesioni sono riportati in grassetto. Le contromisure sono state scelte in base alle criticità individuate nel processo di diagnosi. Sono stati considerati anche fattori, apparentemente non correlati agli incidenti osservati, quali la perdita di aderenza in diverse parti del tracciato e la mancanza di distanza visiva in alcuni accessi.

5.5.6.1 Tratto omogeneo 2 - Curva 1

Data:

- raggio di curvatura: 170,00 m;
- pendenza trasversale: 6,73%;
- lunghezza composita (curva + clotoide): 108,85 m.

Problemi rilevati dall'analisi di:

- dati incidentalità;
- studio tracciato plano-altimetrico;
- diagramma della velocità;
- diagramma della aderenza;
- diagramma delle collisioni;

- diagramma delle condizioni al contorno;
- ispezioni.

Tipologia problemi riscontrati:

- incidente n. 1: incidente mortale dovuto a sbandamento in condizioni di bagnato;
- larghezza corsia pari a 3,00 m rispetto al valore prescritto di 3,50 m;
- larghezza banchina pari a 0,50 m rispetto al valore prescritto di 1,25;
- assenza di delineatori di margine;
- mancata verifica di velocità inerente la differenza tra quella relativa ai rettifili 1 e 2 e quella relativa alla curva 1;
- mancata verifica planimetrica inerente il contraccollo - clotoide 1sx;
- mancata verifica planimetrica inerente il contraccollo - clotoide 1dx;
- fosso laterale per smaltimento acque pieno di fango.

Analisi dei problemi e soluzioni

Per quanto riguarda le condizioni esistenti, si analizzano i parametri relativi a:

- velocità;

la velocità di progetto del rettifilo 2 è di 100 km/h, la velocità di progetto in curva 1 è di 69,19 km/h. La differenza è maggiore di 10 km/h.

Soluzione:

per mitigare tale problema si può intervenire in due modi:

- 1) riprogettazione della curva con raggio almeno pari a 400 m. Questo dovrebbe parzialmente risolvere il problema. Per problemi di visibilità, la velocità del rettifilo dovrebbe essere limitata ad 80 km/h;
 - 2) controllo automatico delle velocità.
- andamento planimetrico.

il raggio di curvatura deve essere almeno di 400 m. Le clotoidi dovranno essere riprogettate. In aggiunta, la larghezza delle corsie e delle banchine non è adeguata.

Soluzioni:

- 1) riprogettazione della curva con raggio almeno pari a 400 m;
- 2) riprogettazione delle clotoidi con un valore di $A_{\min} = 182,00$ m;
- 3) allargamento corsie;
- 4) allargamento banchine.

- Delineatori di margine;

Sull'intero percorso, delineatori di margine distrutti o inesistenti.

Soluzione:

- 1) ripristino/installazione dei delineatori di margine o marker stradali, ogni 5 m.
- dispositivi di sicurezza.
- Nell'incidente mortale n. 1, l'impatto del veicolo ha danneggiato la barriera di tipo "H1" posizionato su un muro di sostegno di altezza 2 m dal piano campagna.

Soluzione:

- 1) installazione di dispositivo di tipo "H2": barriera bordo ponte.

Interventi di adeguamento a breve termine:

- aumento pendenza trasversale da 6,7% a 7%;
- ripristino/installazione delineatori di margine come marker stradali (occhi di gatto) e dissuasori, tipo rumble strips;
- installazione di barriera di tipo "H2" sul muro di sostegno destro al Km 6,200;
- controllo automatico di velocità

Interventi di adeguamento a lungo termine:

- allargamento della banchina da 0,50 m a 1,25 m;
- allargamento corsia da 3,00 m a 3,50 m;
- riprogettazione curva con $R \geq 400$ m, con relative clotoidi;
- allargamento in curva con spostamento dei muretti a secco e degli eventuali alberi al fine di aumentare la visibilità.

Interventi di manutenzione:

- Manutenzione fossi laterali.

5.5.6.2 Tratto omogeneo 2 - Rettifilo 2

Dati:

- lunghezza: 36,96 m;
- pendenza trasversale: 2,50%.

Problemi rilevati dall'analisi di:

- dati incidentalità;
- studio tracciato piano-altimetrico;
- diagramma della velocità;
- diagramma dell'aderenza;
- diagramma delle collisioni;
- diagramma delle condizioni al contorno;
- ispezioni.

Tipologia di problemi riscontrati:

- incidente n. 13: incidente mortale dovuto a sbandamento in condizioni di pavimentazione bagnata;
- larghezza corsia: 3,00 m rispetto al valore prescritto di 3,50 m;
- larghezza banchina: 0,50 m rispetto al valore prescritto di 1,25;
- assenza di delineatori di margine;
- Mancata verifica di velocità inerente alla differenza tra quella relativa ai rettifili 1 e 2 e quella relativa alla Curva 1;
- Fosso laterale per smaltimento acque occluso da fango.

Analisi dei problemi e soluzioni

Per quanto riguarda le condizioni esistenti, si analizzano i parametri relativi a:

- velocità;
la velocità sul rettifilo 2 è 100 km/h, la velocità sulla curva 1 è 69,19 km/h. La differenza è maggiore di 10 km/h.

Soluzione: per mitigare tale problema si può intervenire in due modi:

- 1) riprogettare la curva con raggio almeno pari a 400 m. Questo risolverebbe parzialmente il problema.
Per problemi di visibilità la velocità sul rettifilo dovrebbe essere limitata a 80 km/h;
- 2) controllo automatico della velocità.

- andamento planimetrico;
la larghezza delle corsie e delle banchine non è adeguata.

Soluzione:

- 1) allargamento corsia;
- 2) allargamento banchine;

- delineatori di margine.
Lungo tutta la strada, le linee di demarcazione dei bordi sono danneggiate o assenti.

Soluzione: ripristino/installazione dei delineatori di margine o markers stradali, ogni 10 m.

Interventi di adeguamento a breve termine:

- Ripristino/installazione delineatori di margine come marker stradali (occhi di gatto);
- Controllo automatico della velocità.

Interventi di adeguamento a lungo termine:

- Allargamento della banchina da 0,50 m a 1,25 m;
- Allargamento della corsia di marcia da 3,00 m a 3,50 m;
- Aumento del raggio del raccordo verticale.

Interventi di manutenzione:

- Manutenzione fossi laterali;
- Miglioramento dello smaltimento delle acque piovane (e del fango) proveniente, fra l'altro, dai due accessi laterali posti sul dosso al Km 6,5.

5.5.6.3 Tratto omogeneo 7 - Curva 3

Dati:

- Raggio curva 160,00 m;
- Pendenza trasversale 6,20%;
- Lunghezza composita (curva + clotoidi): 126,20 m.

Problemi rilevati dall'analisi di:

- Dati incidentalità;
- Studio tracciato plano-altimetrico;
- Diagramma della velocità;
- Diagramma della aderenza;
- Diagramma delle collisioni;
- Diagramma delle condizioni al contorno;
- Ispezioni.

Tipologia problemi riscontrati

- incidenti n. 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 14: incidenti mortali per sbandamento in condizioni di bagnato;
- Larghezza corsia pari a 3,00 m rispetto al valore prescritto di 3,50 m;
- Larghezza banchina pari a 0,50 m rispetto al valore prescritto di 1,25;
- Assenza di delineatori di margine;
- Mancata verifica del rapporto tra il raggio della curva 3 rispetto alla curva precedente e successiva;
- Mancata verifica planimetrica inerente il contraccollo - clotoide 1sx;
- Mancata verifica planimetrica inerente il contraccollo - clotoide 1dx;
- Curva posta immediatamente dopo la fine del raccordo verticale (sacca);
- Basso contrasto ottico tra curva e ambiente retrostante;
- Fosso inerbito.

Analisi dei problemi e soluzioni

Per quanto riguarda le condizioni esistenti, si analizzano i parametri relativi a:

- Andamento planimetrico;
la curva e la clotoide dovrebbero essere riprogettate. In particolare, la larghezza delle corsie e delle banchine non è adeguata.

Soluzione:

- 1) riprogettazione della curva con un raggio almeno pari a 350 m;
- 2) riprogettazione delle clotoidi con valore di $A = 184,40$;
- 3) allargamento corsia;
- 4) allargamento banchine.

- andamento altimetrico;

La curva 3 è posta immediatamente dopo la fine del raccordo verticale concavo facente parte del rettilineo 3. In questa maniera, l'utente ha una percezione errata dell'andamento dei cigli.

Soluzione: riprogettazione delle pendenze longitudinali;

- delineatori di margine;
sull'intero percorso, i delineatori di margine sono danneggiati o assenti.

Soluzione: ripristino/installazione di delineatori di margine o marker stradali, ogni 5 m.

Interventi di adeguamento a breve termine:

- messa a dimora di alberature (tipo quercia) sul lato esterno della curva in modo da migliorare la percezione ottica della strada, accentuando il contrasto ottico con l'ambiente circostante;
- taglio/spostamento di alberi posti nella fascia di rispetto della parte interna della curva;
- installazione di delineatori modulari di curva stretta a led bianchi e segnale di preavviso curva, con lampeggianti;
- ripristino/installazione delineatori di margine come marker stradali (occhi di gatto), rallentatori ottici e bande rumorose;
- aumento della pendenza trasversale da 6,2% a 7%;
- controllo automatico della velocità.

Interventi di adeguamento a lungo termine:

- Allargamento della banchina da 0,50 m a 1,25 m;

- Allargamento della corsia di marcia da 3,00 m a 3,50 m;
- Riprogettazione della curva, con raggio pari almeno a 350 m, e delle relative clotoidi (l'aumento del raggio andrebbe però ad interferire con il raccordo verticale posto immediatamente prima della curva);
- Aumento del raggio del raccordo verticale (potrebbe interferire con la curva planimetrica, ma aumenterebbe il rapporto tra R_v ed R);
- Allargamento in curva con spostamento dei muretti a secco, e degli eventuali alberi inclusi, per aumentarne la visibilità.

Interventi di manutenzione:

- Manutenzione fossi laterali con eventuale rivestimento in c.a. del fosso.

5.5.6.4 Tratto omogeneo 10 - Curva 4

Dati:

- Raggio curva 80,00 m;
- Pendenza trasversale 6,46%;
- Lunghezza composita (curva + clotoidi): 98,18 m.

Problemi rilevati dall'analisi di:

- Dati incidentalità;
- Studio tracciato plano-altimetrico;
- Diagramma della velocità;
- Diagramma della aderenza;
- Diagrammi collisioni;
- Diagrammi condizioni al contorno;
- Ispezioni.

Tipologia problemi riscontrati:

- incidenti n. 3, 11: incidente mortale per sbandamento in condizioni di bagnato;
- Larghezza corsia pari a 3,00 m rispetto al valore prescritto di 3,50 m;
- Larghezza banchina pari a 0,50 m rispetto al valore prescritto di 1,25;
- Assenza di delineatori di margine;
- Mancata verifica di velocità, inerente alla differenza tra quella relativa al rettilineo 5 e quella relativa alla curva 4;
- Mancata verifica del rapporto tra il raggio di curva 4 rispetto alla curva 3;
- Raggio della curva inferiore al minimo di normativa;
- Mancata verifica planimetrica inerente al contraccollo - clotoide 1sx;
- Mancata verifica planimetrica inerente al contraccollo - clotoide 1dx;
- Basso contrasto ottico tra curva e ambiente retrostante.

Analisi dei problemi e soluzioni

Per quanto riguarda le condizioni esistenti, si analizzano i parametri relativi a;

- Velocità:

sul rettilineo 5 è 100 km/h, la velocità in curva 4 è 55,73 km/h. la differenza è maggiore di 10 km/h.

Soluzione: sono disponibili due soluzioni per mitigare il problema:

- 1) riprogettazione della curva con un raggio pari ad almeno 400 m. questo può risolvere parzialmente il problema. Per i problemi di visibilità, la velocità sul rettilineo dovrebbe essere limitata a 80 km/h;
- 2) controllo automatico della velocità;

- andamento planimetrico;

il raggio della curva deve essere almeno pari a 400 m. Anche la clotoide dovrebbe essere riprogettata. In particolare, la larghezza delle corsie e delle banchine non è adeguata.

Soluzione:

- 1) riprogettazione della curva con un raggio pari almeno a 400 m;
- 2) riprogettazione delle clotoidi annesse con valore di $A = 182$;
- 3) allargamento corsia;
- 4) allargamento banchine.

- aderenza;

la pavimentazione in questo tratto è di tipo classico, non drenante, in parte fessurato con qualche avvallamento e ormaio.

Soluzione: sostituzione strato di usura con conglomerato tipo Antiskid per migliorarne l'aderenza;

- delineatori di margine;
per tutto il tronco i delineatori di margine sono danneggiati o assenti.

Soluzione: ripristino/installazione di delineatori di margine o marker stradali, ogni 5 m.

- dispositivi di sicurezza;
la barriera (di tipo "H1", su un muro di sostegno a 3 m dal piano campagna) lungo il ciglio esterno della curva è danneggiata e in alcuni casi non è ancorata al muro di sostegno su cui è installata.

Soluzione: installazione di barriera bordo ponte di tipo "H2".

Interventi di adeguamento a breve termine:

- miglioramento dell'aderenza della pavimentazione;
- messa a dimora di alberature (tipo quercia) sul lato esterno della curva in modo da migliorare la percezione ottica della strada, accentuando il contrasto ottico con l'ambiente circostante;
- installazione di delineatori modulari di curva stretta, a led bianchi, e di segnale di preavviso curva, con lampeggianti;
- installazione di dispositivo di ritenuta di tipo H2 bordo ponte su muro di sostegno sinistro, al km 7,7;
- ripristino/installazione delineatori di margine come marker stradali (occhi di gatto), installazione di rallentatori ottici e bande rumorose;
- controllo automatico della velocità.

Interventi di adeguamento a lungo termine:

- Allargamento della banchina da 0,50 a 1,25 m;
- Allargamento della corsia di marcia da 3,00 m a 3,50 m;
- Aumento della pendenza trasversale da 6,46% a 7%;
- Riprogettazione della curva con $R \geq 400\text{m}$ e delle relative clotoidi.

Interventi di adeguamento a lungo termine:

- Realizzazione di cunetta del tipo "alla francese" sul lato interno della curva;
- Manutenzione fossi laterali

5.6 Scelta delle contromisure

Per individuare il beneficio che si apporta all'infrastruttura si può effettuare una stima del numero atteso di incidenti, sia nel caso in cui non venga effettuato alcun intervento, sia nel caso in cui venga implementata una contromisura o un pacchetto di contromisure. La differenza fra le due stime di incidentalità e quindi la variazione di incidentalità, rappresenta il beneficio attribuibile alla contromisura o al pacchetto di contromisure selezionato.

Per la stima del numero di incidenti atteso, il manuale HSM, 2010¹ propone il Metodo Empirico Bayesiano che permette di calcolare la Frequenza Media di Incidentalità Attesa, N_{Atteso} (per livelli di severità differenti). Poiché non è nota la suddivisione in incidenti mortali, incidenti con feriti e danni alle sole proprietà, si suppone che la gravità dell'incidente non sia nota. Il metodo EB combina la frequenza di incidentalità osservata (numero di incidenti effettivamente verificatisi durante il periodo di osservazione sul tratto in esame) di un dato sito con la frequenza media attesa di incidentalità (numero di incidenti per anno atteso su quel sito, calcolato utilizzando un modello di regressione statistica).

La combinazione di queste frequenze è utilizzata per limitare gli errori relativi ad entrambi i parametri. Infatti, la frequenza di incidentalità osservata è soggetta all'errore di regressione verso la media a causa di periodi di osservazione brevi. La frequenza di incidentalità prevista (riferita ad un modello sviluppato per un tipo di sito specifico e per specifiche condizioni geometriche e di traffico), invece, è influenzata dalle variazioni delle condizioni della strada, sia in termini di degrado dell'infrastruttura che di variazioni del volume di traffico. Quest'ultimo dovrebbe, quindi, essere riferito preferibilmente a brevi periodi di osservazione.

Secondo il manuale HSM (2010)¹, la frequenza media attesa di incidentalità è ottenuta attraverso la SPF (Safety Performance Function) che rappresenta la variazione media del numero di incidenti al variare del volume di traffico, per uno specifico tipo di sito.

In questo caso, la SPF HSM per strade extraurbane a due corsie è la seguente:

$$N_{SPF} = e^{-0,312} \times TGM \times L \times 365 \times 10^{-6} \quad (\text{Eq. 5-30})$$

dove:

- N_{SPF} è la frequenza media prevista di incidentalità, determinata per le condizioni base di tutte le altre variabili [numero di incidenti/anni];
- TGM è il traffico giornaliero medio transitanti in un anno in una data sezione;
- L è la lunghezza del tratto omogeneo espressa [miglia].

Tale funzione, però, non considera né le differenze tra i siti (es. geometriche), né le differenze di comportamento degli utenti o economiche relative a Stati, Nazioni, o Regioni. Per questa motivazione, la formula della Frequenza Media Prevista è pari a:

$$N_{Previsto} = N_{SPF} \times (CMF_{1x} \times CMF_{2x} \times \dots \times CMF_{yx}) \times C_c \quad (\text{Eq. 5-31})$$

Dove:

$N_{Previsto}$ è la frequenza media prevista di incidentalità per uno specifico anno e per il sito di interesse;

$CMF_{1x} \times \dots \times CMF_{yx}$ è il prodotto di tutti i fattori di modifica degli incidenti in base alle caratteristiche attuali del sito di interesse rispetto le condizioni basi;

C_c è il coefficiente di calibrazione che tiene conto delle condizioni locali.

5.6.1 CMFs delle possibili contromisure

Per la stima dei CMFs, sono state considerate le formule ed i parametri presenti nel capitolo 10 del manuale HSM (2010)¹. Qualora tali fattori di modifica non avessero rappresentato al meglio la contromisura da implementare, si sarebbe ricorso al sito “CMF Clearinghouse”.

In questo studio, il calcolo o la stima dei CMFs è stato effettuato per ogni segmento omogeneo, distinguendo le curve dai rettifili.

Nell'applicazione oggetto d'esame, i CMFs tratti dal manuale HSM sono:

- larghezza corsie (CMF = 1,17, il valore è stato calcolato seguendo l'iter descritto nel manuale HSM¹: in particolare si evince che esso dipende anche dal TGM);
- larghezza e tipo di banchine (CMF = 1,17, il valore viene calcolato seguendo un iter descritto nel manuale HSM: in particolare si evince che il valore dipende dalla larghezza della banchina e dal TGM considerato);
- curve planimetriche (CMF variabile in funzione del raggio della curva, della lunghezza e della presenza di clotoidi);
- sopraelevazione (CMF variabile in funzione della differenza della pendenza trasversale osservata e quella di riferimento indicata dalla normativa⁸);
- livellette (CMF variabile in funzione della pendenza longitudinale);
- densità di accessi (CMF variabile in funzione del numero di accessi per miglia e del TGM);
- indice RHR: grado di pericolosità di una strada (CMF variabile in funzione del giudizio qualitativo delle condizioni di pericolosità di una strada).

I CMFs rappresentativi delle rumble strips e dei controlli automatici di velocità non sono considerati in quanto assenti al momento dell'indagine sul segmento oggetto di studio.

Per considerare la presenza/assenza dei segnali di avvertimento delle curve sono stati utilizzati i seguenti valori CMF:

- CMF = 1 in caso di assenza (condizioni di base);
- CMF = 0,564 in caso di presenza (Montella, 2009²¹).

Questi valori sono ricavati dal sito “CMF Clearinghouse”. Ulteriori CMF utilizzati per modellare contromisure specifiche saranno riportati di seguito.

L'applicazione dei CMF per tutti i segmenti omogenei esaminati ha portato alle seguenti stime delle frequenze di incidentalità previste:

²¹ Montella A. (2009), “Safety evaluation of curve delineation improvements: empirical Bayes observational before-and-after study”, *Transportation research record, Journal of the Transportation Research Board*, 2103(1), 69-79.

Tab 5.42: Numero totale di incidenti previsti per ogni tratto omogeneo.

ID segmento	$N_{previsto}$ (Totale = A)	$N_{previsto}$ (morti + feriti = FI)	$N_{previsto}$ (PDO)
	(incidenti/anno)	(incidenti/anno)	(incidenti/anno)
Segmento 1	0,312	0,100	0,212
Segmento 2	0,493	0,158	0,335
Segmento 3	0,343	0,110	0,233
Segmento 4	0,259	0,083	0,176
Segmento 5	0,471	0,151	0,320
Segmento 6	0,261	0,084	0,177
Segmento 7	0,283	0,091	0,192
Segmento 8	0,260	0,083	0,177
Segmento 9	0,358	0,115	0,243
Segmento 10	0,660	0,212	0,448
Segmento 11	0,336	0,108	0,228

La frequenza di incidentalità o può essere determinata per gli incidenti totali (A, secondo la scala KABCO del manuale HSM), o può essere suddivisa in incidenti con morti e feriti (FI) e incidenti con danni alle sole proprietà (PDO). Non essendo disponibili studi locali, per la classificazione della severità degli incidenti, sono state usate le percentuali di default dell'HSM. Il coefficiente di calibrazione C_c imposto è pari a 1,26, secondo quanto definito da Colonna et al. (2016)² per TGM < 10.000 (regione Puglia).

Il calcolo della frequenza di incidentalità prevista per ogni tronco omogeneo è stato effettuato con l'ausilio dei fogli di calcolo disponibile sul sito web: <http://www.highwaysafetymanual.org/Pages/Tools.aspx>.

Una volta calcolato $N_{previsto}$, per ogni tronco omogeneo, è possibile stimare il valore di N_{Atteso} dello stato di fatto. Il numero totale di incidenti osservati disponibile è 14: gli incidenti con morti e feriti sono 11, mentre quelli con danni alle sole proprietà (PDO) sono soltanto 3.

Tuttavia, il numero degli incidenti PDO non è attendibile perché solitamente, al momento dell'incidente, non intervengono le forze dell'ordine e l'incidente non viene registrato. Sulla base delle statistiche americane, si può stimare che per 11 incidenti con morti e feriti avvengono in media 23 incidenti con danni alle sole proprietà. Pertanto, secondo le percentuali di default dell'HSM, il valore N_{Atteso} per incidenti con morti e feriti è convertito nel valore N_{Atteso} per incidenti totali attraverso la proporzione tra gli incidenti. L'equivalenza degli incidenti con morti e feriti osservati con la categoria KABC secondo la scala di severità dell'HSM (comprese le possibili lesioni "C") è stata quindi ipotizzata perché i dati, ottenuti dalle autorità locali, sono stati considerati più affidabili e dettagliati di quelli ottenuti da dati aggregati.

La formula utilizzata per il calcolo del NE atteso è la seguente:

$$N_{Atteso} = w \times N_{previsto} + (1 - w) \times N_{Osservato} \quad (\text{Eq. 5-32})$$

dove:

- N_{Atteso} frequenza di incidentalità attesa per uno specifico grado di severità (A, FI or PDO);
- $N_{Osservato}$ numero di incidenti osservati su un tratto oggetto di studio nel periodo di osservazione (7 anni);
- $N_{previsto}$ è la somma dei singoli $N_{previsto}$ riferiti a ciascun anno del periodo di osservazione (7 anni). Se il traffico fosse variato durante il periodo di osservazione, varierebbe anche l' $N_{previsto}$ annuale (in questo caso, il traffico è assunto costante). Per questo motivo, l' $N_{previsto}$ calcolato è stato moltiplicato per il periodo di osservazione (7 anni).
- w è il peso che ripartisce la percentuale di frequenza d'incidentalità attesa tra quella Osservata e quella Prevista. La formula proposta dall'HSM per il calcolo di w è funzione della sommatoria degli $N_{Predicted}$ perché ci si riferisce al periodo di osservazione e non al singolo anno;

$$w = \frac{1}{1 + K \times \sum N_{previsto}} \quad (\text{Eq. 5-33})$$

- k è il parametro di sovra dispersione locale; il parametro fornito dall'HSM (convertito in chilometri) per tronchi a due corsie per senso di marcia, è pari a:

$$k = \frac{0,38}{L [km]} \quad (\text{Eq. 5-34})$$

A questo punto, l' N_{Atteso} (FI) è convertito in N_{Atteso} (A) ed in seguito ripartito nuovamente per ogni singolo anno, dividendo i dati per il periodo di osservazione. I risultati sono riportati nella seguente tabella 5.43.

Tab 5.43: sintesi dei risultati del Metodo EB.

ID segmento	N_{Atteso} (Totale = A) (incidenti/7 anni)	N_{Atteso} (morti + feriti = FI) (incidenti/7 anni)	N_{Atteso} (Totale = A) (incidenti/anno)
Segmento 1 - Rettifilo 1	0,480	0,154	0,0690
Segmento 2 - Curva 1	5,670	1,820	0,810
Segmento 3 - Rettifilo 2°	0,490	0,157	0,070
Segmento 4 - Rettifilo 2b	0,459	0,147	0,066
Segmento 5 - Curva 2	0,543	0,174	0,078
Segmento 6 - Rettifilo 3	5,104	1,638	0,729
Segmento 7 - Curva 3	14,729	4,728	2,104
Segmento 8 - Rettifilo 4°	0,461	0,148	0,066
Segmento 9 - Rettifilo 4b	0,614	0,197	0,088
Segmento 10 - Curva 4	3,292	1,057	0,470
Segmento 11 - Rettifilo 5	0,602	0,193	0,086
TOTALE	32,444	10,413	4,636

Una volta determinata la frequenza media attesa di incidentalità N_{Atteso} per il periodo di osservazione, viene calcolata la frequenza media attesa di incidentalità per il periodo futuro. Ciascuna delle contromisure segnalate all'inizio di questo paragrafo rappresenta un possibile miglioramento da apportare sulla strada.

5.6.2 CMFs per possibili pacchetti di contromisure

Per proseguire l'analisi è necessario stabilire quali contromisure devono essere implementate. A tal proposito, sono stati ipotizzati alcuni pacchetti di contromisure da implementare sull'intero percorso, piuttosto che sui singoli tronchi omogenei per le seguenti ragioni:

- la maggior parte degli incidenti, sull'intero tracciato, sono simili per cause e dinamiche;
- tutti gli incidenti avvengono lungo le curve che sono vicine e si influenzano reciprocamente.

Di seguito sono riportati i pacchetti di contromisure ipotizzati. Si noti che alcune contromisure, seppure valide per mitigare le cause di incidentalità rilevate, sono efficaci per ridurre anche altre criticità riscontrate nel tracciato, anche se apparentemente non relazionate agli incidenti osservati. Il controllo della velocità, la pavimentazione Antiskid e la riprogettazione delle condizioni planimetriche sono, infatti, le principali contromisure che riducono (o eliminano) i problemi legati all'aderenza ed alla distanza di arresto.

Pacchetto A:

- segnaletica luminosa di preavviso di curva pericolosa e delineatori modulari di curva stretta a led bianchi con alimentazione fotovoltaica nelle curve 1, 3 e 4, in entrambe le direzioni di marcia;
- installazione di segnaletica orizzontale centrale del tipo sonoro;
- installazione di bande sonore in laminato termoplastico (rumble strip) in avvicinamento alle curve;
- installazione di marker stradali (occhi di gatto) lungo tutto il tracciato, sia sulla mezzzeria che sui margini

della carreggiata;

- messa a dimora di Quercus Trojana sul lato esterno delle curve 3 e 4.

Pacchetto B:

- installazione di sistema di controllo automatico della velocità, del tipo a portale, installato prima e dopo il tronco in esame considerato.

Pacchetto C:

- sostituzione del sistema di ritenuta esistente di classe “H1” con barriera di classe “H2” bordo ponte al km 6,200, lato destro, al km 6,650, lato sinistro, al km 7,100, lato sinistro, al km 7,700, lato sinistro, percorrendo la strada in direzione Noci;
- sostituzione dello strato di usura tradizionale con uno strato di Anti-Skid lungo la curva 4.

Pacchetto D:

- riprogettazione geometrica del tratto stradale con:
 - allargamento delle corsie e delle banchine compatibilmente con lo standard normativo del D.M. 05.11.2001¹⁰ per una strada di tipo “C2”;
 - riprogettazione piano altimetrica dei raccordi seguendo quanto definito dal D.M. 05.11.2001¹⁰;
 - eventuale allargamento nelle curve per migliorare la visibilità;

Nell’ambito di tali contromisure si è deciso, per ovvi motivi economici ed ambientali, di non variare i rettifili esistenti. Ad ogni modo, per garantire il rispetto delle regole di visibilità, il limite di velocità imposto deve essere non superiore a 80 km/h.

Di seguito sono riportati gli interventi di riprogettazione proposti.

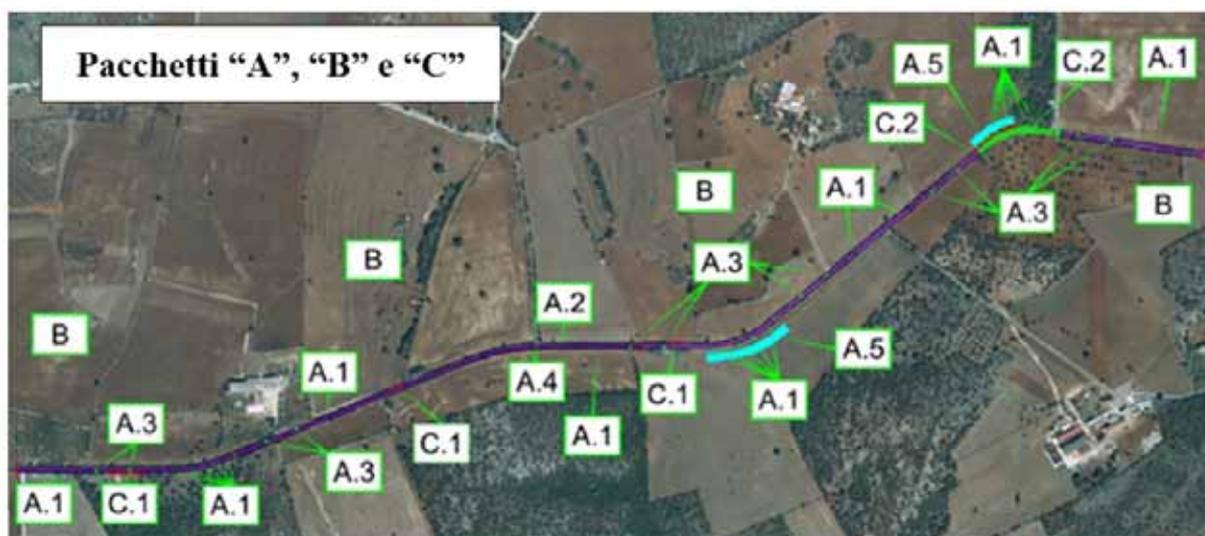


Fig. 5.31: contromisure a breve termine - pacchetti “A”, “B” e “C” (Colonna et al., 2018⁷).



Fig. 5.32: contromisure a lungo termine - pacchetto “D” (Colonna et al., 2018⁷).

I CMFs assegnati alle singole contromisure individuate, sono riportati di seguito.

Tab 5.44: CMFs assegnati alle singole contromisure.

Contromisura	CMF
Segnaletica luminosa preavviso curva + delineatori modulari di curva LED ²²	0,518
Rumble strips centrale ²³	0,940
Markers stradali (eventualmente implementati in concomitanza con rumble strips trasversali) ²³	0,980
Messa a dimora di alberature ²⁴	0,980
Controllo automatico velocità ²⁵	0,930
Guard rail tipo "H2" bordo ponte ²⁶	0,994
Miglioramento aderenza pavimentazione ²⁷	0,852

Si deve precisare che:

- il CMF relativo al dispositivo di ritenuta è stato convertito in CMF relativo ad incidenti totali attraverso la seguente equazione

$$CMF_{TOT} = CMF_{MF} \times 0,32 + CMF_{PDO} \times 0,68 \quad (\text{Eq. 5-35})$$

dove:

- CMF_{PDO} = 1 e CMF_{MF} = 0,98. La conversione, determinata attraverso una media pesata le cui percentuale sono fornite dalla HSM, è necessaria in quanto il CMF proposto dal sito "CMF Clearinghouse" è valido per incidenti con severità Morti, Feriti gravi e Feriti lievi;
- il CMF riferito all'installazione di "marker" e "rumble strip" trasversali è stato convertito in CMF relativo ad incidenti totali attraverso l'equazione precedente, in cui dove CMF (PDO) = 1 e CMF (FI) = 0,94. La conversione è necessaria in quanto il CMF proposto dal sito "CMF Clearinghouse" è valido per incidenti con severità Feriti gravi e Feriti lievi;
- il CMF relativo alla messa in dimora di alberature non proviene da uno studio scientifico. L'effetto dei delineatori di curva è stato equiparato a quello dei marker stradali, perché hanno la stessa funzione.
- il CMF relativo alla riprogettazione è stato calcolato attraverso le formule proposta dal manuale HSM.

Pertanto, sono stati presi in considerazione diversi scenari possibili, analizzando tutte le possibili combinazioni tra i pacchetti A, B e C, e considerando il pacchetto D come un pacchetto indipendente.

Per ciascuno dei pacchetti è stata in seguito calcolata la frequenza attesa di incidentalità.

Le combinazioni analizzate sono:

- combinazione 1: pacchetto A;
- combinazione 2: pacchetto B;
- combinazione 3: pacchetto C;
- combinazione 4: pacchetti A+B;
- combinazione 5: pacchetti A+C;
- combinazione 6: pacchetti B+C;
- combinazione 7: pacchetti A+B+C;
- combinazione 8: pacchetto D.

Oltre agli scenari che comportano l'implementazione delle contromisure, si deve considerare lo scenario in cui non venga effettuata alcuna miglioria in termini di sicurezza.

Per il calcolo della frequenza di incidentalità si è supposto che i pacchetti A, B e C abbiano una vita utile pari

²² Montella A. (2009), "Safety evaluation of curve delineation improvements: empirical Bayes observational before-and-after study", *Transportation research record, Journal of the Transportation Research Board*, 2103(1), 69-79.

²³ Torbic D. J., Hutton J. M., Bokenkroger C. D., Bauer K. M., Harwood D. W., Gilmore D. K., Dunn D. K., Ronchetto J. J., Donnell E. T., Sommer III H. J., Garvey P., Persaud B., Lyon C. (2009), "NCHRP Report 641: Guidance for the Design and Application of Shoulder and Centerline Rumble Strips", *Transportation Research Board*, Washington D. C., USA.

²⁴ Based on note 16.

²⁵ Polders E., Daniels S., Hermans E., Brijs T., Wets G. (2014), "To brake or to accelerate? Safety effects of combined speed and red-light cameras", *Journal of Safety Research*, Vol. 50, 59-65.

²⁶ Cafiso S., D'Agostino C., Persaud B. (2014), "Investigating the Influence on Safety of Retrofitting Italian Motorways with Barriers Meeting a New EU Standard", *Transportation Research Board Annual Meeting*, Washington D.C., USA.

²⁷ Lyon C., Persaud B. (2008), "Safety Effects of a Targeted Skid Resistance Improvement Program", *Proceedings of the 87th Annual Meeting of Transportation Research Board (TRB)*, National Research Council, Washington D. C., USA.

a 10 anni e che il pacchetto D abbia una vita utile pari a 30 anni.

Per ogni combinazione e per ogni tronco omogeneo è necessario ricalcolare i CMFs, come riportato di seguito.

Tab 5.45: CMF - Combinazione 1.

Caratteristiche geometriche in sito								Rating pericolo margine laterale	CMF SITO
ID segmento omogeneo	Larghezza corsia (m)	Larghezza banchina (m)	Raggio di curv. orizz. (m)	Sopraelevazione	Pendenza long. (%)	Densità accessi			
Seg. 1	3,00	0,50	0,00	0,000	2,60	20,12	6		2,257
Seg. 2	3,00	0,50	170,0	0,003	4,93	0,00	7		2,513
Seg. 3	3,00	0,50	0,00	0,000	5,00	20,12	6		2,483
Seg. 4	3,00	0,50	0,00	0,000	0,03	10,06	6		1,873
Seg. 5	3,00	0,50	290,0	0,014	4,60	9,51	7		3,219
Seg. 6	3,00	0,50	0,00	0,000	4,60	0,00	6		1,847
Seg. 7	3,00	0,50	160,0	0,008	1,20	0,00	6		2,044
Seg. 8	3,00	0,50	0,00	0,000	1,20	10,01	6		1,871
Seg. 9	3,00	0,50	0,0	0,000	3,32	7,61	6		1,957
Seg. 10	3,00	0,50	80,0	0,005	3,32	10,06	6		4,768
Seg. 11	3,00	0,50	0,0	0,000	3,32	0,00	6		1,847

CMFs															
ID segmento omogeneo	Larghezza corsia (m)	Larghezza banchina (m)	Raggio di curv. orizz. (m)	Sopraelevazione	Pendenza long. (%)	Densità accessi	Rating pericolo margine laterale	Rumble strips centrali	Controllo auto. velocità	Delineatori di curva	Markers & rumble strips	Messa a dimora alberi	Guard rail	Miglioramento aderenza	COMB. CMF
Seg. 1	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,345	1,222	0,940	1,000	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	2,080
Seg. 2	1,172	1,172	2,257	1,000	1,000	1,000	1,306	0,940	1,000	0,518	0,980	1,000	1,000	1,000	1,932
Seg. 3	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,345	1,222	0,940	1,000	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	2,080
Seg. 4	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,115	1,222	0,940	1,000	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	1,724
Seg. 5	1,172	1,172	1,444	1,024	1,000	1,103	1,306	0,940	1,000	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	2,695
Seg. 6	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,000	1,222	0,940	1,000	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	1,546
Seg. 7	1,172	1,172	2,158	1,000	1,000	1,000	1,222	0,940	1,000	0,518	0,980	0,980	1,000	1,000	1,694
Seg. 8	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,114	1,222	0,940	1,000	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	1,723
Seg. 9	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,059	1,222	0,940	1,000	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	1,637
Seg. 10	1,172	1,172	4,105	1,000	1,000	1,115	1,222	0,940	1,000	0,518	0,980	0,980	1,000	1,000	3,593
Seg. 11	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,000	1,222	0,940	1,000	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	1,546

Rapporto tra combinazione CMF e combinazione CMF sito (CMFcomb/CMFsito)										
Seg.1	Seg.2	Seg.3	Seg.4	Seg.5	Seg.6	Seg.7	Seg.8	Seg.9	Seg.10	Seg.11
0,921	0,769	0,838	0,920	0,837	0,837	0,829	0,921	0,837	0,754	0,837

Una volta ottenuti i CMF, per ogni combinazione di pacchetti di contromisure precedentemente definiti è possibile calcolare per ogni tratto omogeneo e per ogni anno di vita utile il N_{Atteso} . Tuttavia, poiché è stato considerato un TGM costante per l'intero periodo di osservazione, la formula utilizzata è la seguente:

$$N_{Atteso,Ci,(A)} = N_{Atteso,(A)} \times \left(\frac{N_f}{N_p}\right) \times \left(\frac{CMF_{1f}}{CMF_{1p}}\right) \times \left(\frac{CMF_{2f}}{CMF_{2p}}\right) \times \dots \times \left(\frac{CMF_{nf}}{CMF_{np}}\right) \quad (\text{Eq. 5-36})$$

dove:

- $N_{Atteso,Ci,(A)}$ è la frequenza media di incidentalità attesa, relativa alla combinazione i-esima di pacchetti di contromisure (in questo caso da 1 a 8), calcolata sugli incidenti totali e riferita al particolare anno di vita utile;
- $N_{Atteso,(A)}$ è la frequenza media di incidentalità attesa, relativa allo stato attuale (senza contromisure), calcolata sugli incidenti totali e riferita al particolare anno di vita utile;
- $\frac{N_f}{N_p}$ è il rapporto che considera la variazione del traffico tra frequenza futura e quella passata (nel nostro caso è pari ad 1);
- $\left(\frac{CMF_{1f}}{CMF_{1p}}\right) \times \dots \times \left(\frac{CMF_{nf}}{CMF_{np}}\right)$ è il rapporto tra i CMFs nelle condizioni di progetto (combinazione i) ed i CMFs dello stato di fatto.

Al fine di ottenere la frequenza media di incidentalità attesa, per gli incidenti con morti e feriti e per gli incidenti con danni alle sole cose, la frequenza di incidentalità totale è stata moltiplicata per le proporzioni che HSM propone di default. La differenza tra $N_{Atteso,Ci}$ e N_{Atteso} è la variazione della frequenza media di incidentalità attesa ΔN_{Atteso} , relativa ad un particolare anno di vita utile, come mostrato nella tabella seguente.

Tab 5.46: $\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ - Combinazione 1.

Dopo 10 anni di vita utile				
ID segmento omogeneo	Rapporto CMF	$\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ (Totali = A)	$\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ (morti+feriti = FI)	$\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ (PDO)
Segmento 1	0,921	0,054	0,010	0,037
Segmento 2	0,769	1,247	0,399	0,848
Segmento 3	0,838	0,055	0,018	0,038
Segmento 4	0,920	0,052	0,017	0,035
Segmento 5	0,837	0,061	0,020	0,042
Segmento 6	0,837	0,575	0,184	0,391
Segmento 7	0,829	3,595	1,150	2,445
Segmento 8	0,921	0,052	0,017	0,035
Segmento 9	0,837	0,069	0,022	0,047
Segmento 10	0,754	0,804	0,257	0,546
Segmento 11	0,837	0,068	0,022	0,046

Di seguito sono riportati i calcoli necessari per ottenere CMF e N_{Atteso} per le altre combinazioni.

Tab 5.47: CMF - Combinazione 2.

Caratteristiche geometriche in sito									CMF SITO
ID segmento omogeneo	Larghezza corsia (m)	Larghezza banchina (m)	Raggio di curv. oriz. (m)	Sopraelevaz.	Pendenza long. (%)	Densità accessi	Rating peric. marg. later.		
Seg. 1	3,00	0,50	0,00	0,000	2,60	20,12	6	2,257	
Seg. 2	3,00	0,50	170,0	0,003	4,93	0,00	7	2,513	
Seg. 3	3,00	0,50	0,00	0,000	5,00	20,12	6	2,483	
Seg. 4	3,00	0,50	0,00	0,000	0,03	10,06	6	1,873	
Seg. 5	3,00	0,50	290,0	0,014	4,60	9,51	7	3,219	
Seg. 6	3,00	0,50	0,00	0,000	4,60	0,00	6	1,847	
Seg. 7	3,00	0,50	160,0	0,008	1,20	0,00	6	2,044	
Seg. 8	3,00	0,50	0,00	0,000	1,20	10,01	6	1,871	
Seg. 9	3,00	0,50	0,0	0,000	3,32	7,61	6	1,957	
Seg. 10	3,00	0,50	80,0	0,005	3,32	10,06	6	4,768	
Seg. 11	3,00	0,50	0,0	0,000	3,32	0,00	6	1,847	

CMFs

ID segmento omogeneo	Larghezza corsia (m)	Larghezza banchina (m)	Raggio di curv. oriz. (m)	Sopraelevaz.	Pendenza long. (%)	Densità accessi	Rating peric. marg. later.	Rumble strips centrali	Controllo auto. velocità	Delineatori di curva	Markers & rumble strips	Messa a dimora alberi	Guard rail	Miglioramento aderenza	COMB. CMF
Seg. 1	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,345	1,222	1,000	0,930	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2,100
Seg. 2	1,172	1,172	2,257	1,000	1,000	1,000	1,306	1,000	0,930	0,564	1,000	1,000	1,000	1,000	2,124
Seg. 3	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,345	1,222	1,000	0,930	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2,100
Seg. 4	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,115	1,222	1,000	0,930	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,741
Seg. 5	1,172	1,172	1,444	1,024	1,000	1,103	1,306	1,000	0,930	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2,721
Seg. 6	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,000	1,222	1,000	0,930	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,561
Seg. 7	1,172	1,172	2,158	1,000	1,000	1,000	1,222	1,000	0,930	0,518	1,000	0,980	1,000	1,000	1,710
Seg. 8	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,114	1,222	1,000	0,930	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,739
Seg. 9	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,059	1,222	1,000	0,930	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,653
Seg. 10	1,172	1,172	4,105	1,000	1,000	1,115	1,222	1,000	0,930	0,564	1,000	0,980	1,000	1,000	3,949
Seg. 11	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,000	1,222	1,000	0,930	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,561

Rapporto tra combinazione CMF e combinazione CMF sito

(CMFcomb/CMFsito)

Seg.1	Seg.2	Seg.3	Seg.4	Seg.5	Seg.6	Seg.7	Seg.8	Seg.9	Seg.10	Seg.11
0,930	0,845	0,842	0,929	0,845	0,845	0,837	0,929	0,845	0,828	0,845

Tab 5.48: $\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ - Combinazione 2.

Dopo 10 anni di vita utile				
ID segmento omogeneo	Rapporto CMF	$\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ (Totali)	$\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ (morti+feriti)	$\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ (PDO)
Segmento 1	0,930	0,048	0,015	0,033
Segmento 2	0,845	0,567	0,181	0,386
Segmento 3	0,846	0,049	0,016	0,033
Segmento 4	0,929	0,046	0,015	0,031
Segmento 5	0,845	0,054	0,017	0,037
Segmento 6	0,845	0,510	0,163	0,347
Segmento 7	0,837	1,473	0,471	1,002
Segmento 8	0,929	0,046	0,015	0,031
Segmento 9	0,845	0,061	0,020	0,042
Segmento 10	0,828	0,329	0,105	0,224
Segmento 11	0,845	0,060	0,019	0,041

Tab 5.49: CMF - Combinazione 3.

Caratteristiche geometriche in sito														
ID segmento omogeneo	Larghezza corsia (m)	Larghezza banchina (m)	Raggio di curv. orizz. (m)	Sopraelevazione	Pendenza long. (%)	Densità accessi	Rating pericolo margine laterale							CMF SITO
Seg. 1	3,00	0,50	0,00	0,000	2,60	20,12	6							2,257
Seg. 2	3,00	0,50	170,0	0,003	4,93	0,00	7							2,513
Seg. 3	3,00	0,50	0,00	0,000	5,00	20,12	6							2,483
Seg. 4	3,00	0,50	0,00	0,000	0,03	10,06	6							1,873
Seg. 5	3,00	0,50	290,0	0,014	4,60	9,51	7							3,219
Seg. 6	3,00	0,50	0,00	0,000	4,60	0,00	6							1,847
Seg. 7	3,00	0,50	160,0	0,008	1,20	0,00	6							2,044
Seg. 8	3,00	0,50	0,00	0,000	1,20	10,01	6							1,871
Seg. 9	3,00	0,50	0,0	0,000	3,32	7,61	6							1,957
Seg. 10	3,00	0,50	80,0	0,005	3,32	10,06	6							4,768
Seg. 11	3,00	0,50	0,0	0,000	3,32	0,00	6							1,847

CMFs

ID segmento omogeneo	Larghezza corsia (m)	Larghezza banchina (m)	Raggio di curv. orizz.	Sopraelevazione	Pendenza long. (%)	Densità accessi	Rating pericolo margine laterale	Rumble strips centrali	Controllo auto. velocità	Delimitatori di curva	Markers & rumble strips	Messa a dimora alberi	Guard rail	Miglioramento aderenza	COMB. CMF
Seg. 1	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,345	1,222	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2,258
Seg. 2	1,172	1,172	2,257	1,000	1,000	1,000	1,306	1,000	1,000	0,564	1,000	1,000	0,994	1,000	2,270
Seg. 3	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,345	1,222	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2,258
Seg. 4	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,115	1,222	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,994	1,000	1,860
Seg. 5	1,172	1,172	1,444	1,024	1,000	1,103	1,306	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2,926
Seg. 6	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,000	1,222	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,679
Seg. 7	1,172	1,172	2,158	1,000	1,000	1,000	1,222	1,000	1,000	0,564	1,000	1,000	0,994	1,000	2,031
Seg. 8	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,114	1,222	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,870
Seg. 9	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,059	1,222	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,778
Seg. 10	1,172	1,172	4,105	1,000	1,000	1,115	1,222	1,000	1,000	0,564	1,000	1,000	0,994	1,000	4,307
Seg. 11	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,000	1,222	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,679

Rapporto tra combinazione CMF e combinazione CMF sito

(CMFcomb/CMFsito)

Seg.1	Seg.2	Seg.3	Seg.4	Seg.5	Seg.6	Seg.7	Seg.8	Seg.9	Seg.10	Seg.11
1,000	0,903	0,909	0,993	0,909	0,909	0,993	0,999	0,908	0,903	0,909

Tab 5.50: $\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ - Combinazione 3.

Dopo 10 anni di vita utile				
ID segmento omogeneo	Rapporto CMF	$\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ (Totali)	$\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ (morti+feriti)	$\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ (PDO)
Segmento 1	1,000	0,000	0,000	0,000
Segmento 2	0,903	0,049	0,016	0,033
Segmento 3	0,909	0,000	0,000	0,000
Segmento 4	0,993	0,004	0,001	0,003
Segmento 5	0,909	0,000	0,000	0,000
Segmento 6	0,909	0,000	0,000	0,000
Segmento 7	0,993	0,126	0,040	0,086
Segmento 8	0,999	0,000	0,000	0,000
Segmento 9	0,908	0,000	0,000	0,000
Segmento 10	0,903	0,720	0,230	0,490
Segmento 11	0,909	0,000	0,000	0,000

Tab 5.51: CMF - Combinazione 4.

