

POLITECNICO DI TORINO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA GESTIONALE E DELLA PRODUZIONE



**Politecnico
di Torino**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

**Analisi dell'impatto dei dispositivi T-Red sui
sinistri stradali nella città di Torino**

Relatori

Prof. Carlo Cambini

Prof. Lorien Sabatino

Candidato

Giorgio Caramma

Anno Accademico 2021/2022

*A mamma e papà,
distanti, ma sempre vicini,
in questo viaggio.*

*Alla mia città,
terra di fuoco e mare.
37°45'03.1"N 14°59'31.6"E*

Sommario

Gli incidenti stradali rappresentano l'ottava causa di morte tra tutti i gruppi di età a livello mondiale e la prima tra gli individui di età compresa tra i 5 e i 29 anni. In particolare, gli ultimi dati resi disponibili dall'*Organizzazione Mondiale della Sanità* rivelano che ogni anno circa 1,3 milioni di persone perdono la vita a causa di un sinistro e fino a 50 milioni subiscono delle lesioni non mortali che, in molti casi, portano a disabilità.

Data la rilevanza del problema, l'*Organizzazione delle Nazioni Unite* identifica la sicurezza stradale come un requisito fondamentale per promuovere il benessere sociale e ingloba target specifici tra gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile nel programma "*Agenda 2030*" in modo da incentivare i governi a intraprendere delle misure forti ed efficaci volte a mitigare i principali fattori di rischio: eccesso di velocità, non rispetto delle indicazioni semaforiche, guida in stato di ebbrezza e non utilizzo dei dispositivi di sicurezza.

In tale contesto, normative più stringenti e una maggiore applicazione del codice della strada si presentano come degli strumenti in grado di modificare efficacemente il comportamento dei conducenti e di ridurre notevolmente il fenomeno dell'incidentalità, contrastando così l'idea diffusa secondo la quale gli incidenti stradali siano degli eventi del tutto aleatori, cioè caratterizzati da poco margine per intraprendere delle azioni preventive che ne abbattano la frequenza di accadimento, e il fatalismo secondo il quale i decessi e i feriti siano il prezzo da pagare per garantire la mobilità.

L'elaborato, quindi, si propone di indagare l'impatto sull'incidentalità nella città di Torino dell'installazione dei T-Red, cioè dei dispositivi intelligenti che, attraverso un maggior *enforcement* del codice della strada riguardante le infrazioni semaforiche, aumentano la percezione dei conducenti di essere rilevati e sanzionati incentivandoli a mantenere un comportamento più giudizioso in prossimità delle intersezioni con possibile *spillover* positivo sull'incidentalità. Di conseguenza, basandosi sui dati dei sinistri stradali dal 2016 al 2021, messi a disposizione dal Comune di Torino, lo scopo del presente lavoro è quello di valutare, attraverso l'utilizzo del *difference-in-differences*, se l'installazione di tali dispositivi abbia potuto generare una riduzione statisticamente significativa dei sinistri stradali.

Indice

Elenco delle figure	III
Elenco delle tabelle	IX
Introduzione.....	1
Capitolo I.....	3
1 Incidentalità stradale e politiche preventive.....	3
1.1 Introduzione.....	3
1.2 La lotta contro l'incidentalità	5
1.2.1 Il caso europeo	11
1.2.1.1 Efficacia dei piani di azione	16
1.2.2 La disomogeneità tra i paesi a basso, medio e alto reddito.....	18
1.3 Il ruolo dell' <i>enforcement</i> del Codice della Strada: le evidenze dalla letteratura economica.....	21
1.3.1 L'effetto delle normative	23
1.3.2 L'effetto dell' <i>enforcement</i> del Codice della Strada.....	26
1.3.3 L'effetto dei dispositivi di rilevazione delle infrazioni semaforiche.....	32
1.4 L'incidentalità in Italia e i dispositivi T-Red	35
1.4.1 Il contesto italiano.....	35
1.4.1.1 Un focus su Torino	37
1.4.2 I dispositivi T-Red	38
Capitolo II	45
2 L'incidentalità nella città di Torino.....	45
2.1 Introduzione.....	45
2.2 Il confronto con il contesto italiano.....	45
2.2.1 Un focus sull'incidentalità nelle grandi città	52
2.3 La costruzione del dataset	59
2.3.1 I dati sull'incidentalità 2016-2021	59

2.3.2	Anagrafica dei dispositivi T-Red.....	61
2.3.3	I dati relativi al flusso di traffico	62
2.4	Le statistiche descrittive	62
2.4.1	L'incidentalità per tipologia di strada.....	65
2.4.2	L'incidentalità nelle intersezioni monitorate dai dispositivi T-Red.....	69
2.4.2.1	Prima serie di attivazioni del 02/12/2019.....	82
2.4.2.2	Seconda serie di attivazioni del 10/03/2020.....	84
2.4.2.3	Terza attivazione del 14/07/2021	87
Capitolo 3	93
3	L'impatto dei dispositivi T-Red	93
3.1	Introduzione.....	93
3.2	Il metodo del <i>difference-in-differences</i>	94
3.2.1	La notazione di regressione e il metodo <i>Ordinary Least Squares</i>	97
3.3	Il modello utilizzato.....	102
3.4	I risultati del modello	103
3.4.1	I risultati del primo gruppo di specificazioni.....	103
3.4.2	I risultati del secondo gruppo di specificazioni	106
3.4.3	I risultati del terzo gruppo di specificazioni	108
Conclusioni	111
Bibliografia	113

Elenco delle figure

Figura 1: I cinque pilastri del <i>Decennio di Azione 2011-2020</i> [14]	6
Figura 2: Le strategie <i>Save lives</i> [4]	8
Figura 3: Trend dei decessi e del tasso di mortalità su 100.000 abitanti [6]	10
Figura 4: Trend dei decessi e del tasso di mortalità normalizzato su 100.000 veicoli [6].....	10
Figura 5: Variazione percentuale del numero di decessi dal 2001 al 2010 [21].....	12
Figura 6: Variazione del numero di incidenti, morti e feriti 2001-2010 [8]	13
Figura 7: Variazione percentuale del numero di decessi 2010-2020 [23]...	14
Figura 8: Variazione percentuale dei decessi 2010-2019 [24].....	15
Figura 9: Variazione dei decessi dal 2000 al 2020 [23]	16
Figura 10: Proporzione di popolazione, morti per incidenti stradali e veicoli registrati suddivisi per categorie di reddito [6]	19
Figura 11: Numero di paesi che hanno registrato un cambiamento nei decessi per incidenti stradali [6]	19
Figura 12: Distribuzione delle leggi sull'eccesso di velocità basate sulle migliori pratiche [6]	20
Figura 13: Classificazione dei paesi a basso, medio e alto reddito [29].....	21
Figura 14: Rilevazione della velocità nei giorni <i>Blitzmarathon</i> e nei giorni regolari [39]	29
Figura 15: Effetto nel tempo degli <i>SLMO</i> [39]	31
Figura 16: Variazione incidenti, morti e feriti 2001-2010 [8].....	35
Figura 17: Violazione semaforica - Arresto oltre la linea orizzontale [13].	39
Figura 18: Violazione semaforica - Prosegue dritto sulla corsia di svolta [13].....	39
Figura 19: Violazione semaforica - Attraversamento incrocio con semaforo rosso [13]	40
Figura 20: Disposizione geografica dei T-Red nella città di Torino	41
Figura 21: T-Red che monitora l'intersezione tra corso Lecce, corso Potenza e corso Regina Margherita	42
Figura 22: Trend incidentalità 2010-2020 (Fonte dati: ISTAT).....	46

Figura 23: Variazione percentuale incidenti nelle regioni 2010-2019 (Fonte dati: ISTAT).....	46
Figura 24: Trend del tasso di incidenti 2010-2020 (Fonte dati: ISTAT)	47
Figura 25: Variazione percentuale del tasso di incidenti nelle regioni 2010-2019 (Fonte dati: ISTAT)	48
Figura 26: Trend del rapporto incidenti negli incroci su incidenti 2010-2020 (Fonte dati: ISTAT)	49
Figura 27: Trend incidentalità incroci 2010-2020 (Fonte dati: ISTAT)	49
Figura 28: Variazione percentuale incidenti negli incroci per regione 2010-2019 (Fonte dati: ISTAT)	50
Figura 29: Numero di incidenti nelle intersezioni in Piemonte 2010-2020 (Fonte dati: ISTAT)	51
Figura 30: Confronto tasso lesività in Piemonte 2010-2020 (Fonte dati: ISTAT).....	51
Figura 31: Trend incidentalità nei grandi comuni italiani 2010-2020 (Fonte dati: ISTAT).....	52
Figura 32: Variazione percentuale incidenti nelle grandi città 2010-2019 (Fonte dati: ISTAT)	53
Figura 33: Trend del rapporto incidenti negli incroci su incidenti per i grandi comuni italiani 2010-2020 (Fonte dati: ISTAT).....	53
Figura 34: Trend incidentalità incroci per i grandi comuni italiani 2010-2020 (Fonte dati: ISTAT)	54
Figura 35: Variazione percentuale incidenti negli incroci per le grandi città italiane 2010-2019 (Fonte dati: ISTAT)	55
Figura 36: Trend del numero di sinistri nelle intersezioni per la città di Torino 2010-2020 (Fonte dati: ISTAT).....	55
Figura 37: Tasso medio mortalità per i grandi comuni italiani (Fonte dati: ISTAT).....	56
Figura 38: Trend mortalità nella città di Torino 2010-2020 (Fonte dati: ISTAT).....	57
Figura 39: Tasso medio lesività per i grandi comuni italiani (Fonte dati: ISTAT).....	57
Figura 40: Confronto tasso lesività incidenti Torino 2010-2020 (Fonte dati: ISTAT).....	58
Figura 41: Trend di incidentalità nella città di Torino 2016-2021	63

Figura 42: Distribuzione degli incidenti per tipologia strada 2016-2021 ...	63
Figura 43: Distribuzione degli incidenti per condizione della pavimentazione 2016-2021	64
Figura 44: Distribuzione degli incidenti per condizioni del fondo stradale 2016-2021	64
Figura 45: Distribuzione degli incidenti per condizioni metereologiche 2016-2021	65
Figura 46: Trend degli incidenti per tipologia strada 2016-2021.....	66
Figura 47: Trend del numero di feriti per tipologia strada 2016-2021	66
Figura 48: Trend del tasso di lesività per tipologia strada 2016-2021	67
Figura 49: Trend del numero di morti per tipologia strada 2016-2021	68
Figura 50: Trend del tasso di mortalità per tipologia strada 2016-2021	68
Figura 51: Proporzione relativa degli incidenti avvenuti nelle intersezioni semaforizzate T-Red e nei siti limitrofi 2016-2018.....	72
Figura 52: Proporzione relativa degli incidenti avvenuti nelle intersezioni T- Red rispetto agli incidenti avvenuti nelle altre intersezioni semaforizzate 2016-2018.....	72
Figura 53: Proporzione relativa dei feriti registrati nelle intersezioni semaforizzate T-Red e nei siti limitrofi 2016-2018.....	73
Figura 54: Proporzione relativa dei feriti registrati nelle intersezioni T-Red rispetto ai feriti registrati nelle sole intersezioni semaforizzate 2016-2018.....	73
Figura 55: Trend di incidentalità nelle intersezioni T-Red 2016-2021	74
Figura 56: Trend del numero di incidenti nelle intersezioni T-Red e negli altri incroci semaforizzati 2016-2021	76
Figura 57: Trend del numero di incidenti nei siti nel raggio di 250 metri dai T-Red e nelle altre località 2016-2021	77
Figura 58: Trend del numero di incidenti nei siti nel raggio di 500 metri dai T-Red e nelle altre località 2016-2021	78
Figura 59: Trend del numero di incidenti nei siti nel raggio di 1000 metri dai T-Red e nelle altre località 2016-2021.....	78
Figura 60: Trend del numero di feriti nelle intersezioni semaforizzate T-Red e negli altri incroci semaforizzati 2016-2021	79
Figura 61: Trend del numero di feriti nei siti nel raggio di 250 metri dalle intersezioni T-Red e nelle altre località 2016-2021.....	80

Figura 62: Trend del numero di feriti nei siti nel raggio di 500 metri dalle intersezioni T-Red e nelle altre località 2016-2021	80
Figura 63: Trend del numero di feriti nei siti nel raggio di 1000 metri dalle intersezioni T-Red e nelle altre località 2016-2021	81
Figura 64: Andamento del numero di incidenti nelle intersezioni semaforizzate soggette alla prima serie di attivazioni del 02/12/2019	82
Figura 65: Andamento del numero di incidenti nelle intersezioni semaforizzate non regolate dai T-Red prima e dopo la prima serie di attivazioni del 02/12/2019	83
Figura 66: Andamento del numero di feriti nelle intersezioni semaforizzate soggette alla prima serie di attivazioni del 02/12/2019	83
Figura 67: Andamento del numero di feriti nelle intersezioni semaforizzate non regolate dai T Red prima e dopo la prima serie di attivazioni del 02/12/2019	84
Figura 68: Andamento del numero di incidenti nelle intersezioni semaforizzate soggette alla seconda serie di attivazioni del 10/03/2020	85
Figura 69: Andamento del numero di incidenti nelle intersezioni semaforizzate non regolate dai T-Red prima e dopo la prima serie di attivazioni del 02/12/2019	85
Figura 70: Andamento del numero di feriti nelle intersezioni semaforizzate soggette alla seconda serie di attivazioni del 10/03/2020	86
Figura 71: Andamento del numero di feriti nelle intersezioni semaforizzate non regolate dai T Red prima e dopo la seconda serie di attivazioni del 10/03/2020	86
Figura 72: Andamento del numero di incidenti nell'intersezione semaforizzata soggetta alla terza serie di attivazione del 14/07/2021	87
Figura 73: Andamento del numero di incidenti nelle intersezioni semaforizzate non regolate dai T-Red prima e dopo la terza attivazione del 14/07/2021	87
Figura 74: Andamento del numero di feriti nell'intersezione semaforizzata soggetta alla terza serie di attivazione del 14/07/2021	88
Figura 75: Andamento del numero di feriti nelle intersezioni semaforizzate non regolate dal T -Red prima e dopo la terza attivazione del 14/07/2021	88

Figura 76: Ripartizione del numero di incidenti con e senza violazione del Codice della Strada 2019-2021	89
Figura 77: Infrazioni associate agli incidenti nelle intersezioni semaforizzate 2019-2021	90
Figura 78: Infrazioni associate agli incidenti nelle intersezioni T-Red 2019-2021	90
Figura 79: Il metodo del <i>difference-in-differences</i>	96

Elenco delle tabelle

Tabella 1: <i>Primary vs secondary enforcement</i> [33]	25
Tabella 2: Effetto del <i>Blitzmarathon</i> sull'incidentalità [39]	30
Tabella 3: Variazione percentuale del numero di incidenti per programmi attuativi 2001-2010 [8]	36
Tabella 4: Anagrafica T-Red	61
Tabella 5: Classifica delle intersezioni semaforizzate per numero di incidenti 2016-2018	70
Tabella 6: Classifica delle intersezioni semaforizzate per numero di feriti 2016-2018	71
Tabella 7: Distribuzione del numero di incidenti nelle intersezioni T-Red 2016-2021	75
Tabella 8: Distribuzione del numero di feriti nelle intersezioni T-Red 2016- 2021	75
Tabella 9: Sanzioni per il passaggio con il rosso 2016-2018	91
Tabella 10: Sanzioni emesse nelle intersezioni monitorate dai T-Red 2019- 2021	91
Tabella 11: Analisi di regressione sul numero di incidenti per il primo gruppo di specificazioni	105
Tabella 12: Analisi di regressione sul numero di feriti per il primo gruppo di specificazioni	105
Tabella 13: Analisi di regressione sul numero di incidenti per il secondo gruppo di specificazioni	107
Tabella 14: Analisi di regressione sul numero di feriti per il secondo gruppo di specificazioni	107
Tabella 15: Analisi di regressione per il terzo gruppo di specificazioni ...	109

Introduzione

L'incidentalità rappresenta un problema di carattere internazionale che ogni anno causa milioni di vittime. Già a partire dal nuovo millennio governi e organizzazioni rimarcano costantemente il loro impegno promuovendo iniziative e piani nazionali con l'obiettivo di contrastare tale fenomeno. Le campagne di sensibilizzazione, effettuate mediante social media, spot pubblicitari o espedienti simili, son diventate sempre più frequenti e mirano ad aumentare la consapevolezza dei conducenti sulle terribili conseguenze di un sinistro. In particolare, lo scopo è quello di innescare un comportamento più responsabile alla guida che limiti notevolmente i fattori di rischio principalmente associati al non rispetto delle normative.

Ciò nonostante, la letteratura economica che studia il fenomeno dell'incidentalità rivela come le sole campagne di sensibilizzazione non siano sufficienti per cambiare in modo sostenibile le abitudini di guida degli utenti della strada, ma queste devono essere accompagnate da interventi mirati, forti ed efficaci principalmente incentrati su un maggior *enforcement* del Codice della Strada. Più specificatamente, solo aumentando la percezione dei conducenti di essere rilevati e sanzionati con multe proporzionate e dissuasive, è possibile influenzare il loro comportamento e, di conseguenza, ridurre il numero di sinistri, decessi e feriti. Tuttavia, sono ancora molti i sostenitori di un'idea poco nobile sull'*enforcement* del Codice della Strada, secondo la quale l'unico scopo è quello di aumentare le entrate economiche.

Tale elaborato, dunque, si propone di contrastare tale corrente di pensiero sfruttando l'installazione dei T-Red nella città di Torino a partire dal 2019, cioè dei dispositivi intelligenti di controllo e sanzionamento delle infrazioni semaforiche che, mediante un'intensificazione dell'applicazione delle normative, hanno l'obiettivo di ridurre il fenomeno dell'incidentalità nelle intersezioni in quanto luoghi con i più alti indici di lesività della città.

In particolare, lo scopo dello studio è quello di valutare a posteriori, tramite un'analisi di regressione basata sul metodo del *difference-in-differences*, se l'installazione di tali dispositivi abbia potuto generare una riduzione statisticamente significativa del numero di sinistri e feriti, attraverso l'utilizzo di un dataset contenente le informazioni degli incidenti registrati dal 2016 al 2021, gentilmente concesso dall'Ufficio Controllo di Gestione del Corpo di Polizia Municipale del Comune di Torino.

In particolare, il Capitolo I evidenzia il carattere internazionale del fenomeno dell'incidentalità e analizza le principali misure adottate per contrastarlo. Particolare enfasi è posta sull'*enforcement* del Codice della Strada che si

pone come uno strumento in grado di indirizzare efficacemente il comportamento dei conducenti verso una guida più responsabile con conseguente spillover positivo sul numero di sinistri e feriti. Segue, dunque, una rassegna della letteratura economica che analizza nel dettaglio la relazione tra le variabili. Il primo capitolo si conclude contestualizzando i dispositivi T-Red e analizzando il loro funzionamento.

Nel Capitolo II, invece, si effettua un confronto dell'incidentalità nelle grandi città italiane che permette di motivare l'installazione dei dispositivi nella città di Torino. Inoltre, viene chiarita la costruzione del dataset seguita da un'analisi descrittiva dello stesso che mostra l'andamento del fenomeno nel periodo preso in considerazione. Infine, per aiutare il lettore nella comprensione dell'analisi di regressione, il secondo capitolo si conclude analizzando nel dettaglio l'incidentalità nelle intersezioni T-Red, comparandola con quella registrata nelle altre intersezioni semaforizzate della città di Torino.

I risultati del modello che analizza l'impatto dei dispositivi sul numero di sinistri e feriti vengono riassunti nel Capitolo III, dopo una breve descrizione della metodologia implementata.

Capitolo I

1 Incidentalità stradale e politiche preventive

1.1 Introduzione

Gli incidenti stradali rappresentano una delle principali cause di mortalità nel mondo. Ogni anno circa 1,3 milioni di persone perdono la vita a causa di un sinistro e fino a 50 milioni di persone subiscono delle lesioni non mortali che, in molti casi, portano a disabilità. Praticamente, si verifica un decesso ogni 24 secondi.

Oltre a rappresentare un importante problema di salute pubblica, gli incidenti stradali provocano notevoli costi sanitari e socioeconomici che ammontano, per la maggior parte dei paesi, all'1-3% del loro prodotto interno lordo [1].

Per combattere tale fenomeno, nel 2010, l'*Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU)* proclama il "*Decennio di Azione per la sicurezza stradale 2011-2020*" con l'obiettivo di ridurre e stabilizzare il numero di vittime attraverso un'intensificazione degli interventi infrastrutturali, dell'*enforcement* del Codice della Strada e delle campagne di sensibilizzazione volti a combattere i principali fattori di rischio rappresentati dall'eccesso di velocità, dalla guida in stato di ebbrezza o sotto l'effetto di sostanze stupefacenti, dal non utilizzo dei dispositivi di sicurezza come caschi, cinture di sicurezza e sistemi di ritenuta per bambini, dall'utilizzo di telefoni cellulari durante la guida e da veicoli non conformi agli standard di sicurezza [2].