Caratteristiche geometriche in sito															
ID segmento omogeneo	Larghezza corsia (m)	Larghezza banchina (m)	Raggio di curv. oriz. (m)	Sopraelevazione	Pendenza long. (%)	Densità accessi	Rating pericolo margine laterale								CMF SITO
Seg. 1	3,00	0,50	0,00	0,000	2,60	20,12	6								2,257
Seg. 2	3,00	0,50	170,0	0,003	4,93	0,00	7								2,513
Seg. 3	3,00	0,50	0,00	0,000	5,00	20,12	6								2,483
Seg. 4	3,00	0,50	0,00	0,000	0,03	10,06	6								1,873
Seg. 5	3,00	0,50	290,0	0,014	4,60	9,51	7								3,219
Seg. 6	3,00	0,50	0,00	0,000	4,60	0,00	6								1,847
Seg. 7	3,00	0,50	160,0	0,008	1,20	0,00	6								2,044
Seg. 8	3,00	0,50	0,00	0,000	1,20	10,01	6								1,871
Seg. 9	3,00	0,50	0,0	0,000	3,32	7,61	6								1,957
Seg. 10	3,00	0,50	80,0	0,005	3,32	10,06	6								4,768
Seg. 11	3,00	0,50	0,0	0,000	3,32	0,00	6								1,847

CMFs

ID segmento omogeneo	Larghezza corsia (m)	Larghezza banchina (m)	Raggio di curv. oriz.	Sopraelevazione	Pendenza long. (%)	Densità accessi	Rating pericolo margine laterale	Rumble strips centrali	Controllo auto. velocità	Delineatori di curva	Markers & rumble strips	Messa a dimora alberi	Guard rail	Miglioramento aderenza	COMB. CMF
Seg. 1	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,345	1,222	0,940	0,930	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	1,934
Seg. 2	1,172	1,172	2,257	1,000	1,000	1,000	1,306	0,940	0,930	0,518	0,980	1,000	1,000	1,000	1,797
Seg. 3	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,345	1,222	0,940	0,930	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	1,934
Seg. 4	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,115	1,222	0,940	0,930	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	1,603
Seg. 5	1,172	1,172	1,444	1,024	1,000	1,103	1,306	0,940	0,930	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	2,507
Seg. 6	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,000	1,222	0,940	0,930	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	1,438
Seg. 7	1,172	1,172	2,158	1,000	1,000	1,000	1,222	0,940	0,930	0,518	0,980	0,980	1,000	1,000	1,575
Seg. 8	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,114	1,222	0,940	0,930	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	1,602
Seg. 9	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,059	1,222	0,940	0,930	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	1,523
Seg. 10	1,172	1,172	4,105	1,000	1,000	1,115	1,222	0,940	0,930	0,518	0,980	0,980	1,000	1,000	3,341
Seg. 11	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,000	1,222	0,940	0,930	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	1,438

Rapporto tra combinazione CMF e combinazione CMF sito (CMFcomb/CMFsito)

Seg.1	Seg.2	Seg.3	Seg.4	Seg.5	Seg.6	Seg.7	Seg.8	Seg.9	Seg.10	Seg.11
0,857	0,715	0,779	0,856	0,779	0,779	0,771	0,856	0,778	0,701	0,779

Tab 5.52: $\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ - Combinazione 4.

Dopo 10 anni di vita utile					
ID segmento omogeneo	Rapporto CMF	$\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ (Totali)	$\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ (morti+feriti)	$\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ (PDO)	
Segmento 1	0,857	0,098	0,031	0,067	
Segmento 2	0,715	1,726	0,552	1,174	
Segmento 3	0,779	0,100	0,032	0,068	
Segmento 4	0,856	0,094	0,030	0,064	
Segmento 5	0,779	0,112	0,036	0,076	
Segmento 6	0,779	1,044	0,334	0,710	
Segmento 7	0,771	4,816	1,541	3,275	
Segmento 8	0,856	0,094	0,030	0,064	
Segmento 9	0,778	0,125	0,040	0,085	
Segmento 10	0,701	1,076	0,344	0,732	
Segmento 11	0,779	0,123	0,039	0,084	

Tab 5.53: CMF - Combinazione 5.

Caratteristiche geometriche in sito															
ID segmento omogeneo	Larghezza corsia (m)	Larghezza banchina (m)	Raggio di curv. oriz. (m)	Sopraelevazione	Pendenza long. (%)	Densità accessi	Rating pericolo margine laterale								CMF SITO
Seg. 1	3,00	0,50	0,00	0,000	2,60	20,12	6								2,257
Seg. 2	3,00	0,50	170,0	0,003	4,93	0,00	7								2,513
Seg. 3	3,00	0,50	0,00	0,000	5,00	20,12	6								2,483
Seg. 4	3,00	0,50	0,00	0,000	0,03	10,06	6								1,873
Seg. 5	3,00	0,50	290,0	0,014	4,60	9,51	7								3,219
Seg. 6	3,00	0,50	0,00	0,000	4,60	0,00	6								1,847
Seg. 7	3,00	0,50	160,0	0,008	1,20	0,00	6								2,044
Seg. 8	3,00	0,50	0,00	0,000	1,20	10,01	6								1,871
Seg. 9	3,00	0,50	0,0	0,000	3,32	7,61	6								1,957
Seg. 10	3,00	0,50	80,0	0,005	3,32	10,06	6								4,768
Seg. 11	3,00	0,50	0,0	0,000	3,32	0,00	6								1,847

CMFs

ID segmento omogeneo	Larghezza corsia (m)	Larghezza banchina (m)	Raggio di curv. oriz. (m)	Sopraelevazione	Pendenza long. (%)	Densità accessi	Rating pericolo margine laterale	Rumble strips centrali	Controllo auto. velocità	Delineatori di curva	Markers & rumble strips	Messa a dimora alberi	Guard rail	Miglioramento aderenza	COMB. CMF
Seg. 1	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,345	1,222	0,940	1,000	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	2,080
Seg. 2	1,172	1,172	2,257	1,000	1,000	1,000	1,306	0,940	1,000	0,518	0,980	1,000	0,994	1,000	1,920
Seg. 3	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,345	1,222	0,940	1,000	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	2,080
Seg. 4	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,115	1,222	0,940	1,000	1,000	0,980	1,000	0,994	1,000	1,714
Seg. 5	1,172	1,172	1,444	1,024	1,000	1,103	1,306	0,940	1,000	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	2,695
Seg. 6	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,000	1,222	0,940	1,000	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	1,546
Seg. 7	1,172	1,172	2,158	1,000	1,000	1,000	1,222	0,940	1,000	0,518	0,980	0,980	0,994	1,000	1,684
Seg. 8	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,114	1,222	0,940	1,000	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	1,723
Seg. 9	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,059	1,222	0,940	1,000	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	1,637
Seg. 10	1,172	1,172	4,105	1,000	1,000	1,115	1,222	0,940	1,000	0,518	0,980	0,980	0,994	0,852	3,043
Seg. 11	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,000	1,222	0,940	1,000	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	1,546

Rapporto tra combinazione CMF e combinazione CMF sito (CMFcomb/CMF sito)

Seg.1	Seg.2	Seg.3	Seg.4	Seg.5	Seg.6	Seg.7	Seg.8	Seg.9	Seg.10	Seg.11
0.921	0.764	0.838	0.915	0.837	0.837	0.824	0.921	0.837	0.638	0.837

Tab 5.54: $\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ - Combinazione 5.

Dopo 10 anni di vita utile				
ID segmento omogeneo	Rapporto CMF	$\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ (Totali)	$\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ (morti+feriti)	$\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ (PDO)
Segmento 1	0,921	0,054	0,017	0,037
Segmento 2	0,764	1,288	0,412	0,876
Segmento 3	0,838	0,056	0,018	0,038
Segmento 4	0,915	0,056	0,018	0,038
Segmento 5	0,837	0,062	0,020	0,042
Segmento 6	0,837	0,575	0,184	0,391
Segmento 7	0,824	3,700	1,184	2,516
Segmento 8	0,921	0,052	0,017	0,035
Segmento 9	0,837	0,069	0,022	0,047
Segmento 10	0,638	1,400	0,448	0,952
Segmento 11	0,837	0,068	0,022	0,046

Tab 5.55: CMF - Combinazione 6.

Caratteristiche geometriche in sito														
ID segmento omogeneo	Larghezza corsia (m)	Larghezza banchina (m)	Raggio di curv. oriz. (m)	Sopraelevazione	Pendenza long. (%)	Densità accessi	Rating pericolo margine laterale							CMF SITO
Seg. 1	3,00	0,50	0,00	0,000	2,60	20,12	6							2,257
Seg. 2	3,00	0,50	170,0	0,003	4,93	0,00	7							2,513
Seg. 3	3,00	0,50	0,00	0,000	5,00	20,12	6							2,483
Seg. 4	3,00	0,50	0,00	0,000	0,03	10,06	6							1,873
Seg. 5	3,00	0,50	290,0	0,014	4,60	9,51	7							3,219
Seg. 6	3,00	0,50	0,00	0,000	4,60	0,00	6							1,847
Seg. 7	3,00	0,50	160,0	0,008	1,20	0,00	6							2,044
Seg. 8	3,00	0,50	0,00	0,000	1,20	10,01	6							1,871
Seg. 9	3,00	0,50	0,0	0,000	3,32	7,61	6							1,957
Seg. 10	3,00	0,50	80,0	0,005	3,32	10,06	6							4,768
Seg. 11	3,00	0,50	0,0	0,000	3,32	0,00	6							1,847

CMFs

ID segmento omogeneo	Larghezza corsia (m)	Larghezza banchina (m)	Raggio di curv. oriz. (m)	Sopraelevazione	Pendenza long. (%)	Densità accessi	Rating pericolo margine laterale	Rumble strips centrali	Controllo auto. velocità	Delineatori di curva	Markers & rumble strips	Messa a dimora alberi	Guard rail	Miglioramento aderenza	COMB. CMF
Seg. 1	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,345	1,222	1,000	0,930	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2,100
Seg. 2	1,172	1,172	2,257	1,000	1,000	1,000	1,306	1,000	0,930	0,564	1,000	1,000	0,994	1,000	2,111
Seg. 3	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,345	1,222	1,000	0,930	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2,100
Seg. 4	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,115	1,222	1,000	0,930	1,000	1,000	1,000	0,994	1,000	1,730
Seg. 5	1,172	1,172	1,444	1,024	1,000	1,103	1,306	1,000	0,930	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	2,721
Seg. 6	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,000	1,222	1,000	0,930	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,561
Seg. 7	1,172	1,172	2,158	1,000	1,000	1,000	1,222	1,000	0,930	0,564	1,000	1,000	0,994	1,000	1,889
Seg. 8	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,114	1,222	1,000	0,930	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,739
Seg. 9	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,059	1,222	1,000	0,930	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,653
Seg. 10	1,172	1,172	4,105	1,000	1,000	1,115	1,222	1,000	0,930	0,564	1,000	1,000	0,994	1,000	4,006
Seg. 11	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,000	1,222	1,000	0,930	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,561

Rapporto tra combinazione CMF e combinazione CMF sito (CMFcomb/CMFsito)

Seg.1	Seg.2	Seg.3	Seg.4	Seg.5	Seg.6	Seg.7	Seg.8	Seg.9	Seg.10	Seg.11
0,930	0,840	0,846	0,924	0,845	0,845	0,924	0,929	0,845	0,840	0,845

Tab 5.56: $\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ - Combinazione 6.

Dopo 10 anni di vita utile					
ID segmento omogeneo	Rapporto CMF	$\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ (Totali)	$\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ (morti+feriti)	$\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ (PDO)	
Segmento 1	0,930	0,048	0,015	0,033	
Segmento 2	0,840	0,612	0,196	0,416	
Segmento 3	0,846	0,049	0,016	0,033	
Segmento 4	0,924	0,050	0,016	0,034	
Segmento 5	0,845	0,054	0,017	0,037	
Segmento 6	0,845	0,510	0,163	0,347	
Segmento 7	0,924	1,590	0,509	1,081	
Segmento 8	0,929	0,046	0,015	0,031	
Segmento 9	0,845	0,062	0,020	0,042	
Segmento 10	0,840	0,999	0,320	0,679	
Segmento 11	0,845	0,060	0,019	0,041	

Tab 5.57: CMF - Combinazione 7.

Caratteristiche geometriche in sito										CMF SITO
ID segmento omogeneo	Larghezza corsia (m)	Larghezza banchina (m)	Raggio di curv. orizz. (m)	Sopraelevazione	Pendenza long. (%)	Densità accessi	Rating pericolo margine laterale			
Seg. 1	3,00	0,50	0,00	0,000	2,60	20,12	6			2,257
Seg. 2	3,00	0,50	170,0	0,003	4,93	0,00	7			2,513
Seg. 3	3,00	0,50	0,00	0,000	5,00	20,12	6			2,483
Seg. 4	3,00	0,50	0,00	0,000	0,03	10,06	6			1,873
Seg. 5	3,00	0,50	290,0	0,014	4,60	9,51	7			3,219
Seg. 6	3,00	0,50	0,00	0,000	4,60	0,00	6			1,847
Seg. 7	3,00	0,50	160,0	0,008	1,20	0,00	6			2,044
Seg. 8	3,00	0,50	0,00	0,000	1,20	10,01	6			1,871
Seg. 9	3,00	0,50	0,0	0,000	3,32	7,61	6			1,957
Seg. 10	3,00	0,50	80,0	0,005	3,32	10,06	6			4,768
Seg. 11	3,00	0,50	0,0	0,000	3,32	0,00	6			1,847

CMFs

ID segmento omogeneo	Larghezza corsia (m)	Larghezza banchina (m)	Raggio di curv. orizz. (m)	Sopraelevazione	Pendenza long. (%)	Densità accessi	Rating pericolo margine laterale	Rumble strips centrali	Controllo auto. velocità	Delimitatori di curva	Markers & rumble strips	Messa a dimora alberi	Guard rail	Miglioramento aderenza	COMB. CMF
Seg. 1	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,345	1,222	0,940	0,930	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	1,934
Seg. 2	1,172	1,172	2,257	1,000	1,000	1,000	1,306	0,940	0,930	0,518	0,980	1,000	0,994	1,000	1,786
Seg. 3	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,345	1,222	0,940	0,930	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	1,934
Seg. 4	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,115	1,222	0,940	0,930	1,000	0,980	1,000	0,994	1,000	1,594
Seg. 5	1,172	1,172	1,444	1,024	1,000	1,103	1,306	0,940	0,930	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	2,507
Seg. 6	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,000	1,222	0,940	0,930	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	1,438
Seg. 7	1,172	1,172	2,158	1,000	1,000	1,000	1,222	0,940	0,930	0,518	0,980	0,980	0,994	1,000	1,566
Seg. 8	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,114	1,222	0,940	0,930	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	1,602
Seg. 9	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,059	1,222	0,940	0,930	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	1,523
Seg. 10	1,172	1,172	4,105	1,000	1,000	1,115	1,222	0,940	0,930	0,518	0,980	0,980	0,994	0,852	2,830
Seg. 11	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,000	1,222	0,940	0,930	1,000	0,980	1,000	1,000	1,000	1,438

Rapporto tra combinazione CMF e combinazione CMF sito (CMFcomb/CMFsito)

Seg.1	Seg.2	Seg.3	Seg.4	Seg.5	Seg.6	Seg.7	Seg.8	Seg.9	Seg.10	Seg.11
0,857	0,711	0,779	0,851	0,779	0,779	0,766	0,824	0,856	0,778	0,779

Tab 5.58 $\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ - Combinazione 7.

Dopo 10 anni di vita utile				
ID segmento omogeneo	Rapporto CMF	$\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ (Totali)	$\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ (morti+feriti)	$\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ (PDO)
Segmento 1	0,857	0,098	0,031	0,067
Segmento 2	0,711	1,765	0,565	1,200
Segmento 3	0,779	0,100	0,032	0,068
Segmento 4	0,851	0,097	0,031	0,066
Segmento 5	0,779	0,112	0,036	0,076
Segmento 6	0,779	1,044	0,334	0,710
Segmento 7	0,766	4,913	1,572	3,341
Segmento 8	0,856	0,094	0,030	0,064
Segmento 9	0,778	0,125	0,040	0,085
Segmento 10	0,593	1,632	0,522	1,110
Segmento 11	0,779	0,123	0,039	0,084

Tab 5.59: CMF - Combinazione 8.

Caratteristiche geometriche in sito															
ID segmento omogeneo	Larghezza corsia (m)	Larghezza banchina (m)	Raggio di curv. oriz. (m)	Sopraelevazione	Pendenza long. (%)	Densità accessi	Rating pericolo margine laterale								CMF_SITO
Seg. 1	3,00	0,50	0,00	0,000	2,60	20,12	6								2,257
Seg. 2	3,00	0,50	170,0	0,003	4,93	0,00	7								2,513
Seg. 3	3,00	0,50	0,00	0,000	5,00	20,12	6								2,483
Seg. 4	3,00	0,50	0,00	0,000	0,03	10,06	6								1,873
Seg. 5	3,00	0,50	290,0	0,014	4,60	9,51	7								3,219
Seg. 6	3,00	0,50	0,00	0,000	4,60	0,00	6								1,847
Seg. 7	3,00	0,50	160,0	0,008	1,20	0,00	6								2,044
Seg. 8	3,00	0,50	0,00	0,000	1,20	10,01	6								1,871
Seg. 9	3,00	0,50	0,0	0,000	3,32	7,61	6								1,957
Seg. 10	3,00	0,50	80,0	0,005	3,32	10,06	6								4,768
Seg. 11	3,00	0,50	0,0	0,000	3,32	0,00	6								1,847

CMFs

ID segmento omogeneo	Larghezza corsia (m)	Larghezza banchina (m)	Raggio di curv. oriz. (m)	Sopraelevazione	Pendenza long. (%)	Densità accessi	Rating pericolo margine laterale	Rumble strips centrali	Controllo auto. velocità	Delineatori di curva	Markers & rumble strips	Messa a dimora alberi	Guard rail	Miglioramento aderenza	COMB. CMF
Seg. 1	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,345	1,222	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,583
Seg. 2	1,172	1,172	2,257	1,000	1,000	1,000	1,306	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,429
Seg. 3	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,345	1,222	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,583
Seg. 4	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,115	1,222	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,313
Seg. 5	1,172	1,172	1,444	1,024	1,000	1,103	1,306	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,584
Seg. 6	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,000	1,222	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,177
Seg. 7	1,172	1,172	2,158	1,000	1,000	1,000	1,222	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,386
Seg. 8	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,114	1,222	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,311
Seg. 9	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,059	1,222	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,247
Seg. 10	1,172	1,172	4,105	1,000	1,000	1,115	1,222	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,473
Seg. 11	1,172	1,172	1,000	1,000	1,000	1,000	1,222	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,177

Rapporto tra combinazione CMF e combinazione CMF sito (CMFcomb/CMFsito)

Seg.1	Seg.2	Seg.3	Seg.4	Seg.5	Seg.6	Seg.7	Seg.8	Seg.9	Seg.10	Seg.11
0,702	0,569	0,638	0,701	0,492	0,637	0,678	0,701	0,637	0,309	0,637

Tab 5.60: $\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ - Combinazione 8.

<i>Dopo 10 anni di vita utile</i>				
<i>ID segmento omogeneo</i>	<i>Rapporto CMF</i>	<i>$\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ (Totali = A)</i>	<i>$\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ (morti+feriti = FI)</i>	<i>$\Delta N_{Atteso}/\text{anno}$ (PDO)</i>
Segmento 1	0,702	0,615	0,197	0,418
Segmento 2	0,569	0,615	0,197	0,418
Segmento 3	0,638	0,627	0,201	0,426
Segmento 4	0,701	0,588	0,188	0,400
Segmento 5	0,492	1,066	0,341	0,725
Segmento 6	0,637	6,529	2,089	4,440
Segmento 7	0,678	20,301	6,496	13,805
Segmento 8	0,701	0,590	0,189	0,401
Segmento 9	0,637	0,785	0,251	0,534
Segmento 10	0,309	9,310	2,979	6,331
Segmento 11	0,637	0,770	0,246	0,524

5.7 Analisi costi-benefici

La differenza tra la frequenza media di incidentalità attesa con e senza l'implementazione delle contromisure (sia per incidenti con morti/feriti che per PDO) quantifica l'effetto della contromisura. Queste variazioni attese potrebbero essere convertite in valori monetari per ogni anno di vita della contromisura (per le contromisure a breve termine la vita utile è ipotizzata pari a 10 anni, per quelle a lungo termine, invece, è di 30 anni). Per la stima monetaria sono stati utilizzati i costi medi sociali di incidentalità, stabiliti dal rapporto pubblicato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2010)²⁸. I benefici monetari complessivi derivanti dall'attuazione della contromisura sono stati stimati utilizzando un tasso di sconto pari al 3,5%. Sono state valutate tutte le combinazioni di contromisure al fine di valutare quella più vantaggiosa rispetto ai costi.

5.7.1 Benefici delle contromisure

Il Valore Monetario Annuale (MVA) derivante dalla combinazione *i*-esima può essere calcolata come segue. Per il calcolo di MVA è stato considerato il ΔN relativo ad incidenti con morti e feriti ed il ΔN per incidenti del tipo PDO e successivamente sono stati moltiplicati rispettivamente per il costo sociale d'incidentalità relativo ai morti e feriti e per quello relativo ai PDO. In Italia, il costo sociale medio riferito ad un incidente con morti/feriti è pari a € 309'863,00, mentre quello riferito ai PDO è di € 10'986,00. La somma dei benefici derivanti dalle due stime fornisce il beneficio totale relativo al numero totale degli incidenti, $AM_{(A)}$.

La stima del beneficio deve essere convertita in valori attuali relativi al momento della stima stessa, utilizzando il tasso di sconto (3,5%). Il beneficio attuale è calcolato come segue.

$$PV_{Benefici} = \text{Valore Monetario Annuale} \times CF(i, y) \quad (\text{Eq. 5-37})$$

Dove $CF(i, y)$ è il fattore di conversione al valore attuale per una serie di importi annui uniformi:

$$CF(i, y) = \frac{(1+i)^y - 1,0}{i \times (1+i)^y} \quad (\text{Eq. 5-38})$$

I valori attuali dei benefici per tutte le combinazioni sono riportati nella seguente tabella.

²⁸ Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Dipartimento per i Trasporti, la Navigazione ed i Sistemi Informativi e Statistici, Direzione Generale per la Sicurezza Stradale (2010), *Studio di valutazione dei Costi Sociali dell'incidentalità stradale*, Report.

Tab 5.61: Benefici monetari derivanti dalle contromisure e dal valore attuale per ciascuna delle 8 combinazioni.

	ID combinazione	Costo incidente (morti+feriti)	Costo incidente (PDO)	ΔN_{Atteso} (morti+feriti)	ΔN_{Atteso} (PDO)	Benefici monetari (morti + feriti)	Benefici monetari (PDO)	Benefici monetari (Totali)	Valore attuale (Totali)
Vita utile: 10 anni	Comb.1	309'863,00 €	10'986,00 €	0,212	0,451	656'909,56 €	49'546,86 €	706'456,42 €	3'402'961,87 €
	Comb.2	309'863,00 €	10'986,00 €	0,104	0,221	322'257,52 €	24'279,06 €	346'536,58 €	1'665'087,70 €
	Comb.3	309'863,00 €	10'986,00 €	0,029	0,061	89'860,27 €	6'701,46 €	96'561,73 €	461'302,01 €
	Comb.4	309'863,00 €	10'986,00 €	0,301	0,64	932'687,63 €	70'310,40 €	1'002'998,03 €	4'829'842,24 €
	Comb.5	309'863,00 €	10'986,00 €	0,236	0,502	731'276,68 €	55'149,72 €	786'426,40 €	3'786'056,35 €
	Comb.6	309'863,00 €	10'986,00 €	0,131	0,277	405'920,53 €	30'431,22 €	436'351,75 €	2'094'098,57 €
	Comb.7	309'863,00 €	10'986,00 €	0,323	0,687	1'000'857,49 €	75'473,82 €	1'076'331,31 €	5'186'120,11 €
Vita utile: 30 anni	Comb.8	309'863,00 €	10'986,00 €	0,536	1,140	4'982'597,04 €	375'721,20 €	5'358'318,24 €	59'272'348,01 €

5.7.2 Costi delle contromisure

Il passo successivo è il calcolo dei costi per ogni combinazione di pacchetti di contromisure.

La procedura prevede la realizzazione di un computo metrico per ogni pacchetto individuato. Nel computo è necessario calcolare anche l'ulteriore costo di manutenzione o sostituzione durante i 10 anni di vita utile della singola contromisura indicata. Ciò si rende necessario perché sia i costi relativi all'installazione di ciascuna combinazione di contromisure e sia i costi di manutenzione (e sostituzione degli elementi inseriti) nella vita utile sono soggetti a tassi di interesse e pertanto necessitano di essere attualizzati.

Tale costo è stato in primis suddiviso per ogni anno di vita utile ("costi annuali", Tab 5.61) ed in seguito moltiplicato per lo stesso fattore utilizzato in precedenza per l'attualizzazione dei benefici (" $CF(i,y)$ ", Eq. 5-38). I singoli prodotti sono stati sommati per definire il costo totale attualizzato (" $Valore\ attualizzato - \sum CF(i,y)j * costi\ annuali$ ", Tab 5.62). Il costo totale di ogni combinazione si ottiene dalla somma dei costi iniziali di realizzazione della contromisura e dei costi durante la vita utile, convertiti in valori attuali.

Tab 5.62: Costi totali delle contromisure, somma delle contromisure implementate ed il valore attuale durante la vita utile delle contromisure.

	ID combinazione	Costi annuali	Valore attualizzato - $\sum CF(i,y)j * costi\ annuali$	Costo totale
Vita utile: 10 anni	Combinazione 1	4'478,24 €	215'541,33 €	280'028,20 €
	Combinazione 2	2'000,00 €	96'261,61 €	136'261,61 €
	Combinazione 3	3'738,71 €	179'947,32 €	226'063,26 €
	Combinazione 4	6'478,24 €	311'802,95 €	416'289,81 €
	Combinazione 5	8'216,95 €	395'488,65 €	506'091,46 €
	Combinazione 6	5'738,71 €	276'208,94 €	362'324,88 €
	Combinazione 7	10'216,95 €	491'750,27 €	642'353,07 €
Vita utile: 30 anni	Combinazione 8	19'420,00 €	6'441'413,23 €	8'771'813,23 €

	Vita utile (anni)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$CF(i,y)$	1,00	1,90	2,80	3,67	4,52	5,33	6,11	6,87	7,61	8,32
	Vita utile (anni)									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$CF(i,y)$	9,00	9,66	10,30	10,92	11,52	12,09	12,65	13,19	13,71	14,21
	Vita utile (anni)									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$CF(i,y)$	14,70	15,17	15,62	16,06	16,48	16,89	17,29	17,67	18,04	18,39

5.7.3 Gerarchizzazione dei progetti

Per effettuare la valutazione economica di ciascuna combinazione di pacchetto di contromisure è possibile utilizzare il VAN (Valore Attualizzato Netto) o il BCR (Rapporto Benefici/Costi).

Il VAN non è altro che la differenza tra il beneficio di una certa contromisura ed il costo da sostenere per implementarla:

$$VAN = PV_{benefici} - PV_{costi} \quad (\text{Eq. 5-39})$$

Il VAN deve essere positivo per giustificare l'attuazione della contromisura. Maggiore è la differenza, maggiore è il beneficio del progetto. Pertanto, i progetti sono elencati in base al loro VAN in ordine decrescente. Il BCR è il rapporto tra il beneficio e il costo delle contromisure (o l'insieme delle contromisure). Questo deve essere maggiore di 1, quindi il progetto migliore è quello con il BCR maggiore. La seguente tabella mostra il calcolo del BCR e del VAN per ogni combinazione.

Tab 5.63: VAN e BCR per ogni combinazione.

ID combinazione	PV_{costi}	$PV_{benefici}$	VAN	BCR
Combinazione 1	280'028,20 €	3'402'961,87 €	3'122'933,67 €	12,15
Combinazione 2	136'261,61 €	1'665'087,70 €	1'528'826,29 €	12,22
Combinazione 3	226'063,26 €	461'302,01 €	265'238,75 €	2,04
Combinazione 4	416'289,81 €	4'829'842,24 €	4'413'552,43 €	11,6
Combinazione 5	506'091,46 €	3'786'056,35 €	3'279'964,90 €	7,48
Combinazione 6	362'324,88 €	2'094'098,57 €	1'731'773,69 €	5,78
Combinazione 7	642'353,07 €	5'186'120,11 €	4'543'767,04 €	8,07
Combinazione 8	8'771'813,23 €	59'272'348,10 €	50'500'534,87 €	6,76

I risultati ottenuti suggerirebbero, dopo un primo esame superficiale, che:

- considerando il VAN, il progetto migliore risulterebbe dalla combinazione 8, cioè quello riguardante la riprogettazione;
- considerando il BCR, il progetto migliore risulterebbe dalla Combinazione 2 (B), controllo automatico della velocità;
- il BCR ottenuto dalla Combinazione 8 è al sesto posto come ordine di grandezza.

Tuttavia, per ogni tratto omogeneo è invece possibile gerarchizzare i progetti in modo razionale, individuando quale è la migliore contromisura per ogni situazione. Questa procedura suggerisce all'ente stradale competente le contromisure con il maggior impatto sulla riduzione degli incidenti.

Nel caso specifico la classifica è stata fatta in base al valore BCR grazie all'Analisi Incrementale, confrontando coppie di contromisure. Questa procedura è più affidabile della semplice classifica ottenuta attraverso il VAN.

In sostanza si opera come indicato di seguito.

1. Eseguire una valutazione BCR per ogni progetto di miglioramento individuale.
2. Considerare progetti con un BCR maggiore di 1,0, secondo un ordine crescente in base al loro costo stimato. Il progetto con il minor costo è elencato per primo.
3. Cominciando dalla sommità della lista, calcolare la differenza tra i benefici del primo e del secondo progetto. Analogamente calcolare la differenza tra i costi del primo e del secondo progetto. Le differenze tra i benefici dei due progetti e i costi dei due progetti vengono utilizzati per calcolare il BCR per l'investimento incrementale.
4. Se il BCR per l'investimento incrementale è superiore a 1,0, il progetto con il maggior costo viene confrontato con il successivo progetto nell'elenco. Se il BCR per l'investimento incrementale è inferiore a 1,0, il progetto con il minor costo viene confrontato con il successivo progetto nell'elenco.
5. Ripetere questo processo. Il progetto selezionato dopo l'ultimo confronto è considerato il miglior investimento economico.

I risultati dei costi e dei benefici per ciascuna delle 7 combinazioni sono riassunti nella tabella 5.64, a partire dalla tabella 5.63.

L'analisi incrementale può essere utilizzata solo se tutti i BCR sono superiori a 1, altrimenti i costi sarebbero superiori ai benefici derivanti dalle implementazioni delle contromisure, quindi le contromisure non sarebbero accettate.

Tab 5.64: VAN e BCR elencati in ordine crescente secondo l'analisi dei costi-benefici - combinazioni da 1 a 7.

ID combinazione	PV _{costi}	PV _{benefici}	VAN	BCR
Combinazione 2	136'261,61 €	1'665'087,70 €	1'528'826,29 €	12,22
Combinazione 3	226'063,26 €	461'302,01 €	265'238,75 €	2,04
Combinazione 1	280'028,20 €	3'402'961,87 €	3'122'933,67 €	12,15
Combinazione 6	362'324,88 €	2'094'098,57 €	1'731'773,69 €	5,78
Combinazione 4	416'289,81 €	4'829'842,24 €	4'413'552,43 €	11,6
Combinazione 5	506'091,46 €	3'786'056,35 €	3'279'964,90 €	7,48
Combinazione 7	642'353,07 €	5'186'120,11 €	4'543'767,04 €	8,07

Nel caso specifico tutti i progetti hanno BCR superiore a 1. La combinazione 8 è stata trascurata a causa delle restrizioni ambientali che impediscono il trasferimento del tracciato stradale nell'area circostante. Di conseguenza, l'analisi incrementale per le combinazioni scelte è possibile.

In questo caso, il progetto "vincente" è la combinazione 7, relativa alla realizzazione dei pacchetti A, B e C allo stesso tempo. La graduatoria ottenuta è la seguente.

Tab 5.65: Gerarchia delle combinazioni (basata sull'analisi del BCR incrementale).

Graduatoria	ID combinazione	PV _{costi}	PV _{benefici}	VAN	BCR
1	Combinazione 7	642'353,07 €	5'186'120,11 €	4'543'767,04 €	8,07
2	Combinazione 4	416'289,81 €	4'829'842,24 €	4'413'552,43 €	11,6
3	Combinazione 5	506'091,46 €	3'786'056,35 €	3'279'964,90 €	7,48
4	Combinazione 1	280'028,20 €	3'402'961,87 €	3'122'933,67 €	12,15
5	Combinazione 6	362'324,88 €	2'094'098,57 €	1'731'773,69 €	5,78
6	Combinazione 2	136'261,61 €	1'665'087,70 €	1'528'826,29 €	12,22
7	Combinazione 3	226'063,26 €	461'302,01 €	265'238,75 €	2,04

La combinazione 7, inoltre, risulta essere molto efficace per mitigare o eliminare alcune criticità riscontrate durante il processo di diagnosi, anche se apparentemente non relazionate agli incidenti osservati: perdita di aderenza in molte sezioni del tracciato e mancanza di visibilità in corrispondenza di alcuni accessi. In particolare, il controllo elettronico delle velocità, ed il limite imposto pari a 60 km/h, eliminano le criticità relative alla perdita di aderenza (per strada bagnata), riducono le distanze di arresto e quindi conferiscono un livello di sicurezza più elevato all'intero tronco stradale analizzato.

Le contromisure suggerite dalla combinazione 7 sono state ipotizzate non solo nei casi in cui sono stati rilevati incidenti, ma anche in alcune parti della strada in cui non si sono verificati incidenti. Questa strategia è giustificata dall'idea di verificare l'efficacia e l'affidabilità delle contromisure scelte (segnaletica stradale, controllo elettronico della velocità). Altre contromisure sono state ipotizzate sulle curve pericolose per aumentarne la visibilità e avvisare i conducenti, come i segnali di avvertimento in curva, i marcatori a led, le rumble strips. Nella parte più pericolosa del tratto stradale analizzato, sono state ipotizzate barriere per proteggere i muretti a secco e altre strutture, mentre alla curva 4, come suggerito dalla combinazione 4, è stata ipotizzata una pavimentazione stradale Antiskid.

La scelta delle contromisure e la loro portata dipendono dal budget disponibile e dalle priorità stabilite dalle agenzie stradali e dalle amministrazioni pubbliche. Tuttavia, la soluzione migliore è quella di fornire tutte le alternative possibili al gestore/proprietario della strada e lasciare che sia questo a decidere per ogni alternativa con la piena consapevolezza dei benefici e dei costi.

5.8 Focus sulle contromisure per gli accessi e le intersezioni

Nell'esempio di applicazione mostrato, l'attenzione si è concentrata su un tratto stradale senza alcuna intersezione significativa con strade simili su di esso. Per colmare questa lacuna, in questo paragrafo vengono forniti alcuni esempi di contromisure in caso di presenza di intersezioni. Chiaramente, le contromisure relative alle intersezioni sono particolarmente importanti quando la maggior parte degli incidenti si verifica in corrispondenza di intersezioni e/o accessi. Nell'esempio qui riportato (figura 5.28, tratto stradale nella città metropolitana di Bari:

SP231), le principali cause di questi incidenti sono le alte velocità dei veicoli, consentite dalle caratteristiche geometriche della strada (anche in prossimità di intersezioni minori e di accessi). Non ci sono autovelox e le lunghezze dei rettifili inducono gli automobilisti a sorpassare i veicoli pesanti anche in caso di scarsa visibilità. Inoltre, l'andamento altimetrico contribuisce a rendere poco chiara la percezione della strada da parte dei conducenti. Il diagramma di collisione e l'andamento planimetrico di un tratto della strada analizzata sono mostrati di seguito.



Fig. 5.33: planimetria e diagramma delle collisioni di un esempio di tratto di strada caratterizzato da numerosi accessi e da intersezioni minori (Colonna et al., 2018⁷).

Su questa parte della strada sono fortemente consigliati alcuni interventi di progettazione al fine di evitare il verificarsi di incidenti. Il più consigliato è l'utilizzo di strade secondarie o, almeno, di brevi strade di servizio, per raccogliere il flusso di veicoli, provenienti dagli accessi minori, prima che questi si inseriscano nel tronco principale. Quando questo approccio non è possibile a causa dei limiti ambientali e fisici, alcune eventuali contromisure (a breve termine) possono essere gli autovelox nonché l'implementazione di segnali di pericolo stradale in prossimità dei viali di accesso, poiché facilmente realizzabili e più convenienti. In questo modo si costringerebbero i conducenti a rallentare.

Qualora vi sia uno spazio disponibile sufficiente per modificare la geometria della strada senza altre restrizioni a questa scelta, la progettazione di una rotonda è la soluzione più adeguata a risolvere i problemi delle intersezioni minori. Tutti i viali carrabili convergerebbero nella rotonda riducendo i punti di conflitto. Le soluzioni e le contromisure sopra suggerite, pensate per risolvere i problemi evidenziati degli accessi e delle intersezioni minori, sono illustrate nelle figure sottostanti.



Fig. 5.34: Esempio di rotonda utile a mitigare i problemi derivati da intersezioni con strade minori (Colonna et al., 2018⁷).



Fig. 5.35: Esempio di strade secondarie per la raccolta di flussi provenienti da intersezioni minori (Colonna et al., 2018⁷).

5.9 Riferimenti

- AASHTO (2010), *Highway Safety Manual, First Edition*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., USA.
- Canale S., Leonardi S., Nicosia F. (1996), "Analisi critica del fenomeno dell'aderenza in campo stradale e ferroviario", *quaderno 88*, Istituto Strade, Ferrovie Aeroporti, Facoltà di Ingegneria, Università degli studi di Catania.
- Colonna P., Berloco N., Intini P., Perruccio A., Ranieri V., Vitucci V. (2016), "Variability of the Calibration Factors of the HSM Safety Performance Functions with Traffic, Region and Terrain. The case of the Italian rural two-way undivided road network", *Compendium of Papers of the 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D. C., USA.
- Colonna P., Berloco N., Intini P., Ranieri V. (2017), "The method of the friction diagram: New developments and possible applications", *Transport Infrastructure and Systems: Proceedings of the AIIT International Congress on Transport Infrastructure and Systems*, 309 (Rome, Italy, 10-12 April), CRC Press., Cleveland, USA.
- Colonna P., Intini P., Berloco N., Fedele V., Masi G., Ranieri V. (2019), "An Integrated Design Framework for Safety Interventions on Existing Urban Roads. Development and Case Study Application", *Safety*, 5(1), 13.
- Decreto Legislativo n. 285, 30 aprile 1992, *Codice della strada*.
- Decreto Ministeriale del 19 aprile 2006, *Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali*.
- Decreto Ministeriale n. 137 del 2 maggio 2012, *Linee guida per la gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali ai sensi dell'art. 8 del decreto legislativo 15 marzo 2011, n. 35*.
- Decreto Ministeriale n. 6792 del 5 novembre 2001, *Norme Funzionali e Geometriche delle Strade*.
- U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, FHWA (2008) "Desktop reference for crash reduction factors", *Report no. FHWA-SA-08-011*, September.
- Gomes S. V., Geedipally S. R., Lord D. (2012), "Estimating the safety performance of urban intersections in Lisbon, Portugal", *Safety science*, 50(9), 1732-1739.
- Greibe P. (2003), "Accident prediction models for urban roads", *Accident Analysis & Prevention*, 35(2), 273-285.
- Haddon, W. (1972), "A logical framework for categorizing highway safety phenomena and activity", *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 12(3), 193-207.
- Intini, P., Berloco, N., Ranieri, V., & Colonna, P. (2020), "Geometric and operational features of horizontal curves with specific regard to skidding proneness", *Infrastructures*, 5(1), 3.
- Kononov J., Allery B. (2003), "Level of Service of Safety. Conceptual Blueprint and Analytical Framework", *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, 1840(1), 57-66.
- Kononov J., Durso C., Lyon C., Allery B. (2015), "Level of service of safety revisited", *Transportation research record*, 2514(1), 10-20.

- Lamm R., Psarianos B., Mailaender T. (1999), *Highway design and traffic safety engineering handbook*, McGraw Hill, New York, USA.
- Lyon C., Persaud B. (2008), “Safety Effects of a Targeted Skid Resistance Improvement Program”, *Texture, Friction Management, and Ride Quality, Proceedings of the 87th Annual Meeting of Transportation Research Board (TRB)*, National Research Council, Washington D. C., USA.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Dipartimento per i Trasporti, la Navigazione ed i Sistemi Informativi e Statistici, Direzione Generale per la Sicurezza Stradale (2010), *Studio di valutazione dei Costi Sociali dell’incidentalità stradale*, Report.
- Montella A. (2009), “Safety evaluation of curve delineation improvements: empirical Bayes observational before-and-after study”, *Transportation research record*, 2103(1), 69-79.
- Regione Puglia (2008), “*Piano Regionale dei Trasporti*”.
- Torbic D. J., Hutton J. M., Bokenkroger C. D., Bauer K. M., Harwood D. W., Gilmore D. K., Dunn D. K., Ronchetto J. J., Donnell E. T., Sommer III H. J., Garvey P., Persaud B., Lyon C. (2009), “NCHRP Report 641: Guidance for the Design and Application of Shoulder and Centerline Rumble Strips”, *Transportation Research Board*, Washington D. C., USA.

6. Esempio applicativo: strade urbane

6.1 Introduzione

In questo capitolo verrà trattato il protocollo proposto per gli interventi di sicurezza stradale su strade esistenti, applicato ad un caso urbano. La procedura utilizzata è simile a quella esposta nel capitolo precedente, dedicato agli interventi di sicurezza su strade extraurbane. Tuttavia, ci sono alcune differenze dovute all'adattamento a particolari condizioni presenti nel tessuto urbano. Nonostante qualche modifica, comunque, gli step procedurali per i due protocolli (urbano ed extraurbano) sono gli stessi.

È stato proposto un caso studio, riguardante intersezioni e tronchi esistenti nella città di Bari, Italia, in modo da poter fornire un elemento concreto di applicazione del protocollo.

6.2 Contesto del progetto per il caso di studio urbano

L'analisi è stata condotta su una intersezione a 4 bracci semaforizzata, compresa tra le strade “Viale Domenico Cotugno”, “Viale Papa Giovanni XXIII”, “Viale Orazio Flacco” e “Viale Papa Pio XII”, per la quale è stato evidenziato un alto potenziale di miglioramento della sicurezza. I tronchi e le relative intersezioni analizzate sono localizzati, come anticipato, nella città di Bari, secondo quanto mostrato nella figura seguente.

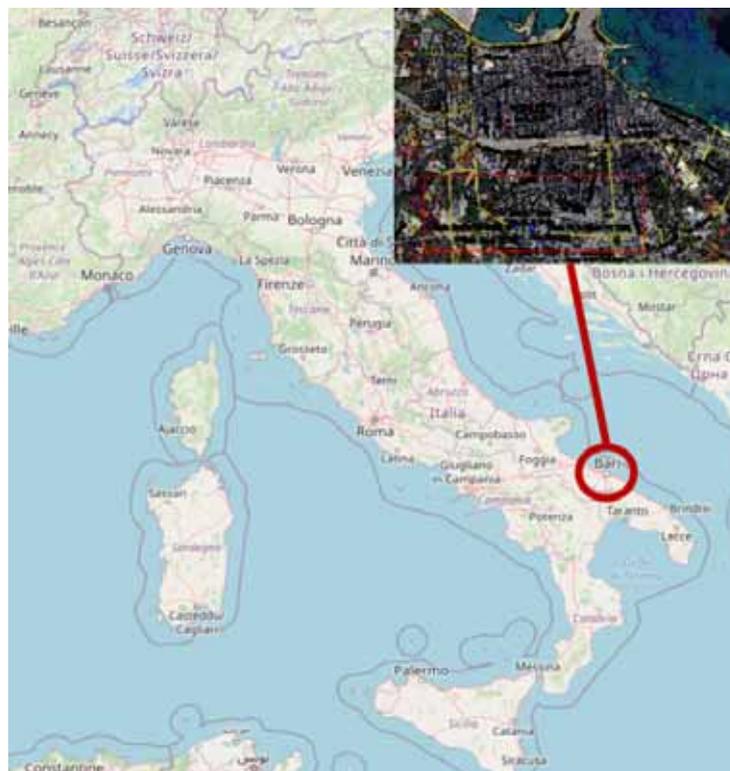


Fig. 6.1: Vista generale - tronchi ed intersezioni stradali nella città di Bari (fonte della foto: OpenStreetMap/Google Earth).

Nello specifico, i tronchi analizzati (mostrati in blu nella Figura 6.2) sono:

- Viale Orazio Flacco (tronco compreso tra Via Storelli and Via Papa Giovanni XXIII)
- Viale Papa Giovanni XXIII (dall'intersezione con Via Orazio Flacco, Via Cotugno and Viale Papa Pio XII all'intersezione con Via Lioce, entrambe, poi analizzate)
- Via Niceforo (inclusa l'intersezione con Via Papa Giovanni XXIII)
- Via Poli (inclusa l'intersezione con Via Papa Giovanni XXIII).

6.2.1 Vista generale dell'intersezione I

La prima intersezione studiata è mostrata nella figura sottostante.

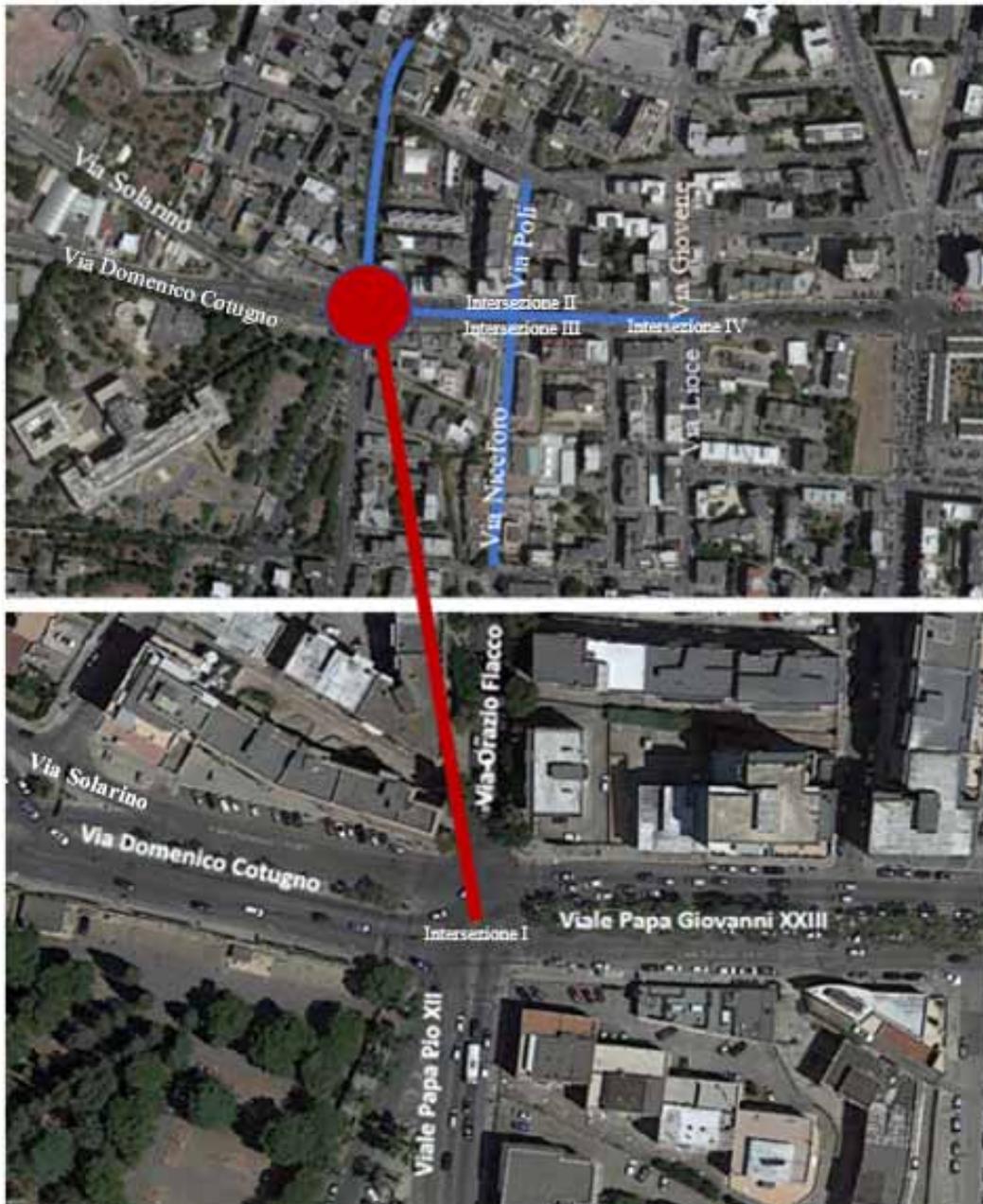


Fig. 6.2: Vista aerea dei tronchi (indicati in blu, sopra) e dettaglio dell'intersezione I (sotto): Viale Papa Giovanni XXIII, Viale Papa Pio XII, Via Domenico Cotugno e Via Orazio Flacco (fonte della foto: Google Earth).

Sono stati studiati anche i tronchi convergenti nel nodo principale. Infatti, è necessaria un'analisi dettagliata dei tronchi che convergono nell'intersezione, se si vuole studiare correttamente cosa accade nella stessa.

Il primo step dello studio è quello di assegnare a ciascun tronco la sua funzione nel territorio, contestualizzandolo nella rete stradale. L'intersezione in esame ha un ruolo fondamentale nel contesto cittadino di Bari. È una intersezione a 4 bracci nella quale convergono Viale Papa Giovanni XXIII, Viale Papa Pio XII, Via Domenico Cotugno e Via Orazio Flacco. Via Cotugno (direzione Est-Ovest) è essenzialmente la prosecuzione di Via Generale Nicola Bellomo, che è la strada collegata all'uscita 10A (Bari Picone) della SS16 ed è diretta verso i quartieri Picone, Carrassi e Poggiofranco.

Questa strada va dall'intersezione con Via delle Murge (a ovest) fino all'intersezione analizzata. Via Cotugno è anche interessata dal flusso veicolare proveniente da Bitritto (SP 236), Loseto e Ceglie del Campo (SP 183), diretto verso Bari, nonché da quello in entrata ed uscita da via Solarino. Viale Orazio Flacco (direzione Sud-Nord) è una delle strade più importanti nell'area dell'ospedale (Policlinico). Si snoda dall'intersezione analizzata alla rotatoria di Piazza Giulio Cesare. Questo ramo è congestionato dal traffico entrante in città (nelle ore diurne) e uscente dalla città stessa (nelle ore serali). L'alta frequenza di veicoli d'emergenza transitanti per questa via per raggiungere l'ospedale deve essere considerata in tutte le valutazioni sul traffico. Viale Papa Pio XII (direzione Sud-Nord) connette il quartiere Poggiofranco con il centro della città. Questa via parte dall'intersezione con Via J.F. Kennedy fino a quella analizzata. In questa strada si trova anche l'ospedale oncologico Giovanni Paolo II.

Viale Papa Giovanni XXIII (direzione Ovest-Est) è un'arteria cittadina che inizia a Ovest proprio nella intersezione in esame e termina a Est in corrispondenza del Parco 2 Giugno, e funge anche da confine tra i quartieri Poggiofranco (a sud) e Picone (a nord) nel tratto a ovest e tra i quartieri Carrassi (a sud) e San Pasquale (a nord) nel tratto a est.

6.2.2 Vista generale dell'intersezione II

La seconda intersezione studiata è mostrata in figura 6.3.



Fig. 6.3: Intersezione tra Viale Papa Giovanni XXIII e Via Giuseppe Saverio Poli (fonte della foto: Google Earth).

Questa è un'intersezione a tre bracci in cui convergono Viale Papa Giovanni XXIII e Via Giuseppe Saverio Poli. Via Giuseppe Saverio Poli (direzione Sud-Nord) permette la connessione con la zona residenziale e con le strade locali di accesso alle proprietà private. Connette Via Papa Giovanni XXIII all'ospedale Santa Maria.

6.2.3 Vista generale dell'intersezione III

La terza intersezione analizzata è mostrata in figura 6.4.

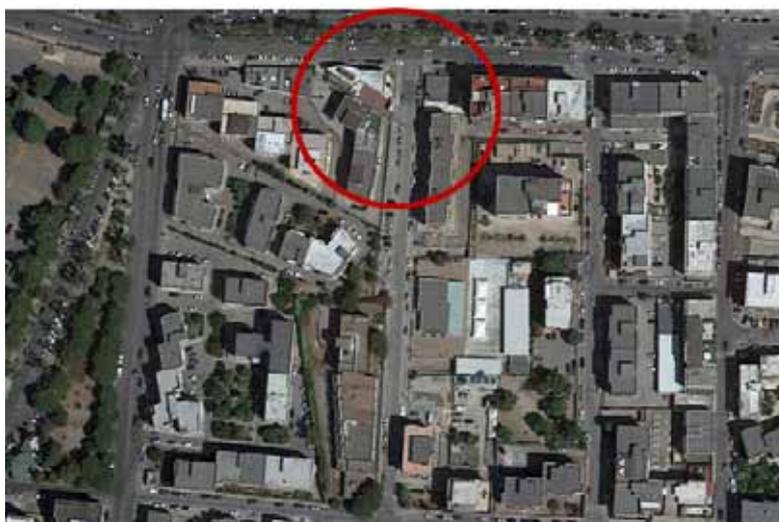


Fig. 6.4: Intersezione tra Viale Papa Giovanni XXIII e Via Niceforo (fonte della foto: Google Earth).

Questa intersezione è a tre bracci e vede convergere Via Niceforo in Viale Papa Giovanni XXIII. Via Niceforo (direzione Nord-Sud) consente l'accesso alla zona residenziale e alle strade di ingresso alle proprietà private. Congiunge Viale Papa Giovanni XXIII a Viale J. F. Kennedy, strade tra loro simili sia dal punto di vista geometrico che funzionale.

6.2.4 Vista generale dell'intersezione IV

Questa è una intersezione a 4 bracci in cui Viale Papa Giovanni XXIII, Via Saverio Lioce, Via Giovene convergono.

Via Saverio Lioce (direzione Nord-Sud) è un tronco di collegamento importante tra Viale Papa Giovanni XXIII e Via J.F. Kennedy, che consente anche l'accesso alla zona residenziale.

Via Giovene (direzione Sud-Nord) permette la connessione con aree residenziali e strade di accesso alle proprietà private.



Fig. 6.5: Intersezione tra Viale Papa Giovanni XXIII, Via Saverio Lioce, Via Giovene (fonte della foto: Google Earth).

6.3 Criterio di scelta del sito

Il motivo per il quale tale sito può essere considerato come un candidato ideale per il miglioramento della sicurezza stradale è fornito nel seguito, ove vengono applicati i metodi matematico-statistici introdotti nel Capitolo 3. I progettisti a cui siano affidati progetti di adeguamento di specifici siti già individuati a priori possono anche saltare i prossimi paragrafi e continuare con il capitolo 6.4 successivo. Tuttavia, conoscere il potenziale di miglioramento della sicurezza di un determinato sito può essere utile per il progettista, al fine di riconoscere l'effettivo margine di miglioramento e dunque di intervento progettuale. Al contrario, i paragrafi successivi sono essenziali per coloro i quali debbano effettuare una scelta tecnica di intervento tra diversi siti candidati per gli interventi di miglioramento di sicurezza stradale.

6.3.1 Determinazione della frequenza prevista di incidentalità per il nodo in esame

La decisione di considerare questa rete di tronchi ed intersezioni stradali per l'applicazione è giustificata dall'alto potenziale di miglioramento della sicurezza esibito dall'intersezione principale della rete studiata, come sarà di seguito spiegato in dettaglio. In particolare, il parametro che è stato preso in considerazione per determinare il potenziale di miglioramento della sicurezza è la frequenza media di incidentalità attesa, basata sull'incidentalità prevista e su quella osservata.

Per determinare l'incidentalità prevista si utilizzano le Safety Performance Functions (SPF), come mostrato nei capitoli introduttivi. Di seguito si riporta la procedura di calcolo della frequenza di incidentalità prevista per l'intersezione principale critica, intersezione I.

Per la valutazione della frequenza di incidentalità, con il fine di valutare la pericolosità del sito, si è fatto riferimento a tre diverse SPF. La prima è quella di Gomes et al. (2012)¹, le altre due sono state sviluppate da Intini et al. (2020)². I due modelli proposti da Intini et al. (2020)² si riferiscono alle intersezioni distinguendo i casi tra le intersezioni semaforizzate e non semaforizzate e tra quelle a 3 o 4 bracci, ma soltanto per quel che riguarda il valore dei parametri ed il tipo di variabili. Per tutti e tre i modelli, i valori di TGM si riferiscono ai tronchi principale e secondario. Tali valori di traffico, relativi alla intersezione I, sono:

- $TGM_{Principale} = 20365$ veicoli/giorno;
- $TGM_{Secondario} = 15200$ veicoli/giorno;

Inoltre, tutti e tre i modelli prevedono incidenti con soli feriti e/o morti (di seguito denominati semplicemente come "incidenti", per brevità).

La frequenza prevista di incidentalità, secondo il modello di Gomes et al. (2012)¹ si calcola come di seguito:

$$N_{SPF\ previsto} = e^{\beta_0} \times (TGM_{Principale} + TGM_{Secondario})^{\beta_1} \times [TGM_{Secondario} / (TGM_{Principale} + TGM_{Secondario})]^{\beta_2} \quad (\text{Eq. 6-1})$$

I valori usati per il modello di Gomes et al. (2012)¹ specifici per le intersezioni a 4 bracci sono stati:

- $\beta_0 = -6,92$;
- $\beta_1 = 0,429$;
- $\beta_2 = 0$.

Il valore di $N_{SPF\ previsto}$ risulta così essere pari a 0,09 incidenti/anno: 0,44 incidenti per i 5 anni di osservazione.

La frequenza prevista di incidentalità, secondo il modello di Intini et al. (2020)², per quel che riguarda le intersezioni semaforizzate ed anche le intersezioni a 4 bracci, si calcola come di seguito (nell'equazione i termini hanno significato analogo a quelli visti in precedenza per l'Equazione 6-1):

$$N_{SPF\ previsto} = e^{\beta_0} \times (TGM_{Principale} + TGM_{Secondario})^{\beta_1} \times e^{\left(\frac{TGM_{Principale}}{TGM_{Secondario} + TGM_{Principale}}\right)\beta_2} \quad (\text{Eq. 6-2})$$

I valori usati per il modello di Intini et al. (2020)² sono stati:

- $\beta_0 = 2,39$ per le intersezioni semaforizzate; $-0,571$ per le intersezioni a 4 bracci;

¹ Gomes S. V., Geedipally S. R., Lord D. (2012), "Estimating the safety performance of urban intersections in Lisbon, Portugal", *Safety science*, 50(9), 1732-1739.

² Intini P., Berloco N., Cavalluzzi G., Colonna, P., Lord D., Ranieri V. (2020), "The variability of urban safety performance functions for different road elements: an italian case study", Under review.

- $\beta_1 = 0,407$ per le intersezioni semaforizzate; 0,381 per le intersezioni a 4 bracci;
- $\beta_2 = -11,302$ per le intersezioni semaforizzate, -4,623 per le intersezioni a 4 bracci.

Il valore di $N_{SPF \text{ Previsto}}$ risulta così essere pari a 1,20 incidenti/anno (ovvero 6 incidenti nei 5 anni di osservazione) per le intersezioni semaforizzate e 2,17 incidenti/anno (ovvero 10,84 incidenti nei 5 anni di osservazione) per le intersezioni a 4 bracci.

Si noti che, al fine di valutare preliminarmente la pericolosità del sito e dunque il potenziale di miglioramento della sicurezza stradale, non sono state considerate le ulteriori variabili dei modelli di Gomes et al. (2012)¹ e Intini et al. (2020)², che richiedono una analisi specifica in sito, come mostrato nel seguito. Al contrario, è stata considerata in questa sede la sola influenza dei traffici principale e secondario (SPF base).

6.3.2 Determinazione della frequenza osservata di incidentalità per il nodo in esame

Il valore di frequenza osservata ($N_{Osservato}$) è stato determinato rifacendosi al database di incidentalità ASSET-ISTAT afferente al Comune di Bari. In base a tali dati, è stato possibile reperire informazioni sugli incidenti con almeno feriti (ad esclusione, dunque, degli incidenti con danni alle sole proprietà) avvenuti nell'area sotto indagine, nel periodo tra il 2012 ed il 2016.

Il valore della frequenza osservata per l'intersezione I ($N_{Osservato}$) determinato in base ai dati ASSET-ISTAT, avendo considerato 5 anni di osservazione, è di 18 incidenti (3,60 incidenti/anno).

Dalla valutazione della frequenza media prevista ed osservata, si riesce poi ad avere un'idea della pericolosità di tale intersezione e quindi della necessità di un intervento, tramite il calcolo preliminare della frequenza media attesa di incidentalità.

6.3.3 Determinazione della pericolosità relativa per il nodo in esame

Il valore di frequenza media di incidentalità attesa (N_{Atteso}), calcolato attraverso il metodo Empirico Bayesian, come spiegato già nel capitolo 3, combina in maniera statisticamente accurata sia il valore di incidentalità osservata che quello previsto. La frequenza media attesa di incidentalità è calcolata come riportato di seguito:

$$N_{Atteso} = w \times N_{previsto} + (1 - w) \times N_{osservato} \quad (\text{Eq. 6-3})$$

In questo caso, per l'intersezione I, il peso w (funzione del parametro di sovra-dispersione, come indicato nel capitolo 3) è ricavato per ognuno dei tre modelli, come segue:

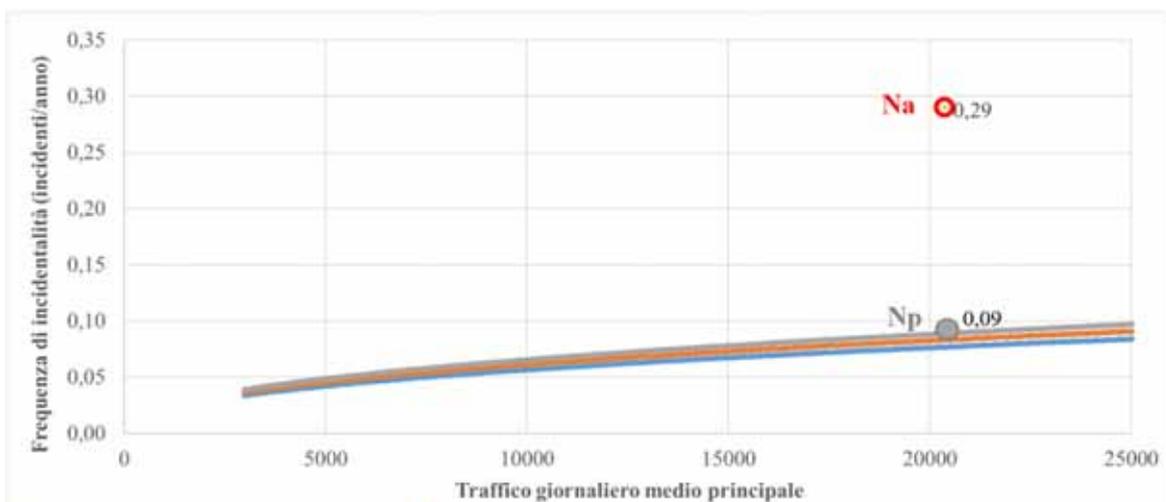
- Gomes et al. (2012)¹: 0,886;
- Intini et al. (2020)², intersezioni semaforizzate: 0,200;
- Intini et al. (2020)², intersezioni a 4 bracci: 0,339.

Dunque, i valori ottenuti per N_{Atteso} sono i seguenti (come si vede anche in Figura 6.6):

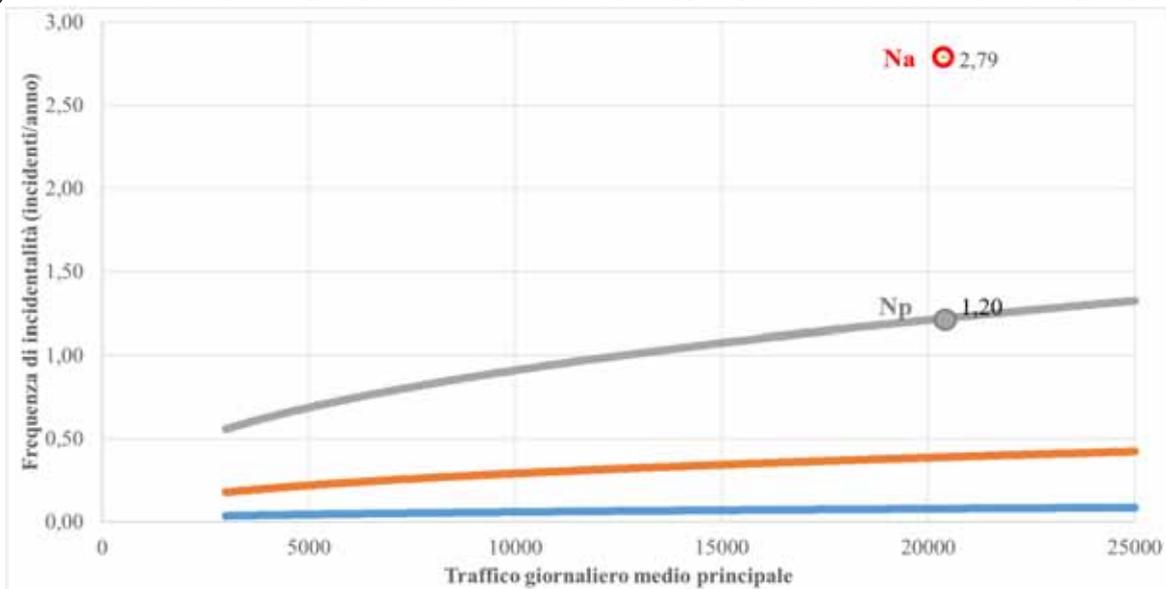
- Gomes et al. (2012)¹: 2,45 incidenti (0,49 incidenti/anno, molto maggiore del valore medio previsto 0,09);
- Intini et al. (2020)², intersezioni semaforizzate: 13,93 incidenti (2,79 incidenti/anno, molto maggiore del valore medio previsto 1,20);
- Intini et al. (2020)², intersezioni a 4 bracci: 16,57 incidenti (3,31 incidenti/anno, molto maggiore del valore medio previsto 2,17).

La pericolosità del sito è stata messa in evidenza tramite un confronto dei valori calcolati di frequenza media attesa di incidentalità con quelli ottenuti dalle SPF, in maniera tale da poter effettuare una valutazione in termini relativi e dunque comprendere le effettive problematiche di sicurezza. Infatti, questo confronto mette in evidenza l'eccesso della frequenza di incidentalità del sito selezionato, se confrontato con le stime di incidentalità media ottenute dalle SPF (Figura 6.6), pur utilizzando tre modelli previsionali diversi. Dunque, il sito in esame è un candidato ottimale per l'applicazione.

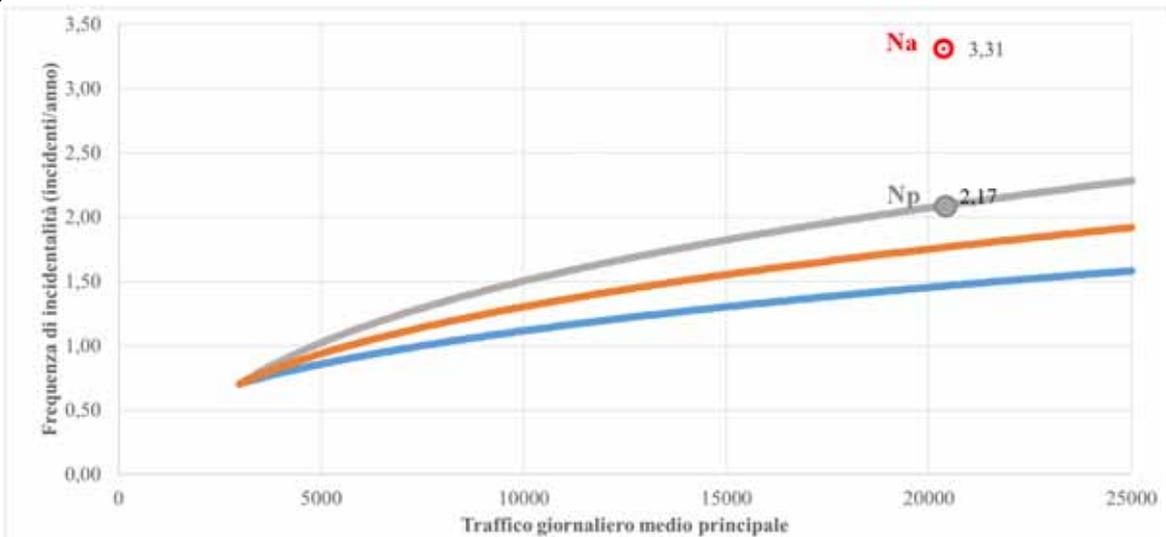
In ogni caso, dal momento che un'analisi di sicurezza non è puntuale, ma globale, in quanto i problemi di sicurezza presenti all'intersezione si riverberano sui tratti della rete circostante, sono stati considerati tutti i tronchi e le intersezioni prospicienti quella più pericolosa (intersezione I).



a) • TGM secondario = 0.25 TGM principale • TGM secondario = 0.5 TGM principale • TGM secondario = 0.75 TGM principale



b) • TGM secondario = 0.25 TGM principale • TGM secondario = 0.5 TGM principale • TGM secondario = 0.75 TGM principale



c) • TGM secondario = 0.25 TGM principale • TGM secondario = 0.75 TGM principale • TGM secondario = 0.5 TGM principale

Fig. 6.6: Confronto della frequenza di incidentalità attesa (N_a in figura) con la frequenza di incidentalità prevista (N_p in figura), calcolata per l'esempio applicativo con SPF sviluppate da a) Gomes et al. (2012)¹ per intersezioni a 4 bracci, b) Intini et al. (2020)² per intersezioni semaforizzate, c) Intini et al. (2020)² per intersezioni a 4 bracci. Nel caso in esame il TGM secondario (15200 veicoli/giorno) è circa uguale a tre quarti (0,75) del TGM principale (20365 veicoli/giorno).

6.4 Categorie e funzioni dei tronchi stradali

6.4.1 Funzione dei tronchi stradali

La normativa italiana D.M. 2001³ prevede la necessità di classificare il ruolo di ogni singolo tronco nella rete, secondo i seguenti fattori:

- tipo di movimento consentito. Può essere di transito, di distribuzione, di penetrazione o di accesso;
- l'importanza del movimento, relativa alla distanza media di viaggio del veicolo;
- la funzione nell'area nella quale la strada è posizionata;
- le componenti di traffico e le componenti delle categorie di traffico (veicoli leggeri, veicoli pesanti, motocicli, pedoni, etc.).

Secondo gli elementi sopra citati, esistono quattro livelli di rete stradale come mostrato in tabella 6.1.

Tab. 6.1: 4 Livelli della rete stradale secondo la normativa D.M. 6792/2001³. Rete primaria (a), rete principale (b), rete secondaria (c), rete locale (d) e le rispettive categorie di strada per aree urbane o extraurbane.

Rete	Categoria di strada secondo il Codice	
	Area extraurbana	Area urbana
a - rete primaria (funzione di transito)	Autostrada extraurbana Strada extraurbana principale	Autostrada urbana Strada urbana di scorrimento
b - rete principale (funzione di distribuzione)	Strada extraurbana principale	Strada urbana di scorrimento
c - rete secondaria (funzione di penetrazione)	Strada extraurbana secondaria	Strada urbana di quartiere
d - rete locale (funzione di accesso)	Strada extraurbana locale	Strada urbana locale

La figura seguente (6.7) fornisce uno schema grafico esemplificativo della tabella 6.1.



Fig. 6.7: Rete stradale secondo il D.M. 6792/2001³.

Il D.M. 6792/2001³ definisce le funzioni di ogni singolo arco appartenente alla rete, individuando una funzione principale e una funzione secondaria, la quale dovrebbe corrispondere alla funzione principale del livello adiacente (come mostrato in Tabella 6.2). Questo sistema consente di avere una rete che fornisce un servizio omogeneo.

³ Decreto Ministeriale n. 6792 del 5 Novembre 2001, *Norme Funzionali e Geometriche delle Strade*.

Tab. 6.2: Rete primaria, principale, secondaria e locale e le funzioni associate: transito, distribuzione, penetrazione e accesso. I punti neri indicano la funzione principale e quelli bianchi la secondaria.³.

TIPO STRADA FUNZIONE	PRIMARIA	PRINCIPALE	SECONDARIA	LOCALE
Transito	•	○		
Distribuzione	○	•	○	
Penetrazione		○	•	○
Accesso			○	•

• Funzione principale

○ Funzione secondaria = funzione principale della classe adiacente

Per il caso considerato può essere identificato il livello della rete stradale secondo il D.M. 6792/2001³. Le strade investigate sono state classificate come segue:

- Via Cotugno e Viale Papa Giovanni XXIII:
 - (I funzione) livello b-funzione di distribuzione come funzione principale perché connette diversi quartieri (Picone, Carassi, Poggiofranco e San Pasquale);
 - (II funzione, livello adiacente) livello c-secondaria/funzione di penetrazione perché penetrano nelle aree residenziali attraverso le intersezioni con strade di quartiere e strade locali.
- Viale Orazio Flacco, Viale Papa Pio XII e via Liocce:
 - (I funzione) livello c-rete secondaria/funzione di penetrazione, infatti le strade penetrano nell'area residenziale e nei quartieri residenziali come Picone, Poggiofranco e Carrassi;
 - (II funzione, livello adiacente) livello b-rete principale/funzione di distribuzione.
- Via Giuseppe Saverio Poli e Via Niceforo:
 - (I funzione) livello c-rete secondaria/funzione di penetrazione, infatti le strade penetrano nell'area residenziale;
 - (II funzione, livello adiacente) livello d-rete locale/funzione di accesso perché le strade permettono di raggiungere le proprietà private.

Tab. 6.3: Categorie di strada, ambito territoriale e limiti di velocità (velocità di progetto minima, massima e limite), D.M. 6792/2001³.

Tipi di strada (C.d.s.)	Id	Ambito territoriale	Limite di velocità (km/h)	Corsie per senso di marcia	Limite inferiore intervallo di progetto (km/h)	Limite superiore intervallo di progetto (km/h)	
1	2	3	4	5	6	7	
Autostrada	A	Extraurbano	Strada principale	130	2 o più	90	140
			Strada di servizio	90	1 o più	40	100
		Urbano	Strada principale	130	2 o più	80	140
			Strada di servizio	50	1 o più	40	60
Extraurbana principale	B	Extraurbano	Strada principale	110	2 o più	70	120
			Strada di servizio	90	1 o più	40	100
Extraurbana secondaria	C	Extraurbano	C1	90	1	60	100
			C2	90	1	60	100
Urbana di scorrimento	D	Urbano	Strada principale	70	2 o più	50	80
			Strada di servizio	50	1 o più	25	60
Urbana di quartiere	E	Urbano		50	1 o più	40	60
Locale	F	Extraurbano	F1	90	1	40	100
			F2	90	1	40	100
		Urbano		50	1 o più	25	60

6.4.2 Categoria del tronco stradale

Secondo quanto prescritto dal Codice della Strada (Legge Italiana sulle strade) e dal D.M. 6792/2001³, le strade sulla base della loro geometria, caratteristiche tecniche e funzionali, sono classificate in 8 diverse categorie, 4 per il contesto urbano (A_U, D, E e F_U) e 4 per il contesto extraurbano (A, B, C e F).

Tab. 6.4: Categorie di strade, contesto territoriale, regolazione della sosta, regolazione dei mezzi pubblici, regolazione del traffico pedonale ed accessi³.

Tipi di strada secondo il codice	Id	Ambito territoriale	Regolazione della sosta	Regolazione dei mezzi pubblici	Regolazione del traffico pedonale	Accessi	
1	2	3	18	19	20	21	
Autostrada	A	Extraurbano	Strada principale	Ammessi in spazi separati con immisioni ed uscite concentrate	Esclusa la fermata	Escluso	Esclusi
			Possibile strada di servizio	Ammessa in appositi spazi (fascia di sosta)	Fermate in aree speciali	In banchina	Ammessi
		Urbano	Strada principale	Ammessi in spazi separati con immisioni ed uscite concentrate	Esclusa la fermata	Escluso	Esclusi
			Possibile strada di servizio	Ammessa in appositi spazi (fascia di sosta)	Piazzale di fermata o eventuale corsia riservata	Su marciapiedi protetti	Ammessi
Extraurbana principale	B	Extraurbano	Strada principale	Ammessi in spazi separati con immisioni ed uscite concentrate	Ammessi in spazi separati con immisioni ed uscite separate	Escluso	Esclusi
			Possibile strada di servizio	Ammessa in appositi spazi (fascia di sosta)	Fermate organizzate in apposite aree al fianco delle carreggiate	In banchina	Ammessi
Extraurbana secondaria	C	Extraurbano	C1	Ammessa in piazzale di sosta	Fermate organizzate in apposite aree al fianco delle carreggiate	In banchina	Ammessi
			C2				
Urbana di scorrimento	D	Urbano	Strada principale	Ammessi in spazi separati con immisioni ed uscite concentrate	Corsia riservata e/o fermate organizzate	Su marciapiedi protetti	Esclusi
			Possibile strada di servizio	Ammessa in appositi spazi (fascia di sosta)	Piazzale di fermata	Su marciapiedi	Ammessi
Urbana di quartiere	E	Urbano		Ammessa in appositi spazi (fascia di sosta)	Piazzale di fermata o eventuale corsia riservata	Su marciapiedi	Ammessi
Locale	F	Extraurbano	F1	Ammessa in piazzale di sosta	Fermate organizzate in apposite aree al fianco delle carreggiate	In banchina	Ammessi
			F2				
		Urbano		Ammessa in Piazzale di sosta	Piazzale di fermata	Su marciapiedi	Ammessi

Da un punto di vista funzionale, Via Cotugno e Viale Papa Giovanni XXIII sono definite di categoria D, anche se corrispondono ad una categoria E per quel che riguarda le caratteristiche geometriche. Per essere effettivamente strade di categoria D, tutti gli accessi non dovrebbero essere consentiti così come i parcheggi su strada, ed

i pedoni dovrebbero essere protetti da barriere. Viale Papa Pio XII e Via Orazio Flacco sono strade di categoria E.

Via Cotugno (la parte terminale, quella oggetto di indagine) e Viale Papa Giovanni XXIII hanno carreggiate separate dall'isola spartitraffico, e due corsie per senso di marcia. Viale Orazio Flacco ha una carreggiata con due corsie, una per ciascuna direzione. Viale Papa Pio XII ha una carreggiata con 4 corsie, due per ciascun senso di marcia. Via Saverio Lioce invece è una strada di categoria E, a singola carreggiata con due corsie, una per senso di marcia (anche geometricamente rispetta le caratteristiche di una strada di categoria E). Via Giuseppe Saverio Poli e Via Niceforo sono due strade di categoria F con una carreggiata ed una corsia per ciascuna direzione, in accordo con le caratteristiche geometriche di normativa.

6.4.3 Analisi dei nodi di interconnessione

Una matrice simmetrica, le cui righe e colonne sono riempite dalle categorie di strade, è il miglior modo di rappresentare i nodi ammessi. La matrice seguente, tratta dalla normativa italiana, mostra tutte le possibili combinazioni dei nodi tra tutte le possibili categorie di strada. I nodi accettabili possono essere omogenei (nodi tra due strade della stessa categoria) o non-omogenei (nodi tra due strade di categorie diverse). I nodi non accettabili si hanno tra strade di categorie troppo diverse, per motivi sia funzionali che di sicurezza.

Tab. 6.5: Intersezioni accettabili e non accettabili. I quadrati grigi rappresentano intersezioni non accettabili, quelli bianchi i nodi omogenei e quelli azzurri i nodi non omogenei; D.M. 19/04/2006⁴ (normativa italiana sulle intersezioni).

		Categorie stradali								
		A	Au	B	C	D	E	F	Fu	
A										□ Nodi omogenei
Au										□ Nodi non omogenei
B										■ Intersezioni non accettabili
C										
D										
E										
F										
Fu										

L'intersezione "Via Cotugno - Viale Papa Giovanni XXIII - Viale Papa Pio XII - Viale Orazio Flacco" è tra due strade di categoria D/E e due strade di categoria E, per cui il nodo risulta accettabile e omogeneo/non-omogeneo, secondo il D.M. 19/04/2006 (normativa italiana relativa alle intersezioni)⁴.

Anche le intersezioni II, III e IV, che coinvolgono Viale Papa Giovanni XXIII (categoria D/E) con le vie Poli, Niceforo, Giovene e Lioce (tutte di categoria E) sono nella stessa situazione.

6.5 Ricostruzione geometrica

La ricostruzione geometrica dei tronchi è un passaggio fondamentale nella ricostruzione del modello della rete stradale, in modo tale da renderlo quanto più realistico possibile dal punto di vista delle intersezioni e dei tronchi.

6.5.1 Ricostruzione geometrica dell'andamento planimetrico dell'asse stradale

In una fase preliminare, l'informazione sulla geometria degli elementi stradali è stata ottenuta a mezzo di mappe digitali e ortofoto (o foto aeree). Queste due fonti geografiche sono poi state sovrapposte in ambiente CAD/GIS così da avere una maggiore dovizia di particolari. L'andamento planimetrico dei cigli è stato disegnato in rosso come mostrato in figura 6.8.

⁴ Ministero delle infrastrutture e dei trasporti - Decreto 19 aprile 2006 - Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali. (GU n. 170 del 24-7-2006).



Fig. 6.8: Ricostruzione dei cigli in rosso. (fonte della foto: Google Earth).

Tutti gli elementi della strada possono essere assimilati a segmenti lineari, eccezion fatta per un tratto di Viale Orazio Flacco che è curvilineo e quindi è stato rappresentato, nel caso specifico, mediante due successivi archi di raggio diverso. Dopo la ricostruzione geometrica dei cigli stradali, è stato ricostruito l'asse stradale.

Quindi la ricostruzione di Viale Orazio Flacco è costituita da un segmento che parte dall'intersezione in esame, da un primo e da un secondo arco e da un ultimo segmento che termina in Piazza Giulio Cesare, dove è ubicato l'ingresso monumentale dell'ospedale Policlinico.



Fig. 6.9: Ricostruzione Viale Orazio Flacco (fonte della foto: Google Earth).

Viale Papa Giovanni XXIII mostra due carreggiate uguali sui due lati della mezzeria, così la sezione trasversale è stata disegnata partendo dalla mezzeria, semplificando così la procedura di ricostruzione (larghezza della corsia pari a 3,00 m).



Fig. 6.10: Ricostruzione di Viale Papa Giovanni XXIII (fonte della foto: Google Earth).

In figura 6.11 è mostrato il risultato della ricostruzione dell'asse stradale e dei cigli.



Fig. 6.11: Intera ricostruzione dei cigli e dell'asse stradale per l'area analizzata (fonte della foto: Google Earth).

Partendo da una ricostruzione grafica, è stato possibile elencare gli elementi geometrici facenti parte del layout stradale. I parametri di tali elementi sono elencati di seguito.

Tab. 6.6: Riassunto delle caratteristiche geometriche degli elementi stradali.

Nome della strada	Elemento stradale		Lunghezza Totale [m]
	Segmento - Lunghezza L [m]	Curva - Lunghezza S e Raggio R [m]	
Viale Papa Giovanni XXIII	L1 = 276,00		L = 276,00
Viale Orazio Flacco	L1 = 95,60	S1 = 50,45 R1 = 246,2	L = 146,05
Via Saverio Poli	L1 = 96,60		L = 96,60
Via Niceforo	L1 = 185,00		L = 185,00

6.5.2 Ricostruzione della segnaletica orizzontale e verticale

Nell'ottica di ricostruire dal punto di vista geometrico il tracciato, non può essere trascurata la ricognizione della segnaletica, sia orizzontale che verticale, in quanto questo dato può fornire indicazioni supplementari sulle condizioni di sicurezza, andando ad influenzare la percezione del rischio da parte degli utenti. Cartelloni pubblicitari e lampioni della pubblica illuminazione sono considerati facenti parte della segnaletica verticale.

I segnali orizzontali rilevati dalle indagini in sito sono stati i seguenti:

- strisce di demarcazione delle corsie;
- strisce di demarcazione degli stalli di sosta in linea, incluse quelle dedicate alla sosta di utenti con disabilità;
- strisce di demarcazione delle aree adibite ai cassonetti per la raccolta di rifiuti urbani;
- eventuali corsie di preselezione in prossimità delle intersezioni semaforizzate;
- zebraure per sosta vietata;
- strisce pedonali;
- linee d'arresto (semaforo, dare precedenza, e stop) e relative iscrizioni sul manto stradale;
- fermate Bus e relative iscrizioni sul manto stradale

La segnaletica verticale è stata la seguente

- tutti i segnali verticali di precedenza, divieto, obbligo e pericolo, indicazione e direzione e relativi pannelli integrativi;
- segnali relativi alle fermate BUS
- semafori
- telecamere di velocità/dispositivi installati sui semafori per rilevare eventuali violazioni.

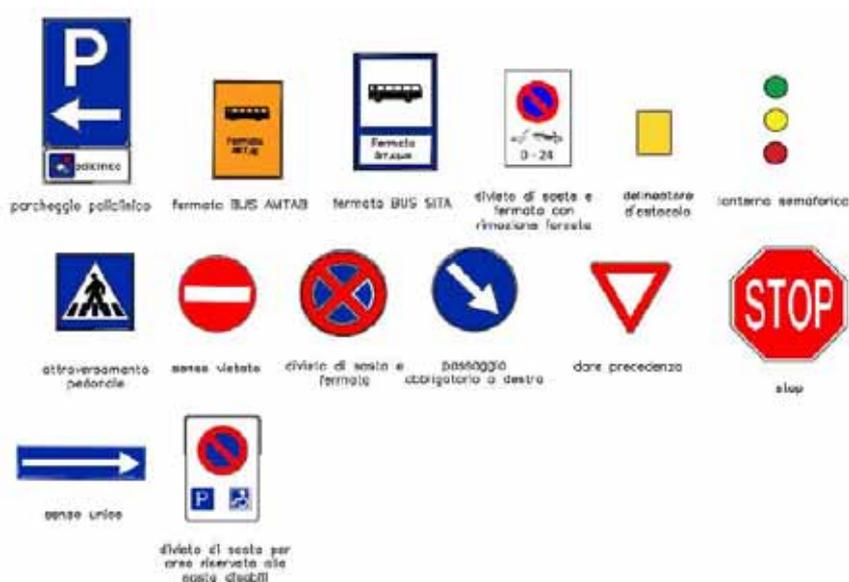


Fig. 6.12: Esempi dei segnali rilevati nell'area di indagine.

6.5.3 Sezioni trasversali tipologiche dei tronchi e delle intersezioni analizzate e comparazione con le sezioni trasversali presenti nel D.M. 6792/2001-Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade

Questo paragrafo mostra la procedura da utilizzare per individuare il tipo di strada, grazie al confronto tra le caratteristiche geometriche del tronco in esame e le caratteristiche geometriche dei tronchi di ciascuna categoria di strada, secondo la normativa italiana D.M. 6792/2001³ - *Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade* (elencate nella precedente tabella 6.6). Questo step è utile per determinare la sezione trasversale tipo dei tronchi nei pressi della intersezione (cioè dai 2 ai 5 m prima dell'intersezione stessa).

La sezione trasversale standard è stata facilmente disegnata a seguito della ricostruzione degli elementi stradali rilevati dopo indagini in sito e su mappa. Come menzionato precedentemente, le dimensioni delle corsie sono state definite mediante strumenti digitali e misurazioni in sito, attraverso strumentazione ad-hoc, così da avere misure affidabili. Quando le dimensioni variano si rende necessario disegnare diverse sezioni stradali, in modo tale da fornire una visione chiara delle differenti caratteristiche del tracciato. Tutte le sezioni trasversali, ubicate come nei seguenti stralci planimetrici, sono mostrate nelle figure riportate di seguito:

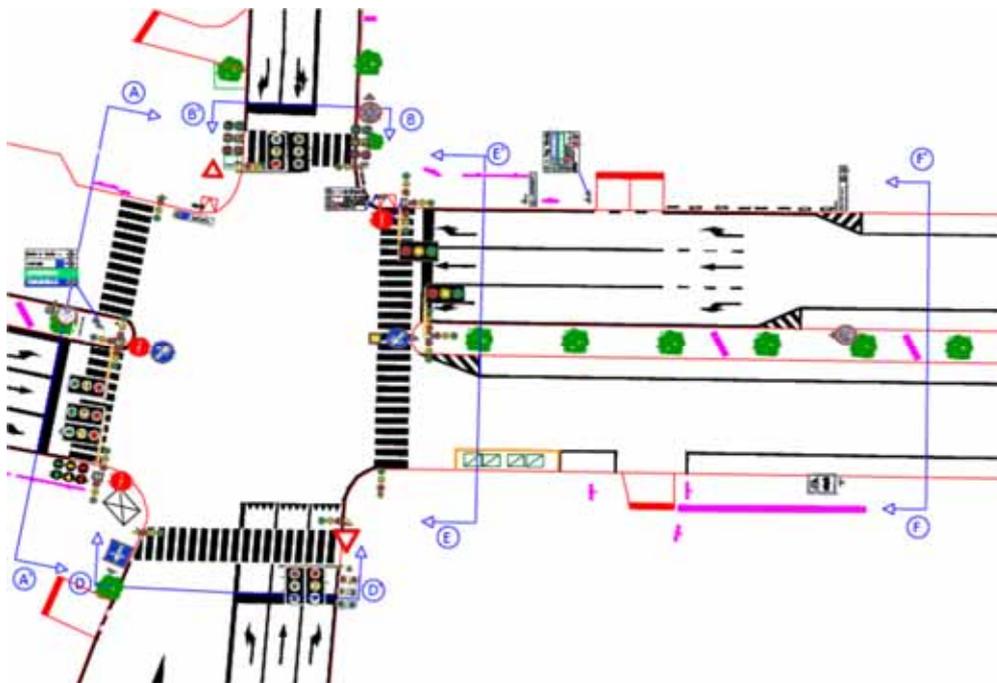


Fig. 6.13: Planimetria dell'intersezione I e relative sezioni.

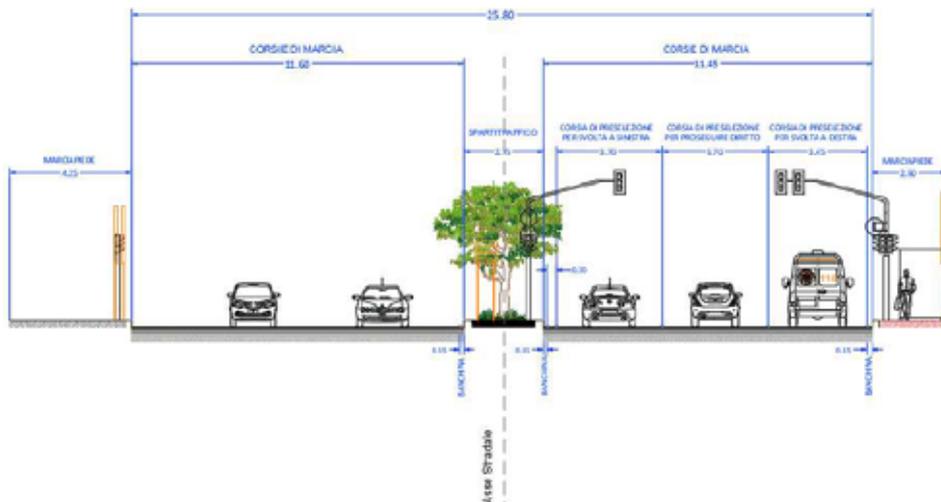


Fig. 6.14: Sezione trasversale, intersezione I - Via Cotugno - sezione A-A'.

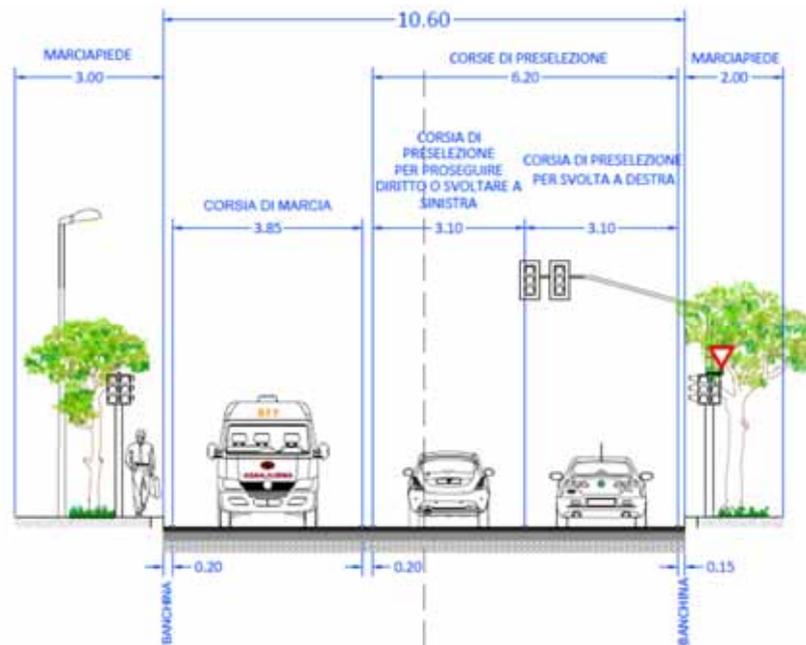


Fig. 6.15: Sezione trasversale, intersezione I – Viale Orazio Flacco – sezione B-B'.

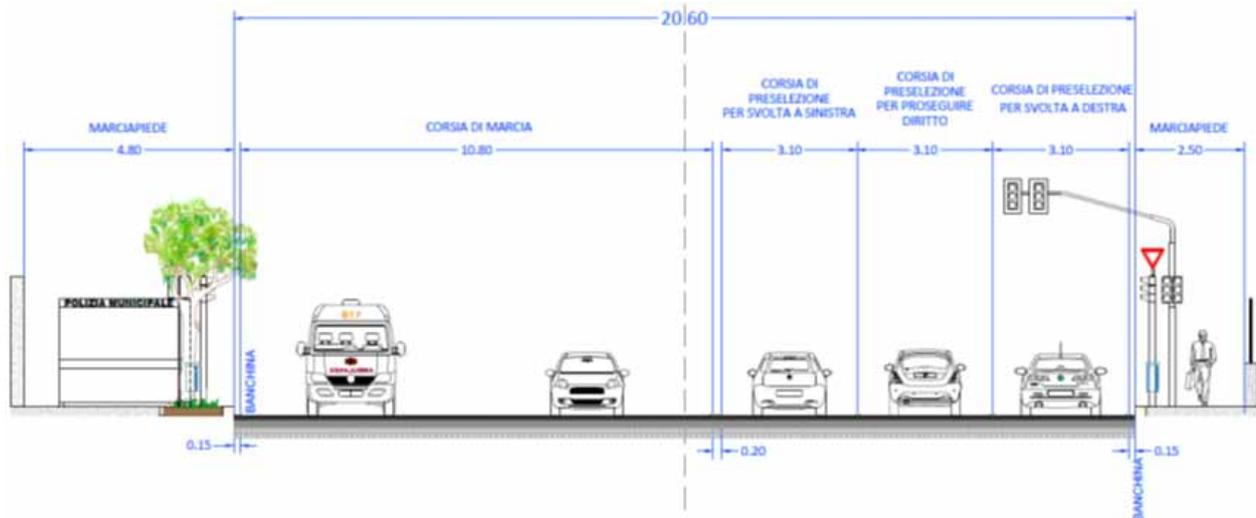


Fig. 6.16: Sezione trasversale, intersezione I – Viale Pio XII – sezione D-D'.

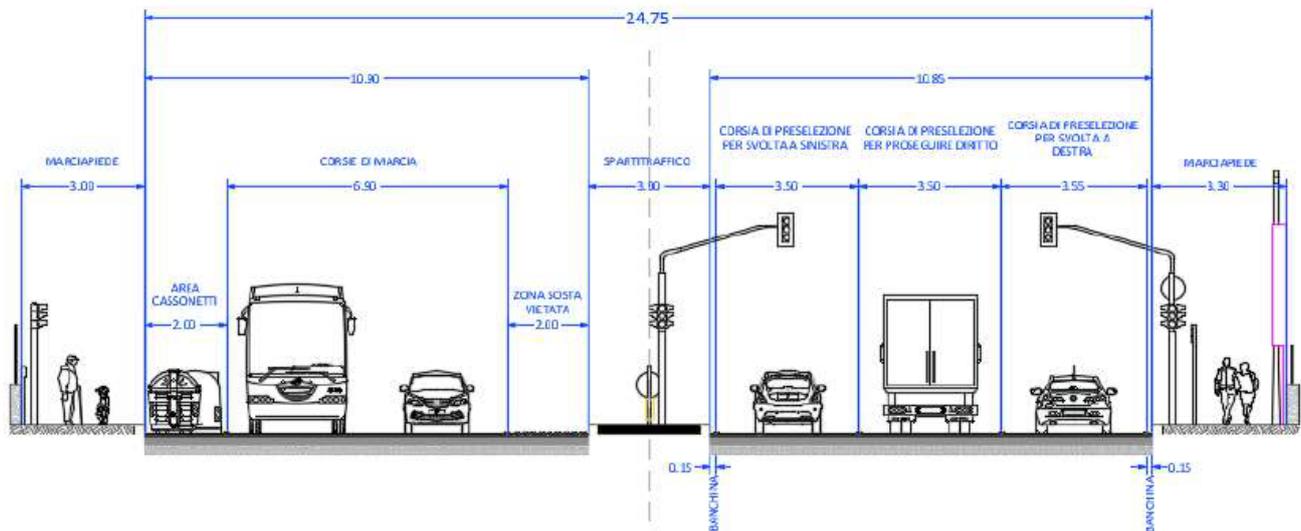


Fig. 6.17: Sezione trasversale, intersezione I - Viale Papa Giovanni XXIII – sezione E-E'.

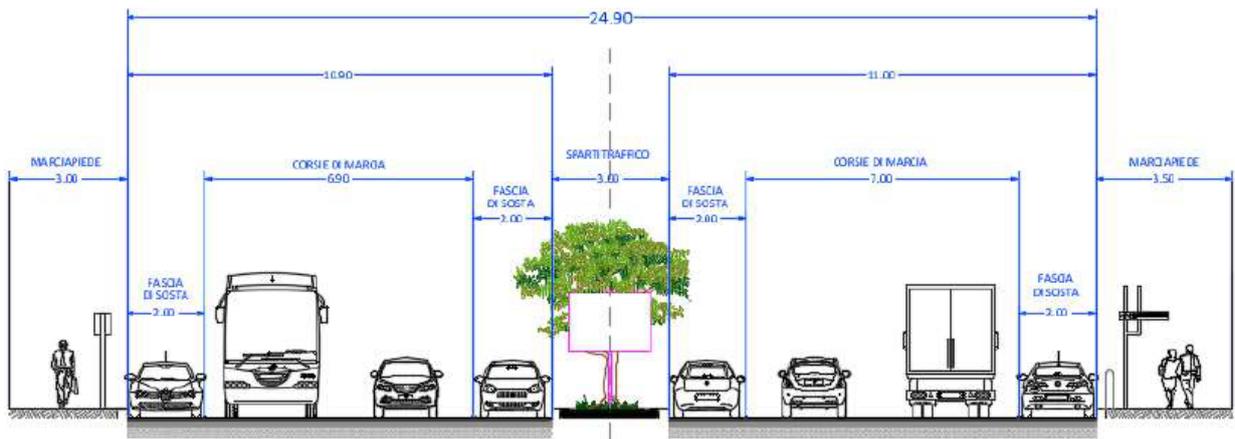


Fig. 6.18: Sezione trasversale - tronco Viale Papa Giovanni XXIII - sezione F-F'.