Nel 2015, per incentivare a intraprendere delle azioni concrete volte a ridurre il numero di incidenti, la sicurezza stradale viene identificata come un requisito fondamentale per promuovere il benessere sociale. Infatti, nel programma "*Agenda 2030*", sottoscritto dai governi dei 193 Paesi membri dell'*ONU*, tra i 169 traguardi per lo sviluppo sostenibile vengono inglobati gli obiettivi di riduzione del 50% dei decessi per sinistri stradali entro il 2020 e la promozione di infrastrutture sicure, accessibili e sostenibili entro il 2030 [3].

Due anni dopo, nel rapporto "*Save lives: a road safety technical package*", l'*Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS)* fornisce un inventario delle migliori pratiche legislative per la prevenzione degli incidenti stradali, evidenziando il ruolo chiave dell'intensificazione dell'applicazione delle

leggi del Codice della Strada e delle relative sanzioni che hanno l'obiettivo di mitigare i fattori di rischio appena esposti che sono principalmente dovuti ad un comportamento inadeguato degli utenti della strada [4]. La stessa *Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS)* rileva che se non venissero applicate le norme sulla guida in stato di ebbrezza, sull'utilizzo dei dispositivi di sicurezza e sui limiti di velocità o anche se tali norme venissero solamente percepite come non applicate, non vi sarebbe possibilità di influenzare il comportamento degli utenti della strada e di conseguenza di ridurre il numero di incidenti. Sotto tale ipotesi, si stima che i sinistri stradali diventerebbero la settima causa di morte entro il 2030 [5].

L'importanza dell'*enforcement* del Codice della Strada viene ribadita nel "*Global status report on road safety*" del 2018 nel quale vengono suggerite e incoraggiate iniziative frequenti, veloci e durature da parte degli organi di polizia statali in modo da aumentare la percezione degli utenti della strada di essere scoperti e puniti per un comportamento alla guida inadeguato [6].

A livello europeo, a seguito della proclamazione del *Decennio di Azioni*, nel programma di azione per la sicurezza stradale la *Commissione Europea (CE)* invita gli Stati membri a contribuire all'obiettivo comune di dimezzamento del numero di morti per sinistri attraverso l'elaborazione di strategie nazionali. Tra i sette obiettivi strategici, la Commissione incoraggia l'utilizzo di moderne tecnologie per migliorare la sicurezza stradale e il rafforzamento dell'applicazione delle regole della strada [7].

Lo Stato italiano, quindi, accogliendo gli obiettivi e gli indirizzi della *Commissione Europea*, definisce il "*Piano Nazionale sulla Sicurezza Stradale: orizzonte 2020*" nel quale fornisce un sistema di misure per la promozione e incentivazione di piani strategici e strumenti di vario tipo alle Regioni e agli Enti Locali da adattare al contesto specifico in modo da combattere l'incidentalità [8].

Restringendo l'ambito alla Città di Torino, contesto di analisi del presente elaborato, la Divisione Infrastrutture e Mobilità nel 2018 ha pubblicato le "*Linee di indirizzo per la redazione del piano operativo di sicurezza stradale 2019-2021*". In tale documento, in linea con le indicazioni del Piano Nazionale, la città di Torino si pone l'obiettivo di "*ridurre l'incidentalità nelle intersezioni in quanto luoghi con i più alti indici di lesività per tutte le categorie di utenti*" attraverso delle strategie di intervento che comprendono "*l'aumento dei controlli e del sanzionamento anche mediante apparecchiature automatiche omologate*". Ciò dovrebbe contribuire notevolmente all'obiettivo generale di diminuzione del 5% del numero di incidenti stradali entro il 2021 [9].

In tale contesto si inseriscono i sistemi **EnVES EVO MVD 1605**, conosciuti anche come **T-Red**, cioè dei dispositivi intelligenti, approvati con decreti dirigenziali 4670 del 28/07/2016 e 4020 del 21/06/2017 dal *Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT)* [10] [11], che hanno l'obiettivo di ridurre l'incidentalità negli incroci più pericolosi rilevando le infrazioni semaforiche, compreso l'arresto del veicolo oltre la linea orizzontale [12]. In particolare, considerando l'importo delle sanzioni che varia da 42,00 a 666,00€ e la decurtazione dei punti che varia da 2 a 6 (raddoppiata nel caso di neopatentati) [13], tali dispositivi dovrebbero rappresentare un potente incentivo per far sì che gli utenti della strada assumano un comportamento adeguato alla guida con conseguente *spillover* positivo sull'incidentalità.

Lo scopo, dunque, del presente elaborato è quello di valutare a posteriori se l'installazione di questi dispositivi abbia generato una riduzione dei sinistri stradali basandosi sui dati di incidentalità dal 2016 al 2021 messi a disposizione dal Comune di Torino.

1.2 La lotta contro l'incidentalità

L'*Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS)* periodicamente pubblica il "*Global status report on road safety*" nel quale viene fornita una panoramica sulla situazione della sicurezza stradale nel mondo. Purtroppo, i dati sull'incidentalità, riferiti all'anno 2016 e riportati nell'ultimo rapporto del 2018, non sono incoraggianti. Il report, infatti, rivela che i sinistri rappresentano l'ottava causa di morte tra tutti i gruppi di età a livello globale e la prima causa di morte tra le persone di età compresa tra i 5 e i 29 anni [6].

Data la rilevanza del problema è necessaria l'adozione e l'applicazione di misure forti ed efficaci. A tal proposito, l'impegno nella lotta contro l'incidentalità presenta un carattere internazionale dove governi e organizzazioni rimarcano costantemente le loro iniziative che hanno l'obiettivo di contrastare tale fenomeno migliorando la sicurezza stradale. Ad esempio, già all'inizio del nuovo millennio, l'Unione Europea sottolinea la necessità di intraprendere delle azioni e lancia dei piani volti a contrastare il crescente numero di incidenti stradali e i relativi decessi, che verranno discussi nel dettaglio nel paragrafo successivo.

Per contrastare il fenomeno dell'incidentalità a livello internazionale, nel 2010 viene proclamato il "*Decennio di Azione per la sicurezza stradale 2011-2020*" da parte dell'*Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU)* con l'obiettivo di ridurre il numero di vittime della strada attraverso

un'intensificazione delle attività condotte a livello globale, nazionale e regionale. Tale iniziativa viene affiancata da un Piano Globale di azione con lo scopo di supportare e allineare i vari paesi nella redazione di piani nazionali che contrastino i principali fattori di rischio e portino al raggiungimento di una migliore sicurezza stradale.

In particolare, come mostrato in *Figura 1*, la strategia proposta dall'*ONU* si basa su cinque pilastri (*pillar*):

- gestione della sicurezza stradale: incoraggiare la creazione e lo sviluppo di sistemi di raccolta dati in modo da valutare la progettazione delle contromisure e monitorare la loro attuazione ed efficacia;
- maggiore sicurezza di strade e mobilità: migliorare la pianificazione, progettazione, costruzione e gestione delle strade;
- maggiore sicurezza dei veicoli: incoraggiare l'utilizzo e la diffusione di nuove tecnologie che aumentino il livello di sicurezza;
- maggiore sicurezza degli utenti della strada: intensificare l'applicazione delle leggi del codice della strada in modo da contrastare un comportamento alla guida inadeguato riducendo il non utilizzo dei dispositivi di sicurezza, l'eccesso di velocità, la guida in stato di ebbrezza e altri fattori di rischio. Anche le campagne di sensibilizzazione possono svolgere un ruolo importante sostenendo l'*enforcement* delle misure legislative e aumentando la consapevolezza dei rischi e delle sanzioni associate alle violazioni;
- gestione della fase post-incidente: aumentare la reattività di risposta alle emergenze relative all'assistenza post-incidente [2].



Figura 1: I cinque pilastri del Decennio di Azione 2011-2020 [14]

Per alimentare l'impegno nella lotta contro l'incidentalità, nel settembre 2015 viene emanato il programma "Agenda 2030", che ingloba target specifici sulla sicurezza stradale tra gli obiettivi di sviluppo sostenibile (*SDGs: Sustainable Development Goals*) in modo da fornire un potente

incentivo a governi e organizzazioni nel definire dei piani strategici sulla sicurezza stradale volti a ridurre il numero di incidenti e, di conseguenza, il numero di morti e feriti. In particolare, gli obiettivi di sviluppo sostenibile per la sicurezza stradale definiscono i seguenti traguardi:

- entro il 2020, dimezzare il numero di morti e feriti a livello mondiale per incidenti stradali [15];
- entro il 2030, fornire a tutti l'accesso a sistemi di trasporto sicuri, accessibili e sostenibili, migliorare la sicurezza stradale, in particolare ampliando i trasporti pubblici, con un'attenzione particolare alle esigenze di coloro che si trovano in situazioni vulnerabili come donne, bambini, persone con disabilità e anziani [16].

Nonostante i progressi ottenuti in materia di sicurezza stradale durante il *Decennio di Azione*, attraverso l'adozione e l'applicazione delle normative, l'*Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS)* nel 2017 pubblica il rapporto "*Save lives: a road safety technical package*" dove richiama i governi a intensificare i loro sforzi per raggiungere gli obiettivi di sviluppo sostenibile appena citati. In tale rapporto viene fornito un inventario, basato sull'evidenza, dei migliori interventi legislativi che possono ridurre il fenomeno dell'incidentalità e il relativo numero di decessi.

In particolare, le 6 strategie, mostrate in *Figura 2*, si basano sui pilastri del *Decennio di Azione* e comprendono:

- gestione della velocità: l'eccesso di velocità rappresenta uno dei principali fattori di rischio che bisogna contrastare dato che contribuisce notevolmente sia al rischio di incidente che alle relative conseguenze. L'esperienza mostra che le misure migliori risiedono nel definire e, soprattutto, far rispettare i limiti di velocità adattati al contesto in analisi. Nel rapporto, infatti, viene suggerito di intensificare l'applicazione delle normative anche attraverso dispositivi automatici che presentano un maggior grado di efficacia e di applicare forti sanzioni per le relative trasgressioni, come, ad esempio, la sospensione della licenza. Altre pratiche consistono in interventi infrastrutturali (dossi, rotatorie e restringimenti di carreggiata) e nell'introduzione di dispositivi di adattamento intelligente della velocità da installare nei veicoli;
- leadership sulla sicurezza stradale: creare agenzie di sicurezza stradale per la raccolta dati in modo da poter valutare se l'attuazione dei programmi abbia portato dei risultati o se sono necessarie delle modifiche. Inoltre, il rapporto esorta la diffusione di campagne di sensibilizzazione volte a innescare un comportamento più responsabile da parte degli utenti della strada;

- progettazione e miglioramento delle infrastrutture: al fine di ridurre il livello di rischio per tutti gli utilizzatori delle strade il report propone di effettuare degli interventi infrastrutturali come piste ciclabili e motociclistiche e implementare la limitazione del traffico nelle zone residenziali, commerciali e scolastiche;
- sicurezza dei veicoli: le evidenze empiriche mostrano le norme di sicurezza sui veicoli diffuse dalle Nazioni Unite contribuiscono in modo sostanziale alla riduzione del numero di incidenti e delle relative lesioni. Tali standard riguardano i dispositivi di sicurezza (cinture, ancoraggi e sistemi di ritenuta per bambini), l'esecuzione di *crash test* sull'impatto frontale e laterale, il controllo elettronico della stabilità del veicolo e l'utilizzo obbligatorio delle luci durante le ore diurne;
- *enforcement* del Codice della Strada: i principali fattori di rischio degli incidenti stradali sono rappresentati dall'eccesso di velocità, dalla guida in stato di ebbrezza e dal non utilizzo dei dispositivi di sicurezza che accrescono sia la probabilità di un sinistro che la gravità dell'incidente stesso. Tuttavia, anche se i paesi dispongono di norme volte a mitigare i fattori di rischi appena esposti, il problema principale è che l'applicazione di tali norme è spesso inadeguata causando così un comportamento opportunistico da parte degli utenti della strada. A tal proposito, il rapporto evidenzia come sia fondamentale garantire l'applicazione efficace delle leggi in materia di sicurezza stradale mediante una presenza assidua dei corpi di polizia e dure sanzioni che possono effettivamente migliorare il comportamento su strada;
- assistenza post-incidente: un'assistenza di emergenza tempestiva ed efficace è cruciale nel limitare le conseguenze dell'incidente, riducendo sia i decessi che la disabilità da lesione. Per velocizzare gli interventi, il rapporto suggerisce di iniziare a formare primi soccorritori tra la polizia, i vigili del fuoco e autisti dei mezzi pubblici [4].

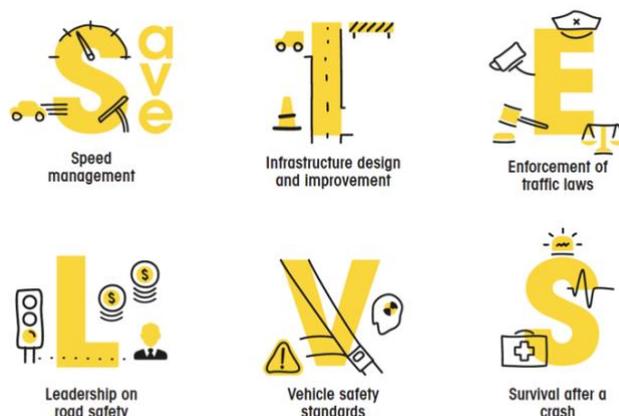


Figura 2: Le strategie Save lives [4]

Infine, più recentemente e, in particolare, a settembre 2020, sfruttando l'esperienza del decennio appena trascorso, l'*Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU)* ha proclamato il secondo "*Decennio di Azione per la sicurezza stradale 2021-2030*" ponendo l'obiettivo di ridurre almeno del 50% il numero di decessi e infortuni per incidenti stradali entro il 2030. Anche in questo caso, l'iniziativa viene affiancata da un Piano Globale che ha lo scopo di ispirare i governi nella redazione dei piani nazionali e locali (da adattare in base al contesto specifico) spronandoli ad agire con coraggio e decisione. In particolare, le raccomandazioni presenti nel piano sono basate sulle migliori pratiche comprovate e basate sull'approccio *Safe System*. Tale approccio affronta le cause degli incidenti in modo integrato sostenendo che un elevato livello di sicurezza stradale possa essere raggiunto grazie all'interazione tra esseri umani, veicoli e infrastrutture. In altre parole, viene ammessa la possibilità dell'errore umano che, però, deve essere compensata da altri fattori quali una maggiore sicurezza di veicoli e infrastrutture, un comportamento più responsabile e un intervento post-incidente tempestivo ed efficace. In questo modo, quando si verifica un incidente stradale si possono ricercare rimedi in tutto il sistema e il numero di decessi e lesioni potrà essere notevolmente ridotto. A tal proposito vengono fornite cinque raccomandazioni:

- incoraggiare il trasporto multimodale ponendo restrizioni sull'utilizzo di veicoli privati nelle aree urbane ad alta densità e fornendo alternative sicure come gli spostamenti a piedi, in bicicletta o con mezzi pubblici;
- intraprendere degli interventi infrastrutturali volti a eliminare o ridurre i rischi per gli utenti della strada come marciapiedi, marcatura della segnaletica stradale, piste ciclabili, corsie degli autobus, bordi stradali sicuri e progettazione di intersezioni sicure;
- incoraggiare l'applicazione di norme relative ai dispositivi di sicurezza come sistemi intelligenti di assistenza alla velocità e sistemi di segnalazione acustica per le cinture di sicurezza per tutti i sedili;
- intensificare l'applicazione delle leggi della strada attraverso delle sanzioni adeguate che disincentivino gli utenti della strada nel commettere infrazioni. Ciò risulta particolarmente importante alla luce del fatto che l'eccesso di velocità, la guida in stato di ebbrezza, il mancato utilizzo dei dispositivi di sicurezza e la guida distratta sono ancora i fattori principali degli incidenti stradali e del relativo numero di morti e feriti;
- migliorare e velocizzare l'intervento post-incidente continuando a formare primi soccorritori, anche fra la comunità [17].

Nonostante il carattere internazionale e la persistente divulgazione delle iniziative appena mostrate, un'idea diffusa è che gli incidenti stradali siano degli eventi del tutto aleatori, cioè caratterizzati da poco margine per intraprendere delle azioni preventive che ne abbattano la frequenza di accadimento.

A tal proposito rilevano i dati sull'incidentalità del 2016, messi a disposizione dall'*Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS)* nell'ultimo *Global status report on road safety*, che sottolineano un trend crescente del numero di decessi dal 2000 al 2016; anche se il tasso di decessi ogni 100.000 abitanti è rimasto pressoché invariato (*Figura 3*).

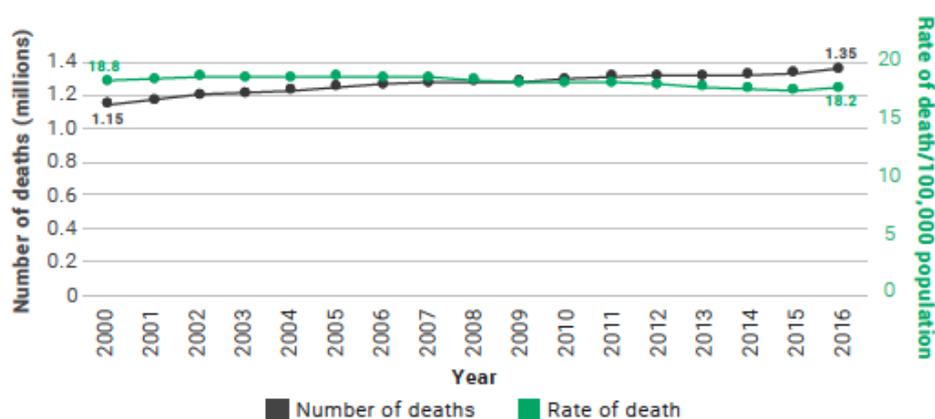


Figura 3: Trend dei decessi e del tasso di mortalità su 100.000 abitanti [6]

D'altra parte, però, la *Figura 4* mostra che a fronte di una forte crescita del numero di veicoli in circolazione, si è verificata una riduzione del 52,6% dal 2000 al 2016 del tasso di decessi ogni 100.000 veicoli, evidenziando così i progressi ottenuti in materia di sicurezza stradale [6].

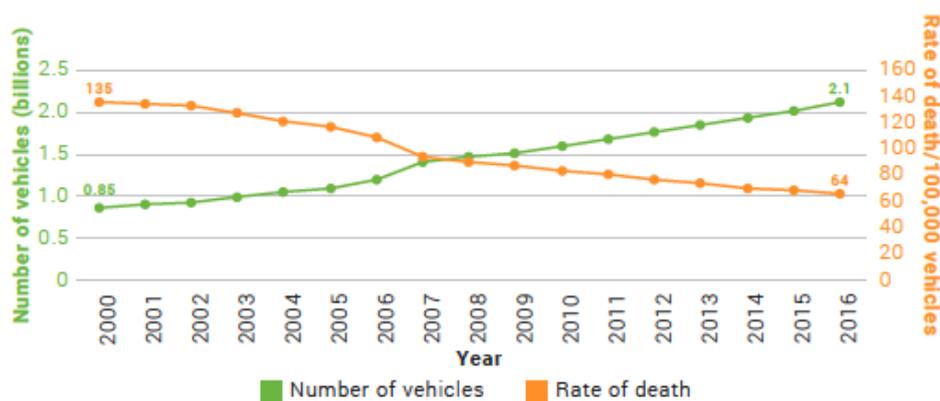


Figura 4: Trend dei decessi e del tasso di mortalità normalizzato su 100.000 veicoli [6]

Ovviamente, tale diminuzione non è sufficiente per dimostrare che gli incidenti stradali siano degli eventi prevenibili ed evitabili. Di conseguenza, per poter fornire un'evidenza chiara dei risultati che si possono raggiungere mediante l'implementazione delle misure appena mostrate si farà riferimento:

- al contesto europeo che si allinea in maniera quasi perfetta alle iniziative internazionali definendo obiettivi chiari in termini di riduzione del numero di morti e di cui si hanno dati a disposizione a partire dal nuovo millennio;
- a una analisi di maggior dettaglio sulla disomogeneità dei trend dei dati relativi ai decessi per sinistri stradali, riportati nel *Global status report on road safety*, in base ai paesi presi in considerazione.

1.2.1 Il caso europeo

Già nel 1997, la *Commissione Europea (CE)*, dati i risultati raggiunti con l'attuazione del *Primo Programma* in materia di sicurezza stradale 1993-1996, pubblica il secondo intitolato "*Promuovere la sicurezza stradale nell'Unione Europea: il programma 1997-2001*" che ha l'obiettivo di dimezzare il numero delle vittime degli incidenti stradali entro 15 anni attraverso delle iniziative principalmente incentrate sull'adozione di normative e misure legislative che combattano l'eccesso di velocità, la guida in stato di ebbrezza e il non utilizzo dei dispositivi di sicurezza. Allo stesso tempo, chiede di istituire dei sistemi per la raccolta di dati statistici in modo da avere evidenze sulle *best practices* [18].