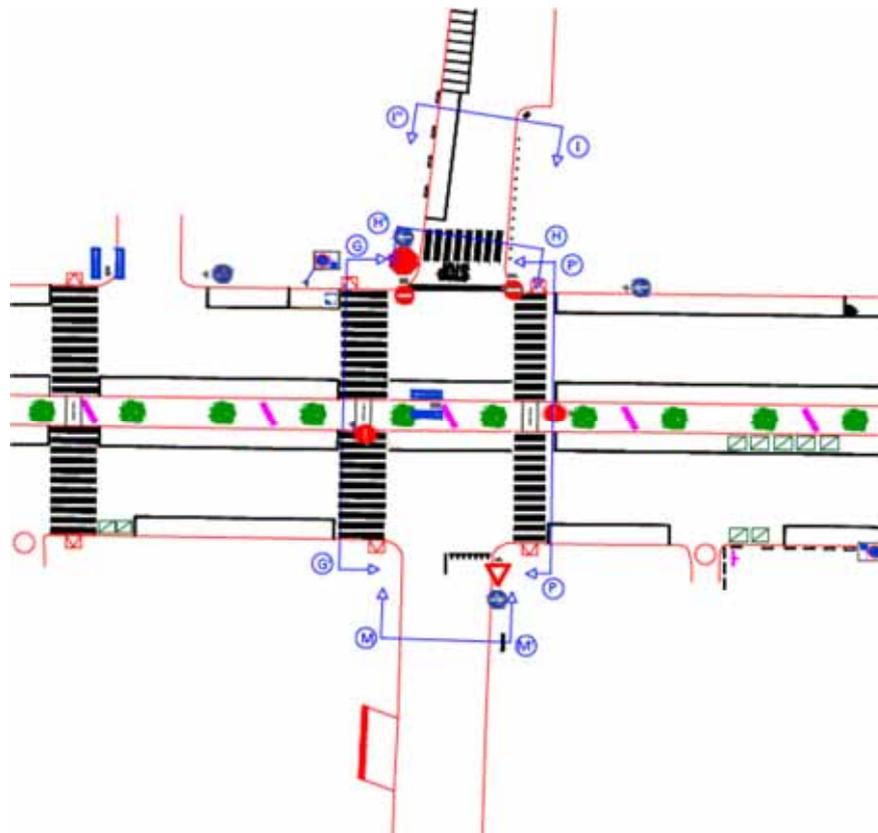


Fig. 6.19: Planimetria dell'intersezione II e III e relative sezioni.

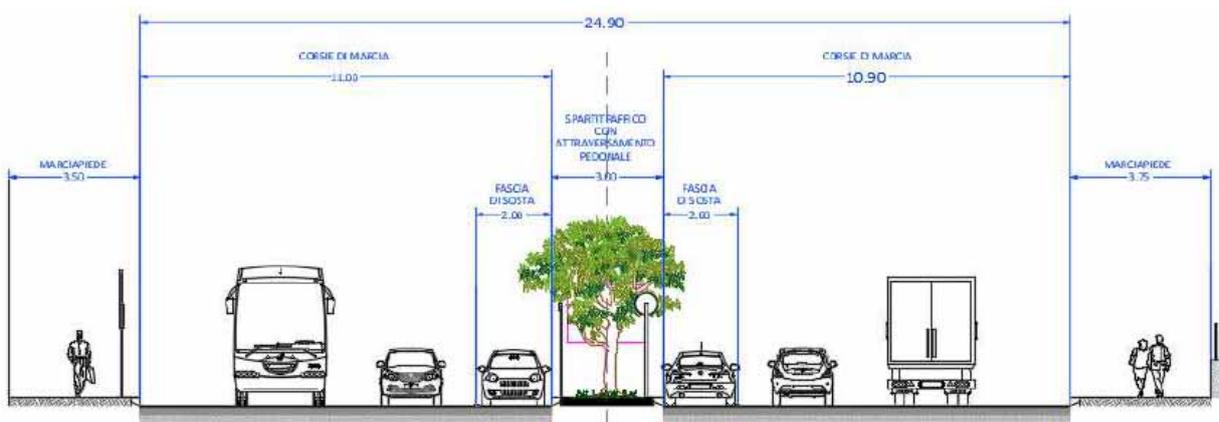


Fig. 6.20: Sezione trasversale - intersezioni II e III - Viale Papa Giovanni XXIII - sezione G-G'.

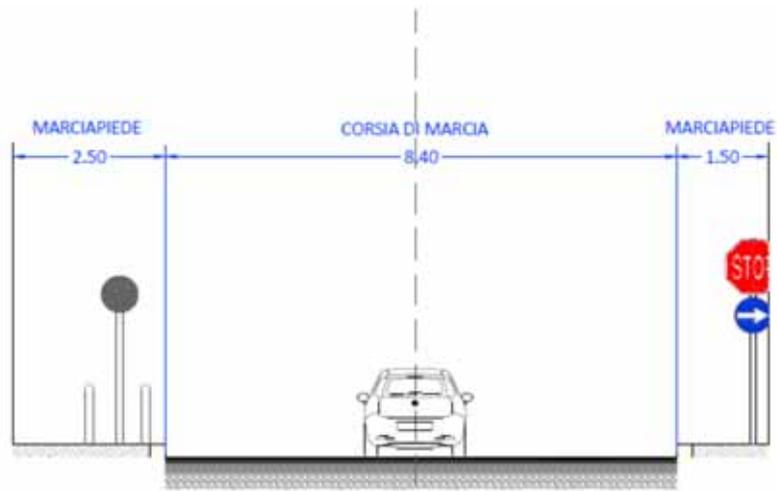


Fig. 6.21: Sezione trasversale - intersezioni II e III – Via Poli - sezione H-H'.

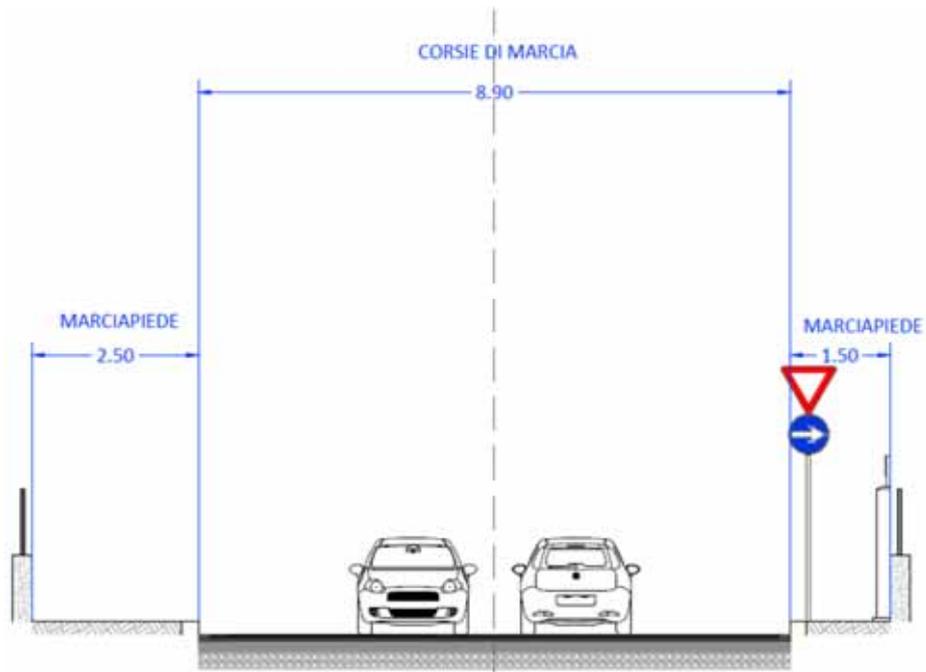


Fig. 6.22: Sezione trasversale - intersezioni II e III – Via Niceforo - sezione M-M'.

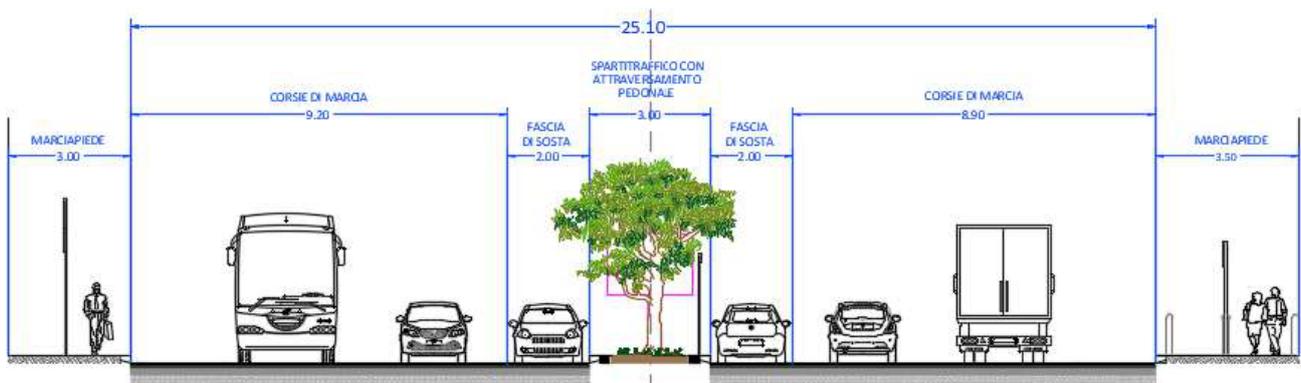


Fig. 6.23: Sezione trasversale - intersezioni II e III – Viale Papa Giovanni XXIII - sezione P-P'.

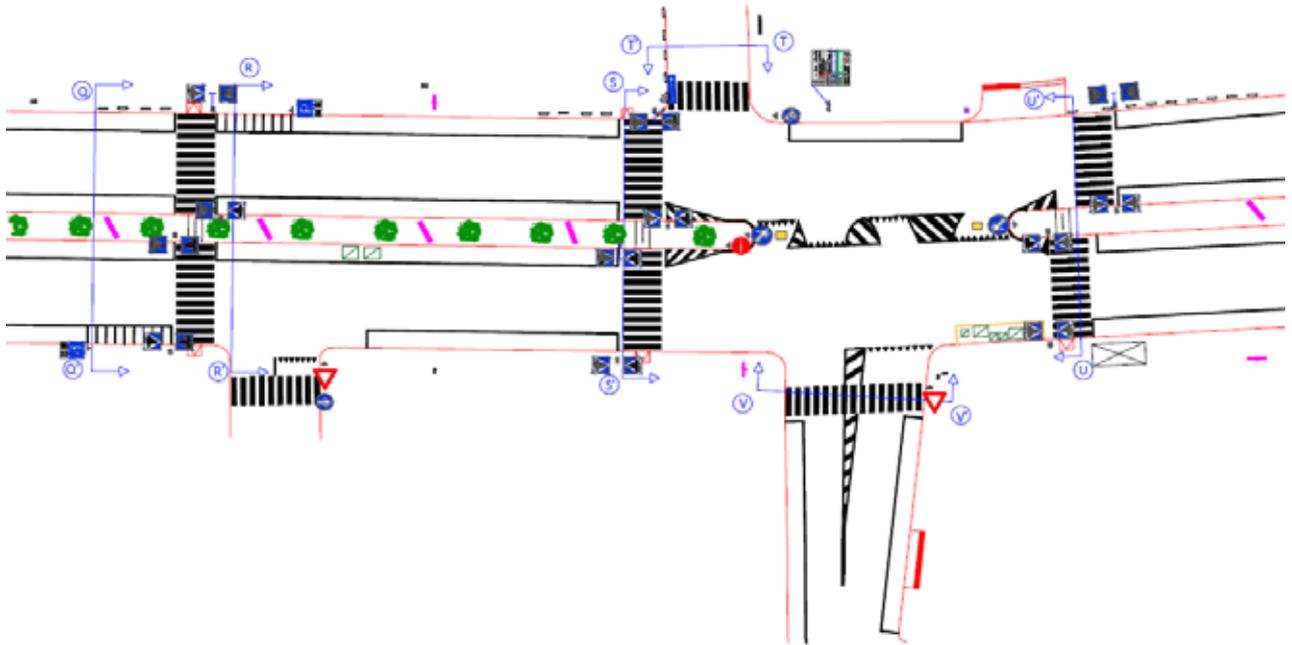


Fig. 6.24: Planimetria dell'intersezione IV, di Viale Papa Giovanni XXIII e relative sezioni.

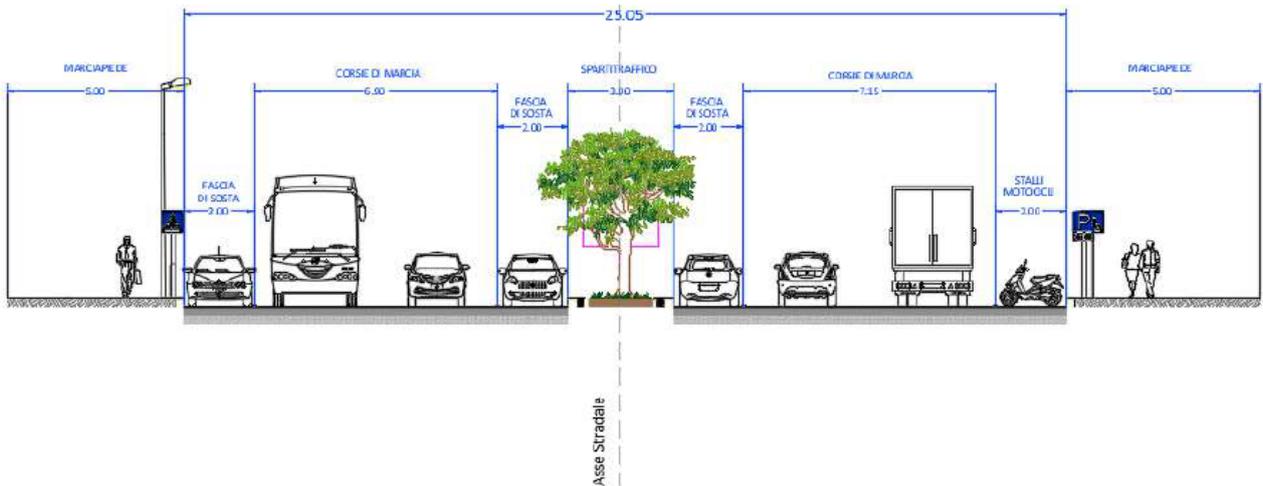


Fig. 6.25: Sezione trasversale - tronco stradale di Viale Papa Giovanni XXIII - sezione Q-Q'.

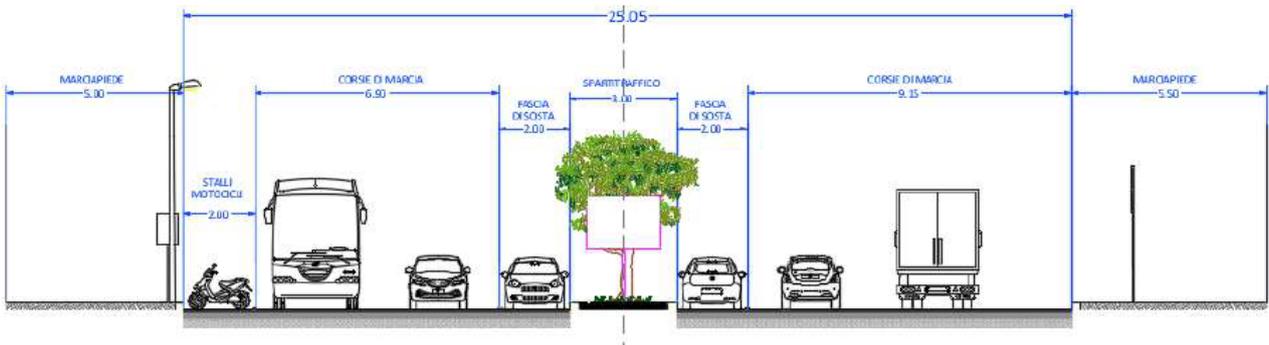


Fig. 6.26: Sezione trasversale - tronco stradale di Viale Papa Giovanni XXIII - sezione R-R'

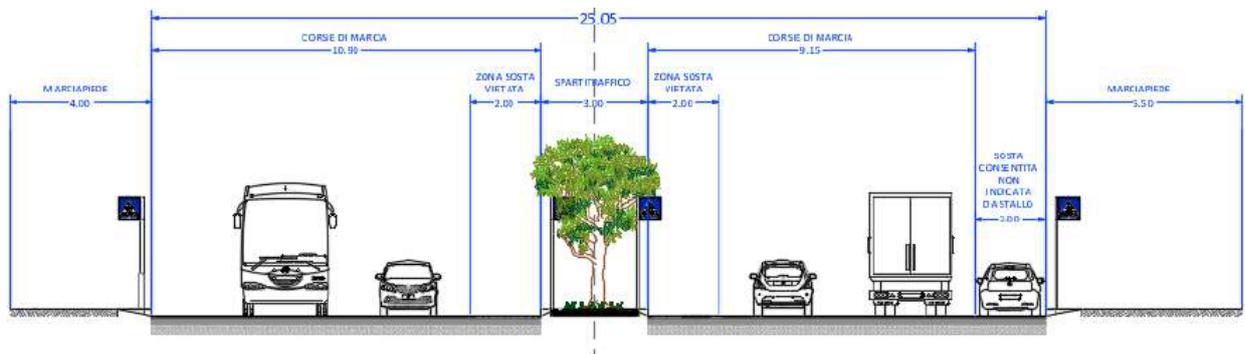


Fig. 6.27: Sezione trasversale - tronco stradale di Viale Papa Giovanni XXIII - sezione S-S'.

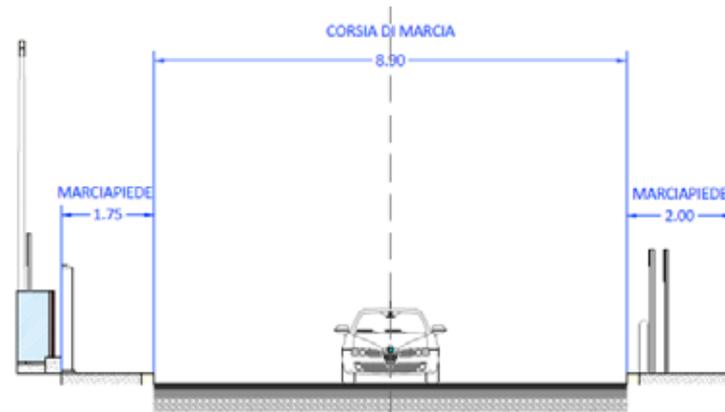


Fig. 6.28: Sezione trasversale - tronco stradale di Via Giovine - sezione T-T'.



Fig. 6.29: Sezione trasversale - intersezione IV - Viale Papa Giovanni XXIII - sezione U-U'.

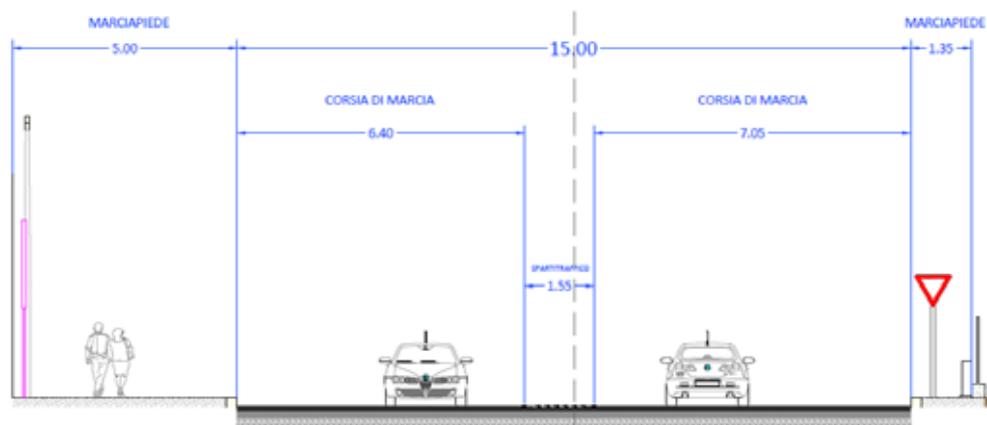


Fig. 6.30: Sezione trasversale - intersezione IV - Via Saverio Lioce - sezione V-V'.

Di seguito si passa ad esaminare ciascuna delle strade interessate dal progetto.

Viale Papa Giovanni XXIII

Basandosi sulla precedente classificazione del tronco stradale di Viale Papa Giovanni XXIII, esso ha una funzione principale: b-distribuzione (rete principale) ed una secondaria: c-penetrazione (rete secondaria). Quindi, questo tronco potrebbe essere classificato come un tronco di categoria D, cioè un tronco di strada “urbana di scorrimento” (strada urbana di transito). Comunque, qualche discrepanza sorge dal confronto con la normativa italiana di riferimento.

Tab. 6.7: Categorie stradali (nome ed ID), ambito territoriale, numero di corsie per senso di marcia, limite inferiore e superiore delle velocità di progetto. (D.M. 6792/2001³).

Tipi di strada secondo il codice	Id	Ambito territoriale	Limite di velocità	Numero di corsie per senso di marcia	Intervallo di velocità di Progetto		
					Limite inferiore (km/h)	Limite superiore (km/h)	
1	2	3	4	5	6	7	
Urbana di scorrimento	D	Urbano	Strada principale	70	2 o più	50	80
			Possibile strada di servizio	50	1 o più	25	60
Urbana di quartiere	E	Urbano	50	1 o più	40	60	

Prima di tutto, una strada D dovrebbe avere un limite di velocità pari a 70 Km/h, ma Viale Papa Giovanni XXIII ne ha uno pari a 50 Km/h.

Tab. 6.8: Categoria di strada (nome e ID), ambito territoriale, larghezza corsie, larghezza delle isole spartitraffico, larghezza delle banchine. (D.M. 6792/2001³).

Tipi di strada secondo il codice	Id	Ambito territoriale	Larghezza della corsia (m)	Larghezza dell'isola spartitraffico (m)	Larghezza della banchina in sinistra (m)	Larghezza della banchina in destra (m)	Larghezza della corsia di emergenza (m)	
1	2	3	8	9	10	11	12	
Urbana di scorrimento	D	Urbano	Strada principale	3,25	1,8	0,50	1,00	-
			Possibile strada di servizio	2,75	-	0,50	0,50	-

Ulteriori commenti possono essere fatti sulla base di comparazioni di Viale Papa Giovanni XXIII con le caratteristiche standard di una strada di categoria D: i requisiti minimi per numero di corsie (2 o più) e le larghezze degli spartitraffico sono rispettati. Comunque, in questo caso, entrambi i requisiti riguardo la corsia e la larghezza minima della banchina (sempre inferiore ai 50 cm) non sono mai rispettati. Per di più, il D.M. 6792/2001³ ha definito anche il parcheggio su strada, i pedoni, e le interazioni dei veicoli pesanti con la strada.

Tab. 6.9: Categoria di strada (nome e ID), ambito territoriale, regolazione della sosta, regolazione dei mezzi pubblici, regolazione del traffico pedonale, accessi (D.M. 6792/2001³).

Tipi di strada secondo il codice	Id	Ambito territoriale	Regolazione della sosta	Regolazione dei mezzi pubblici	Regolazione del traffico pedonale	Accessi	
1	2	3	18	19	20	21	
Urbana di scorrimento	D	Urbano	Strada principale	Ammessi in spazi separati con immissioni ed uscite concentrate	Corsia riservata e/o fermate organizzate	Su marciapiedi protetti	Esclusi
			Possibile strada di servizio	Ammessi in appositi spazi (fascia di sosta)	Piazzole di fermata	Su marciapiedi	Ammessi

Anche in questo caso i requisiti del D.M. 2001³ non sono rispettati in termini di regolazione della sosta, dei mezzi pubblici, flusso pedonale e accessi. Infatti, su Viale Papa Giovanni XXIII la sosta è consentita, il flusso pedonale sul marciapiede è senza barriere di protezione e il trasporto pubblico è promiscuo al traffico veicolare.

Quindi, la funzione della strada dovrebbe essere considerata senza dipendere rigidamente dalla geometria, dato che la maggior parte delle strade urbane sono state realizzate prima della pubblicazione delle norme, le quali, tra l'altro, non possono prevedere tutte le possibili alternative che in ambito urbano si possono presentare.

Viale Papa Giovanni XXIII è una delle strade più importanti della città di Bari ed ha acquisito sempre maggiore importanza grazie allo sviluppo sociale, demografico ed economico della città, tanto da diventare un'arteria fondamentale. Inoltre, la presenza di università, uffici, attività commerciali e scuole, causa una notevole congestione sulla strada, specialmente dovuta al pendolarismo. Alla fine di queste analisi, Viale Papa Giovanni XXIII, pur presentando caratteristiche ambigue (D/E), è stata convenzionalmente categorizzata come strada E ("urbana di quartiere"), verificando se fossero rispettati tutti i requisiti minimi normativi.

CATEGORIA E URBANE DI QUARTIERE

Soluzione a 2+2 corsie di marcia
di cui 1+1 percorsa da autobus

Principale
Vp min. 40
Vp max. 60

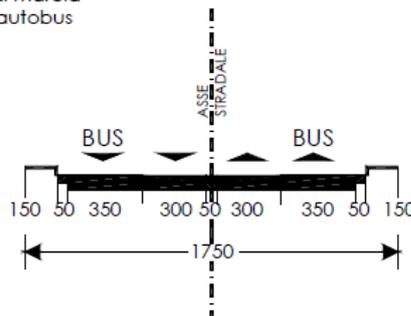


Fig. 6.31: Sezione trasversale di strade di categoria E secondo il D.M. 6792/2001³.

Tab. 6.10: Categoria di strada (nome e ID), ambito territoriale, larghezza corsie, larghezza delle isole spartitraffico, larghezza delle banchine. (D.M. 6792/2001³).

Tipi di strada secondo il codice	Id	Ambito territoriale	Larghezza della corsia (m)	Larghezza dell'isola spartitraffico (m)	Larghezza della banchina in sinistra (m)	Larghezza della banchina in destra (m)	Larghezza della corsia di emergenza (m)
1	2	3	8	9	10	11	12
Urbana di quartiere	E	Urbano	3,00	-	-	0,50	-

Viale Papa Giovanni XXIII è sprovvisto di banchine, in quanto sono presenti gli stalli di sosta laterali.

Tab. 6.11: Categoria di strada (nome e ID), ambito territoriale, regolazione della sosta, regolazione dei mezzi pubblici, regolazione del traffico pedonale, accessi (D.M. 6792/2001³).

Tipi di strada secondo il codice	Id	Ambito territoriale	Regolazione della sosta	Regolazione dei mezzi pubblici	Regolazione del traffico pedonale	Accessi
1	2	3	18	19	20	21
Urbana di quartiere	E	Urbano	Ammissa in appositi spazi (fascia di sosta)	Piazzale di fermata o eventuale corsia riservata	Su marciapiedi	Ammessi

Gli stalli di sosta laterali che sono presenti su Via Papa Giovanni XXIII sono anche consentiti dalla normativa, D.M. 6792/2001³. La stessa considerazione è valida per gli accessi.

Viale Orazio Flacco

Secondo i requisiti normativi, non solo Viale Papa Giovanni XXIII è di categoria E, ma anche Viale Orazio Flacco, in quanto rispetta tutti i requisiti tranne quello sulla larghezza delle banchine, pari a 0,25 m invece che a 0,50 m, come mostrato in tabella 6.4).

Le sezioni trasversali della strada sono mostrate di seguito.

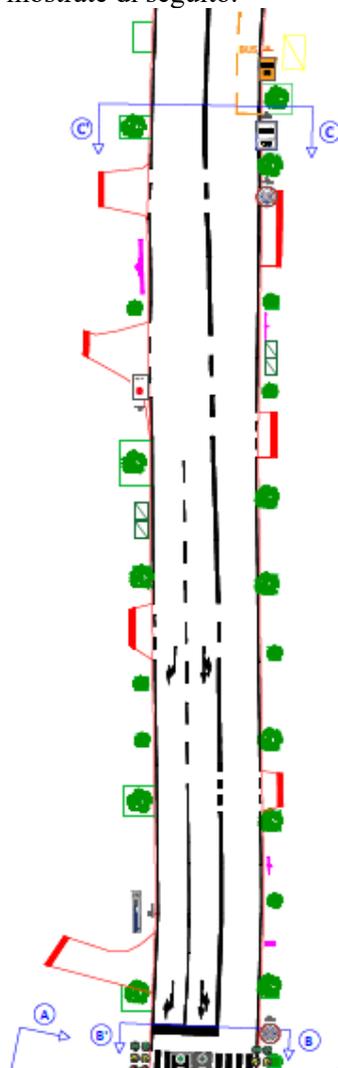


Fig. 6.32: Planimetria di Viale Orazio Flacco e relative sezioni.

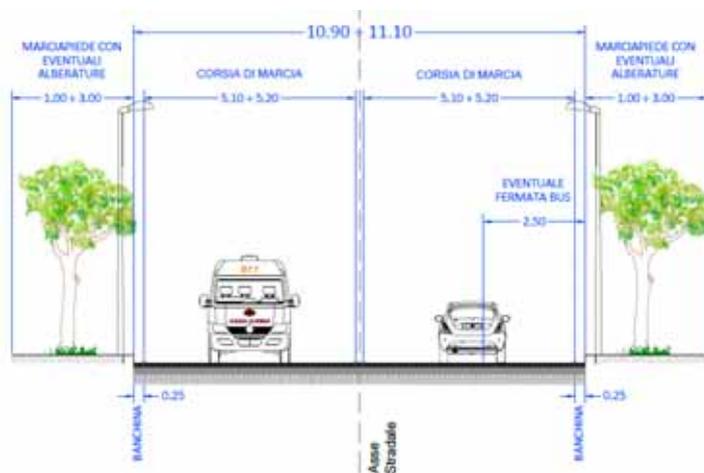


Fig. 6.33: Sezione trasversale – tronco stradale di Viale Orazio Flacco - sezione C-C'.

A causa della risicata larghezza della carreggiata, risulta impossibile implementare una corsia specializzata per corsie di bus, anche in virtù di limiti di natura fisica, come la presenza di alberi antichi e palazzi.

Via Saverio Poli

Via Saverio Poli è stata categorizzata come una strada F e le sue sezioni trasversali sono disegnate di seguito.

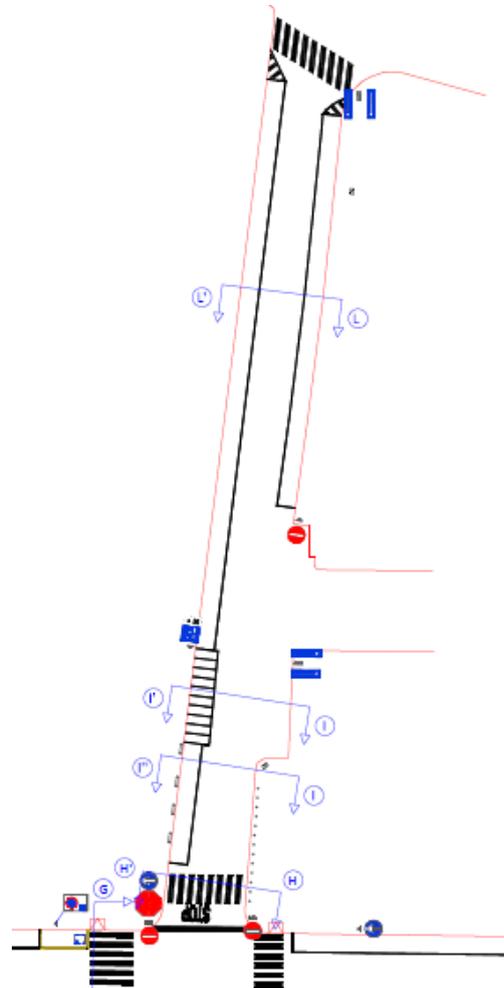


Fig. 6.34: Planimetria di Via Poli e relative sezioni.

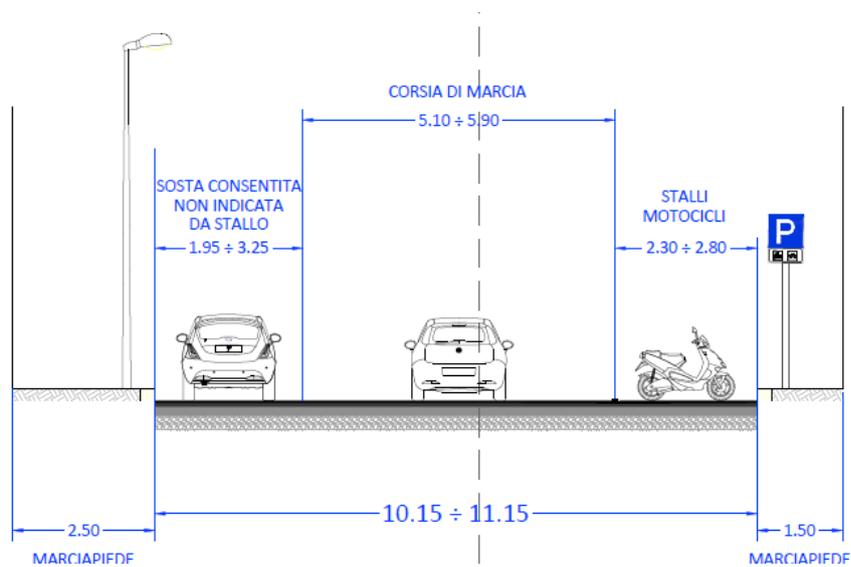


Fig. 6.35: Sezione trasversale – tronco stradale di Via Poli - sezione I-I'.

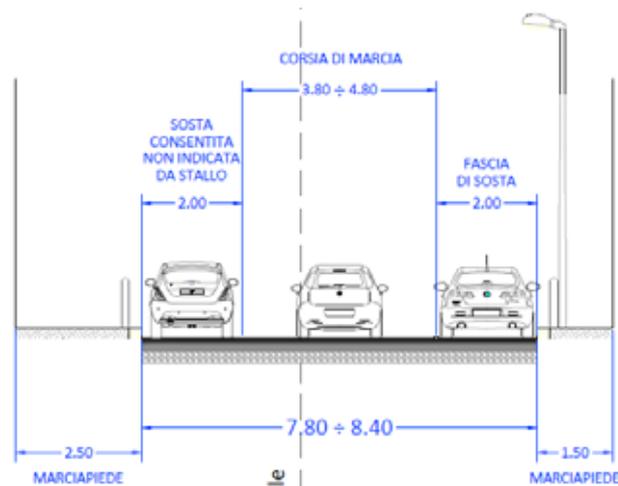


Fig. 6.36: Sezione trasversale – tronco stradale di Via Poli - sezione I-I'.

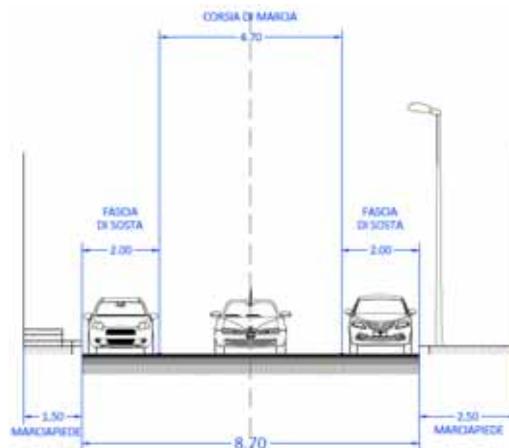


Fig. 6.37: Sezione trasversale – tronco stradale di Via Poli - sezione L-L'.

Tutti i requisiti prescritti dal D.M. 6792/2001³ per le strade di categoria F sono rispettati per Via Saverio Poli.

Tab. 6.12: Categorie stradali (nome ed ID), ambito territoriale, numero di corsie per senso di marcia, limite inferiore e superiore delle velocità di progetto. (D.M. 6792/2001³).

Tipi di strada secondo il codice	Id	Ambito territoriale	Limite di velocità	Numero di corsie per senso di marcia	Intervallo di velocità di Progetto		
					Limite inferiore (km/h)	Limite superiore (km/h)	
1	2	3	4	5	6	7	
Locale	F	Extraurbano	F1	90	1	40	100
			F2	90	1	40	100
		Urbano	50	1 o più	25	60	

Tab. 6.13: Categoria di strada (nome e ID), ambito territoriale, larghezza corsie, larghezza delle isole spartitraffico, larghezza delle banchine. (D.M. 6792/2001³).

Tipi di strada secondo il codice	Id	Ambito territoriale	Larghezza della corsia (m)	Larghezza dell'isola spartitraffico (m)	Larghezza della banchina in sinistra (m)	Larghezza della banchina in destra (m)	Larghezza della corsia di emergenza (m)	
1	2	3	8	9	10	11	12	
Locale	F	Extraurbano	F1	3,50	-	-	1,00	-
			F2	3,25	-	-	1,00	-
		Urbano	2,75	-	-	0,50	-	

Tab. 6.14: Categoria di strada (nome e ID), ambito territoriale, regolazione della sosta, regolazione dei mezzi pubblici, regolazione del traffico pedonale, accessi (D.M. 6792/2001³).

Tipi di strada secondo il codice	Id	Ambito territoriale	Regolazione della sosta	Regolazione dei mezzi pubblici	Regolazione del traffico pedonale	Accessi
1	2	3	18	19	20	21
Locale	F	Extraurbano	F1 Ammessa in piazzale di sosta	Fermate organizzate in apposite aree al fianco delle carreggiate	In banchina	Ammessi
		Urbano	F2 Ammessa in Piazzale di sosta	Piazzale di fermata	Su marciapiedi	Ammessi

Il D.M. 6792/2001³ afferma che: “nel caso di una strada a senso unico con una sola corsia, la larghezza complessiva della corsia più le banchine deve essere non inferiore a 5,50m, incrementando la corsia fino ad un massimo di 3,75 m e riportando la differenza sulla banchina in destra”.

Anche questo requisito è rispettato, nonostante a circa metà del tronco, la corsia ha una larghezza di 3,80 m con stallo di sosta sul lato (delineato da segnaletica orizzontale).

La presenza di stalli di sosta sul lato della strada sostituisce le banchine.

Via Niceforo

La stessa categoria di strada, F, è stata assegnata anche a Via Niceforo, la cui sezione trasversale è rappresentata di seguito.

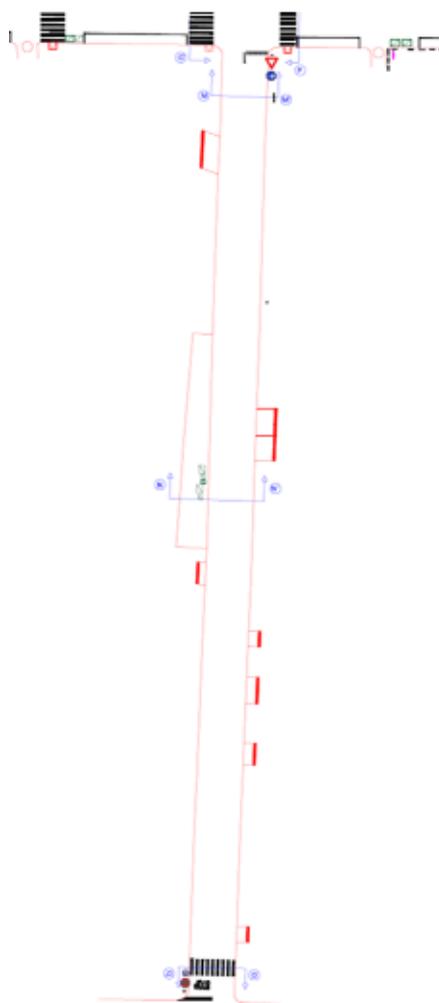


Fig. 6.38: Planimetria di Via Niceforo e relative sezioni.

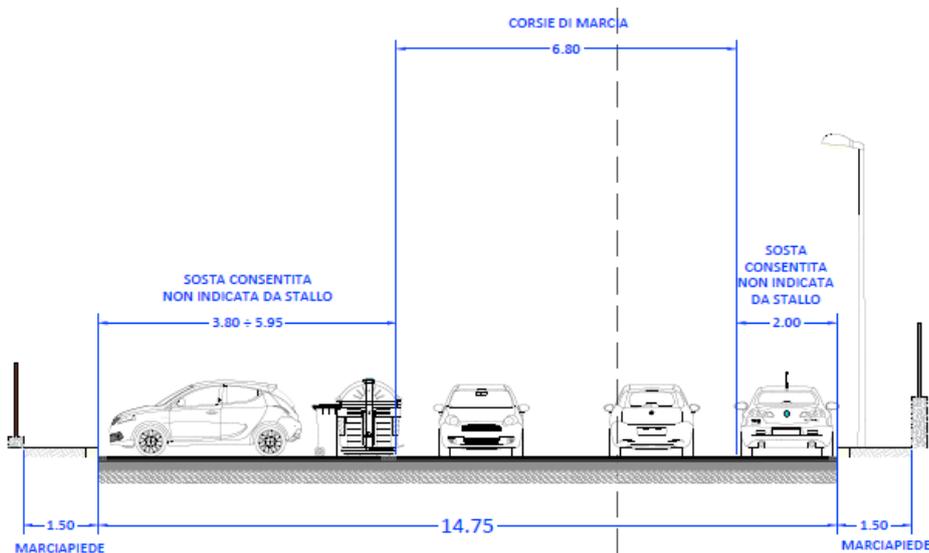


Fig. 6.39: Sezione trasversale – tronco stradale di Via Niceforo - sezione N-N'.

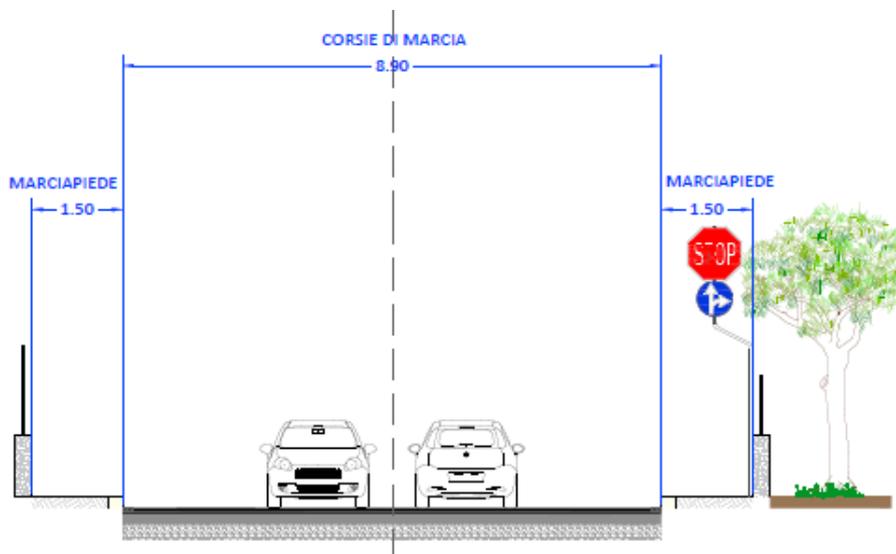


Fig. 6.40: Sezione trasversale – tronco stradale di Via Niceforo - sezione O-O'.

Anche in questo caso, Via Niceforo, rispetta le prescrizioni della normativa, eccezion fatta per la presenza degli stalli di sosta, non indicata da alcuna segnaletica, tuttavia la sosta a bordo strada è consentita.

La possibilità di sosta, però riduce la dimensione della corsia a 2,65 m (considerando la larghezza dei parcheggi pari ad 1,80 m per ogni lato, quindi 3,60 m in totale), mentre il minimo previsto dal D.M. 6792/2001³ è di 2,75 m. Le banchine sono anche assenti.

CATEGORIA F LOCALI

AMBITO URBANO

Soluzione a 2 corsie di marcia
con due file di stalli

Principale
Vp min. 25
Vp max. 60

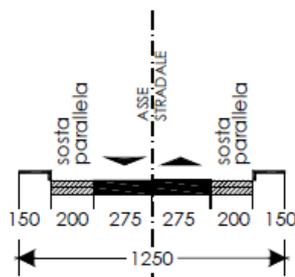


Fig. 6.41: Sezione trasversale della strada di categoria F secondo il D.M. 6792/2001³.

Via Giovene

La stessa categoria di strada, F, è stata assegnata anche a Via Giovene, le cui sezioni sono state omesse in quanto questa strada non rientra tra quelle oggetto di studio. Tuttavia, poiché tale strada ricade nell'area dell'intersezione da studiare, è opportuno procedere con una breve descrizione della sezione trasversale della strada. La strada è a singola corsia ed unico senso di marcia e presenta una carreggiata di 8,60 m per il primo tratto, tra l'intersezione con Viale Papa Giovanni XXIII e l'intersezione con Via Antonio de Ferraris. Sono presenti, ma non segnalati da segnaletica orizzontale, stalli di sosta paralleli, di larghezza pari a 2,00 m sia sul lato destro che sinistro. Dopo la prima intersezione, con Via de Ferraris, la carreggiata diventa di 10,00 m ad una corsia e quindi ad unico senso di marcia. Sui lati della careggiata sono presenti stalli di sosta paralleli non segnalati fino all'intersezione con Via Mariano Santo. Dopo questa intersezione, gli stalli di sosta sulla destra risultano segnalati, quelli sulla sinistra no. Le dimensioni degli stalli di sosta sono 2,00 m per lato, riducendo quindi la dimensione della corsia a 6,20 m. I marciapiedi sono ovunque larghi più di 1,50 m, nonostante la presenza dei pali per l'illuminazione stradale e della segnaletica verticale che ne riducono spesso le larghezze utili, quindi rispettano i minimi normativi.

Il D.M. 6792/2001³ afferma che: *“nel caso di una strada a senso unico con una sola corsia, la larghezza complessiva della corsia più le banchine deve essere non inferiore a 5,50m, incrementando la corsia fino ad un massimo di 3,75 m e riportando la differenza sulla banchina in destra”*.

Anche questo requisito è rispettato.

Via Lioce

La stessa categoria di strada, F, è stata assegnata anche a Via Lioce, le cui sezioni sono state omesse in quanto questa strada non rientra tra quelle oggetto di studio. Tuttavia, poiché tale strada ricade nell'area dell'intersezione da studiare, è opportuno procedere con una breve descrizione della sezione trasversale della strada. La strada è a doppia corsia e doppio senso di marcia e presenta una carreggiata di 8,50 m, con un restringimento a 7,50 m nel primo tratto compreso tra Viale Papa Giovanni XXIII e Via Modugno. La sede stradale è caratterizzata dalla presenza di banchina in sinistra di 0,50 m e di una fila di stalli paralleli in destra, larga 2,00 m, segnalati opportunamente dalla segnaletica orizzontale. Ogni corsia ha dimensioni di 3,00 m. I marciapiedi sono funzionali, avendo una larghezza di 1,50 m per quasi tutta l'estensione della strada. Però in alcuni casi la presenza di cabine elettriche, di pali della illuminazione stradale e di pali della segnaletica, ne riducono notevolmente lo spazio, rendendo di difficile fruizione il marciapiede stesso.

Questa strada rispetta le indicazioni del D.M. 6792/2001³ sulle strade di categoria F, urbane, ad esclusione di alcuni punti critici dei marciapiedi. Per questo motivo si può assegnare la suddetta categoria a Via Lioce.

6.6 Diagnosi

6.6.1 Ispezioni e valutazione delle condizioni di sito (D. Lgs n. 35/2011⁵)

Il Decreto Legislativo n. 35/2011 *“Linee guida per la gestione della Sicurezza delle infrastrutture stradali”*⁵ definisce il programma delle ispezioni. Le linee guida sono la trasposizione legislativa italiana delle linee guida europee *“European Directive on Safety Management”*.

Le ispezioni devono essere considerate come un intervento preventivo.

Devono decretare quali siano i tronchi anomali in termini di incidenti osservati e attesi. Infatti, l'obiettivo delle ispezioni in un sito urbano è quello di analizzare, caratterizzare e registrare le “tipiche” esperienze di un utente che si avvicina al sito in esame, a bordo o meno di veicolo. Le ispezioni, per di più, sono condotte in specifici siti, ma anche lungo tutto il tronco omogeneo, con l'intento di mettere in luce anomalie, peculiarità e problemi della strada in esame. Il decreto fornisce diversi tipi di schede di ispezione, propedeutici per differenti casi privi, però, di alcuni parametri relativi al contesto urbano. Questo è il motivo per il quale sono state prodotte nuove schede di ispezione sulla base di quelle fornite dalle Linee guida.

Queste nuove schede di ispezione tengono in considerazione nuovi parametri che possono influenzare la sicurezza in area urbana (esempi in tab. 6.15 e 6.16).

⁵ Decreto ministeriale n. 137 del 2 Maggio 2012, *Linee guida per la gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali ai sensi dell'art. 8 del decreto legislativo 15 marzo 2011, n. 35.*

Le ispezioni sui tronchi omogenei sono condotte in entrambe le direzioni, sia sul lato destro che sinistro per ciascun senso di marcia, con un passo di 50-100 m (in base al caso specifico) così da scandagliare nel dettaglio tutte le problematiche del tronco. Per quanto riguarda le intersezioni, invece, ciascuna intersezione è stata divisa in quattro o cinque quadranti (a seconda che l'intersezione sia a 3 o 4 bracci), costituiti dalla zona centrale e dalle differenti porzioni di tronco appartenenti all'intersezione stessa (come mostrato nelle figure seguenti).

Il centro del quadrante è la porzione dell'intersezione delimitata dai tronchi convergenti.

La linea di confine dell'area centrale è convenzionalmente scelta come la linea di arresto dei tronchi o come il punto più lontano dell'attraversamento pedonale dal centro dell'intersezione. Dove questi due elementi della segnaletica orizzontale sono assenti, il quadrante centrale dell'intersezione è l'area delimitata dalla linea di confine dell'intersezione, che può essere convenzionalmente scelta come la linea ideale posta a 5 metri dal ciglio. Le intersezioni in esame, suddivise in quadranti, sono mostrate di seguito.



Fig. 6.42: Quadranti dell'intersezione I. L'area è divisa in 5 quadranti: Sud; Est; Nord; Ovest; Centro (fonte della foto: Google Earth).

Le schede di ispezione che sono state utilizzate fanno affidamento su macro-indicatori come la strada, la segnaletica, la pavimentazione stradale, gli accessi e l'illuminazione. Ma per ciascuna di queste macro-categorie ci sono delle sotto-categorie; ad esempio per la segnaletica ci sono segnaletica verticale ed orizzontale, visibilità del segnale, presenza o meno di semafori. Per tutte le schede di ispezione è indicata in maniera prioritaria la presenza o l'assenza degli elementi elencati e poi, se presenti, viene assegnato un giudizio come di seguito:

- se il problema è inesistente, la casella rimane bianca;
- se il problema è mediamente significativo, la casella è colorata di giallo;
- se il problema è grave, la casella è colorata di rosso.

Le schede di ispezione sono state compilate sia di giorno che di notte, per definire una completa interpretazione delle problematiche riscontrate dagli utenti. È stato indicato sia il giorno che l'ora dell'ispezione.



Fig. 6.43: Quadranti dell'intersezione II e III. L'area è divisa in quadranti: Sud; Est; Nord; Ovest; Centro (fonte della foto: Google Earth).



Fig. 6.44: Quadranti dell'intersezione IV. L'area è divisa in 5 quadranti: Sud; Est; Nord; Ovest; Centro (fonte della foto: Google Earth).

Tab. 6.15: Esempio di scheda di ispezione di Viale Papa Giovanni XXIII, da Intersezione I ad Intersezione IV (direzione verso Intersezione IV) - parte 1.

Modalità di ispezione		Giorno	Notte	Data	Orario di inizio				Orario di fine				
1ª ispezione				21/05/2018	16:06				17:46				
2ª ispezione				11/06/2018	20:45				22:06				
					Lato sinistro				Lato destro				
Macro-voce	Voce	Parametro	Indicatore	Gi*	0,10	0,20	0,30	0,40	0,10	0,20	0,30	0,40	
Sede stradale	Banchina laterale	Assente o larghezza insufficiente	M										
			G										
		Restringimento in corrispondenza di spazi ad alta attrattività pedonali	M										
			G										
	Corsia/e di marcia	Larghezza insufficiente	M										
			G										
		Inadeguatezza organizzazione con la restante circolazione	M										
			G										
	Corsia specializzata	Larghezza insufficiente	M										
			G										
		Inadeguatezza organizzazione con la restante circolazione	M										
			G										
	Corsia riservata	Larghezza insufficiente	M										
			G										
		Inadeguatezza organizzazione con la restante circolazione	M										
			G										
	Piazzaforte	Fermate trasporto pubblico	Inadeguatezza dimensioni	M									
				G									
		Localizzazione	M										
			G										
	Discontinuità con percorsi pedonali	M											
		G											
	Spartitraffico	Assenza		M									
				G									
		Effetti negative sulla visibilità	M										
			G										
	Inadeguatezza organizzazione spazi	M											
		G											
	Fascia di sosta laterale	Inadeguatezza organizzazione spazi		M									
				G									
Inadeguatezza del coordinamento con gli altri utenti della strada		M											
		G											
Itinerario ciclopedonale	Larghezza sezione		M										
			G										
	Manutenzione della pavimentazione	M											
		G											
Presenza di ostacoli	M												
	G												
Separazione dei flussi	M												
	G												
Margine	Marciapiedi	Altezza inadeguata	M										
			G										
		Presenza di ostacoli	M										
			G										
	Inadeguatezza uso per persone con disabilità	M							✓				
		G								✓			
	Larghezza insufficiente	M											
		G											
Stato della pavimentazione	M							✓	✓				
	G												
Tipo di pavimentazione	M				✓	✓							
	G												

*Giudizio espresso: M = problematiche rilevate di livello medio; G = problematiche rilevate di livello grave.

Tab. 6.16: Esempio di scheda di ispezione per Viale Papa Giovanni XXIII, da Intersezione I ad Intersezione IV - parte 2.

Macro-voce	Voce	Parametro	Indicatore	Gi*	Lato sinistro				Lato destro				
					0,1	0,2	0,3	0,4	0,1	0,2	0,3	0,4	
Segnaletica	Segnaletica orizzontale	Visibilità strisce di margine	Insufficiente retroriflettenza	M									
			S										
		Visibilità strisce di demarcazione corsie	Insufficiente retroriflettenza	M									
			S										
			Inadeguatezza in riferimento alla possibilità di svolta	M									
			S										
		Visibilità segnaletica di preselezione	Insufficienza visibilità margine corsie	M									
			S										
			Insufficiente visibilità frecce direzionali	M									
			S										
		Attraversamenti pedonali	Insufficiente visibilità	M									
			S										
	Assenza		M										
	S												
	Attraversamenti ciclabili	Insufficiente visibilità	M										
		S											
		Assenza	M										
		S											
	Segnaletica verticale	Segnali di pericolo/prescrizione/indicazione	Insufficiente visibilità	M									
			S										
			Inadeguatezza leggibilità	M									
			S										
			Insufficienza leggibilità	M									
			S										
Lanterne semaforiche		Interferenza con ostacoli	M										
		S											
		Inadeguatezza regolamentazione fasi	M										
		S											
		Inadeguatezza localizzazione	M										
		S											
Segnali luminosi	Assenza	M											
		S											
		Manutenzione insufficiente	M										
	S												
	Segnali di pericolo/prescrizione	Manutenzione insufficiente	M										
		S											
Pannelli a messaggio variabile		Insufficienza intelligibilità (messaggi poco chiari)	M										
S													
Accessi	Accessi privati	Localizzazione	Inadeguatezza	M									
			S										
		Visibilità	Inadeguatezza	M					✓				
				S						✓			
Pavimentazione	Strato di usura	Deformazioni (fessurazione, ormaie)	Presenza	M									
			S										
		Drenaggio	Manutenzione insufficiente	M									
			S										
	Aderenza	Inadeguatezza	M										
		S											
	Cordoli	Discontinuità	Inadeguatezza	M									
			S										
	Rotaie tram	Discontinuità	Inadeguatezza	M									
			S										
Giunti, chiusini e caditoie	Dislivello	Inadeguatezza	M										
		S											
		Discontinuità (longitudinale/trasversale)	M										
S													

*Giudizio espresso: M = problematiche rilevate di livello medio; G = problematiche rilevate di livello grave.

Altre sottovoci non presenti in questo esempio sono: illuminazione (indicatori: diffusa o puntuale in ambiente stradale e alle intersezioni o in corrispondenza degli attraversamenti pedonali e ciclabili, se presente o inadeguata o non correttamente mantenuta) ed altri aspetti (indicatori: servizi e attività pubbliche come la sosta o le fermate del trasporto pubblico o gli attraversamenti pedonali; occupazione suolo pubblico; traffic-calming, come chicanes/restringimenti della carreggiata, intersezioni rialzate, mini rotoatorie; pannelli pubblicitari, sia sui tronchi che alle intersezioni; altri sistemi di sicurezza, come rilevatori di velocità, rallentatori o dossi; sempre valutando la loro eventuale inadeguatezza).

6.6.1.1 Descrizione delle problematiche riscontrate

Viale Papa Giovanni XXIII mostra danni alla pavimentazione e inefficienza dei marciapiedi nei confronti delle persone con disabilità (ad esempio, l'assenza di rampe).

Non ci sono strisce pedonali sulla strada secondaria all'intersezione con Via Papa Bonifacio IX così come non ci sono segnali verticali indicanti l'attraversamento pedonale su Viale Papa Giovanni XXIII.

In prossimità della svolta a sinistra, prossima all'Intersezione 1, è possibile notare la presenza di ammaloramenti della pavimentazione che implicano una ridotta visibilità della segnaletica orizzontale (la freccia di svolta indicante le manovre possibili).



Fig. 6.45: Ammaloramento della pavimentazione in corrispondenza della svolta a sinistra su Viale Papa Giovanni XXIII, prima dell'intersezione con Viale O. Flacco.

Ulteriori problemi su questo tronco sono correlati alla presenza di accessi, che molto spesso non sono ben visibili a causa di parcheggi non legali che ostruiscono la visibilità.

In aggiunta, lo spartitraffico è caratterizzato dalla continua presenza di pannelli pubblicitari (ogni 8,00 m) che possono indurre distrazione nell'utente. In aggiunta questi pannelli sono caratterizzati da un'altezza non consona al passaggio dei pedoni, nonostante lo spartitraffico non sia una zona pedonale. Un rifacimento della pavimentazione stradale e della segnaletica sia orizzontale che verticale, per rendere chiari gli obblighi, i divieti e le prescrizioni, risulta necessaria, da questa prima fase diagnostica.

Viale Orazio Flacco presenta una banchina di insufficiente larghezza (come descritto precedentemente in relazione alle sezioni trasversali) e per di più spesso è ostruita dalla presenza di radici, che possono essere molto pericolose per la sicurezza.



Fig. 6.46: Presenza delle radici sulla banchina di Viale Orazio Flacco (vicino all'intersezione con Via Storelli).

In aggiunta, la presenza di alberi rende complesso il transito per persone disabili sul marciapiede, in quanto induce alcuni restringimenti che sono difficilmente superabili. La mobilità pedonale inoltre subisce problemi dovuti alla pavimentazione ammalorata dei marciapiedi.



Fig. 6.47: Chiusino alla fermata di bus.

In corrispondenza della corsia di preselezione dell'intersezione con Viale Papa Giovanni XXIII, ci sono alcune buche, radici e ormaie. Su questo tronco, l'area riservata ai bus non ha alcuno spazio riservato, dato che il bus sosta sulla corsia di marcia. Non ci sono attraversamenti pedonali alla fermata degli autobus e questa assenza può portare ad una situazione pericolosa per gli utenti che devono attraversare la strada dopo essere scesi dal mezzo di trasporto pubblico. In aggiunta c'è un chiusino sporgente (figura 6.47) che vicino alla fermata dei bus può causare qualche problema. Anche in questo caso, la diagnosi eseguita in sito, mette in luce la necessità di rifacimento della pavimentazione stradale (almeno del manto di usura e del binder) e della pavimentazione del marciapiede, così da poter permettere un regolare transito di veicoli e pedoni. Inoltre, risulterebbe necessario intervenire anche sull'alberatura, o impiantando nuovi alberi oppure gestendo quelli attualmente presenti in maniera tale che non intralcino il regolare sviluppo delle pavimentazioni.

Via Niceforo, così come gli altri tronchi della rete stradale, non ha banchina perché ha gli stalli di sosta consentiti ai lati della strada, anche se gli stalli non sono disegnati. Inoltre, dovrebbe essere notato che, come detto precedentemente, Via Niceforo ha una strada la cui larghezza è leggermente inferiore rispetto a quella minima richiesta per le strade di categoria F (2,75 metri). Anche in questo caso, i marciapiedi non sono a norma per persone con disabilità perché mancano le rampe e la presenza di accessi lungo la loro estensione mina notevolmente la regolarità degli stessi. La pavimentazione del marciapiede è anche caratterizzata dalla presenza puntuale di sterpaglia. La pavimentazione stradale è caratterizzata da piccole ormaie in prossimità dell'intersezione III, mentre il resto del tronco mostra ammaloramenti a causa della presenza di radici di alberi in adiacenza alla strada. Infine, è necessario delimitare l'area usata per i cassonetti dei rifiuti urbani per evitare spostamenti illegali di

questi in modo tale da ricavare nuovi parcheggi, forzando la presenza parziale di una porzione di cassonetti sulla corsia. Si rende quindi necessario il rifacimento delle pavimentazioni stradali e del marciapiede con interventi puntuali anche considerando le problematiche di accessibilità per i disabili. I marciapiedi, quindi, dovrebbero essere modificati con l'aggiunta di rampe. Per quanto riguarda invece gli stalli di sosta, andrebbero delimitati da opportuna segnaletica orizzontale, in modo tale da regolamentare in maniera adeguata la sosta stessa.

Per quel che riguarda Via Poli, è possibile mettere in luce la non adeguatezza del marciapiede per persone con disabilità, in quanto sul lato sinistro il rialzo del marciapiede è molto elevato. Inoltre, l'intera strada non è provvista di rampe e la pavimentazione è caratterizzata da ammaloramenti.



Fig. 6.48: Cassetti della spazzatura fuori dalla loro posizione naturale, invadendo la corsia.



Fig. 6.49: Rialzo del marciapiede in Via Poli

Lungo il tronco ci sono altri ammaloramenti diffusi.

Gli stessi interventi proposti per Via Niceforo sembrano essere applicabili anche per il tronco di Via Poli, a seguito della ispezione in sito.

La prima intersezione descritta è quella tra Viale Papa Giovanni XXIII, Viale Orazio Flacco, Viale Cotugno e Viale Pio XII che è stata denominata, per semplicità, come Intersezione I.

L'intersezione I, è caratterizzata da una mancanza di banchina, un problema connesso probabilmente al recente rifacimento del manto di usura.

La visibilità non è sempre garantita: ci sono ostacoli come il gabbiotto della polizia municipale, nel quadrante sud ed un palo sull'isola spartitraffico (quadrante Ovest).

L'assenza di rampe rende, anche in questa circostanza, i marciapiedi impraticabili per persone con disabilità. La pavimentazione dei marciapiedi non è in condizioni ottimali a causa di buche e deformazioni. Il quadrante Nord dell'intersezione è completamente sprovvisto di segnaletica verticale di "dare precedenza". In alcuni casi, invece, i segnali sono poco visibili perché coperti dai rami di alberi.

Lo stato della pavimentazione stradale, come può essere notato per l'intera intersezione, è discreto in quanto il manto di usura è stato recentemente rifatto, tranne che per i quadranti Nord e Sud, in cui la presenza di ormaie e buche è quantomai evidente, come in figura 6.50.



Fig. 6.50: Deformazioni della pavimentazione nel quadrante Nord.

Nei quadranti Est, Sud e Centro ci sono dei chiusini e dei giunti sopraelevati, con discontinuità nel manto

stradale. Anche in questo caso il rifacimento della pavimentazione stradale e della segnaletica sembra un intervento adeguato almeno per risolvere i problemi di intelligibilità dell'intersezione, così come il rifacimento della pavimentazione dei marciapiedi potrebbe contribuire a rendere più regolare la pedonalità. Per risolvere le problematiche connesse alla visibilità si riterrebbe opportuno un intervento sulla vegetazione, potando i rami o sostituendo gli alberi presenti con altri che arrechino meno disturbo alla visibilità e un riposizionamento del gabbiotto della Polizia Municipale. Altrimenti si potrebbe optare per interventi di moderazione della velocità che alterino e riducano il triangolo di visibilità, facendo in modo che esso sia sgombro da ostacoli.

L'intersezione tra Viale Papa Giovanni XXIII e Via Poli (chiamata intersezione II per semplicità) è sprovvista di rampe per disabili nel quadrante Nord (Via Poli).

In aggiunta, i marciapiedi a Nord sono caratterizzati da una larghezza di 1.5 m, che non è sufficiente per la presenza di pali e attività commerciali con vetrine che inducono i pedoni alla sosta e quindi a ridurre lo spazio a disposizione per il transito pedonale. La pavimentazione realizzata con mattonelle presenta in alcuni punti alcuni dissesti; inoltre, in corrispondenza dello spartitraffico la pavimentazione è in conglomerato bituminoso.

Il segnale di Stop nel quadrante Nord non è molto visibile a causa della presenza di cattive condizioni della pavimentazione. Il quadrante Nord inoltre è caratterizzato dalla presenza di sbiaditi attraversamenti pedonali e assenza di segnaletica verticale di preavviso della presenza delle strisce pedonali. Sia nel quadrante Est che Ovest, non sono presenti i segnali verticali per attraversamenti pedonali. Nel quadrante Nord le cattive condizioni stradali e la presenza di lavori riducono la visibilità della segnaletica. La parte restante dell'intersezione è in buone condizioni: la pavimentazione è stata recentemente rifatta su Viale Papa Giovanni XXIII.

Giunti e chiusini determinano un leggero dislivello nel quadrante Nord e centrale. Nel quadrante Sud dell'intersezione tra Viale Papa Giovanni XXIII e Via Niceforo (definite come l'intersezione III), non vi sono rampe per disabili. Nei quadranti Est e Ovest della stessa intersezione i marciapiedi (nonostante abbiano una larghezza adeguata) sono tuttavia caratterizzati da qualche piastrella instabile, che può arrecare problemi ai passanti. Nel quadrante Sud ci sono instabilità e buche dovute alla rimozione di alcune piastrelle. Lo spartitraffico è realizzato in conglomerato bituminoso. Gli attraversamenti pedonali nei quadranti Est e Ovest non sono appropriatamente indicati dalla segnaletica verticale, mentre nel quadrante Sud sia la segnaletica verticale che orizzontale è completamente assente. La pavimentazione è caratterizzata da ormaie e buche nel quadrante Sud. Negli altri quadranti la pavimentazione è stata recentemente rifatta. Le intersezioni II e III potrebbero essere migliorate, con un rifacimento della pavimentazione stradale e dei marciapiedi, con l'aggiunta di rampe per disabili e con il rifacimento della segnaletica verticale ed orizzontale.

L'intersezione tra Viale Papa Giovanni XXIII, Via Lioce e Via Giovene (indicata come Intersezione IV) ha banchine parzialmente assenti nel quadrante Sud. Le isole spartitraffico a raso nel quadrante centrale non sono propriamente adeguate alla regolazione delle manovre, in quanto lasciano libertà al conducente di muoversi in maniera caotica all'intersezione. I marciapiedi hanno altezze non adeguate nei quadranti Nord ed Est. Inoltre nella porzione del marciapiede che ricade nel quadrante centrale c'è un palo che funge da ostacolo (palo sprovvisto di alcun pannello, forse rimosso). Per l'intera intersezione, tranne che per il quadrante Ovest, c'è una situazione problematica per i disabili perché mancano le rampe (Nord e Sud) e la pavimentazione è danneggiata.

La larghezza del marciapiede vicino al gabbiotto è inadeguata perché la distanza tra il gabbiotto ed il bordo del marciapiede è inferiore ad 1,50 m, il minimo valore accettato dal D.M. 6792/2001³. Il marciapiede nel quadrante Sud è largo 1,50 m, ma è parzialmente ostruito da pali, cabine telefoniche e una centralina elettrica.

La superficie del marciapiede vicino ai quadranti Nord, Sud e Ovest è caratterizzata da qualche irregolarità. Nella porzione del marciapiede che ricade nei quadranti Est e Centro ci sono irregolarità, buche e parti tagliate di pali che escono dal marciapiede e possono essere molto pericolose.

Inoltre, il marciapiede è fatto di conglomerato bituminoso nel quadrante Centro e Sud, mentre nel quadrante Ovest ci sono porzioni di massetto cementizio. Nonostante gli attraversamenti pedonali siano poco visibili sia nel quadrante Nord che Sud, gli attraversamenti non sono segnalati.

La pavimentazione rifatta recentemente è in buone condizioni (anche su Viale Papa Giovanni XXIII), fatta eccezione per la presenza di alcune ormaie e buche concentrate nel quadrante Nord (non rifatto ancora). Solo nel quadrante Est è apprezzabile una differenza di quota tra i giunti ed i chiusini ed il livello della pavimentazione. La presenza della segnaletica orizzontale per gli stalli di sosta deve essere valutata con attenzione, perché nei quadranti Est ed Ovest (Via Lioce), dove non ci sono, si segnalano parcheggi irregolari. Infine, l'area delimitata dalla segnaletica orizzontale per posizionare i cassonetti dei rifiuti urbani è presente, ma spesso i cassonetti sono ugualmente spostati dalla loro posizione.

Gli interventi più immediati per la risoluzione delle problematiche connesse all'intersezione IV, a seguito di una fase di ispezione in sito, sono gli stessi esposti per le altre tre intersezioni.

6.6.1.2 Sistema di illuminazione della rete stradale

Le ispezioni notturne (11/06/2018 alle 10:00 p.m. circa) mostrano che l'intera rete analizzata è correttamente illuminata da un sistema di illuminazione diffusa lungo i tronchi e puntuale alle intersezioni.

Comunque ci sono problemi di manutenzioni relative al malfunzionamento di alcune lampade in Viale Papa Giovanni XXIII e Viale Orazio Flacco (nei pressi della fermata del bus), sui quali si dovrebbe intervenire per apportare migliorie, almeno nel breve termine.



Fig. 6.51: Illuminazione, stato di fatto su Viale Papa Giovanni XXIII.



Fig. 6.52: Illuminazione, stato di fatto su Viale Orazio Flacco.

6.6.2 Controlli di visibilità

La visibilità alle intersezioni è un requisito fondamentale. Per ciascun utente, in termini di sicurezza, per garantire il funzionamento regolare di un'intersezione a raso, è necessario definire le manovre dei flussi veicolari convergenti nel nodo e dividere i flussi in flussi principali e secondari.

È necessario che le intersezioni siano organizzate in maniera tale che la visibilità sia sempre garantita così che i conducenti possano vedere la presenza di ostacoli o altri veicoli nella loro traiettoria e possano reagire immediatamente selezionando il tipo di manovra da eseguire. Per raggiungere questo obiettivo, cioè avere un'area sgombra da ostacoli, si definisce il triangolo di visibilità (figura 6.53). Il triangolo di visibilità si costruisce ipotizzando due veicoli transitanti su due direzioni differenti, ma che si riescono a individuare l'un l'altro. Le dimensioni del triangolo di visibilità dipendono dalle velocità di marcia sul tronco principale e secondario. Pertanto si stabilisce il potenziale punto di collisione, posto all'intersezione delle traiettorie dei due veicoli, affinché si possano correttamente vedere ad un'appropriata distanza, come indicato in figura 6.53. D_{P1} e D_{P2} sono rispettivamente le distanze dal potenziale punto di collisione per il veicolo transitante sul tronco principale e sul tronco secondario.

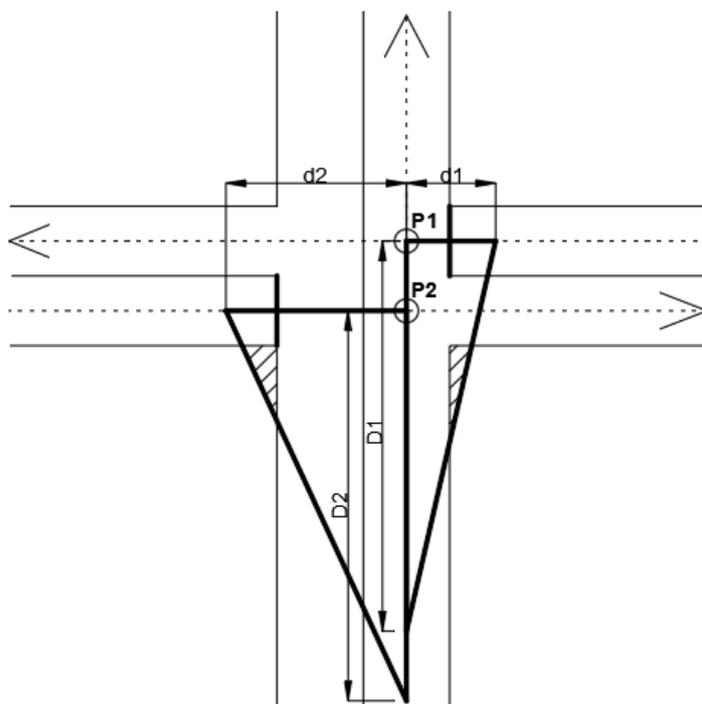


Fig. 6.53: Esempio di costruzione di triangoli visibilità rispetto a due punti di conflitto in intersezione.

La lunghezza del lato lungo del triangolo è chiamata distanza di visibilità principale ed è indicata con la D ed è calcolata tramite il prodotto della velocità v e del tempo t , dove:

- v è la velocità di riferimento espressa in [m/s], uguale al valore della velocità caratteristica di progetto della sezione o del limite di velocità (se presente);
- t è il tempo di manovra, espresso in [s], tra l'istante di ingresso del veicolo nell'area di visibilità dell'intersezione e la fine della manovra nel potenziale punto di collisione. Per manovre governate dal segnale di dare precedenza è pari a 12 s, per manovre regolate dal segnale di Stop è pari a 6 s.

La lunghezza del lato corto del triangolo (d) dipende dalla regolazione segnaletica dell'intersezione:

- nel caso di dare precedenza: il lato corto del triangolo di visibilità è commisurato ad una distanza di 20 m, considerata a partire dal tronco principale;
- nel caso di presenza del segnale di stop, il lato corto è commisurato ad una distanza di 3 m, considerata a partire dalla linea d'arresto.

Nel caso in esame l'unica intersezione semaforizzata è la Intersezione I, cioè l'intersezione tra Viale Papa Giovanni XXIII, Viale Orazio Flacco, Viale Cotugno e Viale Pio XII; invece l'Intersezione II, tra Viale Papa Giovanni XXIII e Via Poli, è regolata dal segnale di Stop; le Intersezione III, tra Viale Papa Giovanni XXIII e Via Niceforo, e IV, tra Viale Papa Giovanni XXIII e Via Lioce, sono regolate dal segnale di Dare precedenza.

Un'attenta analisi degli incidenti suggerisce il bisogno di definire il triangolo di visibilità anche per le

intersezioni regolate da semafori, perché molto incidenti sono avvenuti durante le ore in cui il semaforo era disattivato, vale a dire tra le 11:00 p.m. e le 7:00 a.m.

Il segnale che regola l'intersezione I quando il semaforo è spento è quello di Dare precedenza. Sono stati considerati i seguenti valori:

- velocità di progetto uguale a 50 Km/h (cioè 13,89 m/s);
- segnale di dare precedenza, il tempo (t) è uguale a 12 s, con il lato corto della visibilità pari a 20,00 m dalla strada principale;
- segnale di stop, il tempo (t) è uguale a 6 s, con il lato corto del triangolo di visibilità uguale a 3 m dalla linea di arresto;
- il lato lungo del triangolo di visibilità è dato dalle equazioni:

$$D = v \times t = 13,89 \text{ m/s} \times 12 \text{ s} = 166,67 \text{ m} \text{ in caso di dare precedenza} \quad (\text{Eq. 6-4})$$

$$D = v \times t = 13,89 \text{ m/s} \times 6 \text{ s} = 83,34 \text{ m} \text{ in caso di stop} \quad (\text{Eq. 6-5})$$

- Viale Papa Giovanni XXIII è la strada principale sia dal punto di vista geometrico che funzionale, se comparata con le altre strade entranti nell'intersezione.

Le seguenti figure mostrano i triangoli di visibilità disegnati per le quattro intersezioni investigate.

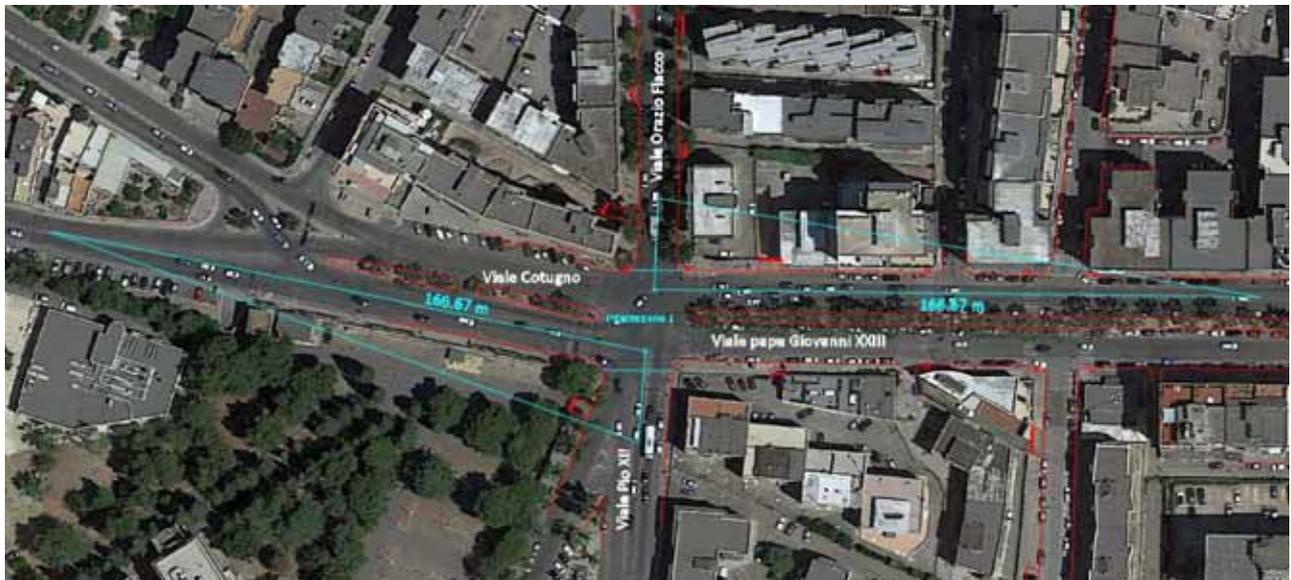


Fig. 6.54: Intersezione I, triangolo di visibilità (fonte della foto: Google Earth).



Fig. 6.55: Intersezione II, triangolo di visibilità (fonte della foto: Google Earth).



Fig. 6.56: Intersezione III, triangolo di visibilità (fonte della foto: Google Earth).



Fig. 6.57: Intersezione IV, triangoli di visibilità (fonte della foto: Google Earth).

In particolare, la distanza di visibilità dell'Intersezione IV, in corrispondenza dell'isola spartitraffico è stata anche determinata per i veicoli provenienti da Via Lioce che attraversano la prima zona di conflitto con Viale Papa Giovanni XXIII, e poi occupano l'intersezione. Anche se in questo caso c'è il segnale di dare precedenza, il veicolo è ipotizzato che arrivi in prossimità dell'intersezione con una velocità inferiore rispetto a quella che ha alla fine di Via Lioce, motivo per il quale il lato corto del triangolo di visibilità è stato impostato a 3,00 m dal segnale di arresto (differentemente da quello che accade usualmente in presenza del segnale di Dare precedenza). La risoluzione delle problematiche relative alle verifiche di visibilità potrebbe essere condotta tramite l'introduzione di rotatorie al posto di intersezioni a 3 o a 4 bracci, come contromisura a lungo termine. Infatti, la rotatoria richiede un diverso approccio per quanto riguarda la verifica di visuale libera secondo quanto prescritto dal D.M. 2006⁴.

6.6.3 Analisi dei dati di traffico e della localizzazione degli incidenti

La parte fondamentale della diagnosi è certamente lo studio dei dati relativi agli incidenti che sono accaduti in passato, divisi secondo tipologia, severità, condizioni ambientali e localizzazione. I dati di incidentalità usati in questo progetto sono desunti dal database ASSET-ISTAT, disponibile grazie al coinvolgimento del Comune di Bari. In base a questi, è stato possibile trovare informazioni sugli incidenti avvenuti nell'area sotto indagine, nel periodo tra il 2012 ed il 2016.

La severità degli incidenti può essere diversa per ogni incidente.

La severità degli incidenti si individua secondo la scala KABCO, che definisce 5 livelli di severità, una per ciascuna lettera dell'acronimo (K lesione mortale, A lesione invalidante, B lesione non invalidante, C possibile lesione e O danni alle sole proprietà). Nei dati ISTAT sono riportati i sinistri che generano esclusivamente i danni alle persone e non quelli di tipo O che determinano esclusivamente danni alle proprietà e in conclusione la severità presa in considerazione è la severità KABC della scala KABCO.

Un'analisi attenta dei dati può permettere di identificare le possibili cause relative al periodo del giorno, condizioni meteo o comportamento del conducente. Per studiare gli incidenti avvenuti sui differenti tronchi, è stato quindi usato il database fornito dal Comune di Bari. Per interpretare correttamente il database è stata necessaria la legenda fornita da ASSET-ISTAT. I primi dati sono relativi alla localizzazione degli incidenti ottenuti tramite:

- latitudine (Y) e longitudine (X), coordinate;
- informazione sulla localizzazione specifica degli incidenti, dividendoli in base al fatto che siano avvenuti:
 - in intersezione: incrocio, rotonda, intersezione segnalata, intersezione con semaforo o vigile, intersezione non segnalata e passaggio a livello;
 - non in intersezione: rettilineo, curva, dossi o strettoie, pendenza e galleria illuminata.
- indicazione dell'intersezione delle vie, e di alcuni casi anche del numero civico.

Dopo aver localizzato tutti gli incidenti, quelli non ricadenti nell'area di studio non sono stati considerati. Da questa procedura, un totale di 37 incidenti è stato riscontrato nell'area di studio. Tuttavia, ci sono stati particolari casi in cui una più attenta analisi della dinamica di incidentalità è stata necessaria per definire univocamente la localizzazione. Una volta che gli incidenti sono stati localizzati, è stata compilata una tabella riassuntiva, includendo i dati forniti da ASSET-ISTAT, come indicato di seguito:

- localizzazione, specificando la localizzazione "macro" e "specifico".

In dettaglio, la localizzazione "macro" è stata divisa in:

- tronco;
- intersezione semaforizzata a 4 bracci;
- intersezione semaforizzata a 3 bracci;
- intersezione non semaforizzata a 3 bracci;

La localizzazione "specifico" identifica:

- l'indicazione delle intersezioni interessate dall'incidente;
- le vie con in alcuni casi le indicazioni dei numeri civici per i sinistri avvenuti nei tronchi;

- l'informazione temporale quali ora e data;
 - il giorno della settimana, indicando se è un giorno della settimana o del weekend/festivo. Da notare che l'indicazione sul weekend è stata usata per quegli incidenti avvenuti tra le 11:00 p.m. del venerdì alle 6:00 a.m. del lunedì;
 - il periodo del giorno, identificando quattro finestre temporali: mattina (6:00 a.m. - 12:00 p.m.), pomeriggio (12:00 p.m.-6:00 p.m.), sera (6:00 p.m.-12:00 a.m.) e notte (0:00 a.m. - 6:00 a.m.)
- condizioni di traffico tipo, la cui informazione è stata ottenuta usando la funzione di traffico tipo implementabile in Google Maps®. Questa funzione dipende dal giorno della settimana e dal momento del giorno, fornendo le condizioni di traffico tipo. Basandosi sui differenti colori della funzione descritta sopra, sono state definite quattro categorie: scorrevole, medio, elevato e congestionato. I valori di traffico sono stati rilevati tra le 6:00 a.m. e le 10:00 p.m. Qualora i dati di traffico non fossero stati disponibili perché non appartenenti alla finestra temporale, l'ID "Dati non disponibili" è stato inserito in tabella. In aggiunta, ci sono stati casi di traffico tipo non disponibile per alcune strade, seppur durante la fascia oraria 6:00 a.m.-10:00 p.m. ed anche in questo caso è stata usata la stessa dicitura "Dati non disponibili";
- il tipo di incidente, che è stato indicato con un colore differente in modo tale da distinguere in maniera intuitivo ogni tipo di incidente:
 - investimento pedonale (PC);
 - collisione frontale/laterale (AC);
 - collisione laterale (SC);
 - tamponamento (RC);
 - urto con veicolo in sosta/oggetto/animale (FC);
- veicoli coinvolti, indicando il numero di veicoli coinvolti in ciascun incidente e il tipo di veicoli coinvolti e cioè autovettura, ciclomotore, motociclo, bicicletta, autobus urbano o extraurbano e veicoli di emergenza (polizia, ambulanza, ecc.);
- presunte circostanze di incidentalità, indicando la consequenzialità degli eventi, la responsabilità del conducente e le possibili cause di incidentalità;
- condizioni meteo, indicando se l'evento incidentale è avvenuto con cielo sereno, nuvoloso, in condizioni di pioggia o altre condizioni;
- condizioni della pavimentazione, indicando se l'evento sia avvenuto in condizioni di asfalto bagnato o asciutto;
- numero di feriti e morti.

Un esempio di queste informazioni è riportato in tabella 6.17. I dati incidentali sono stati propriamente analizzati estrapolando informazioni statistiche utili per analizzare il problema ricorrente dell'area investigata, I dati sono stati riportati in tabella 6.18.

Tab. 6.17: Esempi di informazioni estrapolate dai dati di incidentalità.

ID	Localizzazione Macro		Stagione	Giorno	Momento del giorno		Tipo di incidente	N. di veicoli coinvolti	Veicoli coinvolti	Circostanze dell' incidente (desunte dal dataset)	Condizioni meteo	Condizioni pavimentazione stradale	Feriti	Morti
1	T	I	WD	M	PC	1		M		Attraversamento irregolare del pedone	S	D	1	0
2	T	P	WD	M	RC	2		Q/VP		Veicolo B viaggia con guida distratta o comportamenti poco sicuri	S	D	1	0
3	T	P	FR	PM	RC	3		VP/VP/VP		Distanza ridotta dal veicolo A	S	A	1	0
4	T	A	FR	S	PC	1		M		Attraversamento irregolare del pedone	AT	B	1	0
5	T	E	WE	PM	FC	1		VP		Veicolo A viaggia con guida distratta o con comportamenti poco sicuri	S	A	1	0
6	T	A	FR	M	SC	3		VP/M/VP		Veicolo B viaggia ad elevate velocità	AT	A	1	0
7	T	A	FR	PM	AC	2		VP/M		Veicolo B viaggia con guida distratta o comportamenti poco sicuri	S	A	1	0
8	T	I	FR	M	AC	2		M/VP		Veicolo B non rispetta il segnale di Stop	PG	B	1	0
9	T	P	FR	PM	RC	2		VP/M		Veicolo B non rispetta il segnale di Stop	S	A	1	0
10	T	A	FR	M	AC	2		M/VP		Veicolo B viaggia ad elevate velocità	S	A	1	0
11	T	A	FR	S	AC	2		MP/MP		Veicolo B viaggia con guida distratta o comportamenti poco sicuri	S	A	1	0
12	I4BS	I	FR	S	AC	2		VP/VP		Veicolo B sterza in maniera irregolare	S	A	1	0
13	I4BS	I	WE	M	AC	2		VP/VP		Veicolo B non rispetta la precedenza	S	A	2	0
14	I4BS	I	FR	PM	SC	2		VP/VP		Veicolo B sterza in maniera irregolare	AT	A	1	0

Localizzazione Macro: T: Tronco; I4BS: Intersezione a 4 bracci semaforizzata (specifica localizzazione disponibile)

Stagione = A: Autunno; I: Inverno; P: Primavera; E: Estate.

Momento del giorno = M: Mattina; PM: Pomeriggio; S: Sera; N: Notte.

Giorno = FR: Feriale, giorno lavorativo; WE: Weekend; FS: Giorno festivo.

Condizioni meteo = S: Sereno; AT: Altro; PG: Pioggia

Condizioni della pavimentazione stradale = A: Asciutto, B: bagnato.

Veicoli coinvolti: VP: Veicolo Privato; M: Motociclo a solo; Mp: Motociclo con passeggero; Cm: Ciclomotore; B: Bicicletta; VE: Veicolo di emergenza o veicolo della Polizia; Q: Quadriciclo; Bf: Bus o "Filobus".

Tab. 6.18: Tabella riassuntiva dell'analisi dettagliata dei dati incidentali - parte 1.

<i>Variabile</i>	<i>N. di incidenti</i>	<i>%</i>
<i>Localizzazione "Macro"</i>		
Intersezione a 3 bracci	1	2,7
Intersezione semaforizzata a 4 bracci	18	48,7
Intersezione a 4 bracci	7	18,9
Tronco	11	29,7
<i>Localizzazione specifica</i>		
Viale Papa Giovanni XXIII	7	18,9
Viale Orazio Flacco	2	5,4
Via Niceforo	2	5,4
Int. Flacco/GV XXIII/Pio XII	18	48,6
Int. GV XXIII/Poli	1	2,7
Int. GV XXIII/Lioce/Giovene	7	18,9
<i>Stagione</i>		
Inverno	13	35,1
Primavera	5	13,5
Estate	9	24,3
Autunno	10	27,0
<i>Tipo di giorno</i>		
Giorno feriale	31	83,8
Weekend	4	10,8
Giorno festivo	2	5,4
<i>Tipo di incidente</i>		
Investimento pedonale	6	16,2
Collisione frontale/laterale	7	18,9
Tamponamento	8	21,6
Collisione laterale	15	40,5
Urto con veicolo in sosta/oggetto/animale	1	2,7
<i>Circostanze dell'incidente</i>		
Attraversamento irregolare del pedone	2	5,4
Non rispetto del segnale di dare precedenza	1-2	4,0
Pedone colpito da un veicolo	2	5,4
Veicolo in manovra	2	5,4
Non rispetto della distanza di sicurezza	4	10,8
Guida distratta o comportamento poco sicuro	6	16,2
Circostanze non precise	1	2,7
Non rispetto del segnale di Stop	6	16,2
Alta velocità	4-5	12,2
Non rispetto del semaforo o delle indicazioni della polizia	3	8,1
Svolta irregolare	3	8,1
Sorpasso alle intersezioni	1	2,7
Sorpasso irregolare di un veicolo fermo da parte di un pedone	1	2,7
<i>Condizioni della pavimentazione</i>		
Asciutto	33	89,2
Bagnato	4	10,8
<i>Condizioni meteo</i>		
Sereno	30	81,1
Pioggia	2	5,4
Neve	0	0,0
Altro	5	13,5
<i>Periodo del giorno</i>		
Mattina (06:00 am - 12:00 pm)	14	37,8
Pomeriggio (12:00 pm - 06:00 pm)	12	32,4
Sera (06:00 pm - 12:00 am)	10	27,0
Notte (12:00 am - 06:00 am)	1	2,7
<i>Conseguenze</i>		
Morti	0	0,0
Feriti	51	1,4

Tab. 6.19: Tabella riassuntiva dell'analisi dettagliata dei dati incidentali - parte 2.

Variabile	N. di incidenti	%
<i>Veicolo in incidente con singolo veicolo</i>		
Veicolo privata	4	57,14
Motociclo	2	28,57
Ciclomotore	1	14,29
<i>Veicolo in incidente tra due veicoli</i>		
Veicolo privato	1	3,85
Veicolo privato/motociclo	9	34,62
2 motocicli con passeggeri	1	3,85
2 veicoli privati	8	30,77
Veicolo privato/bicicletta	2	7,69
Bus o filobus/Veicolo privato	1	3,85
Veicolo privato /Veicolo di emergenza	1	3,85
Veicolo privato/Ciclomotore	3	11,54
<i>Veicolo in incidente tra tre veicoli</i>		
3 Veicoli privati	2	50,00
2 Veicoli privati ed 1 motociclo	2	50,00

Secondo l'analisi di incidentalità, il 49% degli incidenti è localizzato all'intersezione I (cioè l'intersezione tra Viale Papa Giovanni XXIII, Viale Orazio Flacco, Viale Cotugno e Viale Pio XII), il 30% degli incidenti è localizzato sul tronco (di cui il 19% sul tronco di Viale Papa Giovanni XXIII, l'11% restante bipartito in modo uguale, cioè 5,5%, sul tronco di Viale Orazio Flacco e sul tronco di Via Niceforo), mentre il 19% degli incidenti è avvenuto all'intersezione IV (cioè l'intersezione tra Viale Papa Giovanni XXIII, Via Lioce e Via Giovene).

Basandosi su questi dati, è possibile stabilire come effettivamente la maggior parte degli incidenti sia avvenuta all'intersezione I, che è un'intersezione a 4 bracci semaforizzata. Soltanto 2 dei 18 incidenti avvenuti in questa intersezione sono accaduti quando il semaforo era spento o lampeggiante.

Gli incidenti in inverno sono prevalenti (35%), mentre in estate e autunno la percentuale di incidenti è prossima al 25%, in entrambe le stagioni, riducendosi a meno del 15% in estate. La maggior parte degli incidenti sembra esserci durante i giorni settimanali lavorativi (84%). Per questa ragione, potrebbe essere fatta l'assunzione che gli utenti coinvolti negli incidenti siano utenti abituali della strada analizzata.

Per quanto riguarda il momento del giorno: il 38% degli incidenti avviene nella mattina, il 32% nel pomeriggio, il 27% durante la sera e solo il 3% di notte. È quindi possibile definire un momento del giorno in cui gli incidenti sono più concentrati.

Comunque, la maggior parte degli incidenti è avvenuta in condizioni di traffico "medio", da quanto emerge dall'analisi effettuata online su Google Maps® (57%). Il 27% degli incidenti avviene con traffico elevato od intenso; il 3% degli incidenti avviene con traffico scorrevole. Per tutti gli altri incidenti (13%), invece, le indicazioni sul traffico non sono disponibili. (sempre in base all'output di Google Maps®).

Per quel che riguarda le condizioni meteo, l'81% degli incidenti avviene con cielo sereno e solo il 5% con pioggia (non si hanno dati meteo per il restante 14% degli incidenti). Questo mostra che la maggior parte degli incidenti avviene con le condizioni meteo migliori e solo una piccola percentuale durante il verificarsi di condizioni meteo avverse.

La pavimentazione, infatti, è risultata asciutta nell'89% dei casi, e bagnata nel restante 11%.

Guardando al tipo di incidente, il 41% degli incidenti è avvenuto per collisione laterale, il 22% per collisione frontale/laterale, il 19% per tamponamento ed il 16% per investimento dei pedoni. Solo un incidente è avvenuto per scontro con un veicolo fermo.

In aggiunta, per il 16% degli incidenti la principale causa era la distrazione o un comportamento di guida incerto e poco sicuro, così come il non aver rispettato il segnale di stop. Inoltre, la velocità elevata è stata la seconda causa di incidentalità (12%), mentre una carenza di distanza di sicurezza ha influito sull'11% degli incidenti. Dall'analisi di questi dati connessi al tipo e alle circostanze dell'incidentalità, può essere dedotto che gli incidenti sono stati maggiormente caratterizzati da collisioni laterali avvenute nelle intersezioni dell'area considerata. Queste collisioni possono essere molto spesso correlate ad una mancanza di adempimento alle prescrizioni della segnaletica verticale o ad una guida distratta. In questo caso, l'uso degli smartphone e delle tecnologie a bordo veicolo potrebbero avere un'incidenza elevata sul grado di distrazione dell'utente e sulla possibilità di commettere errori.

I tamponamenti invece sono generalmente causati da ridotta distanza di sicurezza o alte velocità e con adeguate contromisure potrebbero essere evitati. Gli investimenti pedonali sono anche molto importanti come conseguenze e questi sono specialmente localizzati nell'intersezione I e sul tronco di Viale papa Giovanni XXIII.

Inoltre, alla fine della tabella 6.19 è indicato il valore di 1,4 feriti per incidente e 0,0 morti per incidente come riferimenti per la severità media degli incidenti del sito.

6.6.4 Ricostruzione delle matrici di Haddon per gli incidenti

L'occorrenza di un incidente può dipendere da tanti fattori, non solo da quelli stradali, motivo per il quale Haddon⁶ (1972) proponeva l'uso di matrici per definire in maniera compiuta le varie fasi dell'incidente (pre-collisione, incidente, post-incidente) ed i possibili fattori scatenanti, implicando quelli umani, quelli veicolari e quelli ambientali (strada, segnaletica, ecc.). Questa procedura è stata riportata anche per gli incidenti avvenuti nel contesto urbano, perché molto utile anche in fase di definizione di ipotesi sulle possibili contromisure da adottare. Infatti, la possibilità di avere in maniera sintetica i dati sui fattori che hanno causato l'incidente porta ad avere più chiare le possibili contromisure e/o interventi per mitigare la situazione critica. Di seguito sono riportate solo alcune (5) delle 37 matrici di Haddon sviluppate per gli incidenti rilevati nell'area di indagine, per motivi di semplicità; tutte le altre matrici omesse sono sviluppate come quelle mostrate e la procedura a valle della stesura delle matrici stesse è la stessa che sarà illustrata di seguito. Le matrici di Haddon fornite sono quelle relative agli incidenti che hanno avuto maggiore severità in termine di numero di feriti e/o morti. Si presenta, di seguito a ciascuna matrice, anche l'ipotesi di contromisura da adottare in via preliminare, prima della definizione vera e propria che sarà spiegata in dettaglio nel capitolo 6.9.

Questa procedura è utile per porre l'accento sulla scelta delle contromisure relazionata specificatamente agli incidenti analizzati.

La prima matrice di Haddon proposta è quella relativa all'incidente avvenuto nell'Intersezione 1 tra Viale Papa Giovanni XXIII e Viale Orazio Flacco. Si tratta di un investimento pedonale avvenuto di mattina di un giorno feriale invernale, in condizioni meteorologiche serene, di traffico "medio" e di pavimentazione asciutta. La dinamica ricostruita dell'incidente è rappresentata da un veicolo che urtava con il carico il pedone, il quale sostava, indugiava o giocava sulla carreggiata. Il numero di feriti è 3.