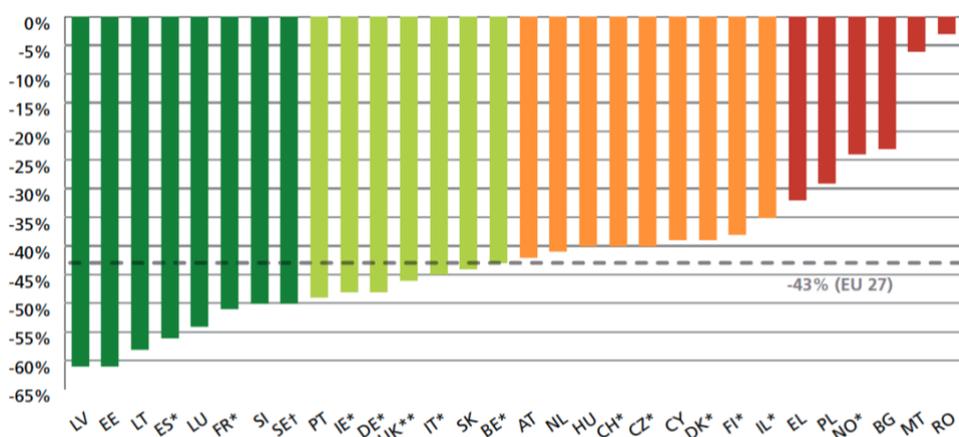
Nel 2001, nel Libro Bianco "*la politica europea dei trasporti fino al 2010: il momento delle scelte*" la Commissione Europea sottolinea la problematica dell'insicurezza delle strade e aggiorna l'obiettivo che era stato stabilito nel 1997 modificando la *deadline* della riduzione del 50% del numero di decessi al 2010. Per raggiungere tale traguardo, la Commissione si impegna nel definire il Terzo Programma d'azione per la sicurezza stradale per il periodo 2002-2010, promuove l'introduzione di nuove tecnologie a servizio della sicurezza stradale e incoraggia l'applicazione delle normative attraverso un *enforcement* dei controlli e delle sanzioni [19].

Nel 2003 viene quindi pubblicato il "*Programma di azione europeo per la sicurezza stradale 2003-2010*" dove, considerando la rilevanza dell'incidentalità che conta 1.300.000 sinistri con 40.000 morti e 1.700.000 lesioni, l'Unione Europea apre una vera e propria battaglia contro l'inosservanza delle norme di guida suggerendo maggiori controlli e

l'applicazione di sanzioni efficaci che rendono meno probabili le infrazioni. A tal proposito, la stessa Unione Europea afferma che il mancato rispetto della normativa rappresenta la prima causa di incidentalità e che gli Stati membri che possiedono i sistemi di controllo più efficienti presentano anche i migliori risultati in termini di sicurezza stradale. Di conseguenza, fra i principali settori di azione del programma vi è la necessità di incoraggiare gli utenti della strada ad un comportamento consono alla legislazione in materia di sicurezza stradale. Si stima, infatti, che intraprendere delle azioni volte a limitare l'eccesso di velocità, la guida in stato di ebbrezza e il non utilizzo dei dispositivi di sicurezza possa portare a raggiungere più del 50% dell'obiettivo di riduzione dei decessi [20].

I risultati di questa politica sono disponibili grazie all'*European Transport Safety Control (ETSC)* che dal 2006 pubblica le relazioni *PIN (Road Safety Performance Index)* con l'obiettivo di aiutare gli Stati membri dell'Unione Europea a migliorare la sicurezza stradale identificando e promuovendo le migliori pratiche adottate in 32 paesi.

In particolare, a valle del periodo di attuazione del programma 2002-2010, il quinto rapporto *PIN* evidenzia come siano stati raggiunti notevoli progressi nella lotta contro l'incidentalità dato che nessun paese ha registrato un incremento del numero di decessi dal 2001. Come mostrato in *Figura 5*, ben 8 paesi (Lettonia, Estonia, Lituania, Spagna, Lussemburgo, Svezia, Francia e Slovenia) sono riusciti a ridurre più del 50% il numero di morti per incidenti stradali e il Portogallo si è avvicinato al target con una diminuzione del 49,4%. Germania, Regno Unito, Italia, Slovacchia e Belgio hanno registrato una riduzione superiore alla media europea [21].



* Provisional estimates were used for 2010 as final figures for 2010 were not yet available at the time of going to print.

**UK 2010: ETSC estimate for the UK based on EC CARE Quick Indicator.

†Sweden 2010: the definition of road deaths has changed and suicides are now excluded. The time series was adjusted so that figures for previous years exclude suicides as well.

Figura 5: Variazione percentuale del numero di decessi dal 2001 al 2010 [21]

Come mostrato in *Figura 6*, complessivamente, l'UE27 registra una riduzione del 43% del numero di decessi passando da circa 55.000 morti del 2001 a 31.000 del 2010, non raggiungendo il traguardo fissato ma mostrando una notevole efficacia del programma intrapreso.

Il numero di feriti e di incidenti si riducono rispettivamente del 25% e del 23% tra il 2001 e il 2010 [8].

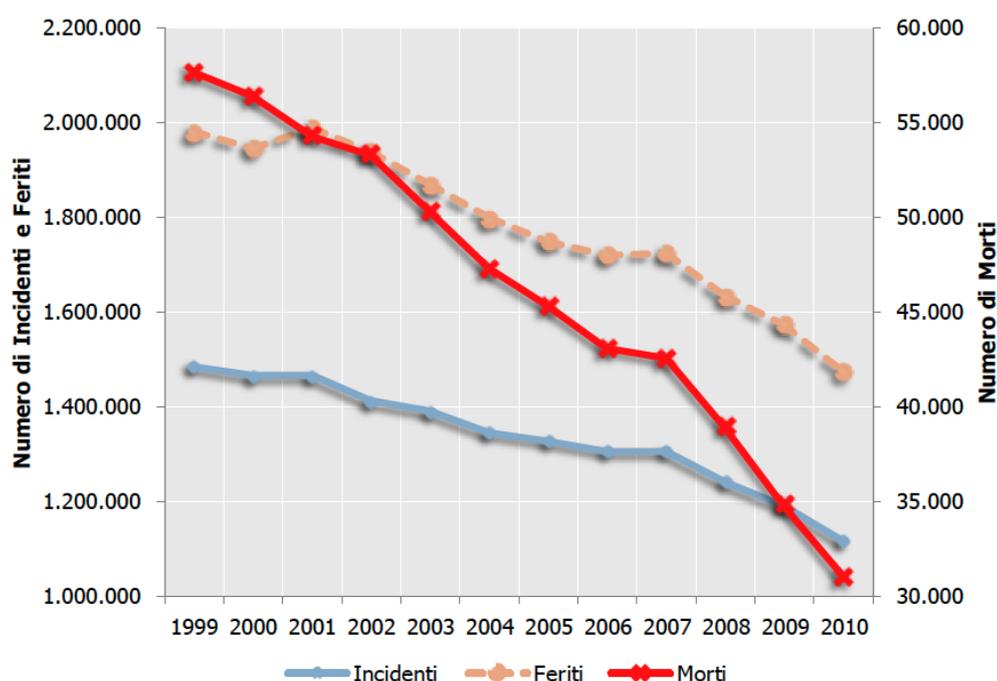


Figura 6: Variazione del numero di incidenti, morti e feriti 2001-2010 [8]

Nonostante i risultati raggiunti con il Terzo Programma, la Commissione Europea ribadisce il suo impegno nella lotta contro l'incidentalità pubblica pubblicando nel 2010 il Quarto Programma in materia di sicurezza stradale denominato "*Verso uno spazio europeo della sicurezza stradale: orientamenti 2011-2020*" con l'obiettivo di dimezzare ulteriormente il numero di decessi rispetto al livello del 2010. In particolare, in tale programma la Commissione invita gli Stati membri ad intraprendere delle strategie nazionali volte a contribuire al conseguimento del traguardo, tenendo conto della propria condizione specifica e concentrando gli sforzi nelle aree più critiche. Inoltre, viene sottolineato come l'educazione stradale, la formazione e l'applicazione di leggi del Codice della Strada siano degli elementi fondamentali per ottenere dei progressi dato che l'efficacia delle politiche sulla sicurezza stradale è fortemente correlata al comportamento degli utenti. La stessa Commissione rileva che "*l'applicazione della normativa resta un presupposto essenziale per ottenere una riduzione consistente del numero di morti e feriti, in particolare quando viene realizzata con determinazione e ampiamente pubblicizzata*". In tale ambito,

la tecnologia può supportare l'applicazione delle norme attraverso l'installazione di specifici dispositivi come, ad esempio, limitatori di velocità o dispositivi *alcolock* che impediscono l'accensione del veicolo in base al superamento di un tasso alcolemico.

Di conseguenza, tra i sette obiettivi strategici promossi dal Programma vi sono il miglioramento dell'educazione stradale e l'intensificazione dell'*enforcement* del Codice della Strada accompagnati dalla promozione dell'utilizzo di tecnologie moderne e da interventi infrastrutturali che hanno lo scopo di migliorare la sicurezza stradale [22].

I risultati del Quarto Programma sulla sicurezza stradale non sono così entusiasmanti come quelli riferiti alla prima decade del nuovo millennio. Il quindicesimo rapporto *PIN*, infatti, riporta che tra il 2011 e il 2020 vi è stato un lento progresso accompagnato da negligenza politica e inazione.

In particolare, l'Unione Europea registra una riduzione del 37% del numero di decessi passando dalle 31.000 morti nel 2010 a circa 19.000 nel 2020. Anche in questo decennio, tutti i paesi hanno migliorato il livello di sicurezza delle proprie strade ma solo la Grecia è riuscita a centrare l'obiettivo. Undici paesi, tra cui l'Italia, hanno superato la media europea in termini di riduzione del numero di morti. In *Figura 7* viene riportata anche la Norvegia come riferimento che ha ridotto del 55% il numero di decessi dal 2010.

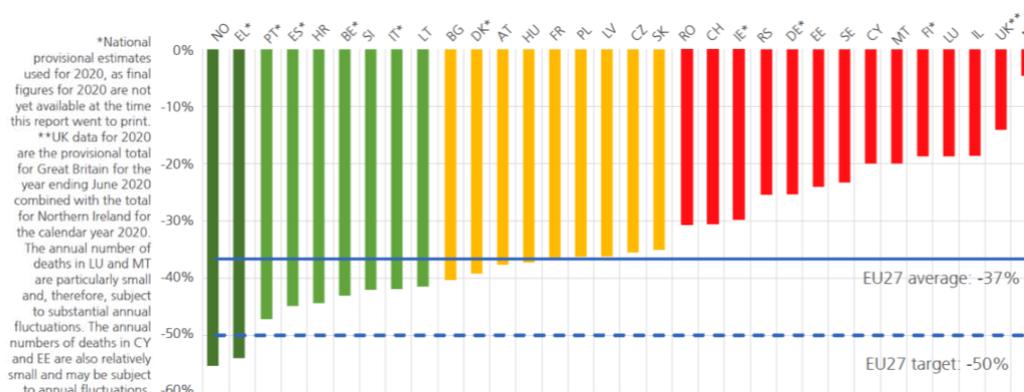


Figura 7: Variazione percentuale del numero di decessi 2010-2020 [23]

Tuttavia, c'è da sottolineare che questi dati risentono fortemente delle restrizioni alla mobilità dovute alla pandemia da Covid-19. Infatti, nel 2020 è stata registrata una riduzione del numero di decessi del 17% rispetto al 2019; mentre tra il 2013 e il 2019 si registra una stagnazione del numero di decessi vista la riduzione del solo 6%. Tra il 2010 e il 2013 la diminuzione è stata del 18% [23]. Come mostrato in *Figura 8*, complessivamente l'Unione Europea registra una riduzione del 24% tra il 2010 e il 2019, quasi la metà del target fissato per il 2020 [24].

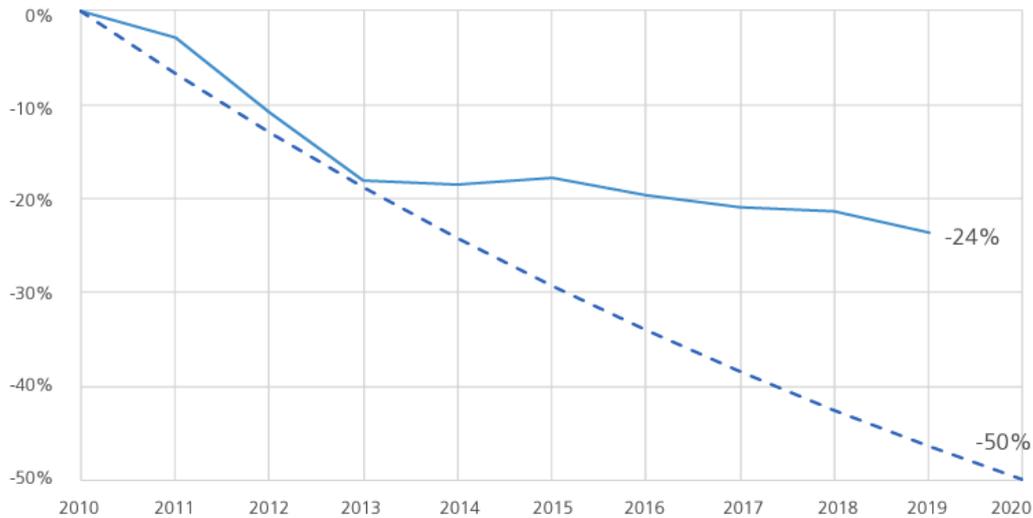


Figura 8: Variazione percentuale dei decessi 2010-2019 [24]

Dato l'andamento pressoché costante del numero di decessi tra il 2013 e il 2017, a maggio 2018, la Commissione Europea ha presentato un nuovo approccio alla politica in materia di sicurezza stradale "l'Europa in movimento - una mobilità sostenibile per l'Europa: sicura, interconnessa e pulita". In tale comunicazione, vengono confermati l'eccesso di velocità, la guida in stato di ebbrezza o sotto l'effetto di sostanze stupefacenti e il mancato utilizzo di dispositivi di sicurezza come fattori principali alla base degli incidenti stradali e dei relativi decessi.

Allo stesso tempo, però, l'obiettivo a lungo termine dell'UE rimane quello di avvicinarsi il più possibile all'azzeramento del numero di decessi sulle strade entro il 2050 (*Vision Zero*) e, a tale scopo, viene annunciato il programma "Quadro strategico dell'UE per la sicurezza stradale 2021-2030: prossime tappe verso l'obiettivo zero vittime" basato sull'approccio *Safe System*, raccomandato dall'*Organizzazione Mondiale della Sanità* [25] e discusso nel paragrafo precedente.

Quattro anni dopo, a marzo 2022, viene pubblicato sulla *Gazzetta Ufficiale* il piano per la sicurezza stradale 2021-2030 dove si pone particolare enfasi sulla sicurezza delle infrastrutture, dei veicoli e dell'utenza stradale.

In particolare, si invitano gli Stati membri a utilizzare i fondi messi a disposizione dall'Unione Europea per intraprendere degli investimenti infrastrutturali tali da apportare maggiori vantaggi in termini di sicurezza stradale con un'attenzione particolare alle zone con i più alti indici di incidentalità. Inoltre, comunica che sono accolte le richieste secondo le quali saranno obbligatori dispositivi di sicurezza avanzati nei veicoli quali sistemi di adattamento intelligente della velocità, sistemi di emergenza per il mantenimento della corsia e sistemi di segnalazione acustica per le cinture di

sicurezza per tutti i sedili. Infine, in materia di sicurezza dell'utente stradale, viene sottolineato che un'inadeguata applicazione del Codice della Strada pregiudica tutti gli sforzi volti a combattere tale fenomeno. Ad esempio, l'utilizzo del telefono cellulare durante la guida causa il 10-30% di tutti gli incidenti stradali e gli Stati membri sono invitati a introdurre sanzioni dissuasive ed efficaci volte a migliorare il comportamento alla guida [26].

Per raggiungere gli obiettivi del prossimo decennio, l'*enforcement* del Codice della Strada, il trattamento dei siti ad alto rischio, i limiti di velocità e la riduzione del traffico sono tra le misure che possono avere un effetto positivo e immediato sulla sicurezza stradale [23].

1.2.1.1 Efficacia dei piani di azione

A seguito dei piani sopra citati, la sicurezza stradale in Europa è migliorata notevolmente. Dal 2000 al 2020 si è registrata complessivamente una riduzione del 64% del numero di decessi passando dai 52.880 morti del 2000 a 18.844 del 2020. In *Figura 9* sono anche mostrati i risultati dell'EU14, dell'EU10 e dell'EU3 [23].

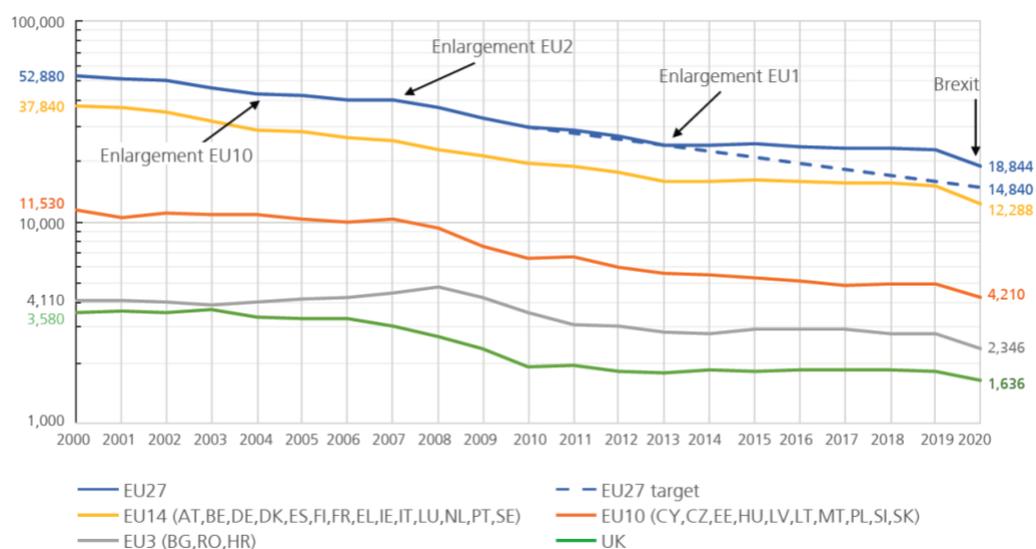


Figura 9: Variazione dei decessi dal 2000 al 2020 [23]

Tra le varie raccomandazioni a livello internazionale analizzate troviamo costantemente l'*enforcement* del Codice della Strada che si pone come uno dei principali fattori più efficaci nella lotta contro l'incidentalità.

Infatti, già dal 2004 la Commissione Europea esorta gli Stati membri a intensificare l'applicazione delle normative in materia di sicurezza stradale evidenziando come "i controlli costituiscano una misura efficace per prevenire e ridurre gli incidenti e il numero di morti e feriti". In particolare, la Commissione sottolinea che per contrastare l'eccesso di velocità, la guida

in stato di ebbrezza e il mancato utilizzo dei dispositivi di sicurezza le migliori pratiche risiedono nell'impiego di sistemi automatici di controllo della velocità, l'applicazione casuale di esami dell'aria espirata con apparecchi di rilevazione dell'alcoemia, interventi intensivi di controllo sull'utilizzo dei dispositivi di sicurezza e sanzioni efficaci, proporzionate e dissuasive qualora si verificano delle infrazioni [27].

L'importanza dell'intensificazione dell'applicazione delle normative sulla sicurezza stradale viene anche rimarcata dai risultati ottenuti dagli Stati membri con iniziative incentrate principalmente sull'*enforcement* del Codice della Strada.

Ad esempio, la Lituania, che tra il 2001 e il 2010 ha registrato una riduzione del 58% del numero di decessi, afferma che l'aumento dei controlli e il rafforzamento delle politiche volte a contrastare il comportamento irresponsabile su strada sono tra le iniziative che hanno portato i migliori risultati [21].

La Grecia che ha registrato la più alta riduzione del numero di decessi in Europa tra il 2011 e il 2020 identifica tra le attività più efficaci l'*enforcement* del Codice della Strada visto l'aumento dei controlli effettuati e un utilizzo più persistente dei sistemi automatici di controllo della velocità. La Spagna, che ha registrato una riduzione del 45% nel decennio 2011-2020, ha incrementato il numero di controlli per la guida in stato di ebbrezza da 5,5 milioni nel 2018 a 6,5 milioni nel 2019. Proprio nel 2019 è riuscita a raggiungere l'obiettivo nazionale di 37 decessi per milione di abitanti, un anno prima dell'effetto della pandemia. E ancora, il Belgio, che storicamente ha mantenuto un livello medio di mortalità stradale superiore alla media dell'Unione Europea, è riuscito a registrare una riduzione del 43% tra il 2011 e il 2020 grazie ad un programma incentrato sulla gestione della velocità e sull'*enforcement* del Codice della Strada. D'altra parte, sempre nel decennio 2011-2020, l'Inghilterra identifica la scarsa applicazione del Codice della Strada come uno dei fattori che ha contribuito alla riduzione del solo 14% del numero di decessi [23].