Tab. 6.20: Matrice di Haddon per l'incidente avvenuto nell'Intersezione 1 tra Viale Papa Giovanni XXIII e Viale Orazio Flacco.

Periodo	Fattori umani	Fattori veicolo	Fattori strada
<i>Prima dell'incidente (cause generatrici di pericolo)</i>	Guida distratta del conducente; comportamento imprudente del pedone	Probabili problemi di tenuta del carico trasportato	Assenza di protezione per pedoni in fase di attraversamento; attraversamento pedonale continuo.
<i>Durante l'incidente (cause della severità dell'incidente)</i>	Velocità di reazione, concentrazione.	Funzionalità dei freni	Posizionamento dell'attraversamento pedonale
<i>Dopo l'incidente (fattori che influenzano l'esito dell'incidente)</i>	Età, sesso	Facilità di rimozione dei passeggeri feriti	Tempo e qualità della risposta di emergenza, cure mediche successive

In questo caso l'incidente sarebbe stato possibilmente evitato se fosse stato presente un attraversamento pedonale in due tempi, dato il grande spazio di percorrenza per i pedoni. In questa maniera, il pedone è costretto a guardare il veicolo che si approssima all'intersezione e a ragionare prima di attraversare. La posizione dell'attraversamento potrebbe essere modificata in modo tale da garantire una maggiore distanza tra la linea d'arresto dei veicoli e l'attraversamento stesso per ragioni di sicurezza anche quando il semaforo è non attivo e quindi le velocità sono maggiori e di conseguenza anche lo spazio di arresto.

La seconda matrice di Haddon proposta è quella relativa all'incidente avvenuto nell'Intersezione I tra Viale Papa Giovanni XXIII e Viale Papa Pio XII. Si tratta di uno scontro frontale-laterale avvenuto di sera di un giorno feriale estivo, in condizioni meteorologiche serene, di traffico "medio" e di pavimentazione asciutta. La dinamica ricostruita dell'incidente ha visto coinvolti due veicoli privati dei quali uno non rispettava lo stop. Il numero di feriti è 4.

⁶Haddon W. (1972), "A logical framework for categorizing highway safety phenomena and activity", *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 12(3), 193-207.

Tab. 6.21: Matrice di Haddon per l'incidente avvenuto nell'Intersezione I tra Viale Papa Pio XII e Viale Papa Giovanni XXIII.

Periodo	Fattori umani	Fattori veicolo	Fattori strada
<i>Prima dell'incidente (cause generatrici di pericolo)</i>	Guida distratta ed imprudente	Probabile spazio cieco dovuto ai montanti del veicolo	Ridotta visibilità all'intersezione; ridotta visibilità della segnaletica; malfunzionamento dei semafori nelle ore serali; ridotta illuminazione stradale
<i>Durante l'incidente (cause della severità dell'incidente)</i>	Velocità di reazione, concentrazione, abilità nella guida per manovre di evasione.	Funzionalità dei freni, airbag, qualità della carrozzeria, tenuta delle cinture di sicurezza	Visibilità del segnale di stop (segnaletica orizzontale e verticale)
<i>Dopo l'incidente (fattori che influenzano l'esito dell'incidente)</i>	Età, sesso	Facilità di rimozione dei passeggeri feriti, ridondanza dei sistemi di assistenza alla guida.	Tempo e qualità della risposta di emergenza, cure mediche successive; larghezza della carreggiata adatta ad evitare incidenti secondari

Le contromisure possibili per prevenire incidenti di questo tipo prevedono sicuramente un controllo della velocità ed il rifacimento della segnaletica orizzontale e verticale di modo da renderla più visibile. Intervenire sulla visibilità all'intersezione è praticamente impossibile, per via dei vincoli costruttivi. Dunque, per prevenire problemi di questo tipo, potrebbe essere opportuna l'implementazione di una telecamera per il rilevamento della velocità, atta a ridurre i comportamenti troppo aggressivi e consentire un minor tempo di arresto.

La terza matrice di Haddon proposta è quella relativa all'incidente avvenuto nell'Intersezione I tra Viale Orazio Flacco e Viale Domenico Cotugno. Si tratta di uno scontro frontale-laterale avvenuto nella sera di un giorno del weekend invernale, in condizioni metereologiche serene, di traffico non noto e di pavimentazione asciutta. La dinamica ricostruita dell'incidente ha visto coinvolti due veicoli privati dei quali uno sorpassava all'intersezione in fase di svolta. Il numero di feriti è 3.

Tab. 6.22: Matrice di Haddon per l'incidente avvenuto nell'Intersezione I tra Viale Orazio Flacco e Viale Domenico Cotugno.

Periodo	Fattori umani	Fattori veicolo	Fattori strada
<i>Prima dell'incidente (cause generatrici di pericolo)</i>	Guida distratta ed imprudente; non rispetto delle regole del Codice della Strada, elevato budget di rischio	Probabile assenza di sistemi di assistenza alla guida.	Dimensioni carreggiata elevate da permettere manovre non coerenti con le prescrizioni della segnaletica; segnaletica stradale poco intellegibile; probabile cattivo coordinamento dei cicli semaforici
<i>Durante l'incidente (cause della severità dell'incidente)</i>	Velocità di reazione, prudenza; concentrazione, abilità nella guida per manovre di evasione.	Funzionalità dei freni, airbag, qualità della carrozzeria, tenuta delle cinture di sicurezza, risposta del volante	Visibilità della segnaletica alle corsie di preselezione
<i>Dopo l'incidente (fattori che influenzano l'esito dell'incidente)</i>	Età, sesso	Facilità di rimozione dei passeggeri feriti, ridondanza dei sistemi di assistenza alla guida.	Tempo e qualità della risposta di emergenza, cure mediche successive; larghezza della carreggiata adatta ad evitare incidenti secondari

Soluzioni sul breve periodo sarebbero quelle di diversificare i cicli semaforici per svolta a sinistra e prosecuzione dritta in maniera tale che le corsie di preselezione al semaforo siano rispettate. Inoltre, evitare che il ciclo di verde di Viale Orazio Flacco per la traiettoria dritta, parta immediatamente dopo la fine del ciclo verde per la svolta a sinistra dei veicoli provenienti da Viale Domenico Cotugno consentirebbe di smaltire il flusso veicolare di quei veicoli che hanno occupato l'intersezione nella transizione da luce gialla a luce rossa del semaforo di Viale Domenico Cotugno per l'immissione su Viale Orazio Flacco. Così si eviterebbero quelle situazioni di conflitto tra chi sta per impegnare l'incrocio e chi ancora non l'ha abbandonato perché ancora in transito. Una contromisura sul lungo termine per risolvere l'incidentalità e ridurre i punti di conflitto sarebbe la modifica dell'intersezione a 4 bracci semaforizzata in un'intersezione a rotatoria. Questa soluzione consentirebbe una separazione dei flussi riducendo i punti di conflitto, nonché una disposizione più ordinata dei flussi veicolari.

La quarta matrice di Haddon proposta è quella relativa all'incidente avvenuto nell'Intersezione I tra Viale Orazio Flacco e Viale Papa Giovanni XXIII. Si tratta di un tamponamento avvenuto nella mattina di un giorno

feriale autunnale, in condizioni meteo non precisate, di traffico elevate e di pavimentazione bagnata. La dinamica dell'incidente ha visto coinvolti due veicoli privati, dei quali uno non rispettava la distanza di sicurezza. Il numero di feriti è 3.

Tab. 6.23: Matrice di Haddon per l'incidente avvenuto nell'Intersezione I tra Viale Orazio Flacco e Viale Papa Giovanni XXIII.

Periodo	Fattori umani	Fattori veicolo	Fattori strada
<i>Prima dell'incidente (cause generatrici di pericolo)</i>	Guida distratta ed imprudente; non rispetto delle regole del Codice della Strada, elevato budget di rischio	Probabile malfunzionamento o assenza dei sistemi di assistenza alla guida.	Ridotte dimensioni della carreggiata; ridotto ciclo di verde del semaforo all'intersezione; inadeguate dimensioni della carreggiata per il traffico transitante all'intersezione.
<i>Durante l'incidente (cause della severità dell'incidente)</i>	Velocità di reazione, prudenza; concentrazione.	Funzionalità dei freni, airbag, qualità della carrozzeria e dei paraurti, funzionalità dei sistemi di assistenza alla guida	Ridotta aderenza per via del manto stradale bagnato.
<i>Dopo l'incidente (fattori che influenzano l'esito dell'incidente)</i>	Età, sesso	Facilità di rimozione dei passeggeri feriti, ridondanza dei sistemi di assistenza alla guida.	Tempo e qualità della risposta di emergenza, cure mediche successive; larghezza della carreggiata adatta ad evitare incidenti secondari.

In condizioni di traffico elevato, gli utenti sono preoccupati dall'attesa ai semafori e potrebbero essere più evidenti comportamenti più aggressivi e meno rispettosi delle regole, compresa la distanza di sicurezza. Una soluzione nel breve termine potrebbe essere quella di riorganizzare i cicli semaforici, in maniera tale da ridurre l'attesa, almeno nelle ore di punta. Una soluzione sul lungo termine è quella di sostituire l'intersezione a 4 bracci semaforizzata con un'intersezione a rotatoria. In questo modo si potrebbe ridurre il problema dell'attesa e quindi della connessa aggressività. Sul breve termine si può intervenire anche sullo strato di usura della pavimentazione stradale, che andrebbe sostituito in quanto molto ammalorato, per migliorare l'aderenza in condizioni di pavimentazione bagnata.

La quinta matrice di Haddon proposta è quella relativa all'incidente avvenuto nell'Intersezione IV tra Viale Papa Giovanni XXIII e Via Giovene. Si tratta di un investimento pedonale avvenuto di sera di un giorno feriale autunnale, in condizioni meteo serene, di traffico elevate e di pavimentazione asciutta. La dinamica dell'incidente ha visto coinvolti un ciclomotore ed un pedone. Secondo la ricostruzione, il veicolo manovrava mentre il pedone attraversava la strada ad un passaggio pedonale non protetto da semaforo o agente. Il numero di feriti è 3.

Tab. 6.24: Matrice di Haddon per l'incidente avvenuto nell'Intersezione IV.

Periodo	Fattori umani	Fattori veicolo	Fattori strada
<i>Prima dell'incidente (cause generatrici di pericolo)</i>	Guida distratta	Probabile ridotta visibilità garantita dagli specchietti retrovisori	Mancanza di semaforo all'intersezione.
<i>Durante l'incidente (cause della severità dell'incidente)</i>	Velocità di reazione, prudenza; concentrazione.	Funzionalità dei freni, stabilità.	Visibilità dell'attraversamento pedonale, dimensioni careggiata.
<i>Dopo l'incidente (fattori che influenzano l'esito dell'incidente)</i>	Età, sesso	Facilità di rimozione dei passeggeri feriti, ridondanza dei sistemi di assistenza alla guida.	Tempo e qualità della risposta di emergenza, cure mediche successive; larghezza della carreggiata adatta ad evitare incidenti secondari

Le problematiche che emergono dall'analisi di questa intersezione sono l'assenza di una armonica regolazione semaforica, una notevole presenza di punti di conflitto e la ridotta visibilità (anche per via della sosta irregolare di molti veicoli all'intersezione), specialmente per i veicoli che svoltano a destra su Via Giovene da Viale Papa Giovanni XXIII. Una soluzione sul breve termine potrebbe prevedere l'implementazione di attraversamenti pedonali ad alta visibilità, garantendo così priorità al pedone e maggiore sicurezza. Per una soluzione a lungo termine, la riorganizzazione dell'intera intersezione con un'intersezione a rotatoria pare essere la soluzione più adeguata a risolvere le tre problematiche relative alle condizioni esterne, come evidenziato.

Le ipotesi avanzate per la mitigazione dell'incidentalità necessitano comunque di una conferma tramite l'applicazione di un approccio olistico che si slegi dal solo empirismo legato alle osservazioni dirette e deduzioni connesse. Infatti, grazie all'utilizzo e allo studio dei CMF per le soluzioni ipotizzate si può poi valutare l'effettiva

fattibilità di una o più contromisure in un contesto simile a quello studiato, così poi da permettere una scelta oculata delle contromisure. Infatti, lo scopo ultimo è quello di selezionare le contromisure più efficaci anche in termini di costi-benefici. Implementare contromisure che potenzialmente possono essere benefiche, ma che dallo studio dei CMF risultano poco efficaci, o addirittura controproducenti, in contesti analoghi, sarebbe infatti un errore a livello progettuale.

6.6.5 Frequenza e tasso di incidentalità

Conoscendo il numero di incidenti avvenuti nell'area di indagine, cioè 37, si possono calcolare due misure fondamentali per la sicurezza stradale: la frequenza e il tasso.

Queste misure sono riferite alle intersezioni ma anche ai tronchi singoli che entrano nelle intersezioni. Gli incidenti avvenuti nelle intersezioni sono stati contati solo come incidenti in intersezione e non collegati a ciò che avviene sul tronco di immissione nell'intersezione stessa. Gli incidenti avvenuti su quella parte di tronco facente parte dell'area di intersezione (come spiegato in precedenza con i quadranti) sono considerati ricadenti nell'intersezione per il calcolo delle misure di sicurezza.

La frequenza è definita come il numero di incidenti per unità di tempo che avvengono in un determinato sito, mentre il tasso, cioè il rapporto tra frequenza ed esposizione, corrisponde alla probabilità che, a parità di condizioni, un veicolo in marcia possa incorrere in un incidente.

Questa probabilità è data dalla frequenza media attesa di incidentalità su un tronco di data lunghezza (o in un'intersezione) diviso il numero totale di veicoli che possono essere coinvolti nell'incidente (esposizione al fenomeno). Segue che il tasso di incidentalità rappresenta il numero di incidenti che avvengono in un dato periodo di tempo (anni di osservazione), in relazione alla particolare esposizione (incidenti per milioni di veicoli sulla carreggiata). Il tasso è così dato dalla seguente formula (in cui la lunghezza è omessa nel caso di intersezione):

$$\text{Tasso di incidentalità} = \frac{N_{\text{incidenti}} \times 10^6}{\text{Anni}_{\text{osservazione}} \times \text{TGM} \times 365 \times \text{Lunghezza}} = \left[\frac{\text{Incidenti}}{\text{mln veicoli} \times \text{km}} \right] \quad (\text{Eq. 6-6})$$

Mentre la frequenza rappresenta un parametro diretto, il tasso deve essere riferito al traffico medio giornaliero (TGM) per l'intero anno. Per una intersezione, il TGM è il risultato della somma dei flussi entranti nel nodo, mentre per un generico tronco il TGM si può estrapolare dalla somma dei flussi nelle due direzioni.

In caso di carenza di dati sul volume di traffico, il TGM si può stimare sulla base delle indagini sul traffico di punta oraria, che poi si converte in TGM grazie ad alcune relazioni empiriche. I dati di partenza iniziali di solito non forniscono un volume di traffico medio giornaliero, ma il traffico di punta oraria. Partendo da questo dato e utilizzando la relazione empirica fornita da Wolshon e Pande (2016)⁷, in cui si lega il volume di veicoli agli orari di punta, è possibile poter ricavare il TGM. Basandosi su queste correlazioni empiriche, il traffico orario di punta è generalmente compreso tra il 7 ed il 12% (con un valore medio, dunque, molto vicino al 10%) per cui, in prima approssimazione, per avere il TGM basta moltiplicare il traffico orario di punta per 10.

Per ogni elemento della rete, sono state definite le seguenti equazioni:

- Tasso di incidentalità all'intersezione (Ti):

$$T_i = \frac{N_{\text{incidenti}} \times 10^6}{\text{Anni}_{\text{osservazione}} \times (\text{traffico ora di punta} \times 10) \times 365} \left[\frac{\text{incidenti}}{\text{mln veicoli}} \right] \quad (\text{Eq. 6-7})$$

- Tasso di incidentalità sul tronco (T):

$$T = \frac{N_{\text{Incidenti}} \times 10^6}{\text{Anni}_{\text{osservazione}} \times (\text{traffico ora di punta} \times 10) \times 365 \times \text{km}} \left[\frac{\text{incidenti}}{\text{mln veicoli} \times \text{km}} \right] \quad (\text{Eq. 6-8})$$

- Frequenza di incidentalità per intersezioni e tronchi (Fi, F):

$$F_i = F = \frac{N_{\text{incidenti}}}{\text{Anni}_{\text{osservazione}}} \left[\frac{\text{incidenti}}{\text{anno}} \right] \quad (\text{Eq. 6-9})$$

Nelle seguenti tabelle è possibile identificare la divisione degli incidenti per elementi della rete (incidenti su tronchi e intersezioni) e per le metriche considerate *tasso* e *frequenza di incidentalità*.

⁷ Wolshon B., Pande A. (2016), *Traffic engineering handbook*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, USA.

Tab. 6.25: Tasso e frequenza di incidentalità calcolati per gli elementi della rete.

Elementi della rete	Segmento L [km]	Flusso di picco orario	N. incidenti	T [incidenti/(mln veh x km)]	Ti [incidenti/(mln veh)]	F [incidenti/(anno x km)]	Fi [incidenti/anno]
Intersezione 1		3556	17		0,262		3,4
Viale O. Flacco	(Intero) 0,138	1535	2	0,519		2,909	
V.le Giovanni XXIII	(T1) 0,090	1492	1	0,410		2,235	
Intersezione 2		842	1		0,065		0,2
V.le Giovanni XXIII	(T1 Nord) 0,090	842	0	0,000		0,000	
V.le Giovanni XXIII	(T2 Nord) 0,113	750	3	1,947		5,331	
Via Poli	(Intero) 0,086	92	0	0,000		0,000	
Intersezione 3		758	0		0,000		0,0
V.le Giovanni XXIII	(T1 Sud) 0,090	650	1	0,942		2,235	
V.le Giovanni XXIII	(T2 Sud) 0,113	740	3	1,974		5,331	
Via Niceforo	(Intero) 0,172	126	2	5,044		2,320	
Intersezione 4		2031	7		0,189		1,4
V.le Giovanni XXIII	(T2) 0,113	1490	6	1,960		10,662	

È stato inoltre effettuato un apposito rilievo di traffico in sito.

L'orario del rilievo (durante il periodo di punta, cioè le 8:30 di mattina) è stato deciso in base alle indicazioni derivanti dal traffico tipico rilevato da Google Maps®, in maniera tale da conteggiare i veicoli effettivamente nelle condizioni di traffico elevato.

Per riferirsi ad un conteggio omogeneo dei veicoli, sono stati applicati alcuni coefficienti (desunti in questa sede da un esempio di lavoro relativo al monitoraggio del traffico⁸, ma modificabili in base alle linee guida locali) per convertire il dato promiscuo sul traffico in un traffico veicolare omogeneo equivalente (per motocicli, autobus, camion e furgoni), come mostrato nella tabella di seguito.

Tab. 6.26: Tabella coefficienti di equivalenza per la conversione del traffico in traffico omogeneo di autovetture⁸.

	Classe di lunghezza	Classificazione veicoli	Coefficienti di equivalenza
1	< 2,0 m	motociclo	0,33
2	2,0-5,0 m	autovettura	1
3	5,0-7,5m	veicolo commerciale leggero	1,50
4	7,5m-10,0m	veicolo commerciale pesante	2,50
5	10,0m-12,5m	autobus	5
6	12,5-16,5m	autoarticolato	5
7	16,5m-19,0m	autotreno	4
8	>19,0m	veicolo eccezionale	5

Il numero di veicoli è stato moltiplicato per il relativo coefficiente di equivalenza, in modo tale da ottenere una stima del traffico omogeneo composto da sole autovetture.

È stato conteggiato anche il numero di biciclette nella rete stradale, perché il flusso ciclabile può fornire indicazioni utili per la necessità di progettare un percorso ciclabile. Tuttavia tale flusso non è stato convertito in veicoli equivalenti, in quanto non motorizzato.

Il traffico equivalente è stato dunque definito in riferimento al periodo della rilevazione in sito (pari a mezz'ora durante il periodo di punta), moltiplicandolo per 2, così da considerare il traffico orario (flusso di picco) e poi moltiplicando il risultato per 10 per determinare, in prima approssimazione, il traffico giornaliero medio (TGM).

Una volta che il flusso di picco per il tronco è stato determinato, il flusso di picco all'intersezione è stato ricavato sommando i flussi di picco entranti nell'intersezione dai vari tronchi adiacenti.

La disponibilità di questi dati di traffico ha consentito la definizione delle matrici Origine - Destinazione per le diverse intersezioni.

Tutti i dati relativi al volume di traffico ricavati per i tronchi e le intersezioni sono riportati di seguito.

⁸ <https://www.provincia.brescia.it/cittadino/viabilita-e-strade/monitoraggio-del-traffico>

Tab. 6.27: Esempi di dati di traffico e matrice O-D - Intersezione I.

		Destinazione				
		A	B	C	D	
Origine	A		571	495	389	
	B	293		51	200	
	C	554	57	30 (inversione di marcia)	101	
	D	379	363	73		
		<i>Da C ad A</i>		<i>Da A a C</i>		
	<i>N. di veicoli</i>	<i>N. di veicoli equivalenti</i>	<i>N., di veicoli</i>	<i>N. di veicoli equivalenti</i>		
	Auto	515	515	Auto	453	453
	Moto	64	21,3	Moto	36	12
	Bus	0	0	Bus	0	0
	Camion	0	0	Camion	0	0
	Autoarticolato	0	0	Autoarticolato	0	0
	Furgone	12	18	Furgone	20	30
	Velocipede	4		Velocipede	0	
		554,3 → 554		495		
		<i>Da C a B</i>		<i>Da A a D</i>		
	<i>N. di veicoli</i>	<i>N. di veicoli equivalenti</i>	<i>N. di veicoli</i>	<i>N. di veicoli equivalenti</i>		
	Auto	51	51	Auto	345	345
	Moto	0	0	Moto	60	20
	Bus	0	0	Bus	0	0
	Camion	0	0	Camion	0	0
	Autoarticolato	0	0	Autoarticolato	0	0
	Furgone	4	6	Furgone	16	24
	Velocipede	4		Velocipede	4	
		57		389		
		<i>Da C a D</i>		<i>Da A a B</i>		
	<i>N. di veicoli</i>	<i>N. di veicoli equivalenti</i>	<i>N. di veicoli</i>	<i>N. di veicoli equivalenti</i>		
	Auto	85	85	Auto	508	508
	Moto	12	4	Moto	40	13,3
	Bus	4	12	Bus	8	24
	Camion	0	0	Camion	8	20
	Autoarticolato	0	0	Autoarticolato	0	0
	Furgone	0	0	Furgone	4	6
	Velocipede	0		Velocipede	0	
		101		571,3 → 571		
		<i>Da D a B</i>		<i>Da B a D</i>		
	<i>N. di veicoli</i>	<i>N. di veicoli equivalenti</i>	<i>N. di veicoli</i>	<i>N. di veicoli equivalenti</i>		
	Auto	281	281	Auto	180	180
	Moto	60	20	Moto	24	8
	Bus	12	36	Bus	0	0
	Camion	8	20	Camion	0	0
	Autoarticolato	0	0	Autoarticolato	0	0
	Furgone	4	6	Furgone	8	12
	Velocipede	4		Velocipede	16	
		363		200		
		<i>Da D a C</i>		<i>Da B a C</i>		
	<i>N. di veicoli</i>	<i>N. di veicoli equivalenti</i>	<i>N. di veicoli</i>	<i>N. di veicoli equivalenti</i>		
	Auto	66	66	Auto	51	51
	Moto	20	6,7	Moto	0	0
	Bus	0	0	Bus	0	0
	Camion	0	0	Camion	0	0
	Autoarticolato	0	0	Autoarticolato	0	0
	Furgone	0	6	Furgone	0	0
	Velocipede	4		Velocipede	12	
		72,7 → 73		51		
		<i>Da D a A</i>		<i>Da B a A</i>		
	<i>N. di veicoli</i>	<i>N. di veicoli equivalenti</i>	<i>N. di veicoli</i>	<i>N. di veicoli equivalenti</i>		
	Auto	360	360	Auto	262	262
	Moto	28	9,3	Moto	20	6,7
	Bus	0	0	Bus	4	12
	Camion	4	10	Camion	0	0
	Autoarticolato	0	0	Autoarticolato	0	0
	Furgone	0	0	Furgone	8	12
	Velocipede	0		Velocipede	8	
		379,3 → 379		292,7 → 293		

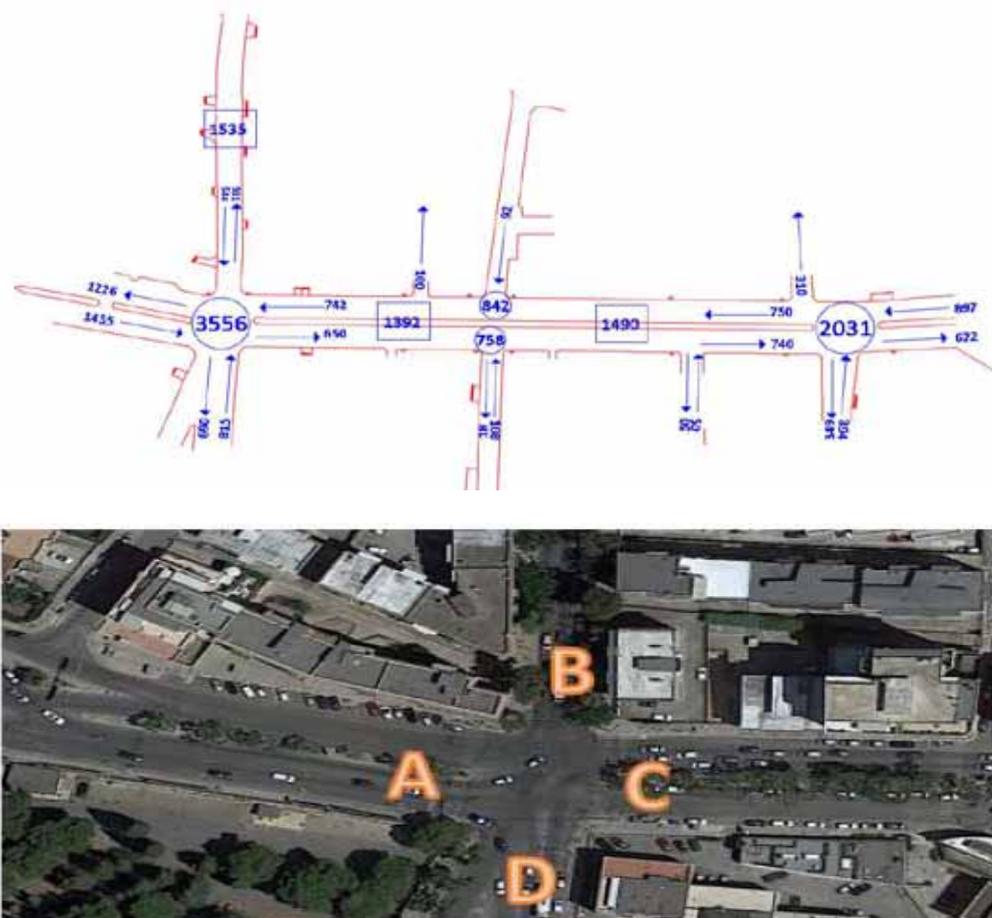


Fig. 6.58: Mappa dei flussi di traffico assegnati ai tronchi e alle intersezioni (e legenda delle direzioni usate per la matrice O/D).

6.6.6 Diagramma delle condizioni

Il diagramma delle condizioni, come indicato nell'HSM (2010)⁹, è essenzialmente un disegno 2D in cui sono evidenziati tutti i dettagli della rete stradale e che evidenzia le caratteristiche del sito che possono influire sulla sicurezza del sito. Lo scopo di questo diagramma è fornire informazioni sul sito in maniera tale che, sovrappo-
 nendolo al diagramma delle collisioni, sia possibile capire quali fattori possano avere influenzato l'evento incidentale. Il diagramma fa affidamento su un'appropriatezza simbologia usata in modo tale da rappresentare le seguenti condizioni al contorno:

- accessi privati ed intersezioni con strade secondarie, anche se non studiate in dettaglio;
- cartelloni pubblicitari;
- arredi urbani;
- illuminazione;
- pensiline per le fermate del trasporto pubblico urbano;
- chioschi di attività commerciali (come edicole, fiorai, etc.);
- cassonetti per la raccolta dei rifiuti urbani;
- cabine elettriche e sistemi di controllo e videosorveglianza (videocamere).
- paletti (infissi, curvi, etc.);
- alberi;
- rampe per persone con disabilità;
- ammaloramenti della pavimentazione stradale;

Alcuni dettagli della ricostruzione fatta sono mostrati nelle immagini di seguito (ad esempio, in blu è segnata la pavimentazione stradale in cattive condizioni come fratture locali o problemi riscontrati su una vasta area).

⁹ AASHTO (2010), *Highway Safety Manual, First Edition*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., USA.



Fig. 6.59: Dettaglio del diagramma delle condizioni - Intersezione I (fonte della foto: Google Earth).

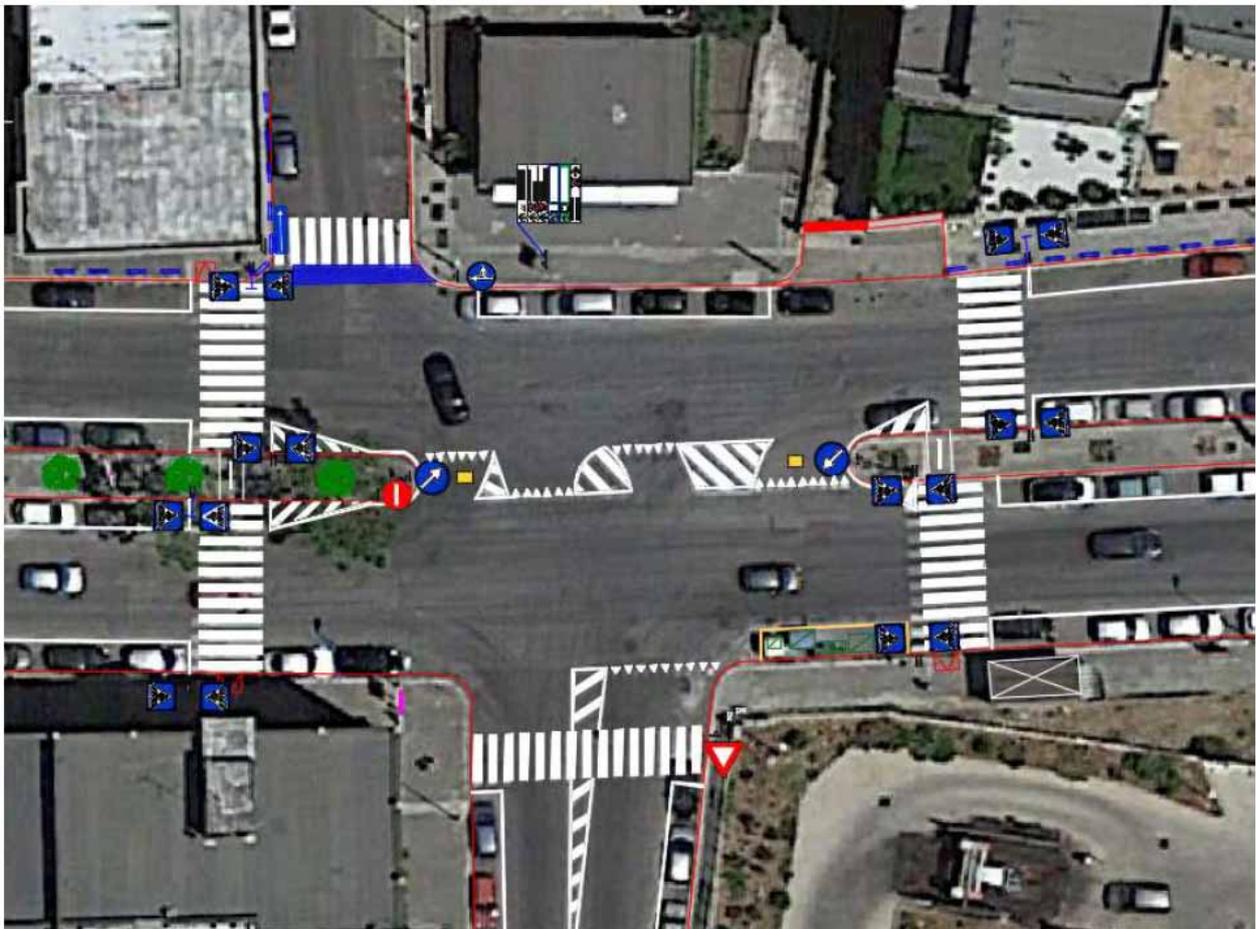


Fig. 6.60: Dettaglio del diagramma delle condizioni - Intersezione IV (fonte della foto: Google Earth).



Fig. 6.61: Dettaglio del diagramma delle condizioni - Viale Orazio Flacco (fonte della foto: Google Earth).



Fig. 6.62: Dettaglio del diagramma delle condizioni - Intersezioni II e III (fonte della foto: Google Earth).

6.6.7 Diagramma delle collisioni

Basandosi sulla localizzazione degli incidenti, come definite nel paragrafo 6.8.3, e valutando i dati presenti in tabella 6.17, che contiene le informazioni rilevanti per ogni incidente avvenuto nell'area di studio, e affidandosi alle informazioni desunte dal diagramma delle condizioni, è stato definito il diagramma delle collisioni. In alcuni casi la localizzazione iniziale degli incidenti non è stata propriamente coincidente con quanto emergeva dai dati analizzati, per cui la posizione è stata corretta approssimativamente, grazie all'ausilio dei dati a disposizione.

Per ciascun tipo di incidente è stato usato il simbolismo suggerito dall'Highway Safety Manual (HSM)⁹, come mostrato in figura 6.63. Infine, il verso delle frecce ha indicato la presunta direzione di marcia dei veicoli coinvolti nell'incidente.



Fig. 6.63: Simboli usati nel diagramma delle collisioni (come suggerito dall'HSM).

Per ciascun incidente, sono state aggiunte le seguenti caratteristiche sulla mappa:

- numero identificativo dell'incidente;
- stagione: E (estate), A (autunno), I (inverno), P (primavera);
- giorno: FR (feriale), FS (festivo), WE (Weekend);
- periodo: M (mattina), PM (pomeriggio), S (sera), N (notte);
- condizioni meteo: S (sereno), PG (pioggia), NV (neve), NB (nebbia), V (vento), AT (altro);
- condizioni della pavimentazione: A (asciutto), B (bagnato), G (ghiacciato).

Queste informazioni sono state riportate nel diagramma delle collisioni, come di seguito:

- riga superiore: Stagione - Giorno - Periodo (e.g.: E - FR - M);
- riga inferiore: Condizioni meteo - Condizioni pavimentazione (e.g.: S - A).

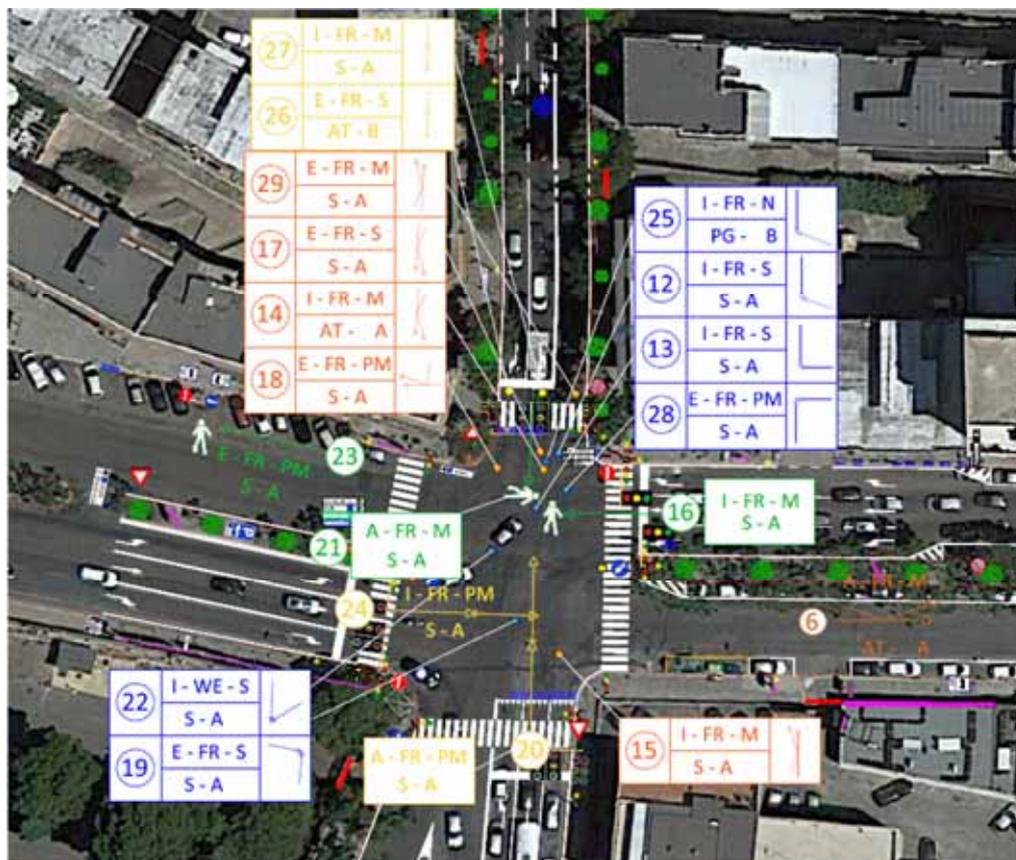


Fig. 6.64: Dettaglio del diagramma delle collisioni - Intersezione I (fonte della foto: Google Earth).

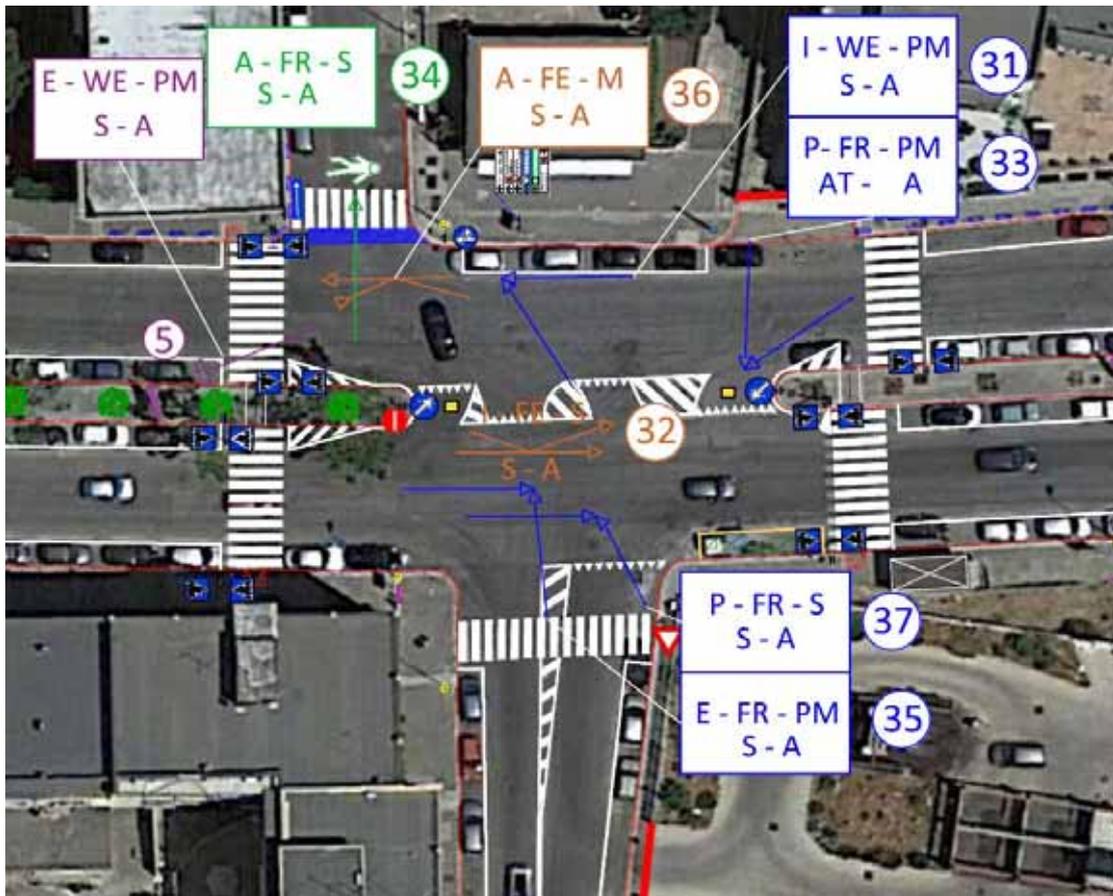


Fig. 6.65: Dettaglio del diagramma delle collisioni - Intersezione IV (fonte della foto: Google Earth).

6.7 Selezione delle contromisure

Questa sezione illustra le contromisure proposte per le intersezioni ed i tronchi analizzati (divisi in segmenti omogenei), con l'intento di migliorare la sicurezza stradale della rete in esame.

Saranno trattati due set differenti di contromisure:

- Contromisure a breve termine.
- Contromisure a lungo termine.

Le contromisure a breve termine includono gli interventi che non richiedono modifiche sostanziali alla geometria stradale; mentre quelle a lungo termine le richiedono, includendo eventualmente nuovi elementi stradali o piste ciclabili e aree pedonali.

Inoltre, è stata aggiunta come contromisura la manutenzione ordinaria per ripristinare la funzionalità della pavimentazione, se rilevante.

6.7.1 Possibili contromisure

In questa sezione sono presentate le contromisure per ogni tronco stradale (diviso in segmenti omogenei) escludendo le aree di intersezione (delimitate dai 40 metri di distanza dal centro dell'intersezione; Gomes et al., 2012¹). Le contromisure sono state sovrapposte graficamente alle condizioni iniziali, come mostrano le figure.

È da notare che le contromisure sono basate sui problemi evidenziati in fase di diagnosi, dalle tipologie di incidenti e dalle circostanze che ne hanno determinato l'accadimento, come da ricostruzione ed interpretazione dei dati disponibili dal database (alcune ricostruzioni possono essere state ipotizzate per carenza di dati).

6.7.1.1 Tronco: “Viale Papa Giovanni XXIII, T1 - Parte Nord”

Analizzando il diagramma delle collisioni, gli output delle ispezioni in sito e il diagramma delle condizioni, questo tratto omogeneo di Viale Papa Giovanni XXIII mostra i seguenti problemi:

- ci sono 2 accessi veicolari anche se questi non arrecano conseguenze alla sicurezza stradale in termine di incidenti correlati alla presenza di accessi;
- l’attraversamento pedonale all’intersezione con Via Papa Bonifacio IX non è segnalato da un adeguato cartello verticale;
- lo spartitraffico pullula di cartelloni pubblicitari;
- la corsia specializzata di svolta a destra mostra lievi fessurazioni.

Tab. 6.28: Caratteristiche del tronco “Viale Papa Giovanni XXIII, T1 - Parte Nord” (variabili del modello come TGM, lunghezza del tratto, tipologia dell’elemento stradale dal punto di vista planimetrico e gli incidenti osservati).

Variabili del modello	Tronco omogeneo 1
AA DT	8420
Lunghezza tronco [km]	0,036
Elemento planimetrico	Rettifilo
Numero di incidenti	0



Fig. 6.66: Vista del tronco: “Viale Papa Giovanni XXIII, T1 - parte Nord” (fonte della foto: Google Earth).

Sono stati proposti due pacchetti di contromisure a breve termine:

- **Pacchetto A - Breve Termine - Velocità**, all’interno del quale si propone:
 - installazione di rallentatori ottici, in maniera tale da poter ridurre la velocità alla quale i veicoli provenienti da tale tronco si avvicinano all’intersezione;
- **Pacchetto B - Breve Termine - Manutenzione Straordinaria**, all’interno del quale si propone:
 - rifacimento del manto d’usura tradizionale e conseguente rifacimento della segnaletica orizzontale;
 - realizzazione di attraversamenti pedonali ad alta visibilità e in due tempi, prevedendo opportuna isola salva-pedoni e segnaletica verticale per attraversamenti pedonali;
 - realizzazione di attraversamento pedonale in Via Papa Bonifacio IX;
 - installazione di barriere per marciapiedi per evitare che i pedoni attraversino irregolarmente;
 - realizzazione della segnaletica orizzontale di separazione delle corsie;
 - realizzazione di zebraure e posa in opera di cordoli in gomma per evitare la sosta in prossimità degli accessi presenti sul tronco.



Fig. 6.67: Contromisure a breve termine T1 - parte Nord.

La manutenzione ordinaria della pavimentazione è funzionale ad evitare la creazione di buche, fessure ed ormaie, così come lo è quella della segnaletica orizzontale e verticale per garantire un loro funzionamento ottimale. Le contromisure a lungo termine sono riassunte nel seguente set.

- *Pacchetto C - Lungo termine:*
 - realizzazione di pista ciclabile bidirezionale e localizzata in corrispondenza dell'attuale spartitraffico;
 - realizzazione di attraversamenti ciclo-pedonali con opportuna segnaletica verticale;
 - installazione di barriere per pista ciclabile;
 - inibizione della sosta in corrispondenza della nuova pista ciclabile.



Fig. 6.68: Contromisure a lungo termine T1 - parte Nord.

6.7.1.2 Tronco: “Viale Papa Giovanni XXIII, T2 - parte Nord”

Analizzando il diagramma delle collisioni, gli output delle ispezioni in sito e il diagramma delle condizioni, questo tratto omogeneo di Viale Papa Giovanni XXIII mostra i seguenti problemi:

- Sono avvenuti 2 incidenti;
- I 2 incidenti sono stati: 1) investimento pedonale (a causa di una manovra di attraversamento illegale da parte del pedone), 2) tamponamento dovuto a guida distratta;
- Lo spartitraffico pullula di cartelloni pubblicitari;
- Ci sono modeste fessurazioni della pavimentazione stradale.

Tab. 6.29: Caratteristiche del tronco “Viale Papa Giovanni XXIII, T2 - Parte Nord” (variabili del modello come TGM, lunghezza del tratto, tipologia dell'elemento stradale dal punto di vista planimetrico e gli incidenti osservati).

Variabili del modello	Tratto omogeneo 1
TGM	7500
Lunghezza tratto [km]	0,068
Elemento planimetrico	Rettifilo
Numero di incidenti	2



Fig. 6.69: Vista del tronco: “Viale Papa Giovanni XXIII, T2 - parte Nord” (fonte della foto: Google Earth).

Due pacchetti di contromisure sono stati proposti per gli interventi a breve termine:

- **Pacchetto A - Breve Termine - Velocità**, all'interno del quale si propone:
 - Installazione di rallentatori ottici, in maniera tale da poter ridurre la velocità alla quale i veicoli provenienti da tale tronco si avvicinano all'intersezione, così da consentire anche una corretta percezione di ciò che avviene in sede stradale e ridurre fenomeni come quelli del tamponamento dovuto ad una differenza di velocità tra le due vetture, visto l'elevato numero di tamponamenti in questo sito;
- **Pacchetto B - Breve Termine - Manutenzione Straordinaria**, all'interno del quale si propone:
 - Rifacimento del manto d'usura tradizionale e conseguente rifacimento della segnaletica orizzontale;
 - Realizzazione di attraversamenti pedonali ad alta visibilità e in due tempi, prevedendo l'opportuna isola salva-pedoni e segnaletica verticale per attraversamenti pedonali;
 - Installazione di barriere per marciapiedi per evitare che i pedoni attraversino irregolarmente;
 - Realizzazione della segnaletica orizzontale di separazione delle corsie;
 - Realizzazione di zebraure e posa in opera di cordoli in gomma per evitare la sosta in prossimità degli accessi presenti sul tronco.



Fig. 6.70: Contromisure a breve termine T2 - parte Nord.

È necessario inoltre provvedere alla manutenzione ordinaria della pavimentazione al fine di evitare la formazione di ormaie, avvallamenti, pelle d'alligatore, buche e fessurazioni. Inoltre, è necessario provvedere anche alla manutenzione ordinaria della segnaletica verticale e orizzontale.

Gli interventi di adeguamento a lungo termine:

- **Pacchetto C - Lungo Termine** – I miglioramenti proposti sono i seguenti:
 - Realizzazione di pista ciclabile bidirezionale e localizzata in corrispondenza dell'attuale spartitraffico;
 - Realizzazione di attraversamenti ciclo-pedonali con opportuna segnaletica verticale;
 - Installazione di barriere per pista ciclabile;
 - Inibizione della sosta in corrispondenza della nuova pista ciclabile.

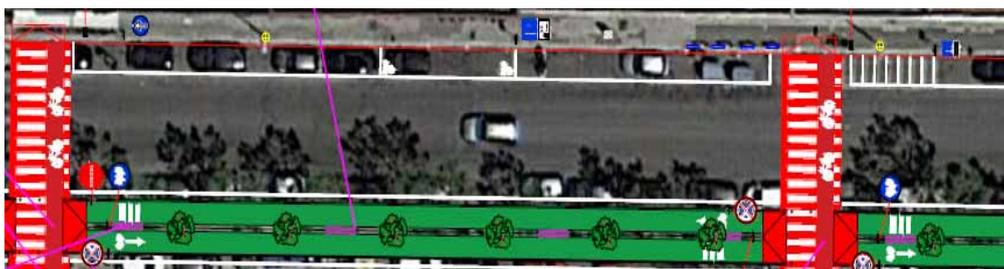


Fig. 6.71: Contromisure a lungo termine T2 - parte Nord.