A supportare l'ipotesi del ruolo cruciale dell'*enforcement* del Codice della Strada è lo stesso *European Transport Safety Council (ETSC)* che, a marzo 2022, ha pubblicato un rapporto denominato "*how traffic law enforcement can contribute to safer road*" in cui si evidenzia come gli incidenti stradali e il relativo numero di decessi siano principalmente dovuti ad un comportamento inadeguato degli utenti della strada che eccedono i limiti di velocità, guidano in stato di ebbrezza o sotto l'effetto di sostanze stupefacenti e non utilizzano i dispositivi di sicurezza. Di conseguenza, per combattere efficacemente il fenomeno dell'incidentalità bisogna dare la percezione ai

conducenti di essere rilevati e sanzionati quando commettono delle infrazioni, cioè bisogna intensificare l'applicazione delle normative. In particolare, l'efficacia dell'*enforcement* del Codice della Strada risulta più elevata se i controlli da parte della polizia sono accompagnati da pubblicità sufficiente, avvengono in modo persistente per un lungo periodo, sono imprevedibili e difficili da evitare, si concentrano sulle infrazioni che hanno una relazione diretta con gli incidenti stradali (eccesso di velocità, guida in stato di ebbrezza, mancato utilizzo dei dispositivi di sicurezza, passaggio con il rosso, uso del telefono cellulare, ecc.) e se sono seguiti da sanzioni efficaci, proporzionate e dissuasive (es. sanzioni pecuniarie, corsi di riqualificazione, ecc.).

Oltre a fornire una panoramica sui livelli di applicazione delle leggi tra gli Stati membri, il rapporto fornisce delle evidenze sulle migliori pratiche europee che influenzano il comportamento degli utenti della strada. Ad esempio, considerando l'*enforcement* sulla velocità, la combinazione di controlli mobili della polizia stradale e di sistemi automatici di rilevazione sono tra gli strumenti più fruttuosi per combattere l'eccesso di velocità. A tal proposito, la Bassa Sassonia ha condotto un progetto tra dicembre 2018 e dicembre 2020 per valutare l'impatto dell'utilizzo di telecamere "*time-over-distance*", cioè dei sistemi che misurano la velocità media su un tratto stradale per determinare se si verifica una violazione. Lo studio è stato effettuato su un tratto di 2,2 km della strada nazionale B6 il cui limite è posto a 100 km/h ed evidenzia l'efficacia dell'utilizzo di sistemi automatizzati. Infatti, mentre prima dell'inizio del progetto la velocità media era di 105 km/h e si contavano quattro decessi tra il 2014 e il 2017; durante il progetto la velocità media registrata era scesa a 95 km/h e non sono stati registrati sinistri [28].

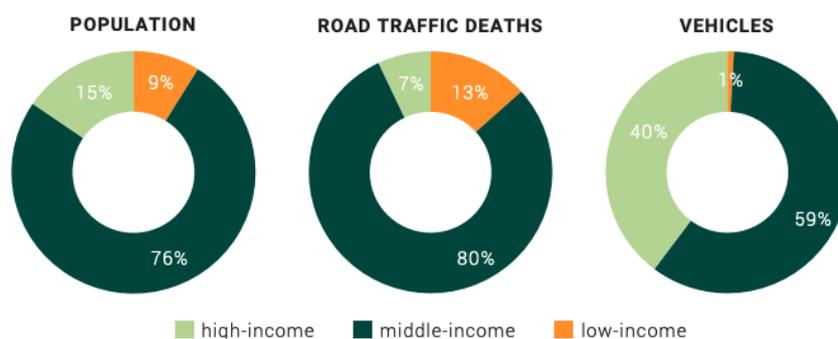
1.2.2 La disomogeneità tra i paesi a basso, medio e alto reddito

Un'ulteriore evidenza del ruolo chiave dell'*enforcement* del Codice della Strada si ottiene analizzando nel dettaglio i dati relativi ai decessi per sinistri stradali del 2016 suddivisi in base al livello di reddito dei paesi. In particolare, il *Global status report on road safety* rivela che il 93% delle morti si verifica nei paesi a basso e medio reddito nonostante la copertura del solo 60% del parco veicoli; mentre il restante 7% nei paesi ad alto reddito¹ che

¹ I livelli di reddito sono basati sulla *World Bank Classifications* del 2017 secondo la quale i paesi a basso reddito presentano un GNI pro capite inferiore a 1006; i paesi a medio reddito un GNI pro capite compreso tra 1006 e 12.235 e i paesi ad alto reddito un GNI pro capite maggiore di 12.235 [47].

possiedono il restante 40% dei veicoli. Il rapporto, inoltre, mostra che i paesi a basso reddito hanno un tasso medio di 27,5 decessi ogni 100.000 abitanti, tre volte superiore rispetto a quello dei paesi ad alto reddito che si assesta a 8,3 decessi ogni 100.000 abitanti. Inoltre, come mostrato in *Figura 10*, nonostante i veicoli dei paesi a basso reddito rappresentino l'1% dei veicoli presenti in tutto il mondo, ben il 13% dei decessi per incidenti stradali si verifica in tali zone.

La figura mostra anche che il numero di decessi per incidenti stradali è sproporzionalmente alto nei paesi a medio reddito in relazione sia alla dimensione della loro popolazione che al numero di veicoli in circolazione.



*income levels are based on 2017 World Bank classifications.

Figura 10: Proporzione di popolazione, morti per incidenti stradali e veicoli registrati suddivisi per categorie di reddito [6]

La *Figura 11*, invece, rivela che tra il 2013 e il 2016 nessuno dei paesi a basso reddito ha registrato una riduzione del numero di decessi per incidenti stradali; mentre 48 paesi a medio e alto reddito presentano un bilancio positivo.



*These data represent countries that have seen more than a 2% change in their number of deaths since 2013, and excludes countries with populations under 200 000. The income levels are based on 2017 World Bank classifications.

Figura 11: Numero di paesi che hanno registrato un cambiamento nei decessi per incidenti stradali [6]

Allo stesso tempo, il *Global status report on road safety* rileva che troppi paesi non hanno ancora una legislazione che affronti adeguatamente il problema della sicurezza stradale². Ad esempio, solo 46 su 169 paesi, il 27,2%, si sono allineati sulle migliori pratiche per l'eccesso di velocità. Inoltre, solo un terzo dei paesi ha un *enforcement* del Codice della Strada per uno qualsiasi dei fattori di rischio valutato come buono³ ed è più probabile che tali leggi siano in vigore e applicate con maggior rigore nei paesi ad alto reddito rispetto ai paesi a basso o medio reddito. Prendendo sempre come esempio l'eccesso di velocità, solo 30 paesi, il 17,8%, hanno un *enforcement* valutato come "buono" e dei 46 paesi allineati sulle migliori pratiche, 23 (50%) sono paesi ad alto reddito, 17 (37%) a medio reddito e 6 (13%) a basso reddito [6].

Dal confronto tra la *Figura 12* e la *Figura 13* è possibile evincere la correlazione tra l'*enforcement* del Codice della Strada e il livello di reddito di un paese.

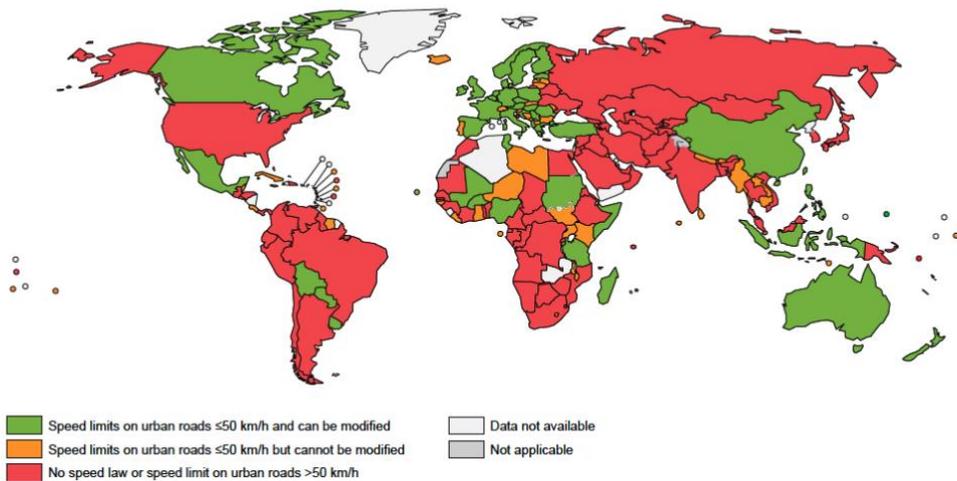
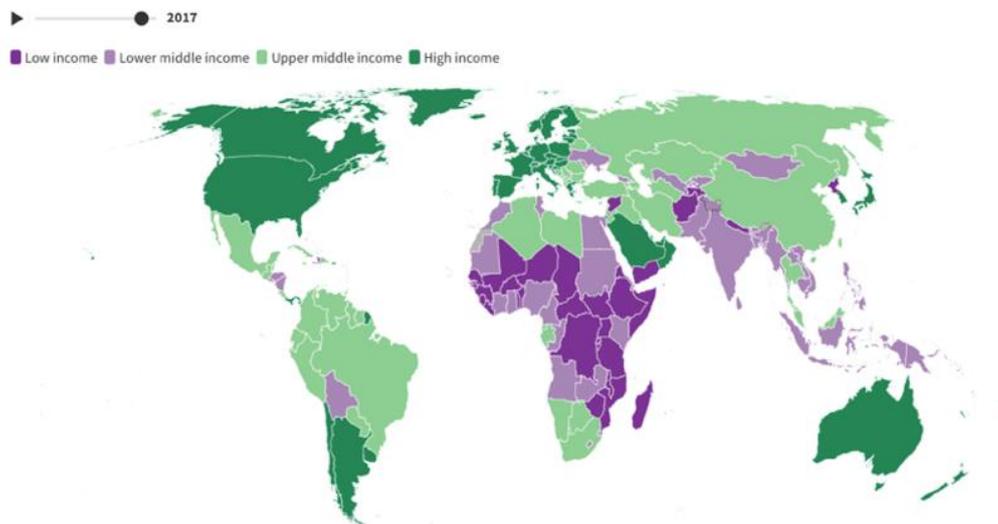


Figura 12: Distribuzione delle leggi sull'eccesso di velocità basate sulle migliori pratiche [6]

² I dati sulla legislazione si riferiscono all'anno 2017

³ L'*enforcement* del Codice della Strada viene valutato come "buono" se si ottiene un punteggio maggiore o uguale a otto su una scala convenzionale da zero a dieci.



Source: [World Bank](#)
 Note: (1) Countries are classified each year on July 1, the start of the World Bank fiscal year, based on GNI per capita data (World Bank Atlas method) for the previous calendar year. For FY23 the classification uses GNI per capita for 2021. (2) Map boundaries represent boundaries as of 2021 and do not change over time. Country borders or names do not necessarily reflect the World Bank Group's official position. This map is for illustrative purposes and does not imply the expression of any opinion on the part of the World Bank, concerning the legal status of any country or territory or concerning the delimitation of frontiers or boundaries.

Figura 13: Classificazione dei paesi a basso, medio e alto reddito [29]

Di conseguenza, se è vero che gli incidenti stradali e i relativi decessi sono maggiori nei paesi che presentano un livello di reddito più basso e se è vero che tali paesi sono caratterizzati da un'inadeguata applicazione del Codice della Strada, allora l'ipotesi che il numero di sinistri e i relativi decessi siano strettamente dipendenti dall'*enforcement* delle leggi in materia di sicurezza stradale riscontra ulteriori conferme.

1.3 Il ruolo dell'*enforcement* del Codice della Strada: le evidenze dalla letteratura economica

Se da un lato il caso europeo e la disomogeneità tra i paesi in base al livello di reddito forniscono sufficienti prove che confutano il fatalismo secondo il quale i decessi siano il prezzo da pagare per garantire la mobilità e mettono in mostra il ruolo cruciale dell'*enforcement* del Codice della Strada nella lotta contro l'incidentalità; dall'altra non sono sufficienti per dimostrare una causalità tra l'intensificazione dell'applicazione delle leggi in materia di sicurezza stradale e la riduzione del numero di sinistri e dei relativi decessi. Difatti, l'*enforcement* del Codice della Strada costituisce solo una tra le tante iniziative volte a combattere il fenomeno dell'incidentalità e di conseguenza l'ipotesi avanzata potrebbe essere facilmente confutata. Ad esempio, una migliore sicurezza stradale potrebbe essere dovuta solamente a una progettazione delle infrastrutture più adeguata o a un'assistenza post-

incidente più tempestiva oppure potrebbe essere sufficiente una campagna di sensibilizzazione adeguata a cambiare il comportamento degli utenti della strada con conseguente *spillover* positivo sull'incidentalità. La riduzione del numero di decessi potrebbe anche essere spiegata da fattori che non sono compresi tra le varie iniziative a livello internazionale. Si potrebbe pensare, ad esempio, ad un'adeguazione "autonoma" del comportamento degli utenti della strada per via degli elevati costi, sia sociali che economici, che devono sostenere (spese mediche, mancanza dal lavoro, perdita di persone care, ecc.); anche se tale ipotesi appare inverosimile.

Di conseguenza, risultano necessari degli studi robusti e statisticamente significativi che dimostrino la causalità tra l'intensificazione dell'applicazione delle leggi e il numero di incidenti.

In particolare, considerando che gli incidenti stradali sono principalmente dovuti ad un comportamento inadeguato degli utenti della strada che eccedono i limiti di velocità, guidano in stato di ebbrezza, non utilizzano i dispositivi di sicurezza e non rispettano la segnaletica stradale, la seguente rassegna della letteratura economica si pone come primo obiettivo la valutazione dell'effetto delle normative sui sinistri e i relativi decessi. Successivamente, considerando il comportamento opportunistico degli individui in assenza di un controllo⁴, viene analizzato l'impatto dell'intensificazione dell'applicazione di tali normative in modo da poter valutare se effettivamente a un maggior *enforcement* del Codice della Strada corrisponde una sostanziale diminuzione del numero di sinistri. Tuttavia, dato che spesso le iniziative da parte degli organi di polizia nella lotta contro l'incidentalità sono accompagnate da campagne di sensibilizzazione, viene anche analizzato il loro effetto sulla sicurezza stradale in modo da isolare i rispettivi contributi. Infine, considerando che l'oggetto di analisi del presente

⁴ Il comportamento opportunistico degli individui è ampiamente analizzato dalla letteratura economica nel rapporto principale-agente caratterizzato da un'asimmetria informativa che porta ad un fallimento di mercato. In particolare, Jensen e Meckling definiscono una relazione di agenzia come un contratto in base al quale una o più persone (principale) incaricano un altro individuo (agente) di svolgere un determinato compito delegandogli parte del potere decisionale. A causa della asimmetria informativa si può verificare un opportunismo post-contrattuale (azzardo morale) se il principale non può osservare le azioni dell'agente ma solo il risultato. Di conseguenza, per limitare le divergenze è necessario sostenere dei costi di agenzia che riguardano, ad esempio, la stipula di contratti incentivanti e il controllo. Infine, gli autori evidenziano come il problema di agenzia può nascere in qualsiasi situazione che implichi la collaborazione tra due o più persone [48]. Ad esempio, la relazione tra assicurato e assicuratore è un rapporto di agenzia dato che dopo la stipula del contratto, l'assicuratore in veste di principale non può osservare lo sforzo dell'assicurato, in veste di agente, che può quindi assumere un comportamento opportunistico compiendo azioni spericolate. La relazione tra conducenti e istituzioni può essere assimilata ad un rapporto di agenzia considerando la licenza come un contratto sulla buona ottemperanza delle normative da parte dell'utente della strada. Tuttavia, è probabile che l'agente (il conducente) assuma un comportamento opportunistico non rispettando le regole imposte dal Codice della Strada, in assenza di un controllo efficace.

elaborato è valutare l'utilizzo dei dispositivi intelligenti T-Red, si fornisce una panoramica della letteratura economica che analizza l'effetto delle telecamere sulle violazioni semaforiche e sul numero di incidenti.

1.3.1 L'effetto delle normative

Nel corso degli anni le normative volte a contrastare il fenomeno dell'incidentalità sono diventate sempre più stringenti anche se, come rilevato nel *paragrafo 1.2.2*, molti paesi non hanno ancora una legislazione che affronti adeguatamente il problema della sicurezza stradale non adeguandosi alle misure suggerite dall'*Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS)*.

Già a partire dal nuovo millennio, l'importanza della definizione di leggi severe in materia di sicurezza stradale trova ampio riscontro nella letteratura economica che si focalizza principalmente sulle norme relative ai limiti di velocità, alla guida in stato di ebbrezza e all'utilizzo dei dispositivi di sicurezza (cinture, caschi e sistemi di ritenuta per bambini) con l'obiettivo di valutarne l'effetto sia sul numero di incidenti che sulla loro gravità in termini di mortalità.

A tal proposito, nel 2004 Ashenfelter e Greenstone, sfruttando l'opportunità che il governo federale degli Stati Uniti ha concesso nel 1987 agli stati di poter aumentare il limite di velocità da 55 mph a 65mph sulle loro strade interstatali rurali (ma non su quelle interstatali urbane o rurali simili)⁵, rilevano un aumento del 3,5% della velocità media e del 35% del tasso di mortalità a seguito dell'implementazione dei nuovi limiti in 40 stati [30].

Tale cambiamento istituzionale fornisce una rara opportunità per applicare il metodo del *difference-in-differences* nello studio dell'impatto delle normative dato che costituisce uno shock esogeno che permette di identificare un istante di tempo dopo il quale sono disponibili un gruppo di controllo, rappresentato da coloro che non modificano i limiti di velocità, e un gruppo di trattamento, formato dagli stati che hanno imposto il limite a 65 mph. Nel 2015, infatti, van Benthem utilizza lo stesso evento e la sua abrogazione del 1995 per valutarne l'impatto sul numero di incidenti e sui tassi di mortalità, sottolineando come il cambiamento istituzionale fornisca una variazione quasi-sperimentale nei limiti di velocità. In particolare, egli sostiene che le interstatali rurali e le arterie rurali, condividendo molte

⁵ Nel 1974 negli Stati Uniti è stata adottata la *National Maximum Speed Law* secondo la quale erano vietati limiti di velocità superiori a 55 mph su qualsiasi autostrada. Nel 1995 è stata abrogata consentendo agli stati di poter stabilire i propri limiti.

caratteristiche progettuali ed essendo sottoposte allo stesso limite di velocità prima del 1987, possono essere considerate simili rendendo l'applicazione della variazione dei limiti di velocità del tutto casuale e limitando così la principale problematica delle analisi di regressione rappresentata dalla distorsione da variabile omessa.

Identificando, quindi, come gruppo di trattamento le interstatali rurali e come gruppo di controllo le arterie rurali e le autostrade urbane, van Benthem rileva un aumento delle velocità di 3-4 mph e un incremento del 10-17% dei sinistri che passa al 34-60% considerando i soli incidenti mortali. La stima diventa più critica considerando le esternalità sull'inquinamento che rilevano un incremento dall'8% al 24% della concentrazione di inquinanti [31].

Un secondo filone della letteratura economica sulle normative in materia di sicurezza stradale si focalizza sull'impostazione del limite sul grado alcolemico consentito durante la guida.

In tale contesto, risulta particolarmente rilevante l'analisi di Fell e Voas che fornisce una panoramica su vari studi indipendenti condotti negli Stati Uniti che mostrano come la riduzione del limite consentito di concentrazione di alcol nel sangue da 0,10 a 0,08 g/dL porti ad una riduzione dal 5 al 15% di incidenti e decessi. Inoltre, analizzando ulteriori studi condotti in paesi che hanno adottato il limite a 0,05 o a 0,02 g/dL rilevano come la maggior parte di questi mostri un miglioramento della sicurezza stradale facendo così sorgere l'ipotesi di una relazione diretta tra l'aumento dei livelli di alcol nel sangue e il rischio di essere coinvolti in un incidente automobilistico. Gli autori, quindi, supportano l'adozione di limiti sempre più stringenti per la guida in stato di ebbrezza che si pone come uno strumento efficace per combattere il fenomeno dell'incidentalità [32].

L'ultima corrente della letteratura economica analizzata sull'efficacia delle normative fa riferimento, invece, all'utilizzo dei dispositivi di sicurezza cercando di esplorare l'effetto sul comportamento dei conducenti e sui decessi.