6.7.1.3 Tronco: “Viale Papa Giovanni XXIII, T1 - parte Sud”

Tab. 6.30: Caratteristiche del tronco “Viale Papa Giovanni XXIII, T1 - Parte Sud” (variabili del modello come TGM, lunghezza del tratto, tipologia dell'elemento stradale dal punto di vista planimetrico e gli incidenti osservati).

Variabili del modello	Tratto omogeneo 1
TGM	6500
Lunghezza tratto [km]	0,035
Elemento planimetrico	Rettifilo
Numero di incidenti	1



Fig. 6.72: Vista del tronco: "Viale Papa Giovanni XXIII, T1 - parte Sud" (fonte della foto: Google Earth).

Analizzando il diagramma delle collisioni, gli output delle ispezioni in sito e il diagramma delle condizioni, questo tratto omogeneo di Viale Papa Giovanni XXIII mostra i seguenti problemi:

- è avvenuto 1 incidente;
- l'incidente è stato uno scontro laterale dovuto alle alte velocità di transito;
- lo spartitraffico pullula di cartelloni pubblicitari;
- ci sono modeste fessurazioni della pavimentazione stradale.

I due set di contromisure a breve termine che sono stati proposti sono i seguenti:

- **Pacchetto A - Breve Termine - Velocità**, all'interno del quale si propone:
 - installazione di rallentatori ottici, in maniera tale da poter ridurre la velocità alla quale i veicoli provenienti da tale tronco si avvicinano all'intersezione;
- **Pacchetto B - Breve Termine - Manutenzione Straordinaria**, all'interno del quale si propone:
 - rifacimento del manto d'usura tradizionale e conseguente rifacimento della segnaletica orizzontale;
 - realizzazione di attraversamenti pedonali ad alta visibilità e in due tempi, prevedendo l'opportuna isola salva-pedoni e segnaletica verticale per attraversamenti pedonali;
 - installazione di barriere per marciapiedi per evitare che i pedoni attraversino irregolarmente;
 - realizzazione della segnaletica orizzontale di separazione delle corsie;
 - realizzazione di zebrature e posa in opera di cordoli in gomma per evitare la sosta in prossimità degli accessi presenti sul tronco.

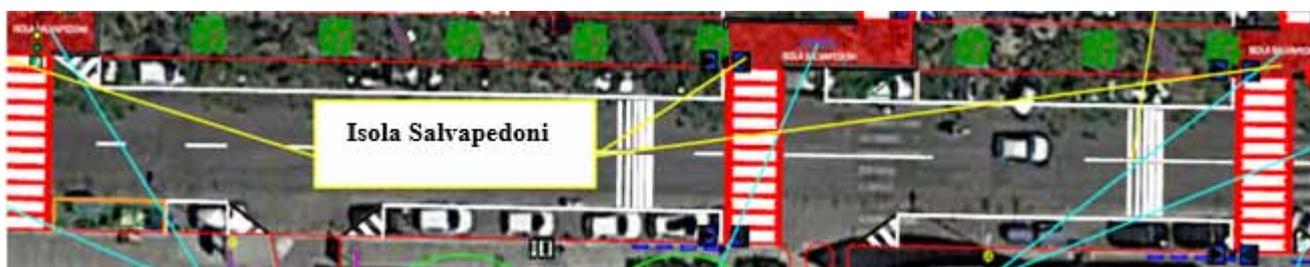


Fig. 6.73: Contromisure a breve termine T1 - parte Sud.

È necessario inoltre provvedere alla manutenzione ordinaria della pavimentazione al fine di evitare la formazione di ormaie, avvallamenti, pelle d'alligatore, buche e fessurazioni. Inoltre, è necessario provvedere anche alla manutenzione ordinaria della segnaletica verticale e orizzontale.

Gli interventi di adeguamento a lungo termine:

- **Pacchetto C - Lungo Termine** I miglioramenti proposti sono i seguenti:
 - realizzazione di pista ciclabile bidirezionale e localizzata in corrispondenza dell'attuale spartitraffico;
 - realizzazione di attraversamenti ciclo-pedonali con opportuna segnaletica verticale;
 - installazione di barriere per pista ciclabile;
 - inibizione della sosta in corrispondenza della nuova pista ciclabile.



Fig. 6.74: Contromisure a lungo termine T1 - parte Sud.

6.7.1.4 Tronco “Viale Papa Giovanni XXIII, T2 - Parte Sud”

Tab. 6.31: Caratteristiche del tronco “Viale Papa Giovanni XXIII, T1 - Parte Sud” (variabili del modello come TGM, lunghezza del tratto, tipologia dell’elemento stradale dal punto di vista planimetrico e gli incidenti osservati).

Variabili del modello	Tratto omogeneo 1
TGM	7400
Lunghezza tratto [km]	0,068
Elemento planimetrico	Rettifilo
Numero di incidenti	2



Fig. 6.75: Vista del tronco: “Viale Papa Giovanni XXIII, T2 - parte Sud” (fonte della foto: Google Earth).

Analizzando il diagramma delle collisioni, gli output delle ispezioni in sito e il diagramma delle condizioni, questo tratto omogeneo di Viale Papa Giovanni XXIII mostra i seguenti problemi:

- sono avvenuti 2 incidenti;
- gli incidenti sono stati un frontale-laterale (numero 7) connesso ad un’inadeguata distanza di visibilità ed un tamponamento (numero 3) a causa di una scarsa distanza di sicurezza;
- lo spartitraffico pullula di cartelloni pubblicitari;
- ci sono modeste fessurazioni della pavimentazione stradale

Sono stati proposti due pacchetti di contromisure a breve termine:

- **Pacchetto A - Breve Termine - Velocità**, all’interno del quale si propone:
 - installazione di rallentatori ottici, in maniera tale da poter ridurre la velocità alla quale i veicoli provenienti da tale tronco si avvicinano all’intersezione;
- **Pacchetto B - Breve Termine - Manutenzione Straordinaria**, all’interno del quale si propone:
 - rifacimento del manto d’usura tradizionale e conseguente rifacimento della segnaletica orizzontale;
 - realizzazione di attraversamenti pedonali ad alta visibilità e in due tempi, prevedendo l’opportuna isola salva-pedoni e segnaletica verticale per attraversamenti pedonali;
 - installazione di barriere per marciapiedi per evitare che i pedoni attraversino irregolarmente;
 - realizzazione della segnaletica orizzontale di separazione delle corsie;
 - realizzazione di zebraure e posa in opera di cordoli in gomma per evitare la sosta in prossimità degli accessi presenti sul tronco.

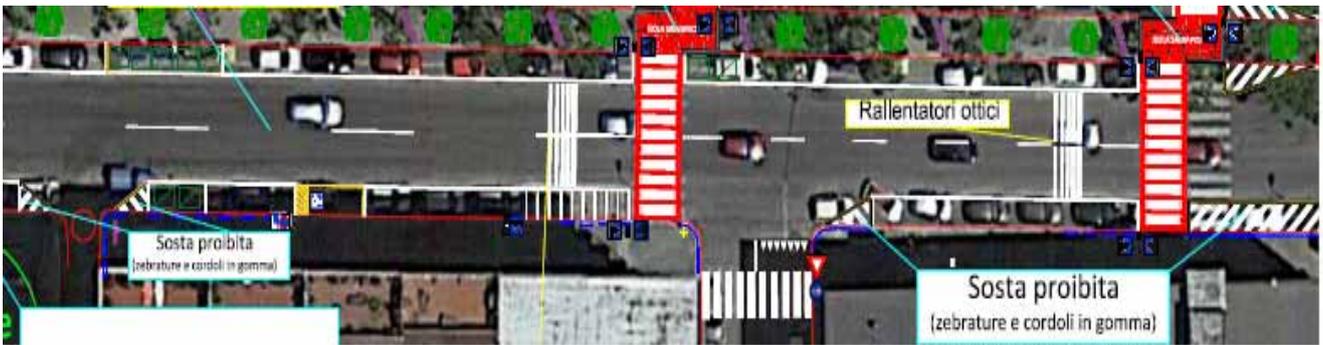


Fig. 6.76: Contromisure a breve termine T2 - parte Sud”.

È necessario inoltre provvedere alla manutenzione ordinaria della pavimentazione al fine di evitare la formazione di ormaie, avvallamenti, pelle d’alligatore, buche e fessurazioni. Inoltre, è necessario provvedere anche alla manutenzione ordinaria della segnaletica verticale e orizzontale.

Gli interventi di adeguamento a lungo termine sono i seguenti:

- **Pacchetto C - Lungo Termine**
 - realizzazione di pista ciclabile bidirezionale e localizzata in corrispondenza dell’attuale spartitraffico;
 - realizzazione di attraversamenti ciclo-pedonali con opportuna segnaletica verticale;
 - installazione di barriere per pista ciclabile;
 - inibizione della sosta in corrispondenza della nuova pista ciclabile.



Fig. 6.77: Contromisure a lungo termine T2 - parte Sud”.

L’implementazione della pista ciclabile come soluzione a lungo termine lungo tutto il tratto di Viale Papa Giovanni XXIII consente la risistemazione dello spartitraffico, segnalato come problematico in fase di diagnosi (sia per la visibilità che per gli ingombri) ed induce una maggiore attenzione dei conducenti nei confronti della velocità perché cambia completamente la percezione visiva della sede stradale. Inoltre in questa maniera si inibiscono le soste irregolari dei veicoli, garantendo così maggiore visibilità e minore intralcio al flusso veicolare.

6.7.1.5 Tronco: “Viale Orazio Flacco”

Tab. 6.32: Caratteristiche del tronco: “Viale Orazio Flacco” (variabili del modello come TGM, lunghezza del tratto, tipologia dell’elemento stradale dal punto di vista planimetrico e gli incidenti osservati).

Variabili del modello	Tratto omogeneo 1
TGM	15350
Lunghezza tratto [km]	0,113
Elemento planimetrico	Rettifilo + curva
Numero di incidenti	2



Fig. 6.78: Vista del tronco: "Viale Orazio Flacco" (fonte della foto: Google Earth).

Analizzando il diagramma delle collisioni, gli output delle ispezioni in sito e il diagramma delle condizioni, questo tratto omogeneo di Viale Orazio Flacco mostra i seguenti problemi:

- sono avvenuti 2 incidenti;
- presenza di lievi fessurazioni del manto stradale in corrispondenza delle prime frecce direzionali di preselezione;
- presenza diffusa di alberature in banchina e vegetazione folta degli stessi, la quale, in corrispondenza del semaforo copre la segnaletica verticale di "DARE PRECEDENZA";
- presenza di fermata autobus urbano in assenza di alcun attraversamento pedonale per permettere agli utenti di attraversare;
- degli incidenti occorsi si rileva un frontale - laterale (Incidente 8), evidentemente collegato alla mancata rispetto di STOP su Via Storelli. Inoltre, si rileva un tamponamento (Incidente 9) anch'esso collegabile alla suddetta strada secondaria.

Gli interventi di adeguamento a breve termine proposti sono stati opportunamente divisi in:

- Pacchetto A - Breve Termine - Velocità, all'interno del quale si propone:
 - installazione di rallentatori ottici, in maniera tale da poter ridurre la velocità alla quale i veicoli provenienti da tale tronco si avvicinano all'intersezione;



Fig. 6.79: Contromisure a breve termine Viale Orazio Flacco.

È necessario inoltre provvedere alla manutenzione ordinaria della pavimentazione al fine di evitare la formazione di ormaie, avvallamenti, pelle d'alligatore, buche e fessurazioni. Inoltre, è necessario provvedere anche alla manutenzione ordinaria della segnaletica verticale e orizzontale.

Gli interventi di adeguamento a lungo termine proposti sono i seguenti:

- *Pacchetto C - Lungo Termine*, specificando preliminarmente che gli interventi simili a quelli riportati per il tronco precedente non sono stati considerati in questo tronco, specialmente perché il piano di mobilità ciclistica urbana non prevede la pista ciclabile. Inoltre, alcuni interventi che sarebbero stati necessari a lungo termine, quali la rimozione di alberature in banchina, sono di difficile realizzazione poiché trattasi di alberi secolari e l'intervento andrebbe concordato opportunamente con gli enti preposti alla salvaguardia ambientale.

6.7.1.6 Tronco: “Via Poli”

Tab. 6.33 Caratteristiche del tronco: “Via Poli” (variabili del modello come TGM, lunghezza del tratto, tipologia dell’elemento stradale dal punto di vista planimetrico e gli incidenti osservati).

Variabili del modello	Tratto omogeneo 1
TGM	920
Lunghezza tratto [km]	0,048
Elemento planimetrico	Rettifilo
Numero di incidenti	0



Fig. 6.80: Vista del tronco: “Via Poli” (fonte della foto: Google Earth).

Analizzando il diagramma delle collisioni, gli output delle ispezioni in sito e il diagramma delle condizioni, questo tratto omogeneo di Via Poli mostra i seguenti problemi:

- ci sono lievi fessurazioni in corrispondenza del centro della corsia.

Le contromisure a breve termine sono racchiuse in un solo pacchetto:

- *Pacchetto B - Breve Termine - Manutenzione Straordinaria*, all’interno del quale si propone:
 - rifacimento del manto d’usura tradizionale e conseguente rifacimento della segnaletica orizzontale;
 - posa in opera di segnale di preavviso di STOP con relativo pannello integrativo distanziometrico.

È necessario inoltre provvedere alla manutenzione ordinaria della pavimentazione al fine di evitare la formazione di ormaie, avvallamenti, pelle d’alligatore, buche e fessurazioni. Inoltre, è necessario provvedere anche alla manutenzione ordinaria della segnaletica verticale e orizzontale.



Fig. 6.81: Contromisure a breve termine Via Poli (fonte della foto: Google Earth).

6.7.1.7 Tronco: “Via Niceforo”

Tab. 6.34: Caratteristiche del tronco: “Via Niceforo” (variabili del modello come TGM, lunghezza del tratto, tipologia dell’elemento stradale dal punto di vista planimetrico e gli incidenti osservati).

Variabili del modello	Tratto omogeneo 1	Tratto omogeneo 2	Tratto omogeneo 3
TGM	1260	1260	1260
Lunghezza tratto [km]	0,022	0,042	0,08
Elemento planimetrico	Rettifilo	Rettifilo	Rettifilo
Numero di incidenti	1	1	0

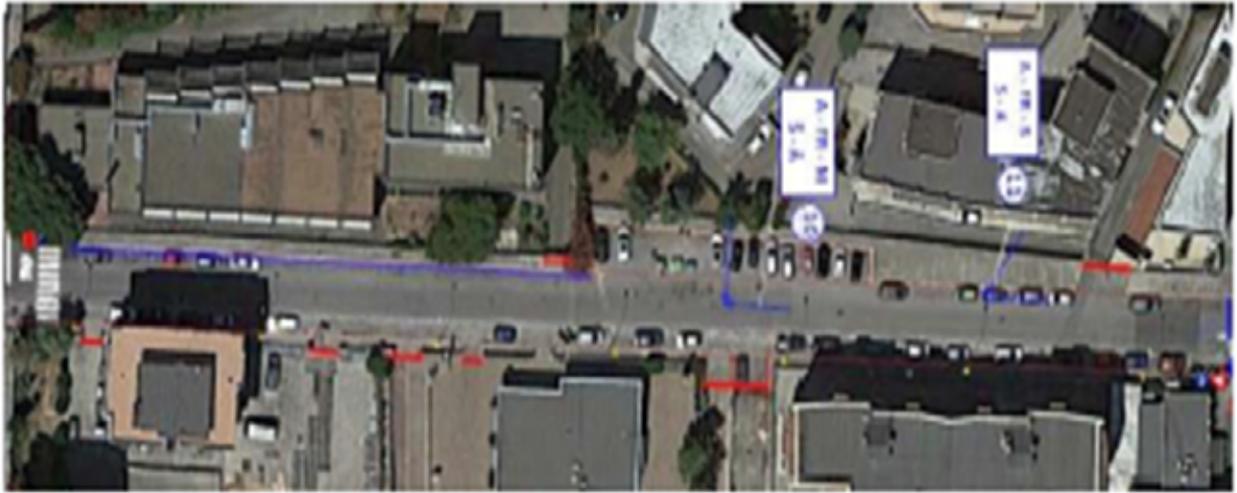


Fig. 6.82: Vista del tronco: "Via Niceforo" (fonte della foto: Google Earth).

Analizzando il diagramma delle collisioni, gli output delle ispezioni in sito e il diagramma delle condizioni, questo tratto omogeneo di Via Niceforo mostra i seguenti problemi:

- sono avvenuti 2 incidenti: 1 nel primo tratto omogeneo lungo 22 m, 1 nel secondo tratto omogeneo lungo 42 m;
- i due incidenti sono collisioni frontali-laterali dovute a velocità elevate o a guida distratta, in cui il veicolo in moto ha impattato sul veicolo in uscita dal parcheggio;
- il primo tratto del tronco è caratterizzato da lievi fessure, mentre il secondo ha erbacce e radici di albero in sporgenza;
- i veicoli sono parcheggiati su entrambi i lati della strada nonostante l'assenza di segnaletica, ciò implica che le banchine sono inesistenti;
- i cassonetti dei rifiuti urbani spesso sono mossi per ricavare ulteriori posti auto;
- la larghezza della corsia è leggermente inferiore di quella prescritta dal D.M. 6792/2001³ per strade di categoria "F" (2,65 m invece che 2,75 m).

Due pacchetti di contromisure sono stati proposti:

- *Pacchetto A - Breve Termine - Velocità*, all'interno del quale si propone:
 - posa in opera di dossi rallentatori artificiali, in maniera tale da poter ridurre la velocità alla quale i veicoli percorrono tale tronco (zona residenziale), per evitare fenomeni come quelli che hanno portato ai due incidenti frontali-laterali;
- *Pacchetto B - Breve Termine - Manutenzione Straordinaria*, all'interno del quale si propone:
 - rifacimento del manto d'usura tradizionale e conseguente rifacimento della segnaletica orizzontale;
 - posa in opera di segnali di preavviso di "DARE PRECEDENZA" e "STOP" con opportuni pannelli integrativi distanziometrici;
 - rimozione di sterpaglie e di radici di alberi affioranti;
 - ricollocazione dei cassonetti per rifiuti urbani in un'area appositamente delimitata.

È necessario inoltre provvedere alla manutenzione ordinaria della pavimentazione al fine di evitare la formazione di ormaie, avvallamenti, pelle d'alligatore, buche e fessurazioni. Inoltre, è necessario provvedere anche alla manutenzione ordinaria della segnaletica verticale e orizzontale.



Fig. 6.83: Contromisure a breve termine Via Niceforo.

Gli interventi di adeguamento a lungo termine proposti sono i seguenti:

- *Pacchetto C - Lungo Termine*
 - riduzione del marciapiede nel primo tratto omogeneo per garantire una migliore visibilità in corrispondenza dell'accesso presente;
 - allargamento del marciapiede nel secondo tratto omogeneo in maniera tale da modificare la tipologia di sosta da "a pettine" a "in parallelo".

Queste contromisure mirano a mitigare e superare le problematiche relative all'inadeguatezza della pavimentazione sia stradale che del marciapiede e ad una disordinata organizzazione della sede stradale riscontrate in fase di diagnosi e ricostruzione dell'incidentalità.



Fig. 6.84: Contromisure a lungo termine Via Niceforo.

6.7.1.8 Intersezione I

Tab. 6.35: Caratteristiche dell'Intersezione I (variabili del modello come TGM; sul tronco principale e secondario, numero di incidenti e tipologia di intersezione).

<i>Variabili del modello</i>	
TGM-strada principale	20365
TGM-strada secondaria	15200
Numero di incidenti	18
Tipo di intersezione	4-bracci semaforizzata



Fig. 6.85: Vista dell'Intersezione I (fonte della foto: Google Earth).

Analizzando il diagramma delle collisioni, gli output delle ispezioni in sito e il diagramma delle condizioni, questa Intersezione I mostra i seguenti problemi:

- sono avvenuti 18 incidenti;
- gli incidenti erano: 6 collisioni frontali/laterali, 3 investimenti pedonali; 5 collisioni laterali, 4 tamponamenti. Anche se il semaforo lavora dalle 7:00 a.m. to 11:00 p.m., solo 2 di 18 incidenti sono avvenuti con semaforo spento. I tamponamenti sono essenzialmente causati da una scarsa percezione dell'ambiente di guida e scarse distanze di sicurezza mantenute dagli utenti, che forse hanno stimato male la durata del semaforo giallo. Le collisioni frontali/laterali sono principalmente dovute all'assenza di segnaletica verticali di pericolo che avvera delle diverse direzioni di manovra che possono essere occupate irregolarmente da altri veicoli. Le collisioni laterali possono essere causate dal mancato rispetto del semaforo (ad esempio passare con il rosso), invece gli investimenti pedonali sono dovuti maggiormente a disattenzioni ed irregolarità dei pedoni stessi nell'attraversare la strada;
- si denota l'assenza di banchina in alcuni tratti o l'insufficiente larghezza;
- si denota l'assenza di segnaletica orizzontale di "DARE PRECEDENZA" nel quadrante Nord;
- il segnale verticale di "DARE PRECEDENZA" posizionato in corrispondenza delle lanterne semaforiche del quadrante Nord risulta essere parzialmente coperto dalle fronde dell'albero adiacente;
- il manto d'usura risulta essere caratterizzato da fessurazioni e ormaie in corrispondenza di una fascia nel quadrante Nord così come nel quadrante Sud;
- presenza di ostacolo in corrispondenza dello spartitraffico del quadrante Ovest.

Sono stati proposti due pacchetti di contromisure a breve termine:

- *Pacchetto A - Breve Termine - Velocità*, all'interno del quale si propone:
 - installazione di telecamera per il rilievo della velocità da affiancare alla già presente telecamera ad infrarossi per il controllo delle infrazioni semaforiche
- *Pacchetto B - Breve Termine - Manutenzione Straordinaria*, all'interno del quale si propone:
 - rifacimento del manto d'usura tradizionale e conseguente rifacimento della segnaletica orizzontale;
 - installazione di barriere per marciapiedi per evitare attraversamenti irregolari dei pedoni;
 - realizzazione di attraversamenti pedonali in due tempi e ad alta visibilità con opportuna isola salvapedoni;
 - installazione di semaforo pedonale dotato di countdown;
 - installazione di semaforo adattivo per regolare al meglio le fasi semaforiche per evitare la formazione di lunghe code;
 - rimozione di ostacolo presente sullo spartitraffico nel quadrante Ovest;
 - potatura delle alberature in prossimità delle lanterne semaforiche;
 - miglioramento della segnaletica verticale (visibilità);
 - proibire la sosta in prossimità dell'intersezione mediante la realizzazione di opportune zebraure e la posa in opera di cordoli in gomma aventi $h = 15$ cm.



Fig. 6.86: Contromisure a breve termine - Intersezione I.

È necessario inoltre provvedere alla manutenzione ordinaria della pavimentazione al fine di evitare la formazione di ormaie, avvallamenti, pelle d'alligatore, buche e fessurazioni. Inoltre, è necessario provvedere anche alla manutenzione ordinaria della segnaletica verticale e orizzontale.

Gli interventi di adeguamento a lungo termine proposti sono i seguenti:

- *Pacchetto C - Lungo Termine*
 - realizzazione di attraversamenti ciclo-pedonali con opportuna segnaletica verticale;
 - realizzazione di “casa avanzata” per separare la zona di stop dei ciclisti al semaforo rispetto a quella dei veicoli.



Fig. 6.87: Contromisure a lungo termine Intersezione I.

6.7.1.9 Intersezione II

Tab. 6.36: Caratteristiche dell'Intersezione II (variabili del modello come TGM; sul tronco principale e secondario, numero di incidenti e tipologia di intersezione).

Variabili del modello	
TGM-strada principale	7500
TGM-strada secondaria	920
Numero di incidenti	1
Tipo di intersezione	3-bracci non semaforizzata, regolata da segnale di Stop



Fig. 6.88: Vista dell'Intersezione II (fonte della foto: Google Earth).

Analizzando il diagramma delle collisioni, gli output delle ispezioni in sito e il diagramma delle condizioni, questa Intersezione II mostra i seguenti problemi:

- è avvenuto 1 solo incidente;
 - l'incidente era un frontale/laterale dovuto ad elevate velocità di marcia dei veicoli in arrivo da Via Poli, non rispettando così il segnale di Stop;
 - si denota, nel quadrante Nord, la presenza di ormaio e pelle d'alligatore in corrispondenza della segnaletica orizzontale di STOP la quale risulta essere sbiadita;
 - l'ormaiamento suddetto comporta la presenza di attraversamento pedonale sbiadito nel quadrante Nord;
 - si denota l'assenza di segnale verticale di attraversamento pedonale nei quadranti Est ed Ovest
- Sono stati proposti due pacchetti di contromisure a breve termine:
- *Pacchetto A - Breve Termine - Velocità*, all'interno del quale si propone:
 - installazione di rallentatori ottici in approccio all'intersezione, in maniera tale da poter ridurre la velocità alla quale i veicoli provenienti da tale tronco si avvicinano all'intersezione;
 - *Pacchetto B - Breve Termine - Manutenzione Straordinaria*, all'interno del quale si propone:
 - rifacimento del manto d'usura tradizionale e conseguente rifacimento della segnaletica orizzontale;
 - miglioramento della segnaletica verticale (visibilità);
 - installazione di barriere per marciapiedi per evitare attraversamenti irregolari dei pedoni;
 - installazione di segnaletica verticale a LED per gli attraversamenti pedonali dei quadranti Est ed Ovest;
 - realizzazione di attraversamenti pedonali in due tempi e ad alta visibilità nei quadranti Est ed Ovest con opportuna isola salva-pedoni;
 - realizzazione di attraversamento pedonale ad alta visibilità nel quadrante Nord.



Fig. 6.89: Contromisure a breve termine Intersezione II

È necessario inoltre provvedere alla manutenzione ordinaria della pavimentazione al fine di evitare la formazione di ormaie, avvallamenti, pelle d'alligatore, buche e fessurazioni. Inoltre, è necessario provvedere anche alla manutenzione ordinaria della segnaletica verticale e orizzontale.

Gli interventi di adeguamento a lungo termine proposti sono i seguenti:

- *Pacchetto C - Lungo Termine*
 - nuovo attraversamento ciclabile/pedonale adeguatamente colorato e segnalato sia dalla segnaletica verticale che orizzontale.



Fig. 6.90: Contromisure a lungo termine Intersezione II.

6.7.1.10 Intersezione III

Tab. 6.37: Caratteristiche dell'Intersezione III (variabili del modello come TGM; sul tronco principale e secondario, numero di incidenti e tipologia di intersezione).

Variabili del modello		
TGM-strada principale		6500
TGM-strada secondaria		1260
Numero di incidenti		1
Tipo di intersezione	3-bracci non segnalata regolata da segnale di dare precedenza	



Fig. 6.91: Vista dell'Intersezione III (fonte della foto: Google Earth).

Analizzando il diagramma delle collisioni, gli output delle ispezioni in sito e il diagramma delle condizioni, questa Intersezione III mostra i seguenti problemi:

- è avvenuto un solo incidente;
- l'incidente è stato un investimento pedonale causato da un attraversamento non regolare da parte del pedone;
- nel quadrante sud, non ci sono attraversamenti pedonali;
- nel quadrante sud, il segnale orizzontale di dare precedenza è sbiadito a causa degli ammaloramenti della pavimentazione stradale all'intersezione;
- nei quadranti est ed ovest, non ci sono segnali verticali per informare della presenza degli attraversamenti pedonali.

Sono stati proposti due pacchetti di contromisure a breve termine:

- **Pacchetto A - Breve Termine - Velocità**, all'interno del quale si propone:
 - installazione di rallentatori ottici in approccio all'intersezione, in maniera tale da poter ridurre la velocità alla quale i veicoli provenienti da tale tronco si avvicinano all'intersezione
- **Pacchetto B - Breve Termine - Manutenzione Straordinaria**, all'interno del quale si propone:
 - rifacimento del manto d'usura tradizionale e conseguente rifacimento della segnaletica orizzontale;
 - miglioramento della segnaletica verticale (visibilità);
 - installazione di barriere per marciapiedi per evitare attraversamenti irregolari dei pedoni;
 - installazione di segnaletica verticale a LED per gli attraversamenti pedonali dei quadranti Est ed Ovest;
 - realizzazione di attraversamenti pedonali in due tempi e ad alta visibilità nei quadranti Est ed Ovest con opportuna isola salva-pedoni;
 - realizzazione di attraversamento pedonale ad alta visibilità nel quadrante Sud.



Fig. 6.92: Contromisure a breve termine Intersezione III

È necessario inoltre provvedere alla manutenzione ordinaria della pavimentazione al fine di evitare la formazione di ormaie, avvallamenti, pelle d'alligatore, buche e fessurazioni. Inoltre, è necessario provvedere anche alla manutenzione ordinaria della segnaletica verticale e orizzontale.

Gli interventi di adeguamento a lungo termine proposti sono i seguenti:

- **Pacchetto C - Lungo Termine**
 - nuovo attraversamento ciclabile/pedonale adeguatamente colorato e segnalato sia dalla segnaletica verticale che orizzontale



Fig. 6.93: Contromisure a lungo termine Intersezione III.

6.7.1.11 Intersezione IV

Tab. 6.38: Caratteristiche dell'Intersezione IV (variabili del modello come TGM; sul tronco principale e secondario, numero di incidenti e tipologia di intersezione).

Variabili del modello	
TGM-strada principale	15045
TGM-strada secondaria	5265
Numero di incidenti	8
Tipo di intersezione	Non semaforizzata regolata da segnale di dare precedenza

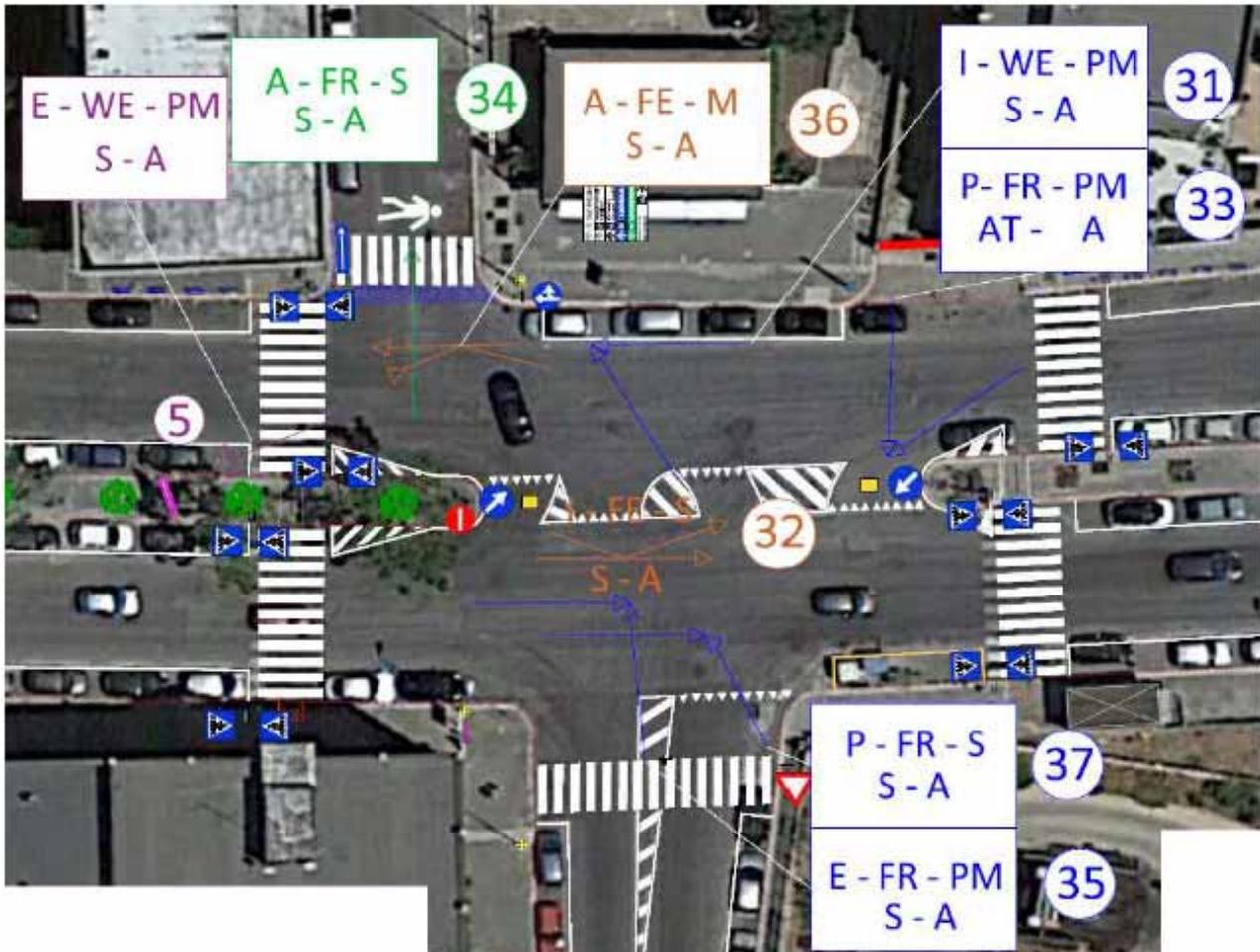


Fig. 6.94: Vista dell'Intersezione IV (fonte della foto: Google Earth).

Analizzando il diagramma delle collisioni, gli output delle ispezioni in sito e il diagramma delle condizioni, questa Intersezione IV mostra i seguenti problemi:

- sono avvenuti 7 incidenti;
- i 7 incidenti erano: 4 collisioni frontali/laterali possibilmente causati dal mancato rispetto della segnaletica verticale di dare precedenza in Via Lioce e della segnaletica orizzontale; dall'attraversamento irregolare dei pedoni all'intersezione; 1 investimento pedonale nel quadrante Nord, invece è avvenuto mentre il pedone attraversava regolarmente la strada; 2 collisioni laterali in presenza di elevate velocità;
- parziale assenza di banchine;
- ci son isole spartitraffico a raso, disegnate sulla pavimentazione che non sono adeguatamente rispettate dagli utenti che si avvicinano all'intersezione;
- nei quadranti Nord e Sud non c'è segnaletica verticale di preavviso della presenza di attraversamenti pedonali;
- la superficie stradale mostra segni di usura e danni nel quadrante Nord;
- assenza di opportuna regolamentazione della sosta in prossimità dell'intersezione;

Sono stati proposti due pacchetti di contromisure a breve termine:

- *Pacchetto A - Breve Termine - Velocità*, all'interno del quale si propone:
 - installazione di rallentatori ottici in approccio all'intersezione, in maniera tale da poter ridurre la velocità alla quale i veicoli provenienti da tale tronco si avvicinano all'intersezione;
- *Pacchetto B - Breve Termine - Manutenzione Straordinaria*, all'interno del quale si propone:
 - rifacimento del manto d'usura tradizionale e conseguente rifacimento della segnaletica orizzontale;
 - miglioramento della segnaletica verticale (visibilità);
 - posa in opera di segnale di stop per Via Lioce in sostituzione dell'attuale dare precedenza;
 - posa in opera di cordoli in gomma (h = 15 cm) per le isole spartitraffico a raso;
 - installazione di segnaletica verticale per attraversamenti pedonali nel quadrante Sud;
 - realizzazione di attraversamenti pedonali a due tempi e ad alta visibilità nei quadranti Est ed Ovest, con opportuna segnaletica verticale a LED ed isola salva-pedoni;
 - realizzazione di attraversamenti pedonali ad alta visibilità nei quadranti Nord e Sud;
 - posa in opera di barriere per marciapiedi per evitare attraversamenti irregolari.

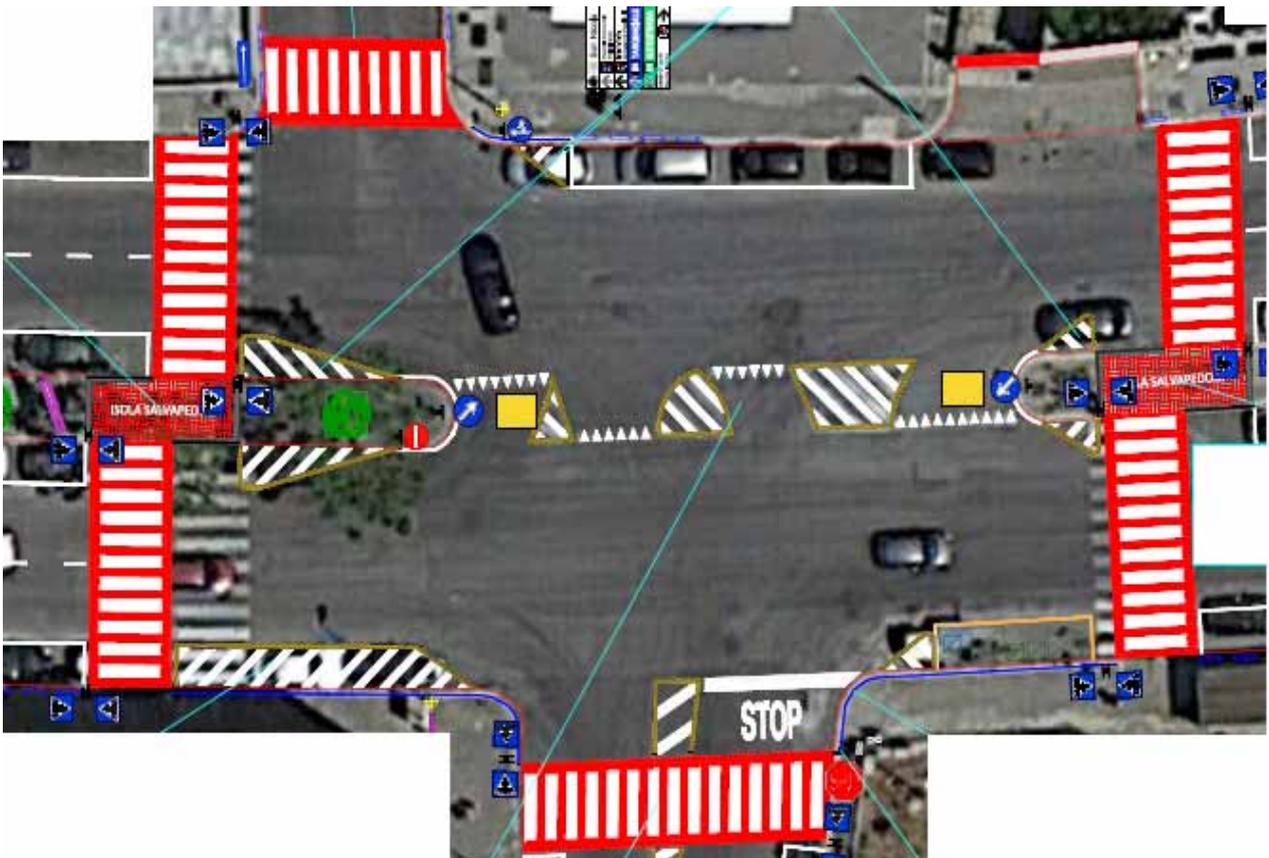


Fig. 6.95: Contromisure a breve termine - Intersezione IV.

È necessario inoltre provvedere alla manutenzione ordinaria della pavimentazione al fine di evitare la formazione di ormaie, avvallamenti, pelle d'alligatore, buche e fessurazioni. Inoltre, è necessario provvedere anche alla manutenzione ordinaria della segnaletica verticale e orizzontale.

Gli interventi di adeguamento a lungo termine proposti sono i seguenti:

- *Pacchetto C - Lungo Termine*
 - realizzazione di rotatoria compatta avente diametro esterno pari a 28 m e diametro interno pari a 11 m, dotata di 2 corsie di ingresso (larghezza complessiva di 6:00 m) e 1 corsia di uscita (larghezza di 4,5 m) nei quadranti Est e Ovest; di una corsia di ingresso (larghezza di 3,5 m) e 1 corsia di uscita (larghezza di 4,5 m) nel quadrante Sud; di una sola corsia di uscita (larghezza 4,5 m) nel quadrante Nord. La rotatoria risulta quindi caratterizzata da una corona interna dedicata alle corsie di marcia avente una larghezza complessiva pari a 8,5 m.
 - si prevede inoltre la realizzazione di opportuni rallentatori ottici in approccio alla rotatoria ed inoltre la posa in opera della segnaletica verticale ed orizzontale necessaria, come previsto dal Codice della Strada;

- realizzazione di pista ciclabile in sede separata monodirezionale e relativa segnaletica orizzontale e verticale;
- realizzazione di attraversamenti ciclopedonali a raso, arretrati di 5,0 m rispetto alla rotatoria, dotati di opportuna fila di quadrotti (L = 50 cm), strisce pedonali (L = 2,5 m) e corsia per ciclisti (L = 1,5 m), opportunamente segnalati mediante segnaletica verticale a LED;
- posa in opera di opportuni paletti dissuasori e barriere per marciapiedi.

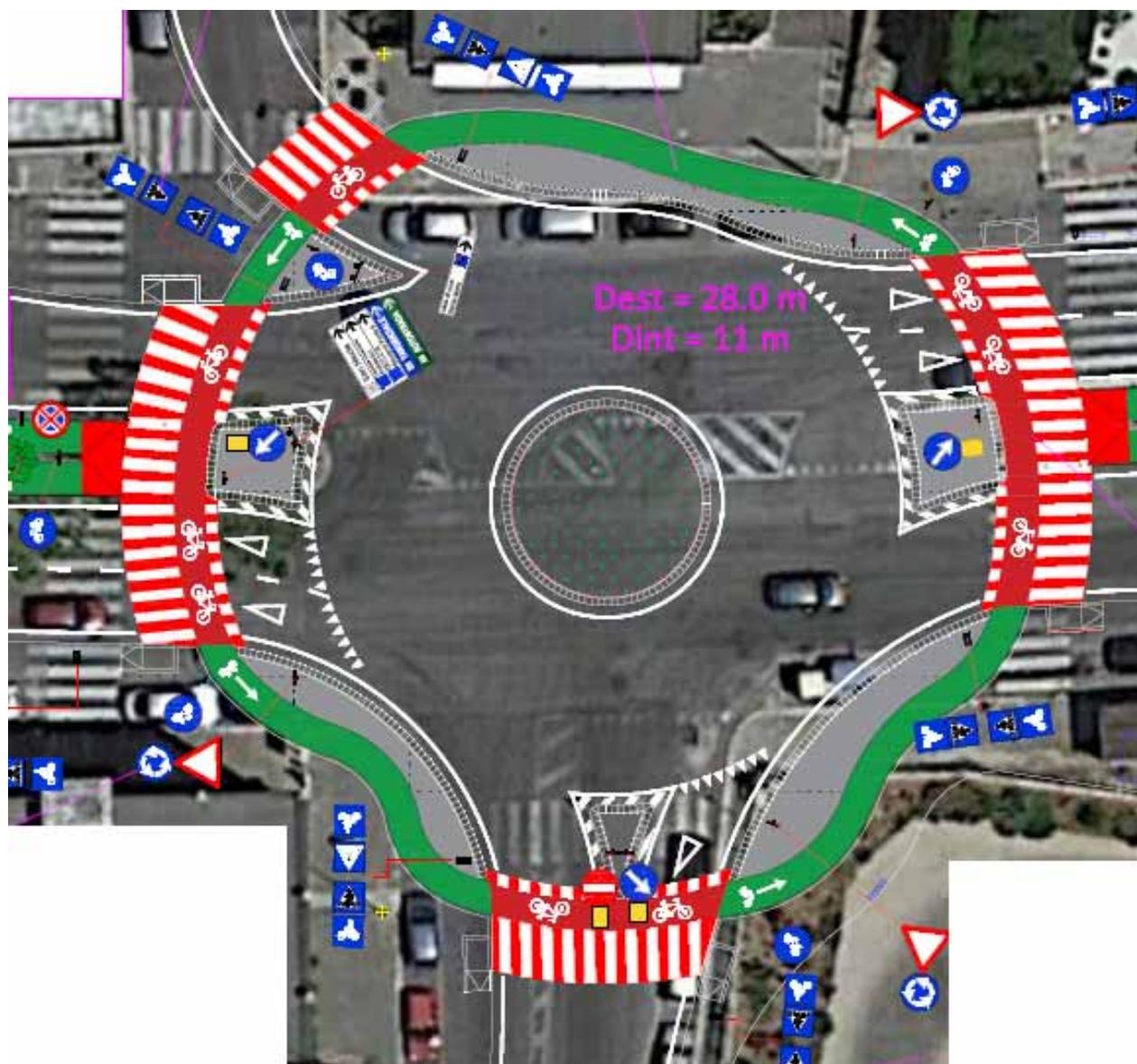


Fig. 6.96: Contromisure a lungo termine - Intersezione IV.

6.7.1.12 Contromisure a breve e lungo termine

Dopo aver effettuato l'analisi delle contromisure più adeguate ad ogni tronco ed intersezione, correlando le problematiche di sicurezza e i dati di incidentalità a ciascuna delle proposte ipotizzate, di seguito sono mostrate le planimetrie generali dei pacchetti di contromisure a breve e lungo termine su tutta l'area di studio, in maniera tale da fornire una vista globale delle modifiche proposte rispetto alla situazione attuale.

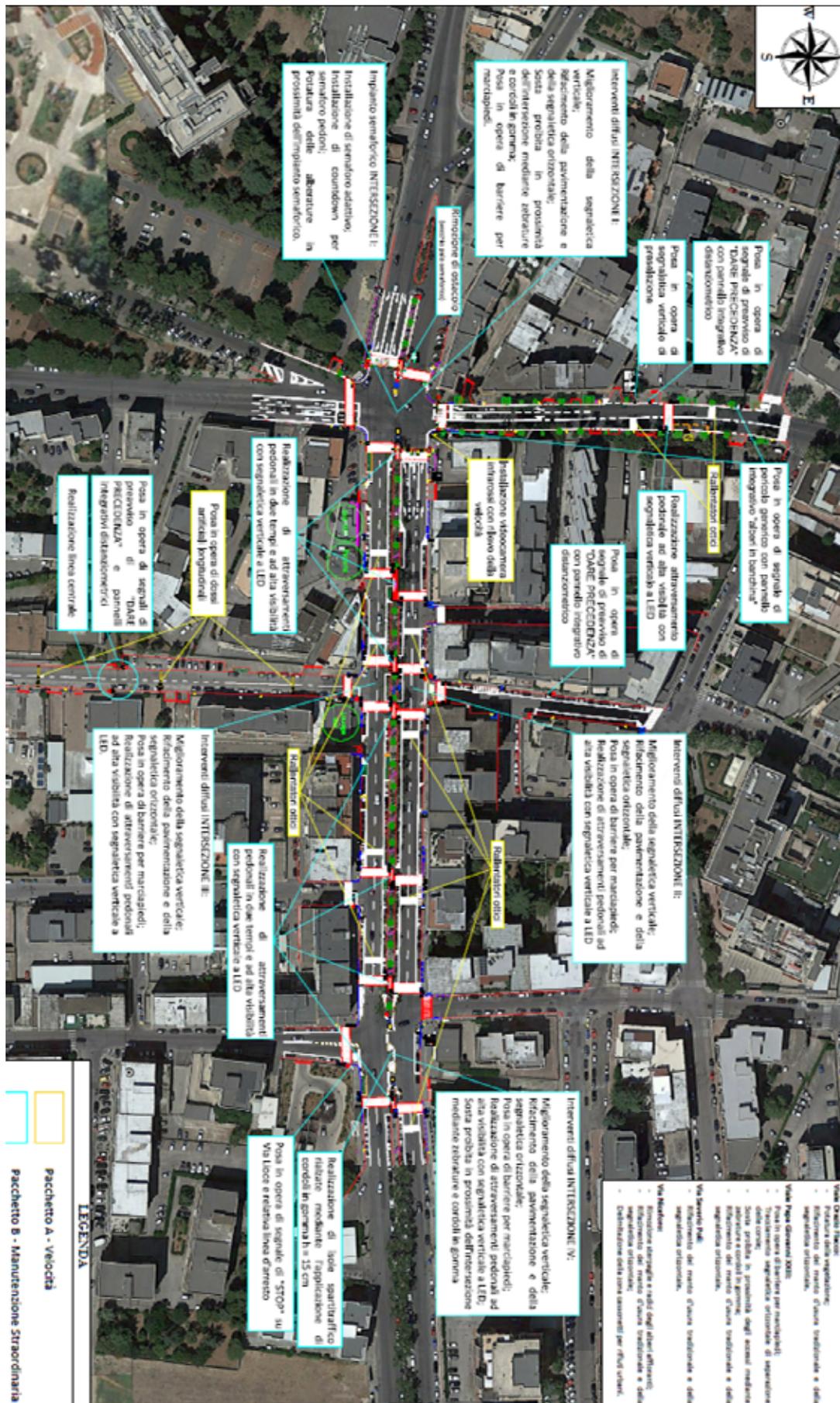


Fig. 6.97: Contromisure a breve termine – Planimetria generale. Nei riquadri contornati di azzurro le contromisure relative alla manutenzione straordinaria (Pacchetto B), in quelli contornati di giallo le contromisure relative alla riduzione di velocità (Pacchetto A).

6.7.2 CMF per i possibili pacchetti di contromisure

Dopo la selezione delle contromisure basata sull'analisi dei dati di incidentalità, sui diagrammi delle condizioni e delle collisioni, sulle ispezioni in sito, sulla ricostruzione delle circostanze e della localizzazione degli incidenti, è stato analizzato il loro effetto sui possibili benefici per la sicurezza stradale.

Sono state usate differenti combinazioni di contromisure con lo scopo di ridurre la frequenza media di incidentalità:

1. combinazione 1 - Pacchetto A (Breve termine - Velocità);
2. combinazione 2 - Pacchetto B (Breve termine - Manutenzione straordinaria);
3. combinazione 3 - Pacchetto A + Pacchetto B;
4. combinazione 4 - Pacchetto C (Lungo termine);
5. combinazione 5 - Pacchetto B + Pacchetto C.