A tal proposito, si prende come riferimento lo studio di Cohen ed Einav che analizzano l'impatto delle leggi obbligatorie sulle cinture di sicurezza in risposta alla teoria del comportamento compensativo secondo la quale i conducenti, indossando le cinture e sentendosi più sicuri, vengono incoraggiati verso una guida più spericolata che aumenta il numero dei sinistri. Di conseguenza, anche se l'utilizzo delle cinture di sicurezza riduce la mortalità dei conducenti, il numero di decessi tra gli altri individui (ciclisti, pedoni e motociclisti) potrebbe aumentare, compensandone gli effetti benefici.

Per testare l'ipotesi della teoria del comportamento compensativo, Cohen ed Einav analizzano in un primo momento l'impatto della legge sull'utilizzo effettivo delle cinture di sicurezza e solo successivamente indagano sull'impatto del loro impiego sul numero di decessi tra i conducenti e gli altri utenti della strada. I risultati mostrano che l'utilizzo delle cinture di sicurezza riduce significativamente la mortalità tra i primi e non sembra avere alcun effetto statisticamente significativo sui secondi. Per quanto concerne l'utilizzo delle cinture di sicurezza si rileva un aumento statisticamente significativo a seguito della legge sull'obbligatorietà del loro uso sia con un *primary enforcement* che con un *secondary enforcement*. La differenza tra queste due forme di applicazione della legge risiede nel fatto che la primaria prevede di fermare i conducenti per verificare l'utilizzo della cintura di sicurezza; mentre la secondaria si basa su posti di blocco che hanno l'obiettivo di rilevare altre infrazioni. Tale distinzione permette di evidenziare il ruolo cruciale dell'*enforcement* del Codice della Strada dato che il tasso di utilizzo a seguito di un *primary enforcement* (22%) è il doppio rispetto a quello che si verifica in presenza di un *secondary enforcement* (11%) e il passaggio dall'applicazione secondaria a quella primaria permette di aumentarlo di 13,5 punti percentuali (*Tabella 1*⁶) [33].

Tabella 1: Primary vs secondary enforcement [33]

Dependent Variable: Independent Variable	Seat Belt Usage	
	OLS	State FE
Secondary enforcement	0.131***	0.112***
	0.012	0.012
Primary enforcement	0.286***	0.219***
	0.015	0.024
Secondary to primary enforcement	0.122***	0.135***
	0.023	0.017
Year FE	Yes	Yes
State FE	No	Yes
<i>N</i>	556	556
Adj. <i>R</i> ²	0.803	0.912

For exact definitions of the variables, refer to the data appendix.

***, **, *: Significant at 1%, 5%, and 10% confidence level, respectively.

In unreported regressions we run identical regressions using the CDC usage data and obtain similar results.

As described in the text, note that the panel is not full for the early years (before 1990), which is why the number of observations is 556 rather than 765 (51 states over 15 years, 1983-1997).

A Box-Cox regression (as well as inspection of the graphs) suggests that a linear specification of the dependent variable is much more appropriate.

Seppur da una parte la letteratura economica sull'impatto della normativa concorda su un effetto deterrente e statisticamente significativo; dall'altra Abouk e Adams mettono in risalto come i conducenti reagiscano soltanto all'annuncio della normativa per poi tornare ad assumere un comportamento inadeguato alla guida.

⁶ La *Tabella 1* costituisce un estratto di quella originale dello studio di Cohen e Einav [33].

In particolare, analizzando l'effetto delle leggi che vietano l'invio degli sms rilevano una riduzione del 17-18% degli incidenti nel mese successivo al divieto che tuttavia scompare entro il quarto mese. Secondo gli autori tale fenomeno è dovuto ad una applicazione della normativa insufficiente dato che le forze dell'ordine hanno difficoltà nell'identificare cosa sta facendo un conducente in possesso di un telefono durante la guida. Ne deriva, quindi, che l'effetto delle leggi sulla riduzione del numero di incidenti è limitato ad uno specifico intervallo temporale, a meno che non sia accompagnato da un *primary enforcement* che determina una sostanziale variazione del comportamento dei conducenti [34].

Tenendo a mente i risultati di Cohen e Einav e di Abouk e Adams risulta evidente l'importanza dell'intensificazione dell'applicazione delle normative nella lotta contro l'incidentalità. Di conseguenza, la rassegna della letteratura economica svolta nel seguente paragrafo si pone l'obiettivo di dimostrare la causalità tra l'*enforcement* del Codice della Strada e il numero di sinistri.

1.3.2 L'effetto dell'*enforcement* del Codice della Strada

La letteratura che analizza l'impatto di una maggiore applicazione delle normative in materia di sicurezza stradale inizia a fiorire già da prima degli anni 2000 concentrandosi soprattutto sui fattori di rischio "storici" rappresentati dall'eccesso di velocità, dalla guida in stato di ebbrezza, dal non utilizzo dei dispositivi di sicurezza e dalle violazioni semaforiche.

A tal proposito, con l'obiettivo di effettuare una meta-analisi (analisi statistica che riassume i principali risultati di molteplici studi individuali) e trarre una relazione quantitativa tra il livello di *enforcement* e il numero di incidenti e vittime, nel 2005 Elliot e Broughton forniscono una panoramica della letteratura esistente analizzando 66 studi che valutano l'intensificazione dell'applicazione delle normative sui fattori di rischio appena elencati. Seppur non siano riusciti a raggiungere il loro obiettivo a causa della mancanza di informazioni adeguate sui livelli di *enforcement*, gli autori rilevano che la maggior parte degli studi suggerisce che l'aumento dei livelli di applicazione porti a una riduzione delle violazioni del Codice della Strada e degli incidenti [35].

Lo stesso risultato è stato raggiunto da De Angelo e Hansen che, sfruttando il licenziamento di massa del 35% della polizia di stato dell'Oregon nel febbraio 2003 a seguito di un taglio al budget, studiano il conseguente effetto sulle vittime e sui feriti per incidenti stradali. In particolare, utilizzando il numero di sanzioni per eccesso di velocità come una misura

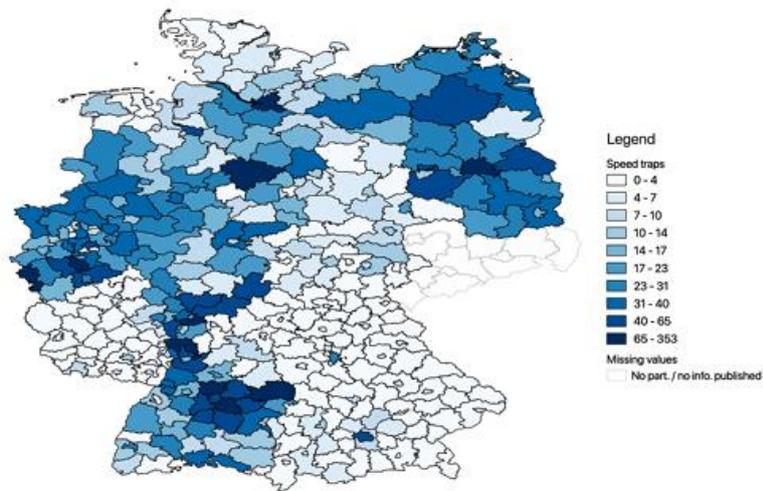
dell'*enforcement*, rilevano che la loro riduzione abbia comportato un aumento dell'11% dei decessi e del 17% dei feriti. Oltre a dimostrare una relazione negativa tra l'applicazione delle norme e i decessi, questi risultati integrano le conclusioni di Ashenfelter e Greenstone dato che l'incremento del limite di velocità può essere ragionevolmente associato ad una riduzione delle sanzioni [36].

Uno studio simile e più recente è stato condotto nel contesto italiano da Bertoli e Grempi che spiegano le tendenze degli incidenti stradali in funzione del ciclo politico. In particolare, sfruttando gli anni delle elezioni comunali in due regioni italiane (Lombardia e Veneto), stimano un aumento dell'1,5% del tasso di incidenti e del 2% del tasso di infortuni, ma non trovano un effetto significativo sul tasso di mortalità. Secondo le autrici tale effetto è guidato, ancora una volta, da una variazione dell'*enforcement* del Codice della Strada data la contestuale diminuzione del numero di sanzioni che, tuttavia, non colpisce le violazioni per eccesso di velocità e la guida in stato di ebbrezza, probabilmente associate ai gravi incidenti [37].

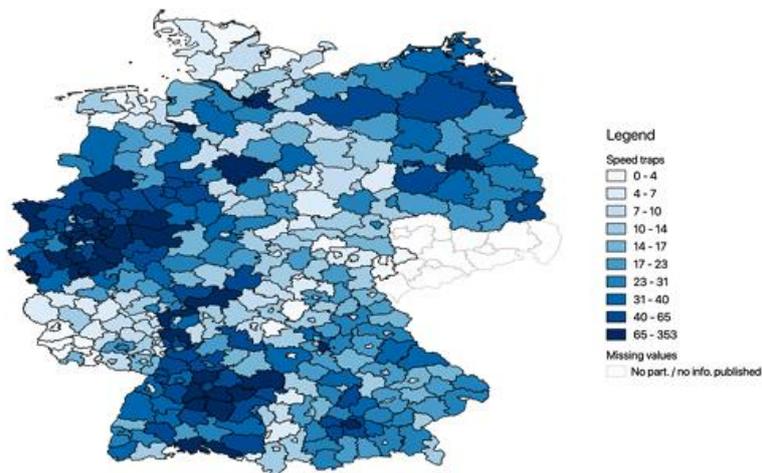
D'altra parte, associando sempre il livello di *enforcement* alle sanzioni, Luca rileva che un aumento del numero di multe comporta una riduzione statisticamente significativa degli incidenti e degli infortuni. Anche in questo caso non vengono riscontrati effetti significativi sul numero di vittime. Tale studio risulta particolarmente rilevante in quanto basato sulla variazione esogena del numero di sanzioni emesse a seguito della campagna *Click-it-or-Ticket* condotta in Massachusetts che permette di valutare l'impatto causale dell'*enforcement* sugli incidenti automobilistici. Il programma si è svolto prevedendo sei periodi da una a due settimane durante i quali vi è stata un'aggressiva intensificazione dell'applicazione delle normative del Codice della Strada, oltre a delle campagne mediatiche condotte in tutto lo Stato volte a sensibilizzare i conducenti. Per condurre l'analisi sono stati identificati dei periodi di controllo e dei periodi di trattamento dove i primi sono stati ricavati per analogia rispetto ai secondi considerando anni precedenti al programma. In linea con le aspettative, la violazione del Codice della Strada più frequente durante i periodi di controllo è l'eccesso di velocità seguita dal non utilizzo delle cinture di sicurezza e dal mancato arresto al semaforo. Durante il periodo di trattamento si è verificato un aumento uniforme di circa il 40% delle rilevazioni delle infrazioni e ciò suggerisce che le multe possano essere ragionevolmente considerate una misura del livello di *enforcement* del Codice della Strada. Il conseguente aumento della probabilità di essere puniti e sanzionati per un comportamento alla guida inadeguato mette in mostra una relazione negativa e significativa tra multe e incidenti: un aumento dell'1% del numero di sanzioni porta ad una riduzione dello 0,28% degli incidenti e dello 0,17% sugli infortuni; mentre non vi è un

impatto significativo sui decessi. Tuttavia, questo effetto potrebbe essere sovrastimato per via della compresenza della campagna mediatica che potrebbero rappresentare il meccanismo principale che ha comportato una riduzione degli incidenti. Ciò nonostante, gli autori ritengono che l'efficacia del programma risieda nell'aumento del numero di sanzioni in quanto effettuando delle analisi controfattuali rilevano che non si osserva una diminuzione significativa degli incidenti e degli infortuni laddove la *Click-it-or-Ticket* è stata incentrata principalmente sulla campagna di sensibilizzazione [38].

Per supportare l'ipotesi di Luca e avere un'evidenza chiara dell'impatto dell'*enforcement* del Codice della Strada che sciolga ogni dubbio sulla contestualità delle campagne di sensibilizzazione, riportiamo come ultima analisi lo studio di Bauernschuster e Rekers che indagano sull'impatto del *Blitzmarathon* in Germania che consiste in ripetute operazioni di intensificazione dell'applicazione delle normative. In particolare, il programma si basa su massicce operazioni di monitoraggio dei limiti di velocità (*Speed Limit Monitoring Operations SLMO, Figura 14*) della durata di un giorno accompagnate da campagne mediatiche che hanno l'obiettivo di specificarne le caratteristiche (tempi, località e scopo) e di sensibilizzare il pubblico in merito ai pericoli associati all'eccesso di velocità così da cambiare il loro comportamento alla guida in modo più sostenibile. Di conseguenza, l'idea di base degli autori è quella di andare a verificare se a valle dell'attuazione del programma si riscontrano effetti sulla sicurezza stradale che potrebbero essere ricondotti all'efficacia delle campagne di sensibilizzazione.



(a) Speed traps on a regular day



(b) Speed traps on a Blitzmarathon day

Notes: The figure shows the total number of speed traps per county during a regular day [Panel (a)] and during a Blitzmarathon day [Panel (b)]. The total number of speed traps is the sum of temporary and permanent speed traps. In Panel (b), temporary speed traps are the average number of speed traps per county over all Blitzmarathons in which the respective county participated in the operations. The federal state of Saxony participated one time in a Blitzmarathon, but did not announce all speed traps in advance through the media.

Figura 14: Rilevazione della velocità nei giorni Blitzmarathon e nei giorni regolari [39]

Per condurre l'analisi viene utilizzata l'equazione 1.1 basata sul metodo del *difference-in-differences*, supponendo che le contee soggette al programma e quelle di controllo seguono lo stesso andamento relativo in assenza dell'iniziativa:

$$Y_{ct} = \beta_1(\text{Blitzmarathon}_{st}) + \beta_2 X_{ct} + \mu_y + \pi_m + \rho_d + \theta_c + \epsilon_{ct} \quad (1.1)$$

dove Y_{ct} rappresenta il numero di incidenti o vittime della strada alla data t nella contea c , *Blitzmarathon* è una *dummy* che rappresenta la variabile di interesse che assume il valore uno se l'iniziativa è in vigore al tempo t nello stato s , X_{ct} cattura le condizioni metereologiche mentre μ_y , π_m , ρ_d e θ_c controllano la stima rispettivamente per l'anno, mese, giorno della settimana e caratteristiche specifiche della contea. ϵ_{ct} rappresenta il termine di errore.

In *Tabella 2* sono riportati gli effetti del *Blitzmarathon* suddivisi in base al tipo di regressione. Considerando le stime più significative e ampie, si rileva una diminuzione del 7,5% degli incidenti stradali, dell'8,5% del numero di feriti, del 9% dei feriti gravi e del 4,5% del numero di vittime, anche se questi ultimi due effetti non sono statisticamente significativi.

Tabella 2: Effetto del Blitzmarathon sull'incidentalità [39]

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(a) Number of accidents						
[Mean: 2.362; N: 493,518]						
Blitzmarathon	-0.121*** (0.041)	-0.146*** (0.039)	-0.171*** (0.051)	-0.174*** (0.051)	-0.161*** (0.051)	-0.178** (0.061)
R ²	0.669	0.671	0.672	0.706	0.709	0.710
(b) Number of slightly injured						
[Mean: 1.916; N: 493,518]						
Blitzmarathon	-0.126* (0.065)	-0.132* (0.075)	-0.154** (0.058)	-0.165*** (0.051)	-0.155*** (0.049)	-0.163*** (0.040)
R ²	0.582	0.583	0.584	0.620	0.623	0.624
(c) Number of severely injured						
[Mean: 0.367; N: 493,518]						
Blitzmarathon	-0.036 (0.021)	-0.032 (0.020)	-0.035 (0.022)	-0.031 (0.022)	-0.029 (0.022)	-0.033 (0.023)
R ²	0.123	0.124	0.124	0.130	0.130	0.128
(d) Number of fatally injured						
[Mean: 0.021; N: 493,518]						
Blitzmarathon	-0.002 (0.004)	-0.001 (0.004)	-0.002 (0.004)	-0.001 (0.004)	-0.001 (0.004)	-0.001 (0.004)
R ²	0.122	0.123	0.124	0.129	0.129	0.128
County FE	x	x	x	x	x	x
Time FE	x	x	x	x	x	x
Weather	x	x	x	x	x	x
Vacation			x	x	x	x
County × Time FE				x	x	x
County × Weather					x	x
County × Vacation						x

Notes: The table shows the effect of the Blitzmarathons on the number of traffic accidents [Panel (a)], slightly injured [Panel (b)], severely injured [Panel (c)], and fatally injured [Panel (d)]. Each column in each row presents a separate regression. All regressions are run at the county-day level. "Blitzmarathon" is as a dummy variable indicating the Blitzmarathon is in force in a specific county on a specific day. All regressions include county and time fixed effects. Time fixed effects include day-of-week, month-of-year, and year fixed effects. Weather controls include atmospheric temperature, amount of precipitation, and a dummy for snow cover. Additionally, we include dummies indicating missing atmospheric temperature, missing amount of precipitation, and missing snow cover. Vacation controls include dummies for school vacation, the last school day before a school vacation, and the last day of a school vacation. County × Time, County × Weather, and County × Vacation are interaction of county indicators with all time fixed effects, weather controls, and vacation controls, respectively. Standard errors (in parentheses) are clustered at the state level. * $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.

Tuttavia, analizzando nel dettaglio l'intervallo temporale per valutare la persistenza dell'effetto delle iniziative gli autori rilevano che l'impatto scompare immediatamente dopo la fine della giornata *SLMO* (*Figura 15*), anche se le *Blitzmarathon* continuano ad avere una copertura mediatica considerevole.

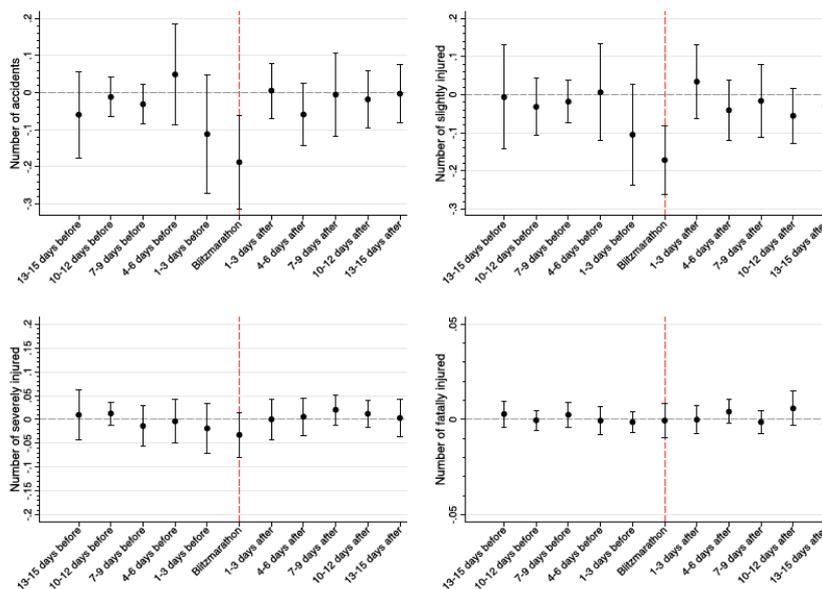


Fig. 4. The Effect of the Blitzmarathons on Traffic Accidents over Time. Notes: The figure shows point estimates and 95 percent confidence intervals for the effect of the Blitzmarathons +/- 15 days on the number of traffic accidents [upper left panel], slightly injured [upper right panel], severely injured [lower left panel], and fatally injured [lower right panel]. We group the 15 days before and after a Blitzmarathon in three-day intervals. All regressions include county and time fixed effects, weather controls, vacation controls, and interactions of county indicators with all time fixed effects, weather controls, and vacation controls, respectively. Time fixed effects include day-of-month-of-year, and year fixed effects. Weather controls include atmospheric temperature, amount of precipitation, and a dummy for snow cover. Additionally, we include dummies indicating missing atmospheric temperature, missing amount of precipitation, and missing snow cover. Vacation controls include dummies for school vacation, the last school day before a school vacation, and the last day of a school vacation. Standard errors are clustered at the state level.

Figura 15: Effetto nel tempo degli SLMO [39]

Pertanto, questi risultati suggeriscono che le campagne di sensibilizzazione non sono efficaci nell'alterare significativamente il comportamento alla guida dei conducenti. Piuttosto, le *Blitzmarathon* riducono gli incidenti poiché gli utenti della strada guidano in maniera più responsabile in risposta alla maggiore probabilità di essere rilevati e puniti. Per rinforzare tale conclusione gli autori mostrano che non si è verificata nessuna variazione degli incidenti nelle strade non soggette ad una intensificazione dell'applicazione delle normative. Inoltre, per sciogliere ogni dubbio hanno anche verificato che in Baviera, dove il *Blitzmarathon* è stato condotto per una settimana, l'effetto continua ad essere statisticamente significativo e persistente durante l'intero programma [39].

La letteratura economica appena analizzata fornisce delle prove sufficienti per evidenziare il ruolo cruciale dell'*enforcement* del Codice della Strada nella lotta contro l'incidentalità che si pone come uno strumento in grado di indirizzare efficacemente il comportamento degli utenti della strada verso una guida più responsabile con conseguente *spillover* positivo sul numero di sinistri. A questo punto dovrebbe essere chiaro al lettore il possibile impatto dell'installazione di telecamere di rilevazione delle infrazioni semaforiche sugli incidenti. Tuttavia, sono ancora molti i sostenitori di un'idea poco nobile sull'*enforcement* del Codice della Strada, secondo la quale l'unico scopo è quello di aumentare le entrate economiche attraverso le sanzioni. Di

conseguenza, tenendo a mente lo scopo del presente elaborato e con l'obiettivo di contrastare tale corrente di pensiero, il paragrafo successivo si propone di dimostrare, ancora una volta, l'effetto dell'intensificazione dell'applicazione delle normative focalizzandosi sui dispositivi di rilevazione delle infrazioni semaforiche.

1.3.3 L'effetto dei dispositivi di rilevazione delle infrazioni semaforiche

In linea generale i semafori sono installati negli incroci caratterizzati da elevati flussi di traffico provenienti da due o più direzioni che rendono inefficace l'adozione delle semplici regole di precedenza. In particolare, data la conflittualità di movimento del traffico, i semafori vengono progettati in modo tale da aumentare sia la sicurezza dell'intersezione che l'efficienza del traffico veicolare. Tuttavia, sono molteplici i casi in cui le precedenza imposte dal semaforo non vengono rispettate, rendendo così altamente pericolose le relative intersezioni. Le soluzioni adottate in passato prevedevano la presenza di forze dell'ordine in prossimità degli incroci così da aumentare il livello di *enforcement* e mitigare il comportamento spericolato di alcuni utenti della strada. Tuttavia, ciò si scontra sia con la natura limitata delle risorse a disposizione che con la caratteristica intrinseca della tipologia di violazione che richiederebbe di inseguire il trasgressore, a meno che non venga immediatamente identificato. A tal proposito, la tecnologia e, in particolare, le telecamere installate negli incroci semaforizzati possono essere viste come degli strumenti in grado di integrare gli sforzi della polizia stradale nel rilevare tali infrazioni; in altre parole, possono essere considerate degli strumenti che permettono di incrementare il livello di applicazione delle normative del Codice della Strada. Infatti, come discusso nel paragrafo precedente, aumentando la percezione di essere scoperti e puniti, tali dispositivi dovrebbero fornire un potente incentivo agli utenti della strada per mantenere un comportamento più giudizioso in prossimità degli incroci limitando la loro scelleratezza nel bruciare il rosso con conseguenti esternalità positive sul fenomeno dell'incidentalità.

Tale ipotesi viene supportata dalla letteratura economica che sottolinea come l'introduzione delle telecamere per la rilevazione di violazioni semaforiche sia risultato uno strumento molto efficace nel ridurre sia le infrazioni che i sinistri.

In particolare, per quanto riguarda le violazioni semaforiche, la letteratura economica concorda su un impatto statisticamente significativo e rilevante. Ad esempio, già nel 1999 Retting et al. sfruttando l'installazione di 9 dispositivi nella città di Oxnard, California, rilevano una riduzione del 42% del tasso di violazione del semaforo rosso [40]. Allo stesso modo, McCartt e Hu analizzano l'installazione delle telecamere in Arlington, Virginia, nel 2010 trovando una riduzione statisticamente significativa delle violazioni che si verificano tra 0,5 secondi (39%) e 1,5 secondi (86%) rispetto allo scattare del rosso [41].

In materia di incidentalità, invece, Retting e Kyrychenko hanno studiato l'impatto dell'introduzione delle telecamere in Oxnard, California, trovando una riduzione del 7% degli incidenti negli incroci semaforizzati e del 29% degli incidenti con lesioni. Tale stima sale al 32% se vengono considerati solo gli incidenti ad angolo retto, cioè il tipo di sinistro maggiormente associato alla violazione delle indicazioni semaforiche [42].

Nel 2011 Hu et al. stimano l'effetto dell'applicazione delle telecamere sugli incidenti mortali negli incroci con semafori. In particolare, nella loro analisi sono state identificate 62 grandi città degli Stati Uniti (con più di 200.000 residenti) e due periodi di osservazione: 2004-2008 e 1992-1996. Gli autori, quindi, hanno identificato un gruppo di trattamento composto da 14 città in cui sono stati emanati dei programmi di applicazione delle telecamere tra il 2004 e il 2008, ma non tra il 1992 e il 1996, e un gruppo di controllo formato da 48 città nelle quali non vi è stato nessun programma in entrambi i periodi. I risultati ottenuti evidenziano l'efficacia dell'introduzione delle telecamere: 12 delle 14 città hanno riscontrato una riduzione degli incidenti mortali dovuti al non rispetto del rosso; mentre nelle 48 città senza programmi la variazione dei tassi di mortalità è più variabile dato che circa la metà riporta un aumento e l'altra una diminuzione. In particolare, il tasso medio annuo di incidenti mortali per il non rispetto del rosso è diminuito per entrambi i gruppi di studio, ma la riduzione è stata maggiore nelle città che hanno installato le telecamere assestandosi intorno al 35% contro il 14% delle città non soggette al programma. Considerando, invece, il tasso medio annuo per tutti gli incidenti mortali avvenuti negli incroci semaforizzati si verifica una riduzione del 14% nel gruppo di trattamento e un aumento del 2% nel gruppo di controllo. Ciò suggerisce che tali dispositivi possono avere anche un effetto generalizzato sul comportamento del conducente agli incroci che si estende oltre i siti in cui sono installate le telecamere [43].

In uno studio più recente, Hu e Cicchino aggiornano le stime relative agli effetti dell'attivazione delle telecamere per le violazioni semaforiche sul numero di incidenti mortali e mostrano l'impatto di alcune disattivazioni. In particolare, il metodo di conduzione dell'analisi è analogo al precedente salvo l'introduzione di 14 città che hanno rimosso i dispositivi durante il periodo 2010-2014. I risultati mostrano, ancora una volta, la riduzione statisticamente significativa del tasso medio annuo di incidenti mortali per il non rispetto del rosso e del tasso medio annuo per tutti gli incidenti mortali avvenuti negli incroci semaforizzati rispettivamente del 21% e del 14% per le città con le telecamere attive. Viceversa, per le città che hanno disattivato i dispositivi si è rilevato un aumento statisticamente significativo dei tassi rispettivamente del 30% e 16% [44].

In conclusione, la letteratura economica analizzata permette di confutare il fatalismo secondo il quale non è possibile intraprendere delle azioni preventive per abbattere il fenomeno dell'incidentalità. Normative più stringenti e l'*enforcement* del Codice della Strada si presentano come degli strumenti in grado di ridurre i sinistri e decessi e possono, quindi, contribuire notevolmente agli obiettivi internazionali volti a una migliore sicurezza stradale. Tuttavia, c'è da notare che non sempre le normative hanno un effetto efficace sui sinistri. In particolare, il comportamento degli utenti della strada può essere modificato in modo sostenibile solo se vi un'intensificazione dell'applicazione delle leggi stesse che aumenta la probabilità di essere rilevati e puniti per una guida inadeguata. Risulta necessario, quindi, uno sforzo congiunto per combattere i principali fattori di rischio rappresentati dall'eccesso di velocità, dalla guida in stato di ebbrezza, dal non utilizzo dei dispositivi di sicurezza, dall'utilizzo di telefoni cellulari durante la guida e dal non rispetto della segnaletica.

D'altra parte, la straordinaria e immediata risposta globale alla pandemia da Covid-19 ha dimostrato come i responsabili politici e la società nel suo complesso possono agire efficacemente se tutti lavorano verso un obiettivo comune. Se si applicasse la stessa intensità alla sicurezza stradale sicuramente ci sarebbero risultati ben più evidenti e tangibili. Sicuramente, però, gli incidenti e i decessi non sono il prezzo da pagare per garantire la mobilità.

1.4 L'incidentalità in Italia e i dispositivi T-Red

Appurato il ruolo delle telecamere semaforiche sui sinistri stradali, risulta opportuno contestualizzare il dispositivo T-Red, oggetto di analisi del presente elaborato, in modo da chiarire le sue caratteristiche principali e il suo funzionamento.

1.4.1 Il contesto italiano

Già a partire dal nuovo millennio l'Italia si impegna nella lotta contro l'incidentalità emanando *Piani Nazionali sulla Sicurezza Stradale (PNSS)* nei quali, accogliendo gli obiettivi e gli indirizzi della Commissione Europea, fornisce un sistema di misure per la promozione e incentivazione di piani strategici e strumenti di vario tipo alle Regioni e agli Enti Locali da adattare al contesto specifico in modo da raggiungere gli obiettivi prefissati in materia di sicurezza stradale. I risultati ottenuti, ad esempio, con il *PNSS 2001-2010* sono stati più che soddisfacenti, anche se non è stato raggiunto l'obiettivo di riduzione del 50% del numero di decessi. Come mostrato in *Figura 16*, infatti, vi è stata una diminuzione del 42% del numero di morti, del 30% del numero di feriti e del 31% degli incidenti.

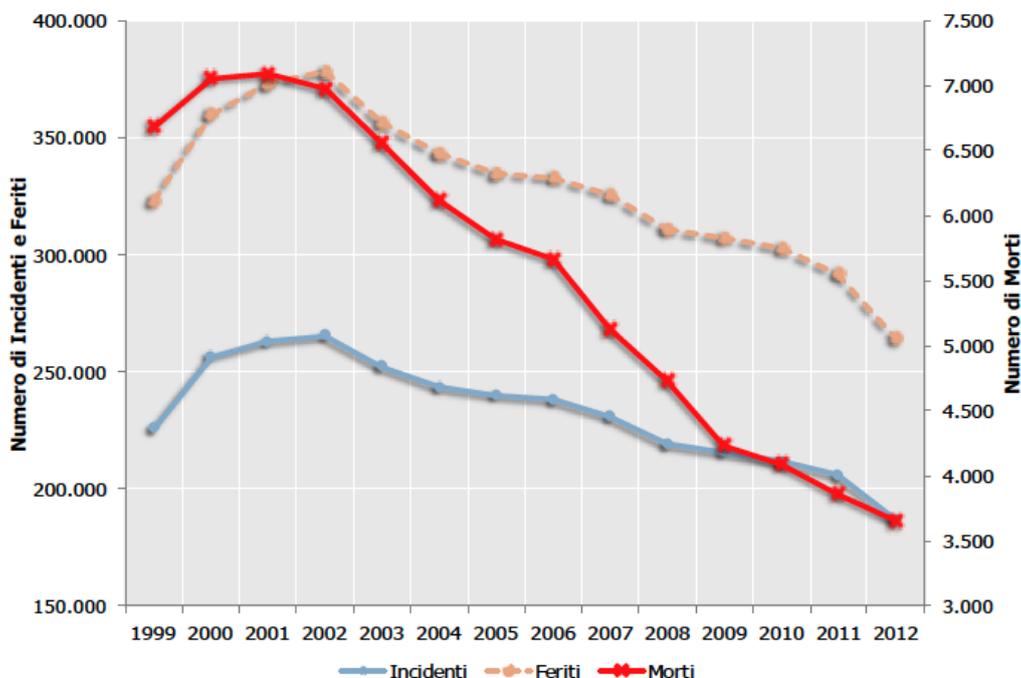


Figura 16: Variazione incidenti, morti e feriti 2001-2010 [8]

Il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti identifica tre principali azioni strategiche, perfettamente in linea con quanto riportato nella letteratura economica, che hanno consentito il raggiungimento di tali risultati:

- 1) azioni di carattere legislativo: gli interventi più efficaci sono stati l'introduzione della patente a punti (luglio 2003) che fornisce un potente incentivo ai conducenti per mantenere un comportamento adeguato alla guida data la decurtazione dei punti qualora si commettano infrazioni e la conseguente sospensione della licenza; riduzione del tasso alcolemico e sanzioni più elevate per la guida in stato di ebbrezza;
- 2) azioni di prevenzione e controllo (*enforcement*): le azioni più efficaci riguardano l'introduzione del sistema di controllo delle velocità medie sulle autostrade e l'aumento dei controlli dovuto anche all'utilizzo di dispositivi automatici;
- 3) campagne di comunicazione e sensibilizzazione: il rafforzamento della comunicazione istituzionale e l'educazione stradale sono stati gli interventi più efficaci.

Per quanto concerne, invece, i programmi attuativi, cioè misure di carattere locale, trovano particolare rilievo i controlli semaforici alle intersezioni. Come mostrato in *Tabella 3*, anche se è stato possibile condurre solo 2 valutazioni su 29 misure realizzate, i risultati sono molto positivi data la riduzione del 78% del numero di incidenti con feriti [8].

Tabella 3: Variazione percentuale del numero di incidenti per programmi attuativi 2001-2010 [8]

<i>Tipologia di misura</i>	<i>Misure finanziate</i>	<i>Misure realizzate</i>	<i>Misure valutate</i>	<i>Variazione media (%) del numero di incidenti con feriti</i>
Canalizzazione delle intersezioni	18	14	4	-68%
Controllo semaforico alle intersezioni	47	29	2	-78%
Corsie e piste ciclabili	111	55	9	-16%
Interventi di moderazione della velocità	35	18	3	-16%
Miglioramento della sicurezza dei margini stradali	9	4	2	-44%
Misure di moderazione del traffico a livello di area	49	18	6	+3%
Trattamento dei punti neri (intersezioni)	98	24	4	-79%
Miglioramento della sezione stradale	128	45	7	-53%

Tuttavia, per contestualizzare l'oggetto di analisi del presente elaborato, si deve prendere in considerazione il *PNSS 2011-2020* dove, sulla base delle indicazioni della Commissione Europea definite nel Quarto Programma denominato “*Verso uno spazio europeo della sicurezza stradale: orientamenti 2011-2020*” [22], lo Stato italiano si pone nuovamente l'obiettivo di riduzione del 50% del numero di decessi rispetto al 2010. Per raggiungere questo traguardo, tra le 7 linee strategiche generali sono presenti l'utilizzo di moderne tecnologie per migliorare la sicurezza stradale, il rafforzamento dell'applicazione delle regole della strada e il miglioramento delle infrastrutture [8].

1.4.1.1 Un focus su Torino

Si è già affermato che il *Piano Nazionale* deve essere interpretato come un sistema di misure per la promozione e incentivazione di piani strategici e strumenti di vario tipo alle Regioni e agli Enti Locali che devono essere poi adattati al contesto specifico in modo da raggiungere gli obiettivi prefissati in materia di sicurezza stradale.

Restringendo, quindi, l'ambito alla Città di Torino, contesto di analisi del presente elaborato, la Divisione Infrastrutture e Mobilità nel 2018 ha pubblicato le “*Linee di indirizzo per la redazione del piano operativo di sicurezza stradale 2019-2021*” marcando l'impegno in progetti in materia di sicurezza stradale che condividono la *vision* del Piano Nazionale. In tale documento viene sottolineato che, nonostante la riduzione del numero di incidenti da 10.015 nel 2001 a 4.919 nel 2017, sono necessari ulteriori interventi nelle politiche di sicurezza stradale in modo da raggiungere l'ambizioso traguardo di azzerare il numero di vittime e feriti gravi entro il 2050 (*Vision Zero*). A tal proposito, la Giunta Comunale delibera il “*Piano Operativo di Sicurezza Stradale*” per il triennio 2019-2021 dove tra gli obiettivi vi è l'esigenza di “*ridurre l'incidentalità nelle intersezioni in quanto luoghi con i più alti indici di lesività per tutte le categorie di utenti*” attraverso delle strategie di intervento che comprendono “*l'aumento dei controlli e del sanzionamento anche mediante apparecchiature automatiche omologate*” [9].

In tale contesto si inseriscono i sistemi **EnVES EVO MVD 1605**, conosciuti anche come **T-Red**, cioè dei dispositivi intelligenti che hanno l'obiettivo di ridurre l'incidentalità nelle intersezioni attraverso un'intensificazione del livello di applicazione delle normative del Codice della Strada [12].

1.4.2 I dispositivi T-Red

I sistemi **EnVES EVO MVD 1605** o **T-Red** sono dei dispositivi intelligenti, approvati con decreti dirigenziali 4670 del 28/07/2016 e 4020 del 21/06/2017 dal *Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT)* [10] [11], che hanno l'obiettivo di ridurre il fenomeno dell'incidentalità rilevando le infrazioni semaforiche o il superamento dei limiti di velocità. In particolare, tali dispositivi consentono l'acquisizione di una sequenza di immagini che forniscono una panoramica chiara dell'infrazione documentando sia gli istanti precedenti che quelli successivi all'infrazione stessa.

Considerando la prima funzionalità, il T-Red opera come sistema automatico di controllo e sanzionamento delle infrazioni semaforiche. Infatti, il dispositivo è in grado di riconoscere lo stato della lanterna semaforica e di valutare eventuali infrazioni commesse, compreso l'arresto del veicolo oltre la linea orizzontale: ogni qual volta viene rilevato un veicolo, il sistema verifica lo stato del semaforo e se la lanterna è rossa viene scattata una sequenza di immagini comprendenti l'attraversamento e gli attimi precedenti e successivi [12].

In particolare, sono tre le violazioni rilevate dal dispositivo:

- art. 41, comma 11 – art. 146, comma 2: *“conducente che, all'accendersi della luce semaforica rossa, si arresta oltre la linea d'arresto, oppure quando la lunghezza della sagoma non supera completamente la segnaletica orizzontale di arresto, ma interferisce con la circolazione veicolare e pedonale, in entrambi casi il veicolo non impegna l'incrocio” (Figura 17)*. L'importo della sanzione è compreso tra 42,00€ e 173,00 €, oltre alla decurtazione di 2 punti sulla patente raddoppiata in caso di neopatentato;

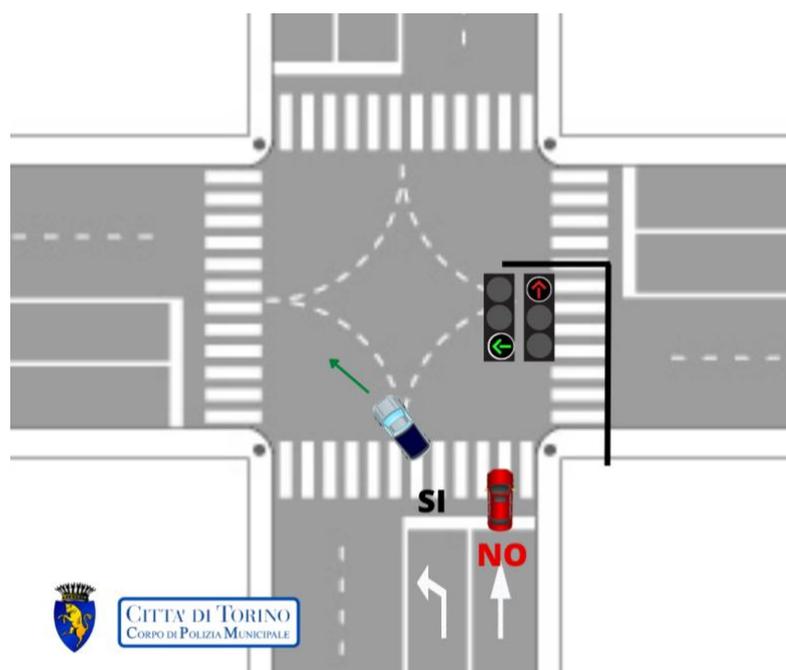


Figura 17: Violazione semaforica - Arresto oltre la linea orizzontale [13]

- art. 41, comma 11 – art. 146, comma 2: “*conducente che, posizionato sulla corsia di svolta, prosegue la marcia dritto con la lanterna della svolta sul rosso*” (Figura 18). L’importo della sanzione è compreso tra 42,00€ e 173,00 €, oltre alla decurtazione di 2 punti sulla patente raddoppiata in caso di neopatentato;

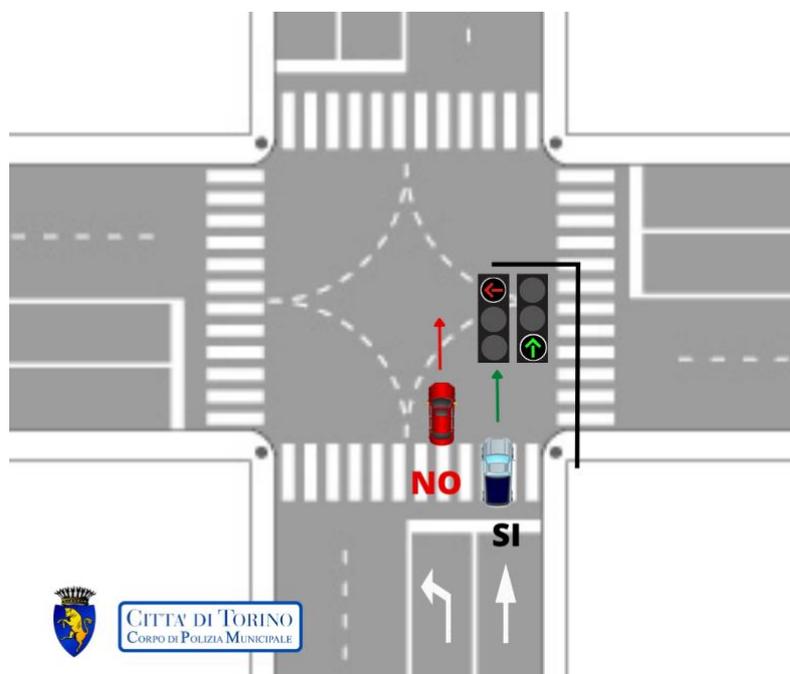


Figura 18: Violazione semaforica - Prosegue dritto sulla corsia di svolta [13]

- art. 41, comma 11 – art. 146, comma 3: "conducente che, all'accendersi della luce semaforica rossa, impegna l'incrocio o prosegue la marcia nella propria Direzione" (Figura 19). L'importo della sanzione è compreso tra 167,00€ e 666,00€, oltre alla decurtazione di 6 punti sulla patente raddoppiata in caso di neopatentato.