Le combinazioni 3 e 5 non saranno considerate nella trattazione, in quanto le single contromisure includono diversi pacchetti che possono andare in conflitto tra di loro (per esempio, convertendo l'intersezione in una rotonda, si esclude automaticamente la possibilità di inserire cordoli in gomma per le isole spartitraffico a raso).

Dato che l'effetto benefico dell'introduzione dei percorsi ciclabili, ai fini della sicurezza, non è certo, sono stati studiati due scenari differenti: uno in cui la pista ciclabile porti ridotti benefici globali alla sicurezza stradale (CMF uguale a 0,9) ed un altro scenario in cui l'implementazione della pista ciclabile non porti effetti sull'incidentalità (CMF uguale ad 1,0). Quindi, sono state aggiunte alle combinazioni 4 e 5 (in cui la pista ciclabile ha CMF = 0,9), le combinazioni 6 e 7 (in cui la pista ciclabile ha CMF = 1,00).

Comunque, è ancora poco chiaro il beneficio delle piste ciclabili sulle performance di sicurezza stradale². Tuttavia, anche se sono state condotte numerose analisi per stabilire le performance di sicurezza delle piste ciclabili, sono stati trovati risultati ambigui sugli effetti di sicurezza delle corsie ciclabili, rotonde e piste ciclabili in sede propria sull'incidentalità e la severità degli incidenti per i ciclisti.

La scarsa consistenza dei risultati può dipendere dalle variabili geometriche della strada, dal tasso di presenza dei percorsi ciclabili, dall'atteggiamento culturale nei confronti degli utenti vulnerabili e così via. Per esempio, un aumento degli utenti vulnerabili ha condotto in molti casi a una riduzione dell'incidentalità¹⁰.

Inoltre, come descritto in Colonna et al. (2018)¹¹, a Bari (Italia), ci sono soltanto 20 km di percorsi ciclabili, mentre invece, in una città come Malmö (Svezia), ci sono centinaia di km di percorsi ciclabili. Comunque, ci sono differenze evidenti tra l'Italia e la Svezia al livello di statistiche a macro-livello sulla sicurezza (il tasso di mortalità per i ciclisti in Italia è 4 per milione di abitanti, il doppio del tasso della Svezia)¹².

Implementando un percorso ciclabile come contromisura a lungo termine, spesso si richiedono altri impliciti cambiamenti sul lungo termine (rotonde, nuova geometria stradale), generando situazioni più complesse da valutare, per le quali un solo CMF non è sufficiente. Così non c'è un singolo, valido e quantificabile CMF per le piste ciclabili.

Se le conseguenze sull'incidentalità, di una contromisura non sono chiaramente quantificabili, anche le loro performance di sicurezza non lo saranno. Nel caso di implementazione di pista ciclabile, sono stati comunque testati due differenti approcci.

Il primo approccio, più conservativo consiste nel considerare i costi di implementazione ma non i benefici sulla sicurezza stradale (CMF = 1,0).

Il secondo approccio, il più completo e quello usato in questo esempio, consiste nell'analisi parallela di due scenari: un'analisi scevra dai benefici introdotti dalla pista ciclabile (CMF = 1,0) e una che considera un lieve beneficio globale apportato dalla sua implementazione (CMF = 0,9).

Quindi, questi due scenari sono comparati per capire le differenze rispetto al caso base (CMF = 1,0). La frequenza attesa di incidentalità (calcolata attraverso il metodo EB) è stata valutata per lo stato di fatto, nei primi step dell'analisi ($N_{\text{Atteso/Before}}$).

Dopo, la frequenza media attesa è stata calcolata per le condizioni di progetto dopo aver assunto l'implementazione delle contromisure ($N_{\text{Atteso/After}}$).

La differenza tra i due valori di frequenza attesa è la misura del beneficio apportato dalle contromisure alla sicurezza stradale:

¹⁰ Jacobsen P. L. (2003), "Safety in numbers: More walkers and bicyclists, safer walking and bicycling", *Injury Prevention*, 9, 205-209.

¹¹ Colonna P., Intini P., Berloco N., Fedele V., Masi G., Ranieri V. (2019), "An Integrated Design Framework for Safety Interventions on Existing Urban Roads. Development and Case Study Application", *Safety*, 5(1), 13.

¹² WHO (World Health Organization). Available online: <https://extranet.who.int/roadsafety/death-on-the-roads/> (accessed on 1 January 2019).

$$\Delta N_{Atteso} = N_{Atteso/Before} - N_{Atteso/After} \quad (\text{Eq. 6-10})$$

Un foglio di calcolo è stato usato per il calcolo della differenza nella frequenza attesa per ogni tronco e intersezione analizzati.

Un esempio dell'output di questi calcoli è riportato come segue.

Tab. 6.39: Esempio di calcolo delle differenze nella frequenza attesa di incidentalità ($\Delta N_{Atteso \ \#\#}$) tra la frequenza attesa nello stato di fatto (prima dell'implementazione delle contromisure, $N_{Atteso \ \#\# \ statodifatto}$) e dopo l'implementazione delle contromisure ($N_{Atteso \ \#\# \ Combinazione}$ in questo esempio), per ogni tipo di incidente (KABC: morti + feriti; O: danni alle sole proprietà; tutti: KABCO), tronco e intersezione - Combinazione 2 esempio.

	Tronco stradale							Intersezioni 4 bracci		Intersezioni 3 bracci	
	T1N.	T1S.	T2N.	T2S.	Flacco	Poli	Niceforo	Flacco/	Lioce/	Poli/	Niceforo/
	G.	G.	G.	G.				G.	G.	G.	G.
	XXIII	XXIII	XXIII	XXIII	XXIII	XXIII	XXIII	XXIII	XXIII	XXIII	XXIII
	1	2	3	4	5	6	7	1	4	2	3
$N_{Atteso_KABC_Stato\ di\ fatto}$	0,933	0,827	1,360	1,952	2,530	0,131	0,651	4,180	9,095	1,821	0,745
$N_{Atteso_KABC_Comb.2}$	0,451	0,400	0,755	1,084	0,806	0,091	0,355	1,651	2,390	1,364	0,476
ΔN_{Atteso_KABC}	0,482	0,427	0,605	0,868	1,724	0,040	0,297	2,529	6,706	0,457	0,269
$N_{Atteso_O_Stato\ di\ fatto}$	6,844	6,066	9,973	14,316	18,552	0,959	4,777	30,656	66,700	13,355	5,461
$N_{Atteso_O_Comb.2}$	3,309	2,933	5,537	7,947	5,911	0,669	2,602	12,111	17,524	10,003	3,488
ΔN_{Atteso_O}	3,535	3,133	4,437	6,369	12,642	0,290	2,175	18,545	49,176	3,352	1,973
$N_{Atteso_All_Stato\ di\ fatto}$	7,777	6,894	11,333	16,268	21,082	1,090	5,428	34,836	75,795	15,176	6,206
$N_{Atteso_All_Comb.2}$	3,760	3,333	6,292	9,031	6,717	0,760	2,957	13,762	19,913	11,367	3,964
ΔN_{Atteso_All}	4,017	3,561	5,042	7,237	14,366	0,330	2,472	21,074	55,882	3,809	2,242

6.8 Modellazione e applicazione del metodo predittivo EB

6.8.1 Metodo predittivo (Highway Safety Manual, HSM, 2010⁹)

È necessario stimare le performance di sicurezza del sito, sia prima che dopo l'implementazione di contromisure, in modo da poter effettuare un opportuno confronto, con l'intento di quantificare l'effettivo miglioramento della sicurezza delle infrastrutture analizzate dopo l'implementazione delle contromisure su tutto il tronco o in un punto specifico.

La differenza tra gli incidenti prima e dopo l'implementazione delle contromisure fornisce un'indicazione sulle migliorie introdotte. Il metodo di stima dell'incidentalità usato in questo studio è il metodo predittivo EB (Empirico Bayesian), suggerito dall'Highway Safety Manual (2010)⁹. L'output di questo metodo è la frequenza media attesa di incidentalità, N_{Atteso} , cioè la stima del numero annuale di incidenti che potrebbero avvenire per un numero fissato di anni dal momento dell'analisi. Questo output è ottenuto dalla combinazione della frequenza media osservata di incidentalità, $N_{Osservato}$ in un dato sito (cioè il numero effettivo degli incidenti avvenuti durante gli anni di analisi) e la frequenza media prevista di incidentalità $N_{Previsto}$ (cioè il numero annuo di incidenti previsti con un algoritmo teorico per il dato sito) attraverso l'applicazione della formula:

$$N_{Atteso} = (N_{Previsto} \times w) + (1 - w)N_{Osservato} \quad (\text{Eq. 6-11})$$

Dove:

- $w = \frac{1}{1+k \sum \text{anni di analisi} N_{Previsto}}$
- k = parametro di sovradisersione.

L'idea di usare la combinazione di queste due frequenze nasce dalla necessità di compensare gli errori statistici di entrambi i parametri:

- l'affidabilità statistica della frequenza osservata richiede ampie finestre temporali di analisi, dal momento che il fenomeno incidentale è casuale e raro. Usare medie provenienti da brevi periodi di analisi potrebbe infatti portare a stime ingannevoli, probabilmente affetti dall'errore di regressione verso la media (RTM bias);
- la frequenza prevista può essere affetta da errori causati da modifiche delle condizioni in sito (che sono molto frequenti per periodi non brevi). Infatti, l'algoritmo di previsione è valido per determinate tipologie

di strade, condizioni di traffico e geometriche e il risultato ottenuto non sarebbe più affidabile se dovesse cambiare anche solo uno di questi parametri.

La frequenza media prevista è calcolata attraverso le Safety Performance Functions (SPFs) che legano il traffico giornaliero medio annuo (esposizione veicolare all'incidentalità) alla frequenza incidentale per uno specifico sito. Comunque, il metodo usato è leggermente diverso da quello suggerito dall'HSM per le SPF, in quanto viene adattato specificamente al caso italiano. Infatti, l'HSM fornisce SPF per *Arterials* che sono le strade di transizione da contesti urbani ad extraurbani, con caratteristiche geometriche e limiti di velocità ben diversi e non confrontabili con quelli in esame. Quindi sono stati usati approcci diversi per il calcolo della frequenza media prevista. La ricerca di un approccio ad-hoc è stata fortemente influenzata dall'affidabilità statistica e dalla sovrapposizione con il metodo dell'HSM, ma anche dal contesto geografico e culturale in cui si stava operando.

È cruciale, specialmente nel contesto urbano, considerare il comportamento umano, motivo per il quale sono stati preferiti modelli europei a quelli americani. Infatti, la cultura europea e il contesto infrastrutturale urbano europeo sono molto più vicini a quello italiano rispetto a quelli americani (tenendo anche conto del significato delle *Arterials* urbane americane dell'HSM).

Infine, sebbene il metodo Bayesiano-Empirico consenta di calcolare l'effettiva distribuzione di severità degli incidenti attesi, nel caso in esame, dal momento che i dati osservati riportano solo gli incidenti con severità "morti e feriti" e che i modelli di previsione utilizzati sono stati sviluppati a partire da database di incidenti con severità "morti e feriti", si è scelto di determinare direttamente soltanto la Frequenza media attesa di incidentalità per gli incidenti con severità suddetta. Tuttavia, sarà sempre possibile, in prima approssimazione, ricavare poi la frequenza di incidenti totali attraverso l'uso di coefficienti ricavati da dati statistici raccolti sull'intero territorio italiano.

In particolare, il numero di incidenti nelle nazioni europee diviso per severità e nazione e le stime dei costi causati dagli incidenti stessi possono essere desunti da Wijnen et al. (2017)¹³. Da tale report è possibile ottenere i dati relativi alla numerosità degli incidenti in Italia (anno 2015), rilevanti per questo studio:

- Numero di incidenti mortali (K) = 3847
- Numero di incidenti con lesioni gravi (che hanno portato a cure ospedaliere per più di 24 ore) (A/B) = 29724
- Numero di incidenti con lievi conseguenze (C) = 177833
- Numero di incidenti con danni alle sole proprietà (O) = 1559185

Assumendo che il 2015 è abbastanza vicino tanto da assicurare una fluttuazione di dati statistici accettabile, è stato possibile calcolare la percentuale di incidenti con "morti e feriti" dal numero totale di incidenti:

$$\%incidenti_{KABC\ Italia,2015} = \frac{3847+29724+177833}{3847+29724+177833+1559185} 100 \cong 12\% \quad (\text{Eq. 6-12})$$

Questa percentuale consentirà di calcolare, in analogia e in prima approssimazione, gli incidenti di tutte le severità avvenute sulla rete analizzata ed attesi dal modello. Gli incidenti con possibili lesioni, C, anche se sono difficili da rilevare sono stati considerati come ricadenti nella categoria "incidenti con lievi conseguenze".

6.8.2 Crash Modification Factors (CMFs)

La frequenza calcolata attraverso la SPF (le SPF usate in questo esempio sono mostrate nel capitolo seguente) devono essere modificate con alcuni coefficienti (Crash Modification Factors, CMF), sia per tenere conto delle reali condizioni del sito che possono differire da quelle per il quale il modello è stato stimato e sia per tenere conto delle nuove condizioni proposte attraverso le contromisure. Il valore di N_{previsto} , corretto dai CMF è riportato di seguito:

$$N_{\text{previsto CMF}} = N_{\text{previsto}} \times (CMF1 \times CMF2 \times CMF3 \dots \times CMFn) \times Cc \quad (\text{Eq. 6-13})$$

Dove:

- N_{previsto} è la frequenza media prevista di incidentalità per uno specifico anno per il sito di interesse;
- $N_{\text{previsto CMF}}$, è la frequenza media prevista di incidentalità per uno specifico anno per il sito di interesse, modificata attraverso i CMF;

¹³ Wijnen W., Weijermars W., Vanden Berghe W., Schoeters A., Bauer R., Carnis L., Elvik R., Theofilatos A., Filtness A., Reed S., Perez C., Martensen H., (2017) *Crash cost estimates for European countries, Deliverable 3.2*, of the H2020 project SafetyCube.

- $CMF_1, CMF_2, CMF_3, \dots, CMF_n$; sono i Crash Modification Factors, che considerano le variazioni dalle condizioni di base;
- C_c è il coefficiente di calibrazione che considera le condizioni locali. Non sono ancora stati trovati studi a riguardo del coefficiente di calibrazione per incidenti in aree urbane italiane, per cui si è posto il C_c pari ad 1 per entrambi i modelli usati in questo esempio applicativo.

A parte le variabili considerate nelle SPF e nei CMF per i tronchi urbani e le intersezioni contenute nell’HSM, molti altri CMF sono stati ricavati dal database presente sul sito www.cmfclearinghouse.org. Da questa risorsa è possibile stabilire l’affidabilità dei CMF grazie ad una valutazione fornita dal sito stesso (da 0 a 5 stelle, in cui 5 rappresenta un’ottima qualità del CMF). Altri CMF sono stati principalmente presi in considerazione dalla *Reference Guide of Federal Highway Administration*¹⁴ e dal report italiano *CEREMSS*¹⁵. I CMF relativi alle diverse condizioni di visibilità, in termini di distanza di visibilità disponibile, sono stati presi da un recente documento pubblicato dal NASEM (2018)¹⁶.

Va comunque ribadito che i CMF usati per la stima della frequenza attesa di incidentalità per lo *stato di fatto* considerano tutti i dettagli dei tronchi o delle intersezioni che non sono stati modellati attraverso l’SPF di riferimento. I CMF usati per la stima della frequenza attesa di incidentalità per lo *stato di Progetto* valutano l’impatto delle contromisure implementate (o da implementare) sulla frequenza attesa, non tenendo conto dei CMF già considerati nello stato di fatto.

I CMF, sia che siano usati nel caso dello stato di fatto, siano nel caso dello stato di progetto, servono per migliorare l’adattabilità del modello studiato alle condizioni reali della città di Bari.

I CMF utilizzati, ricavati dalle diverse risorse a disposizione, si riferiscono a “tutti” i tipi di incidenti veicolari e a tutte le severità. Invece quando i CMF sono relativi a qualche caso specifico, qualche utente della strada in particolare, qualche tipo di veicolo, essi sono pesati per il numero di incidenti ricadenti in quella specifica categoria.

Diversi CMF possono essere correlati ad una qualche stessa categoria (ad esempio nel caso degli attraversamenti pedonali ci potrebbero essere differenti CMF per segnaletica orizzontale e per segnaletica verticale) ed in questo caso vengono combinati. Comunque, la combinazione dei CMF per un singolo intervento va evitata il più possibile. Questo si può fare considerando il minimo valore del CMF tra tutti i CMF disponibili per lo stesso intervento. Questa soluzione mira a considerare gli effetti positivi della contromisura, senza commettere errori dovuti alla sovrapposizione degli effetti per una stessa contromisura.

6.8.3 Safety Performance Functions per i tronchi urbani

Le SPF sviluppate da Greibe, 2003¹⁷ sono state usate nel calcolo della frequenza media prevista di incidenti dei tronchi urbani.

L’equazione del modello è la seguente:

$$E(\mu) = a TGM^p \exp(\sum \beta_j x_{ij}) \quad \left[\frac{\text{incidenti}}{\text{anno} \times \text{km}} \right] \quad (\text{Eq. 6-14})$$

Dove:

- $E(\mu)$ è la frequenza media attesa di incidentalità;
- TGM è il traffico giornaliero medio annuo;
- x_{ij} sono le variabili descrittive della geometria stradale e dell’ambiente urbano in cui si trova il tronco;
- a, p e β_j sono i parametri stimati del modello.

Le variabili significative statisticamente incluse nel modello citato sono:

- *uso del suolo*: il tipo e la funzione delle costruzioni ai bordi stradali hanno un forte impatto sull’incidentalità, minore è la densità delle costruzioni, minore è il rischio di incorrere in incidenti;
- *limiti di velocità*: strade con limiti di velocità più alti sono associate ad un minore rischio di incidentalità, probabilmente giustificabile con il fatto che le strade a basse velocità sono tipicamente localizzate in centri

¹⁴ U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, FHWA (2008), *Desktop reference for crash reduction factors*, Report n. FHWA-SA-08-011, September.

¹⁵ <https://ceremsslazio.astralspa.it/ceremss/>

¹⁶ National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2018), *Guidance for Evaluating the Safety Impacts of Intersection Sight Distance*, The National Academies Press., Washington, D.C., USA.

¹⁷ Greibe P. (2003), “Accident prediction models for urban roads”, *Accident Analysis & Prevention*, 35(2), 273-285.

- urbani dove avvengono molte interazioni con gli utenti deboli della strada (ciclisti, pedoni e motociclisti);
- *larghezza della strada*: corsie di media larghezza riducono il rischio di incidentalità;
- *parcheeggi*: parcheggi sul lato strada aumenta il rischio di incidenti perché aumentano i punti di conflitto possibili tra i veicoli in marcia e quelli parcheggiati e tra quelli parcheggiati e i pedoni;
- *numero di accessi per km*: strade senza accessi o con molti accessi (come le strade residenziali) mostrano un minore rischio di incidentalità;
- *numero di intersezioni con strade minori*: più alto è il numero di intersezioni maggiore è il rischio di incidentalità.

Greibe (2003)¹⁷ ha usato una funzione di distribuzione di probabilità poissoniana, anche se questo comporta l'assenza del coefficiente di sovradisersione "k". Quindi, per adattare questo modello al metodo EB, è stato ipotizzato un peso "w".

Un foglio di calcolo basato su questa formulazione è stato usato per il calcolo della frequenza media attesa di incidentalità. Nel foglio di calcolo, tutte le variabili del modello sono state trasformate in CMF, considerando le variazioni della frequenza di incidentalità con rispetto al valore base della variabile. Tuttavia, è stata anche considerata la possibilità di inserire ulteriori CMF per situazioni specifiche non contemplate per mezzo delle variabili presenti nel modello. Il numero di incidenti su ogni tronco omogeneo dovrebbe essere inserito in modo tale da ottenere le stime EB.

In particolare, è necessario impostare due scenari diversi per il calcolo:

- *stato di fatto*, in cui si riportano i valori delle variabili corrispondenti alle condizioni di base del tratto in esame; in modo tale da ottenere due diverse tipologie di CMF, quelli relativi alle variabili contemplate nel modello di riferimento per lo stato di fatto, e quelli utili per considerare l'influenza sull'incidentalità di elementi già esistenti e caratterizzanti il tratto in esame, ma che non sono contemplati dal modello di riferimento.
- *stato di progetto*: in cui si riportano i valori relativi alle ipotesi di progetto. Ciò comporta il ricalcolo delle variabili del modello di riferimento considerando le ipotesi di progetto e l'applicazione di CMF che corrispondano alle contromisure che non possono essere contemplate per mezzo delle variabili incluse nel modello di riferimento.

La frequenza media di incidentalità attesa nello stato di progetto si calcola dunque come segue, in accordo a quanto previsto dal metodo HSM⁹:

$$N_{atteso_{progetto}} = N_{atteso_{stato\ di\ fatto}} \frac{\prod CMF, di\ progetto}{\prod CMF, stato\ di\ fatto} \frac{N_{spf\ (solo\ TGM) di\ progetto}}{N_{spf\ (solo\ TGM) stato\ di\ fatto}} \quad (Eq. 6-15)$$

Tale formula esprime che, per ricavare la frequenza media attesa di progetto $N_{atteso_{progetto}}$, è necessario moltiplicare la frequenza media attesa (stato di fatto) $N_{atteso_{stato\ di\ fatto}}$ per il rapporto tra $\prod CMF, di\ progetto$, cioè il prodotto di tutti i CMF considerati per le contromisure, e $\prod CMF, stato\ di\ fatto$, cioè il prodotto di tutti i CMF considerati per le caratteristiche del sito allo stato di fatto (che rispecchiano condizioni diverse rispetto alle condizioni di riferimento del modello o condizioni comunque non contemplabili dal modello stesso, considerate tramite CMF aggiuntivi). Inoltre, tale quantità va ancora moltiplicata per il rapporto tra $N_{spf\ (solo\ TGM) di\ progetto}$, cioè la frequenza riveniente dalla SPF in corrispondenza del TGM alla data e nelle condizioni di progetto, e $N_{spf\ (solo\ TGM) stato\ di\ fatto}$, cioè la frequenza riveniente dalla SPF in corrispondenza del TGM alla data e nelle condizioni di partenza (questo ultimo rapporto è necessario per considerare le modifiche del valore di TGM tra stato di fatto e stato di progetto).

La differenza tra i due valori attesi (stato di fatto e stato di progetto) indica il miglioramento della sicurezza apportato dall'implementazione delle contromisure.

Alcune osservazioni:

- i coefficienti β_j contenuti nello studio di riferimento e riferiti al numero di accessi presenti, per i range (0-5), (5-40) e (> 40), non sono del tutto coerenti con gli effetti realmente osservati, sulla sicurezza nel caso specifico in esame. Questa considerazione è basata sulle ispezioni fatte in loco valutando le interazioni tra i veicoli dovute alla presenza degli accessi. Comunque, nel caso specifico è stato adottato il valore β per il range (5-40) cioè 1,43, corrispondente alla maggiore pericolosità;
- nelle analisi urbane, la procedura di dividere i tronchi in tronchi omogenei non potrebbe fare affidamento sull'andamento plano-altimetrico e le variazioni della sezione trasversale. La divisione in tronchi omogenei è stata applicata quando i valori del modello di Greibe cambiavano, così da avere valori omogenei delle variabili del modello di Greibe su ogni tronco;

- ciascuna variabile è associata ad un unico valore del parametro β_j . Qualche eccezione potrebbe essere l'uso del suolo e le condizioni di parcheggio, perché potrebbero variare sui due lati della stessa sezione trasversale. In questi casi il β_j è una media tra le due condizioni e 0.5 è stato posto come valore da usare nel caso delle due variabili che si riferiscono alla stessa macro-voce.

In alcuni casi, le variabili possono essere differenti anche all'interno dello stesso tronco omogeneo (ad esempio parcheggio e uso del suolo tra il lato stradale destro e sinistro), per cui in questi casi è stato il valore medio tra le differenti condizioni.

6.8.4 Safety Performance Functions per le intersezioni urbane

Lo studio sulle intersezioni è stato preso in considerazione valutando il modello sviluppato da Gomes et al. (2012)¹ per Lisbona, in quanto più recente del modello danese di Greibe¹⁷ e più vicino alle condizioni del caso italiano.

Un altro aspetto importante è che Lisbona può essere approssimata, per condizioni geografiche e climatiche a Bari, così che il modello possa essere più affidabile per la realtà specifica. Questo modello è stato sviluppato usando una funzione di distribuzione binomiale negativa. Per isolare gli incidenti avvenuti alle intersezioni, Gomes et al. (2012)¹ hanno considerato gli incidenti avvenuti entro i 40 m dal centro dell'intersezione. Questa lunghezza è il raggio teorico dell'area circolare. L'equazione del modello è la seguente:

$$\mu_{it} = \beta_0 \times (F_{1it} + F_{2it})^{\beta_1} \times \left(\frac{F_{2it}}{F_{1it} + F_{2it}}\right)^{\beta_2} \times e^{\sum_{k=3}^n \beta_k x_k} \left[\frac{\text{incidenti}}{\text{anno}}\right] \quad (\text{Eq. 6-16})$$

dove:

- μ_{it} è la frequenza media di incidentalità prevista per una data intersezione i ;
- F_{1it} è il TGM del tronco principale 1, entrante nell'intersezione i ;
- F_{2it} è il TGM della strada secondaria 2, entrante nell'intersezione i ;
- x_k variabile esplicativa del modello (escluso appunto i TGM);
- β_k sono i coefficienti stimati da applicare in funzione delle suddette variabili.

Gomes et al. (2012)¹ hanno sviluppato due diversi modelli, uno per le intersezioni a tre bracci ed uno per quelle a quattro bracci. Questi due modelli hanno variabili differenti come riportato di seguito:

- intersezioni a 3 bracci;
 - *LB*: Lane balance, ossia un parametro, che può assumere solo valore binario, che tiene conto della omogeneità delle strade confluenti nell'intersezione: $LB = 1$ se il numero delle corsie della strada principale è uguale a quello della strada secondaria, $LB = 0$ viceversa;
 - *MMAJ1*: variabile binaria che considera la presenza (1) o meno (0) dello spartitraffico in un tronco della strada principale;
 - *MMAJ2*: variabile binaria che considera la presenza (1) o meno (0) dello spartitraffico in entrambi i tronchi della strada principale;
 - *MMIN*: variabile binaria che considera la presenza (1) o meno (0) dello spartitraffico in entrambi i tronchi della strada secondaria;
 - *RTPMAJ*: variabile binaria che considera la presenza (1) o meno (0) della corsia specializzata per le manovre di svolta a destra;
- intersezioni a 4 bracci;
 - *LB*: Lane balance, ossia un parametro, che può assumere solo valore binario, che tiene conto della omogeneità delle strade confluenti nell'intersezione: $LB = 1$ se il numero delle corsie della strada principale è uguale a quello della strada secondaria, $LB = 0$ viceversa;
 - *LMAJ7*: è una variabile binaria che dà un'indicazione sul numero di corsie stradali: se sono più di 3 il parametro vale 1, altrimenti 0;
 - *LWMIN*: è la larghezza media della corsia della strada secondaria (valore numerico);
 - *RTPMAJ*: variabile binaria che considera la presenza (1) o meno (0) della corsia specializzata per la manovra di svolta a destra;
 - *LOW*: identifica il numero di tronchi a senso unico (valore numerico).

È opportuno considerare che i semafori non sono inclusi nel modello, se ne è dunque tenuto conto attraverso CMF addizionali.

6.9 Analisi costi-benefici

La differenza tra la frequenza attesa di incidentalità prima e dopo l'implementazione delle contromisure può essere calcolata separatamente per incidenti con morti + feriti (FI) e per incidenti con danni alle sole cose (PDO). Questa differenza può essere convertita in un valore monetario per ogni anno della vita utile della contromisura, così da determinare i benefici. Nel contesto urbano, la vita media delle contromisure può essere assunta pari a 10 anni sia per quelle di breve termine che per quelle di lungo termine. La conversione monetaria può essere fatta considerando i costi sociali forniti nel report del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2011)¹⁸.

Tab. 6.39: Esempio dei calcoli dei valori attualizzati dei benefici per la Combinazione 2 delle contromisure. I costi di incidentalità per ogni categoria (KABC e O) moltiplicati per la differenza del valore atteso di incidentalità prima e dopo l'implementazione delle contromisure ($\Delta N_{Atteso_###_Combinazione2}$ in questo esempio) danno il valore monetario dell'incidentalità risparmiato grazie alle contromisure ($AM_{O_Combinazione2}$ e $AM_{KABC_Combinazione2}$).

Combinazione 2 - Breve termine (Pacchetto 2)							
Vita contromisura [anni]	$\Delta N_{Atteso_KABC_Comb.2}$ (1 anno)	Costo incidente_KABC	$\Sigma \Delta_{KABC_Comb.2}$ (1 anno)	$\Delta N_{Atteso_O_Comb.2}$ (1 anno)	Costo incidente_O	$\Sigma \Delta_{O_Comb.2}$ (1 anno)	
10	14,40	309863 €	4 463 128,93 €	105,63	10 986,00 €	1 160 408,05 €	
Calcolo del beneficio attualizzato nella vita utile della contromisura							
Vita utile della contromisura [anni (reali-progressivi)]	PA, i,y (tasso di sconto = 3,5 %)	$\Sigma \Delta_{KABC}$	$\Sigma \Delta_{O}$	Valore attualizzato_KABC_Comb.2	Valore attualizzato_O_Comb.2		
2019	1	1,00	4 463 128,93 €	1 160 408,05 €	4 463 128,93 €	1 160 408,05 €	
2020	2	1,90	4 463 128,93 €	1 160 408,05 €	8 478 580,48 €	2 204 420,53 €	
2021	3	2,80	4 463 128,93 €	1 160 408,05 €	12 504 067,06 €	3 251 042,10 €	
2022	4	3,67	4 463 128,93 €	1 160 408,05 €	16 393 426,08 €	4 262 270,68 €	
2023	5	4,52	4 463 128,93 €	1 160 408,05 €	20 151 260,88 €	5 239 303,12 €	
2024	6	5,33	4 463 128,93 €	1 160 408,05 €	23 782 019,13 €	6 183 295,81 €	
2025	7	6,11	4 463 128,93 €	1 160 408,05 €	27 289 998,13 €	7 095 366,05 €	
2026	8	6,87	4 463 128,93 €	1 160 408,05 €	30 679 349,82 €	7 976 593,33 €	
2027	9	7,61	4 463 128,93 €	1 160 408,05 €	33 954 085,74 €	8 828 020,65 €	
2028	10	8,32	4 463 128,93 €	1 160 408,05 €	37 118 081,81 €	9 650 655,75 €	
Totale (KABC + O = ALL)					214813998,05 €	55851376,06 €	270665374,11 €

Il beneficio ottenuto deve poi essere convertito nei valori attualizzati (il tasso di sconto è stato assunto pari a 3,5%). Il beneficio monetario è ottenuto considerando la somma delle variazioni delle frequenze medie attese su ciascun elemento della rete considerata, per ciascun anno della vita utile delle contromisure implementate, moltiplicata per il costo stimato di ogni singolo incidente (per differenti severità). I costi stimati di ciascun incidente dipendono dalla severità dell'incidente stesso. In Italia, ogni incidente FI (mortale + con feriti) ha un costo sociale medio di € 309.863,00; mentre un incidente PDO di € 10.986,00. Il valore attualizzato del beneficio per ciascun anno di implementazione delle contromisure è calcolato considerando il tasso di sconto, in questo caso pari a 3,5%. Il valore del beneficio attualizzato è calcolato come segue:

$$PV_{Benefici} = \text{Valore Monetario Totale Annuo } (CF, i, y) \quad (\text{Eq. 6-17})$$

dove (CF, i, y) è il fattore di conversione del valore attualizzato per una serie di importi annui uniformi:

$$(CF, i, y) = \frac{(1+i)^y - 1}{i(1+i)^y} \quad (\text{Eq. 6-18})$$

dove:

- i è il tasso di sconto (in questo caso 3,5 %);
- y è la vita della contromisura (anni).

¹⁸ Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Dipartimento per i Trasporti, la Navigazione ed i Sistemi Informativi e Statistici, Direzione Generale per la Sicurezza Stradale (2010), *Studio di valutazione dei Costi Sociali dell'incidentalità stradale*, Report.

Un altro foglio di calcolo è stato usato per calcolare il valore attualizzato del beneficio per ogni pacchetto di contromisure. Un esempio dell'output ottenuto dal calcolo è riportato qui di seguito.

Dopo i valori attualizzati dei benefici delle contromisure, sono stati stimati anche i costi dell'implementazione di ciascun pacchetto di contromisure. Questi costi dovrebbero includere i costi di manutenzione ordinaria durante la vita utile (10 anni), prevedendo il numero di interventi durante questo periodo. Questo calcolo è necessario perché gli interventi fatti durante la vita utile delle contromisure dovrebbero essere convertiti in valori attualizzati. Il costo totale della combinazione è essenzialmente la somma dei costi di implementazione delle contromisure e di quelli di manutenzione (valori attualizzati).

Un esempio della stima dei costi, correlati a ciascun set di contromisure, è riportato di seguito.

Tab. 6.40: Esempio dei costi stimati (valori attualizzati) per la combinazione 2 delle contromisure. Il costo totale è dato dalla somma dei valori attualizzati dei costi (ottenuti dal prodotto dei Costi di manutenzione *Combinazione2* e il fattore di conversione per il valore attualizzato PA, i, y) a causa della manutenzione durante la vita utile della contromisura e il costo di implementazione delle contromisure (Costi *Combinazione2*).

Vita contromisura [Anni]	Costo combinazione 2	Costo di manutenzione combinazione 2	Costo di manutenzione combinazione 2 (1 anno)	
10	€ 353714,900	€ 521720,700	52172,07 €	
<i>Calcolo del beneficio attualizzato nella vita utile della contromisura</i>				
Vita utile contromisura [anni (reali-progressivi)]	PA, i, y (tasso di sconto = 3,5 %)	Costo di manutenzione combinazione 2 (1 anno)	Costo attualizzato combinazione 2	
2019	1	1,00	52 172,07 €	52 172,07 €
2020	2	1,90	52 172,07 €	99 110,98 €
2021	3	2,80	52 172,07 €	146 167,20 €
2022	4	3,67	52 172,07 €	191 632,15 €
2023	5	4,52	52 172,07 €	235 559,63 €
2024	6	5,33	52 172,07 €	278 001,64 €
2025	7	6,11	52 172,07 €	319 008,42 €
2026	8	6,87	52 172,07 €	358 628,49 €
2027	9	7,61	52 172,07 €	396 908,75 €
2028	10	8,32	52 172,07 €	433 894,52 €
<i>Costo totale (Costi totali attualizzati, compresi i costi di attuazione)</i>			2511083,84 €	2864798,74 €

6.9.1 Ranking dei progetti

La valutazione economica può essere fatta sia attraverso il metodo VAN (Valore Attualizzato Netto) sia attraverso il metodo BCR (Benefit-Cost ratio).

Il VAN è la differenza tra i benefici ottenuti dall'implementazione di ciascun pacchetto di contromisure e i costi per implementarle; il BCR è il rapporto tra i benefici ed i costi delle contromisure. Se il VAN è positivo, la selezione della contromisura è giustificata, così come se il BCR è maggiore di 1.

Il calcolo di VAN e BCR per ciascun pacchetto di contromisure considerato è mostrato di seguito.

Tab. 6.41: Valori calcolati di VAN e BCR per ogni pacchetto di contromisure (pista ciclabile CMF = 0.9).

Scenario: CMF pista ciclabile= 0,9	Costi attualizzati	Benefici attualizzati	VAN	BCR
Combinazione 1 Pacchetto A	208 359,87 €	91 518 705,71 €	91 310 345,84 €	439,2
Combinazione 4 Pacchetto C	909 862,73 €	170 241 852,85 €	169 331 990,12 €	187,1
Combinazione 2 Pacchetto B	2 864 798,74 €	270 665 374,11 €	267 800 575,37 €	94,5
Combinazione 3 Pacchetto A+B	3 073 158,61 €	318 558 956,16 €	315 485 797,55 €	103,7
Combinazione 5 Pacchetto B+C	3 774 252,47 €	180 984 026,73 €	177 209 774,26 €	48,0

Tab. 6.42: Valori calcolati di VAN e BCR per ogni pacchetto di contromisure (pista ciclabile CMF = 1.0).

Scenario: CMF pista ciclabile= 1	Costi attualizzati	Benefici attualizzati	VAN	BCR
Combinazione 1 Pacchetto A	208 359,87 €	91 518 705,71 €	91 310 345,84 €	439,2
Combinazione 6 Pacchetto C	909 862,73 €	164 050 401,47 €	163 140 538,74 €	180,3
Combinazione 2 Pacchetto B	2 864 798,74 €	270 665 374,11 €	267 800 575,37 €	94,5
Combinazione 3 Pacchetto A+B	3 073 158,61 €	318 558 956,16 €	315 485 797,55 €	103,7
Combinazione 7 Pacchetto B+C	3 774 252,47 €	177 253 558,99 €	173 479 306,52 €	47,0

Alcune considerazioni:

- il valore di VAN calcolato per la combinazione 3 (somma dei pacchetti di contromisure del breve termine) è il più alto per entrambi i casi considerati (CMF = 0,9 o 1,0 per pista ciclabile);
- il valore di BCR calcolato per la combinazione 1 (breve termine, pacchetto A) è il più alto in entrambi i casi considerati (CMF = 0,9 o 1,0 per pista ciclabile).

La classifica ottenuta secondo il metodo VAN o BCR potrebbe tuttavia essere meno affidabile dell'analisi incrementale ottenuta dalla comparazione dei valori di BCR.

L'analisi incrementale (uno dei metodi suggeriti dall'HSM, 2010⁶) compara coppie di combinazioni, basandosi sulla differenza tra i benefici del secondo progetto meno costoso ed il progetto meno costoso. Nel caso specifico la classifica è stata fatta in base al valore BCR grazie all'Analisi Incrementale, confrontando coppie di contromisure. Questa procedura è più affidabile della semplice classifica ottenuta attraverso il VAN.

In sostanza si opera secondo la procedura indicata nel seguito.

1. Eseguire una valutazione BCR per ogni progetto di miglioramento individuale.
2. Considerare progetti con un BCR maggiore di 1,0, secondo un ordine crescente in base al loro costo stimato. Il progetto con il minor costo è elencato per primo.
3. Cominciando dalla sommità della lista, calcolare la differenza tra i benefici del primo e del secondo progetto. Analogamente calcolare la differenza tra i costi del primo e del secondo progetto. Le differenze tra i benefici e i costi dei due progetti vengono utilizzati per calcolare il BCR per l'investimento incrementale.
4. Se il BCR per l'investimento incrementale è superiore a 1, il progetto con il maggior costo viene confrontato con il successivo progetto nell'elenco. Se il BCR per l'investimento incrementale è inferiore a 1, il progetto con il minor costo viene confrontato con il successivo progetto nell'elenco.
5. Ripetere questo processo. Il progetto selezionato dopo l'ultimo confronto è considerato il miglior investimento economico.

I risultati dei costi e dei benefici per ciascuna delle 7 combinazioni sono riassunti nella tabella 6.43.

L'analisi incrementale può essere utilizzata solo se tutti i BCR sono superiori a 1, altrimenti i costi sarebbero superiori ai benefici derivanti dalle implementazioni delle contromisure, quindi esse non sarebbero accettabili.

I calcoli per lo scenario usato come esempio (CMF = 0.9 per pista ciclabile) sono mostrati di seguito. In tabella le combinazioni sono indicate secondo la dicitura C, che indica la combinazione ed il numero N, riferito alla numerazione delle combinazioni come indicato sino ad ora. La differenza Δ , relativa sia ai costi che ai benefici, è invece espressa genericamente come la differenza tra la x-esima combinazione C (Cx) e la y-esima combinazione C (Cy).

Tab. 6.43: Analisi incrementale BCR (CMF = 0,9 per pista ciclabile).

Scenario: CMF pista ciclabile = 0,9			
Analisi incrementale			
Coppie di combinazioni	Δ Benefici (Cx - Cy)	Δ Costi (Cx - Cy)	Rapporto incrementale
C1 - C4	€ 7872314715	€ 701502,86	112,221
C4 "vince"			
C4 - C2	€ 100423521,26	€ 1954936,01	51,369
C2 "vince"			
C2 - C3	€ 47893582,05	€ 208359,87	229,860
C3 "vince"			
C3 - C5	-€ 137574929,43	€ 701093,86	-196,229
C3 "vince"			
Analisi incrementale			
Coppie di combinazioni	Δ Benefici (Cx - Cy)	Δ Costi (Cx - Cy)	Rapporto incrementale
C1 - C4	€ 78723147,15	€ 701502,86	112,221
C4 "vince"			
C4 - C2	€ 100423521,26	€ 1954936,01	51,369
C2 "vince"			
C2 - C5	-€ 89681347,38	€ 909453,72	-98,610
C2 "vince"			
Analisi incrementale			
Coppie di combinazioni	Δ Benefici (Cx - Cy)	Δ Costi (Cx - Cy)	Rapporto incrementale
C1 - C4	€ 78723147,15	€ 701502,86	112,221
C4 "vince"			
C4 - C5	€ 10742173,87	€ 2864389,73	3,750
C5 "vince"			
Analisi incrementale			
Coppie di combinazioni	Δ Benefici (Cx - Cy)	Δ Costi (Cx - Cy)	Rapporto incrementale
C1 - C4	€ 78723147,15	€ 701502,86	112,221
C4 "vince"			

Le classifiche finali dei progetti (combinazioni alternative dei pacchetti di contromisure) sono le seguenti.

Tab. 6.44: Classifica finale per alternative progettuali con pista ciclabile avente CMF = 0,9.

Scenario: CMF pista ciclabile= 0,9	Costi attualizzati	Benefici attualizzati	VAN	BCR
Combinazione 4 Pacchetto C	909 862,73 €	170 241 852,85 €	169 331 990,12 €	187,1
Combinazione 5 Se Pacchetto B+C	3 774 252,47 €	180 984 026,73 €	177 209 774,26 €	48,0
Combinazione 2 Pacchetto B	2 864 798,74 €	270 665 374,11 €	267 800 575,37 €	94,5
Combinazione 3 Pacchetto A+B	3 073 158,61 €	318 558 956,16 €	315 485 797,55 €	103,7
Combinazione 1 Pacchetto A	208 359,87 €	91 518 705,71 €	91 310 345,84 €	439,2

Adottando la stessa procedura mostrata in tabella 6.43, sono stati calcolati anche i benefici economici e di sicurezza delle varie combinazioni di contromisure, considerando il CMF=1 per la pista ciclabile. A seguito dei calcoli effettuati, la classifica conseguente è quella mostrata di seguito, in Tab. 6.45.

Tab. 6.45: Classifica finale per alternative progettuali con pista ciclabile avente CMF =1.0.

Scenario: CMF pista ciclabile= 1	Costi attualizzati	Benefici attualizzati	VAN	BCR
Combinazione 6 Pacchetto C	909 862,73 €	164 050 401,47 €	163 140 538,74 €	180,3
Combinazione 7 Pacchetto B+C	3 774 252,47 €	177 253 558,99 €	173 479 306,52 €	47,0
Combinazione 2 Pacchetto B	2 864 798,74 €	270 665 374,11 €	267 800 575,37 €	94,5
Combinazione 3 Pacchetto A+B	3 073 158,61 €	318 558 956,16 €	315 485 797,55 €	103,7
Combinazione 1 Pacchetto A	208 359,87 €	91 518 705,71 €	91 310 345,84 €	439,2

Secondo il metodo dell'analisi incrementale BCR, la combinazione più conveniente è la 4 (o la 6, considerando CMF per pista ciclabile = 1), cioè quella che considera il Pacchetto C -contromisure a lungo termine.

6.10 Riferimenti

- AASHTO (2010), *Highway Safety Manual, First Edition*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., USA.
- Colonna P., Intini P., Berloco N., Fedele V., Masi G., Ranieri V. (2019), "An Integrated Design Framework for Safety Interventions on Existing Urban Roads. Development and Case Study Application", *Safety*, 5(1), 13.
- Decreto Ministeriale n. 6792 of 5 novembre 2001, *Norme Funzionali e Geometriche delle Strade*.
- Decreto Ministeriale del 19 aprile 2006, *Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali*.
- Decreto Ministeriale n. 137 of 2 maggio 2012, *Linee guida per la gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali ai sensi dell'art. 8 del decreto legislativo 15 marzo 2011, n. 35*.
- Gomes S. V., Geedipally S. R., Lord D. (2012), "Estimating the safety performance of urban intersections in Lisbon, Portugal", *Safety science*, 50(9), 1732-1739.
- Greibe P. (2003), "Accident prediction models for urban roads", *Accident Analysis & Prevention*, 35(2), 273-285.
<https://ceremsslazio.astralspa.it/ceremss/>
- Intini P., Berloco N., Cavalluzzi G., Colonna, P., Lord D., Ranieri V. (2020), "The variability of urban safety performance functions for different road elements: an italian case study", Under review.
- Jacobsen P. L. (2003), "Safety in numbers: More walkers and bicyclists, safer walking and bicycling", *Injury Prevention*, 9, 205-209.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Dipartimento per i Trasporti, la Navigazione ed i Sistemi Informativi e Statistici, Direzione Generale per la Sicurezza Stradale (2010), *Studio di valutazione dei Costi Sociali dell'incidentalità stradale*, Report.
- U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, FHWA (2008) "Desktop reference for crash reduction factors", *Report n. FHWA-SA-08-011*, September.
- WHO (World Health Organization), Available online: <https://extranet.who.roadsafety/death-on-the-roads/> (accessed on 1 January, 2019).
- Wijnen W., Weijermars W., Vanden Berghe W., Schoeters A., Bauer R., Carnis L., Elvik R., Theofilatos A., Filtness A., Reed S., Perez C., Martensen H. (2017), *Crash cost estimates for European countries, Deliverable 3.2*, of the H2020 project SafetyCube.
- Wolshon B., Pande A. (2016), *Traffic engineering handbook*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, USA.



Nel 2001 in Italia è entrato in vigore il Decreto Ministeriale di riferimento per la progettazione delle strade. Nel 2004, tale norma è stata emendata per quanto concerne l'adeguamento di strade esistenti, restringendo la cogenza del D.M. n.6792 del 5/11/2001 al solo progetto di nuove infrastrutture. Tuttavia, la modifica del 2004 non ha fornito indicazioni operative su come effettuare gli adeguamenti in sicurezza di infrastrutture esistenti né su come valutarne le modifiche, rinviando il tutto ad una successiva norma che, ad oggi, non è ancora stata emanata.

Nel contempo, nei vent'anni trascorsi, le conoscenze nel campo della sicurezza stradale si sono evolute rapidamente e, dal 2010, si può beneficiare dei concetti espressi nel testo americano *Highway Safety Manual*, riferimento cruciale per valutare quantitativamente gli effetti sulla sicurezza stradale di una qualsiasi modifica infrastrutturale. In Italia, le Linee Guida per la Gestione della Sicurezza Stradale (2012, basate sulla Direttiva Europea) non forniscono invece dirette indicazioni progettuali operative.

Inoltre, nello stesso ventennio, la coscienza ambientale legata alle infrastrutture stradali è notevolmente mutata, tendendo sempre di più alla considerazione della sostenibilità ambientale nei progetti di nuove infrastrutture e negli adeguamenti delle strade esistenti.

I recenti accadimenti relativi a collassi strutturali hanno poi di fatto convogliato l'attenzione della opinione pubblica verso un ambito particolare della sicurezza infrastrutturale, legato alla manutenzione delle opere d'arte (in particolare ponti e viadotti), che rappresenta però solo un aspetto percentualmente molto limitato dell'immenso danno sociale determinato dalla carenza della sicurezza stradale.

Il presente manuale si inserisce in questo panorama, cercando di fornire le linee di indirizzo per risolvere il problema di come affrontare operativamente e razionalmente i progetti di adeguamento di infrastrutture esistenti, sia urbane che extraurbane (con due esempi applicativi completi), con particolare riferimento alla sicurezza stradale ma considerandone anche gli aspetti di sostenibilità. Esso si inserisce nel solco della normativa esistente e dei recenti sviluppi tecnico-scientifici e, pur non volendo rappresentare la base di una nuova norma, può aiutare ad individuare un percorso di riferimento in attesa dell'emanazione di una norma dedicata.

Perché noi ricercatori e tecnici, lavoriamo nel campo della sicurezza stradale?

Questo lavoro desidero che venga dedicato a ogni "TU" che ciascuno di noi ha conosciuto e che ha perso la vita in un incidente stradale.

A ciascuno di noi resta invece il compito, attraverso il nostro lavoro apparentemente di scarsa importanza, di ridare la opportunità della gioia di vivere, di essere se stessi e di essere felici, a tanti "TU" che, anche se non ne saranno coscienti, eviteranno di incorrere in un sinistro proprio a causa dei metodi che questo libro illustra.

Qualcuno ci ringrazierà.

Pasquale Colonna

Pasquale Colonna

Professore di Sicurezza Stradale, Politecnico di Bari, Direttore del Dipartimento "Vie e Trasporti" (2003-2009).

Vittorio Ranieri

Professore di Costruzioni di Strade, Ferrovie e Aeroporti, Politecnico di Bari.

Nicola Berloco

Professore di Sostenibilità delle Infrastrutture Viarie, Politecnico di Bari.

Paolo Intini

Professore di Infrastrutture di Viabilità Pedonale, Ciclabile e Motorizzata, Politecnico di Bari.