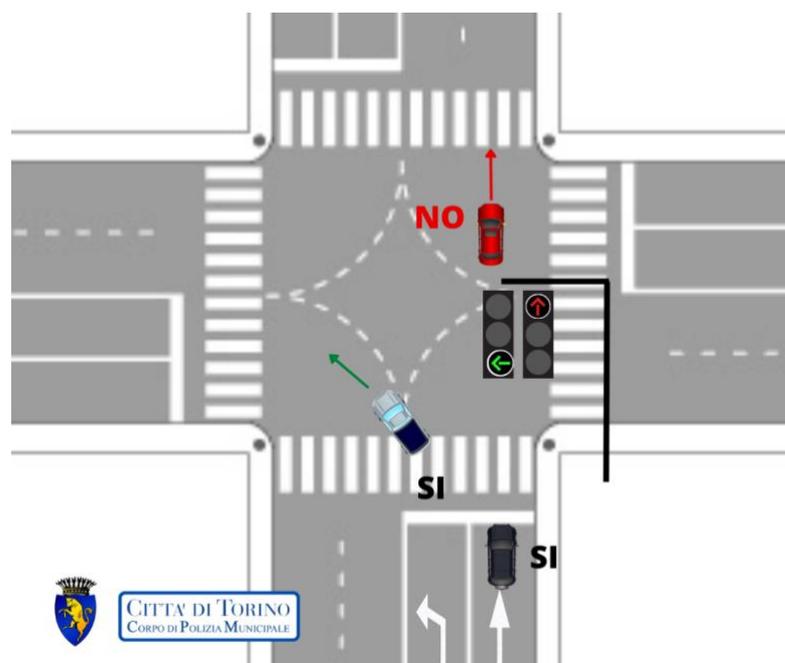


Figura 19: Violazione semaforica - Attraversamento incrocio con semaforo rosso [13]

Le relative immagini delle infrazioni vengono poi visionate e convalidate da un agente della Polizia Municipale in modo da poter valutare che non ci siano cause di giustificazione, come ad esempio, il passaggio da parte di mezzi di soccorso o di polizia con sistemi di allarme inseriti o il passaggio/ingombro dell'incrocio da parte di veicoli privati che compiono la manovra per far passare i mezzi di soccorso o delle forze dell'ordine.

Nella città di Torino, ad oggi, sono undici le intersezioni che presentano impianti semaforici equipaggiati di dispositivi automatici per il controllo delle infrazioni semaforiche:

- corso Lecce, corso Potenza, corso Regina Margherita;
- corso Novara, corso Vercelli, corso Vigevano;
- corso Peschiera, corso Trapani;
- corso Corsica, corso Eusebio Giambone, sottopassaggio Lingotto;
- corso Enrico Tazzoli, corso Giovanni Agnelli;
- corso Appio Claudio, Corso Lecce;
- corso Potenza, via Nole, via Pianezza;
- corso Siracusa, corso Trapani, via Tirreno;
- corso Duca degli Abruzzi, corso Vinzaglio, corso Vittorio Emanuele II⁷;
- corso Bramante, corso Filippo Turati, corso Lepanto, corso Unione Sovietica⁷;
- corso Cosenza, corso Orbassano, corso Siracusa, piazza Pitagora, via Monte Novago e via Publio Elvio Pertinace⁷ [13].

In *Figura 20* viene evidenziata la disposizione geografica dei T-Red nella città di Torino dove la grandezza degli indicatori distingue tra i T-Red che sono attivi al 2021 e che saranno oggetto del presente elaborato e i T-Red che son diventati operativi da giugno 2022.

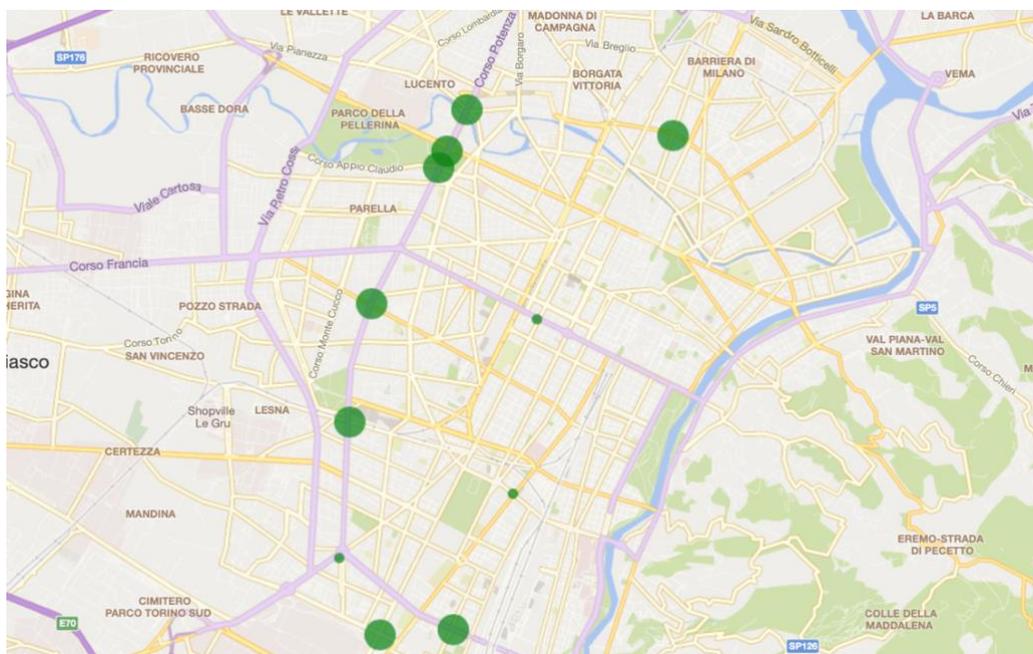


Figura 20: Disposizione geografica dei T-Red nella città di Torino

⁷ T-Red attivi da giugno 2022.

Per maggiore chiarezza, in *Figura 21* è mostrato il dispositivo che regola l'intersezione di corso Lecce, corso Potenza e corso Regina Margherita.



Figura 21: T-Red che monitora l'intersezione tra corso Lecce, corso Potenza e corso Regina Margherita

Alla luce di quanto dimostrato dalla letteratura economica, tali dispositivi dovrebbero rappresentare degli strumenti in grado di modificare efficacemente e in modo sostenibile il comportamento degli utenti della strada. Infatti, i sistemi T-Red possono essere visti come degli strumenti in grado di applicare costantemente le normative riguardanti le intersezioni semaforizzate aumentando così la percezione dei conducenti di essere scoperti e puniti qualora commettano delle infrazioni. In altre parole, per chiarire il concetto al lettore, i dispositivi T-Red possono essere associati alle campagne *SLMO* analizzate da Bauernschuster e Rekers [39] con le sole differenze riguardanti il tipo di violazione indagata (infrazioni semaforiche nel primo caso e velocità nel secondo) e il tempo di applicazione (perpetuo nel primo caso e un giorno nel secondo). Ciò rappresenta, quindi, un potente incentivo per gli utenti della strada nel mantenere un comportamento più giudizioso in prossimità degli incroci limitando la loro scelleratezza nel bruciare il rosso con conseguente *spillover* positivo sull'incidentalità. Anche in questo caso, però, non sono mancate le critiche che identificano i T-Red solo come degli strumenti in grado di aumentare le casse del Comune.

Lo scopo, dunque, del presente elaborato è quello di valutare a posteriori, tramite un'analisi di regressione basata sul metodo del *difference-in-differences*, se l'installazione di questi dispositivi abbia generato una riduzione statisticamente significativa dei sinistri stradali basandosi sui dati di incidentalità dal 2016 al 2021 messi a disposizione dal Comune di Torino.

Capitolo II

2 L'incidentalità nella città di Torino

2.1 Introduzione

L'analisi di regressione che analizza l'impatto dei dispositivi T-Red sul fenomeno dell'incidentalità nella città di Torino è preceduta, per una maggiore chiarezza espositiva, da uno studio descrittivo dei dati che permette di definire nel dettaglio il contesto in cui operano tali dispositivi durante il periodo di osservazione.

In particolare, per comprendere al meglio le dinamiche di incidentalità rilevate, tale capitolo fornisce in prima battuta un confronto dettagliato tra Torino e il contesto italiano per gli anni 2010-2020, in modo da motivare l'installazione dei dispositivi T-Red, e solo successivamente una panoramica delle principali statistiche descrittive che mettono in mostra le peculiarità del fenomeno nella città di Torino così da aiutare il lettore nella comprensione dell'analisi di regressione.

2.2 Il confronto con il contesto italiano

L'intervallo temporale compreso tra il 2010 e il 2020, guidato dal *Piano Nazionale sulla Sicurezza Stradale 2011-2020*, è caratterizzato da un notevole rallentamento del trend di riduzione dell'incidentalità in Italia, del tutto analogo a quello che si è registrato in Europa (*paragrafo 1.2.1*). Infatti, dal grafico mostrato in *Figura 22* è possibile evincere una diminuzione iniziale tra il 2010 e il 2013 seguita da una fase di stagnazione del numero di incidenti, di morti e feriti durante il periodo 2013-2019. Nemmeno l'impatto delle restrizioni alla mobilità a causa della pandemia da Covid-19, che segna una marcata riduzione delle tre variabili, è riuscito a controbilanciare l'andamento pressoché costante del fenomeno dell'incidentalità portando così l'Italia a non raggiungere l'obiettivo prefissato per il 2020 di riduzione del 50% del numero di decessi.

In linea generale, tra il 2010 e il 2020 si registra una diminuzione del 44,5% del numero di incidenti, del 41,8% del numero di morti e del 47,7% del numero di feriti. Anche se questi valori sembrano confortanti, come già sottolineato, risentono fortemente del periodo di *lockdown*. Infatti, escludendo dall'analisi il 2020 le stime calano drasticamente rispettivamente al 19,2%, 22,9% e al 20,8%.

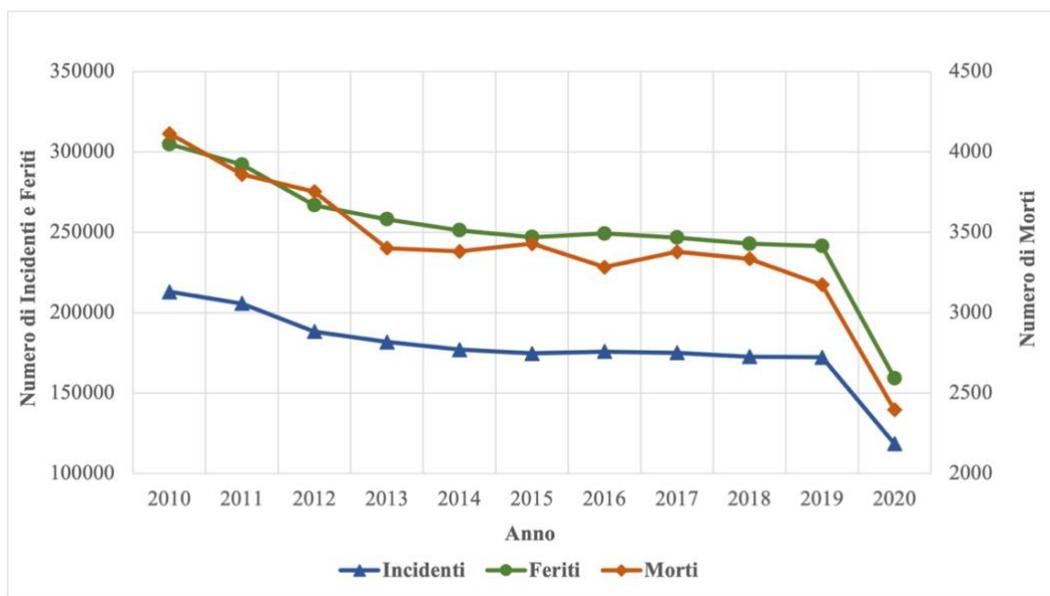


Figura 22: Trend incidentalità 2010-2020 (Fonte dati: ISTAT)

Come mostrato in *Figura 23* tutte le regioni, ad eccezione del Trentino-Alto Adige, tra il 2010 e il 2019 registrano una riduzione del numero di incidenti. Otto di queste, tra cui il Piemonte, superano la media italiana.

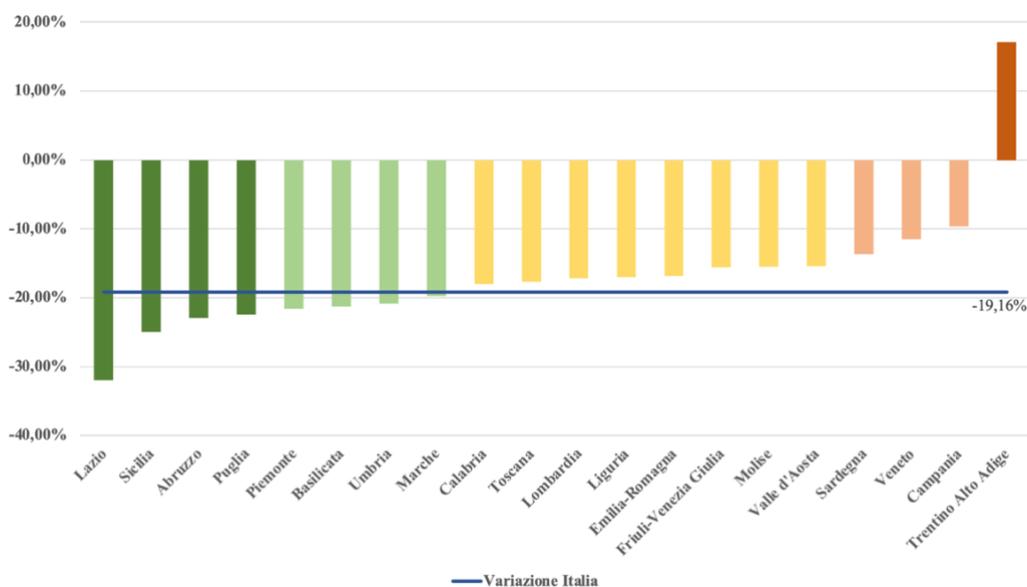


Figura 23: Variazione percentuale incidenti nelle regioni 2010-2019 (Fonte dati: ISTAT)

Inoltre, definendo il tasso di incidenti (TI) come il rapporto tra il numero di sinistri e la popolazione espressa in termini di centomila abitanti:

$$TI = \frac{\text{numero sinistri}}{\text{popolazione}} * 100.000 \quad (2.1)$$

si ottengono ulteriori conferme riguardanti l'andamento più o meno costante del fenomeno dell'incidentalità tra il 2013 e il 2019. Dalla *Figura 24*, infatti, si evince una riduzione del solo 19,3% del tasso che passa da 356,8 a 287,9 incidenti ogni centomila abitanti nel periodo 2010-2019.

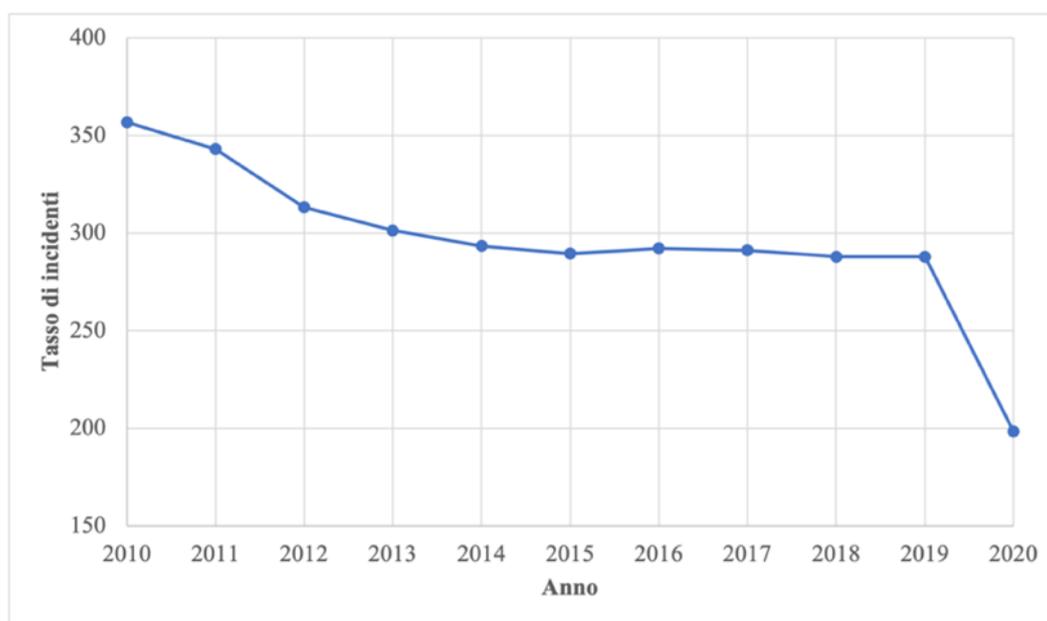


Figura 24: Trend del tasso di incidenti 2010-2020 (Fonte dati: ISTAT)

Anche in questo caso, a livello regionale le prestazioni migliori e peggiori vengono registrate rispettivamente dal Lazio e dal Trentino-Alto Adige. Il Piemonte supera di poco la media italiana, con una riduzione del tasso pari al 20,3% (*Figura 25*).



Figura 25: Variazione percentuale del tasso di incidenti nelle regioni 2010-2019 (Fonte dati: ISTAT)

Considerando, invece, i soli incidenti avvenuti negli incroci (semaforizzati e non), che rappresentano la tipologia di sinistri analizzata in questo elaborato, la situazione sembra migliorare. Rapportando, infatti, gli incidenti avvenuti nelle intersezioni al numero totale di sinistri si può notare un costante miglioramento della proporzione relativa che passa dal 41,5% al 33,9% (Figura 26).

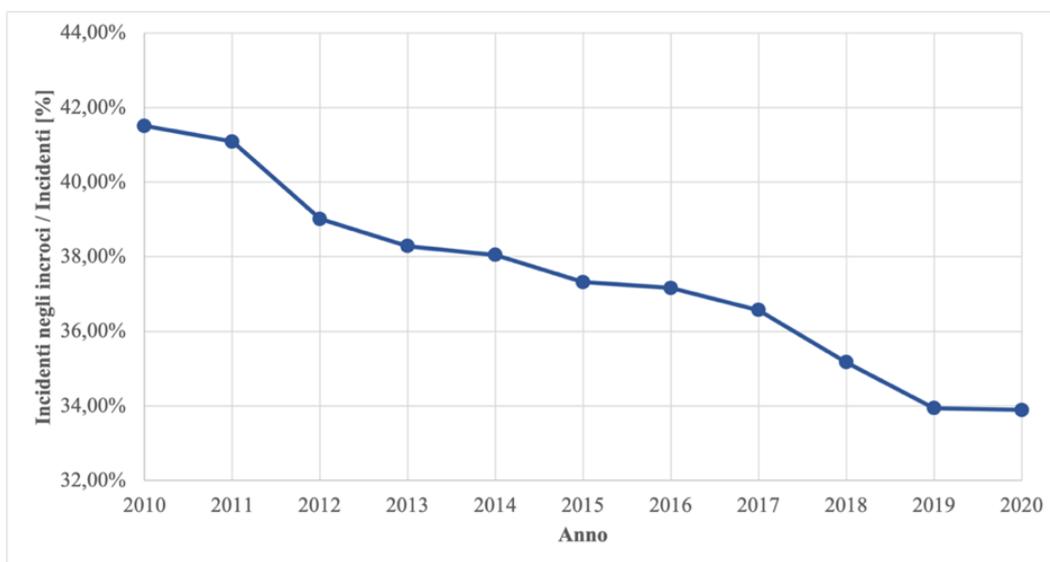


Figura 26: Trend del rapporto incidenti negli incroci su incidenti 2010-2020 (Fonte dati: ISTAT)

In linea generale, a livello nazionale si registra una riduzione del 54,7% del numero di incidenti negli incroci, del 61,3% del relativo numero di decessi e del 57,6% del numero di feriti. Tali stime rimangono comunque elevate escludendo il 2020 date le diminuzioni rispettivamente del 33,9%, 49,3% e del 36,2% tra il 2010 e il 2019 (Figura 27).

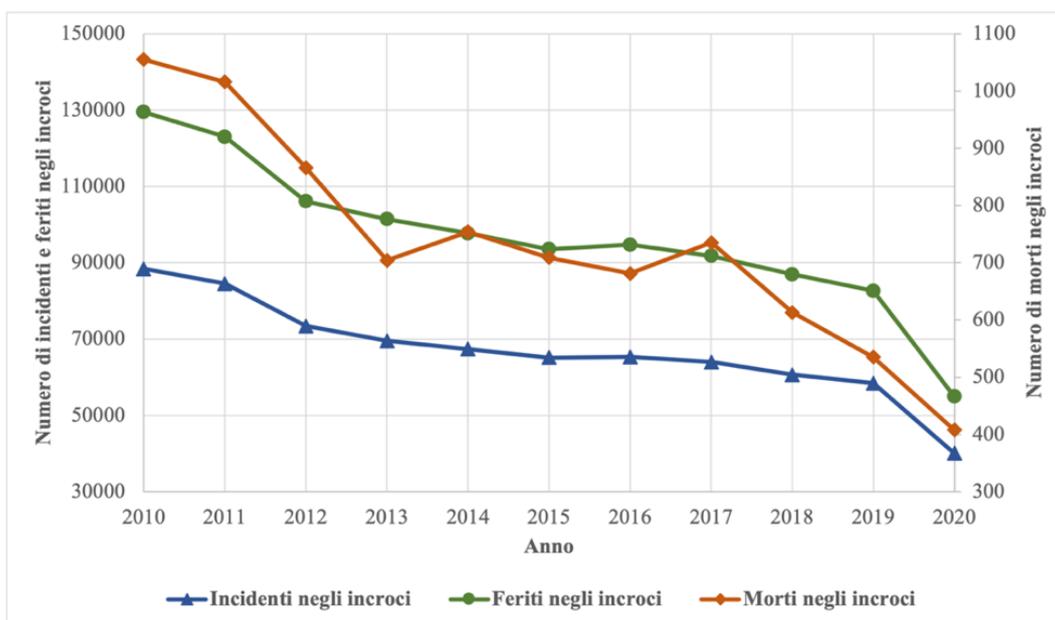


Figura 27: Trend incidentalità incroci 2010-2020 (Fonte dati: ISTAT)

andamento più o meno costante già a partire dal 2012 (Figura 29) in grado di spiegare la riduzione del solo 26,1% evidenziata nel grafico precedente.

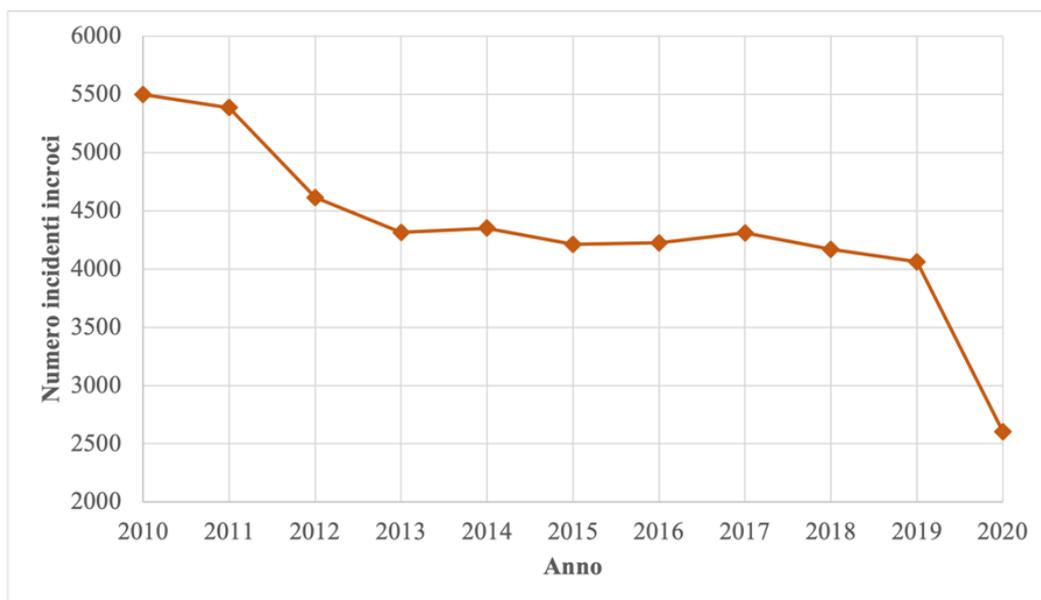


Figura 29: Numero di incidenti nelle intersezioni in Piemonte 2010-2020 (Fonte dati: ISTAT)

La situazione diventa ancora più critica se si considera che per gli anni 2010-2020 il tasso di lesività degli incidenti avvenuti nelle intersezioni per il Piemonte, definito come rapporto tra numero di feriti e numero di incidenti, risulta sempre più elevato rispetto a quello avvenuto in tutti gli altri siti (Figura 30).

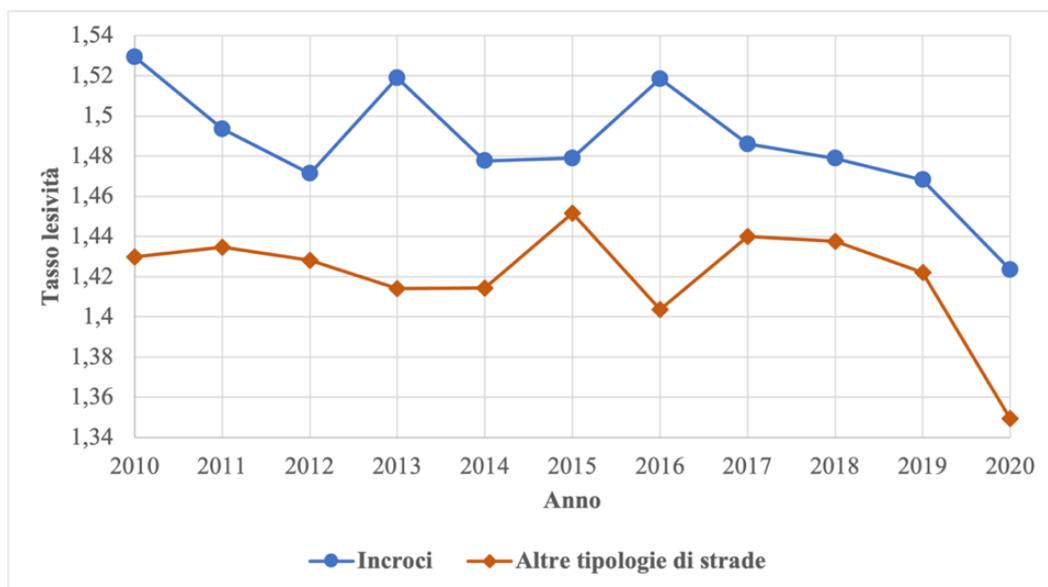


Figura 30: Confronto tasso lesività in Piemonte 2010-2020 (Fonte dati: ISTAT)

Risulta opportuno, quindi, indagare in modo più approfondito il tema dell'incidentalità nelle intersezioni effettuando un confronto tra le grandi città italiane così da chiarire e motivare l'installazione dei dispositivi T-Red negli incroci semaforizzati della città di Torino.

2.2.1 Un focus sull'incidentalità nelle grandi città

Le grandi città italiane sono state identificate sulla base della popolazione e, in particolare, considerando quelle che presentano un numero maggiore di 250.000 abitanti [45]. Le dodici città individuate coprono una notevole proporzione sia del numero di incidenti in generale che di quelli avvenuti nelle intersezioni. Ad esempio, considerando il 2019, la proporzione relativa si assesta rispettivamente al 39,4% e al 42,6%.

In linea generale, i trend di incidentalità per le grandi città seguono l'andamento nazionale con un periodo nel quale non si registrano miglioramenti comprendente l'intervallo temporale 2013-2019. Per completezza, in *Figura 31* vengono mostrati gli andamenti del numero di incidenti, di morti e feriti tra il 2010 e il 2020 dai quali è possibile evincere delle riduzioni delle tre variabili, escludendo il 2020, leggermente maggiori rispetto a quelle registrate in tutta Italia che si assestano rispettivamente al 22,5%, al 25% e al 24%.

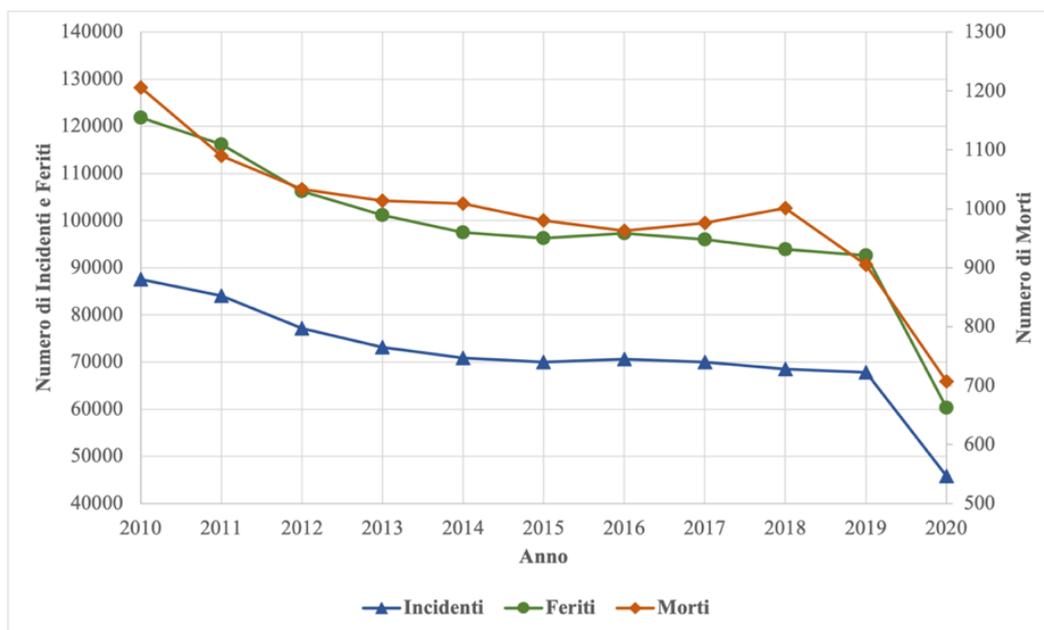


Figura 31: Trend incidentalità nei grandi comuni italiani 2010-2020 (Fonte dati: ISTAT)

Come mostrato in *Figura 32* tutte le grandi città riportano una riduzione del numero di sinistri, capitanate da Roma che registra una riduzione del 33%. Torino, contesto di analisi del presente elaborato, si posiziona sopra la media italiana con una diminuzione del 20,8%.

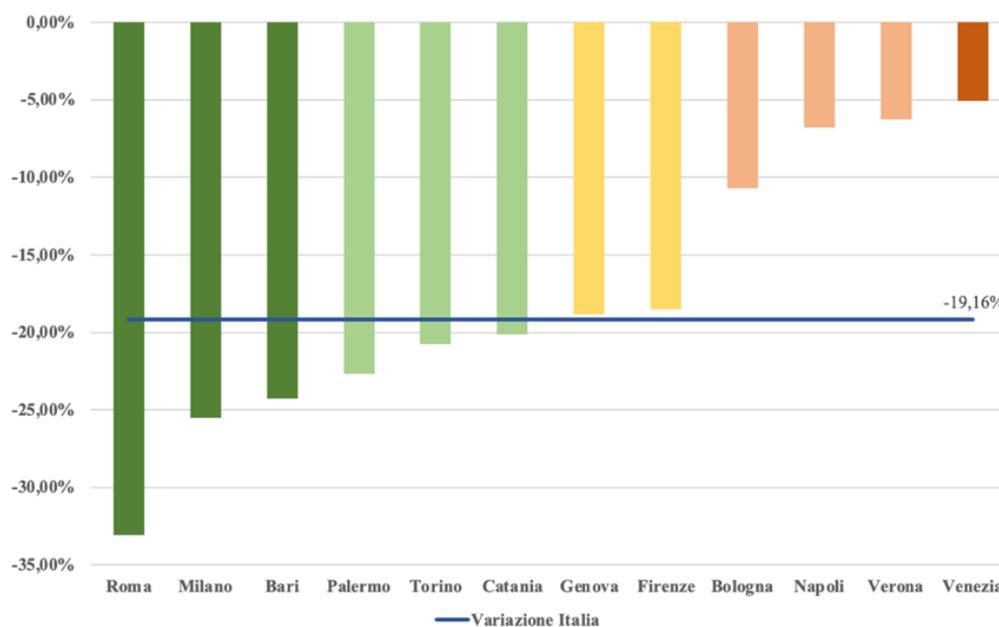


Figura 32: Variazione percentuale incidenti nelle grandi città 2010-2019 (Fonte dati: ISTAT)

Anche per le grandi città italiane si verifica una riduzione costante del rapporto tra gli incidenti avvenuti nelle intersezioni e il numero di sinistri globale, ma risulta meno marcata rispetto a quella registrata nel contesto italiano. Infatti, dalla *Figura 33* si può notare una riduzione del solo 4,3% di tale rapporto che rappresenta poco più della metà di quella registrata in Italia (7,6%).

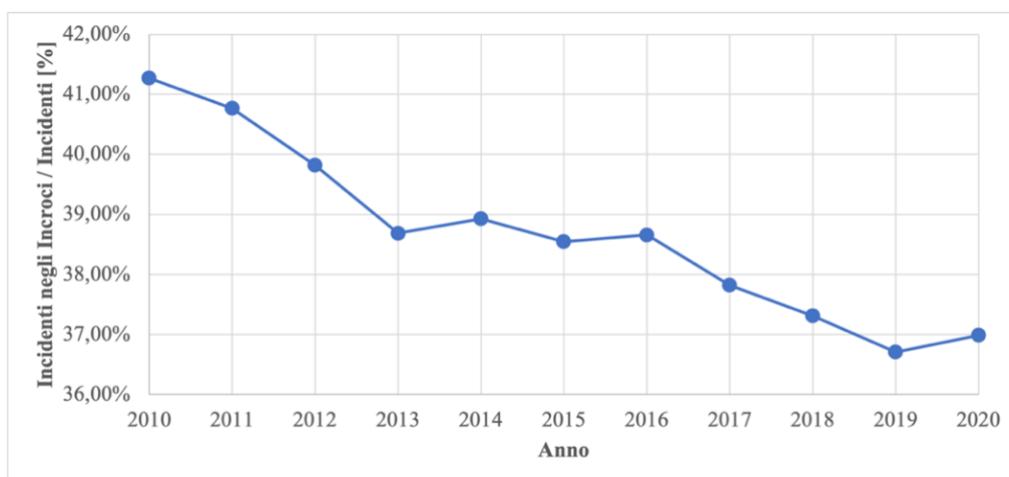


Figura 33: Trend del rapporto incidenti negli incroci su incidenti per i grandi comuni italiani 2010-2020 (Fonte dati: ISTAT)

In termini assoluti, l'andamento del numero di sinistri, morti e feriti nelle intersezioni per le grandi città è mostrato in *Figura 34* dalla quale si può evincere una riduzione rispettivamente del 53,1%, 53,3% e del 55,7% tra il 2010 e il 2020. Anche in questo caso, le stime rimangono comunque elevate escludendo il 2020 con riduzioni che si assestano al 31,1%, 42,2% e al 33%, seppur tra il 2013 e il 2017 si assiste ad un periodo nel quale non si denotano miglioramenti.

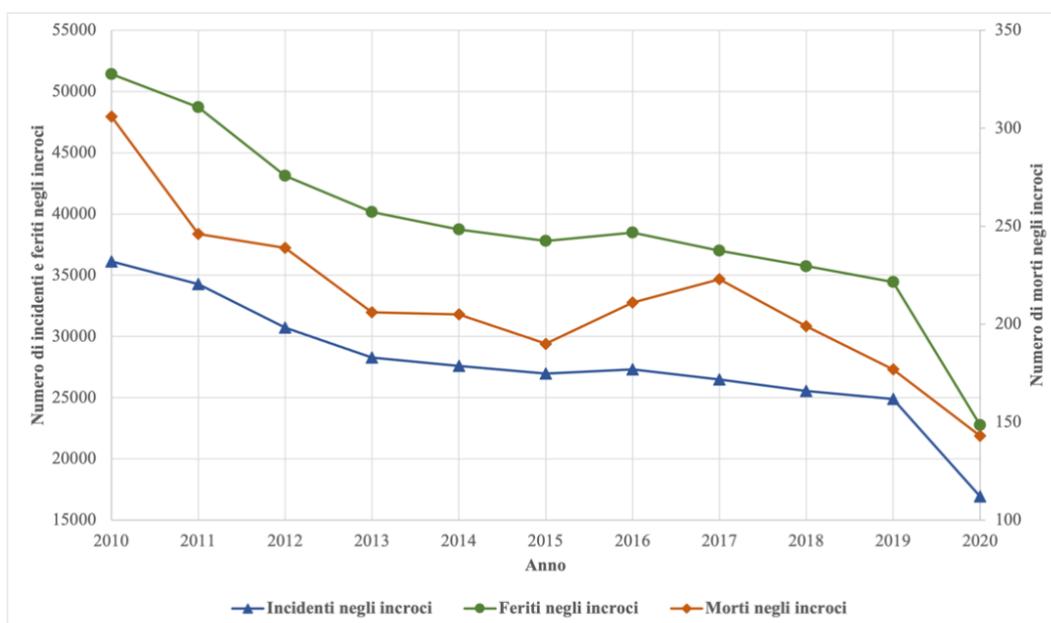


Figura 34: Trend incidentalità incroci per i grandi comuni italiani 2010-2020 (Fonte dati: ISTAT)

Tutte le città italiane registrano una riduzione del numero di incidenti nelle intersezioni dal 2010 al 2019, ma solo Roma e Bari superano la media italiana. La città di Torino si classifica terz'ultima con una diminuzione del 21%, lontana ben 12,9 punti percentuali dalla media italiana (*Figura 35*).

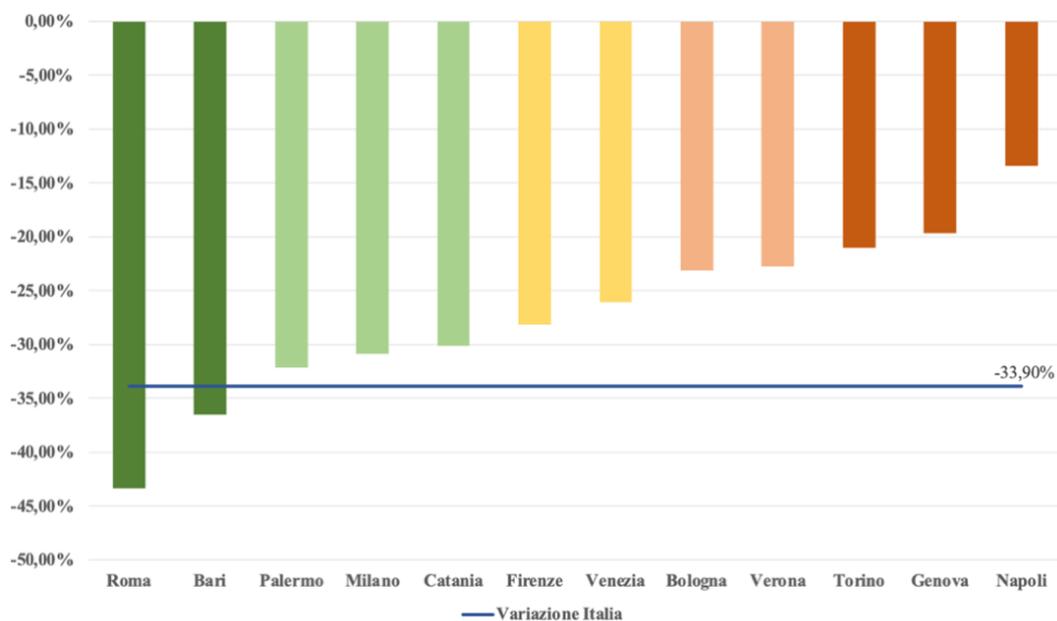


Figura 35: Variazione percentuale incidenti negli incroci per le grandi città italiane 2010-2019 (Fonte dati: ISTAT)

La bassa variazione registrata nella città di Torino trova una spiegazione andando a considerare l'andamento del numero di sinistri avvenuti nelle intersezioni dal 2010 al 2020, mostrato in *Figura 36*, dal quale si evince che tra il 2010 e il 2013 si registra una riduzione del numero di incidenti pari al 17,3% che viene seguita, però, da una fase di stagnazione fino al 2019 dove la diminuzione è stata solo del 4,5% rispetto al 2013.

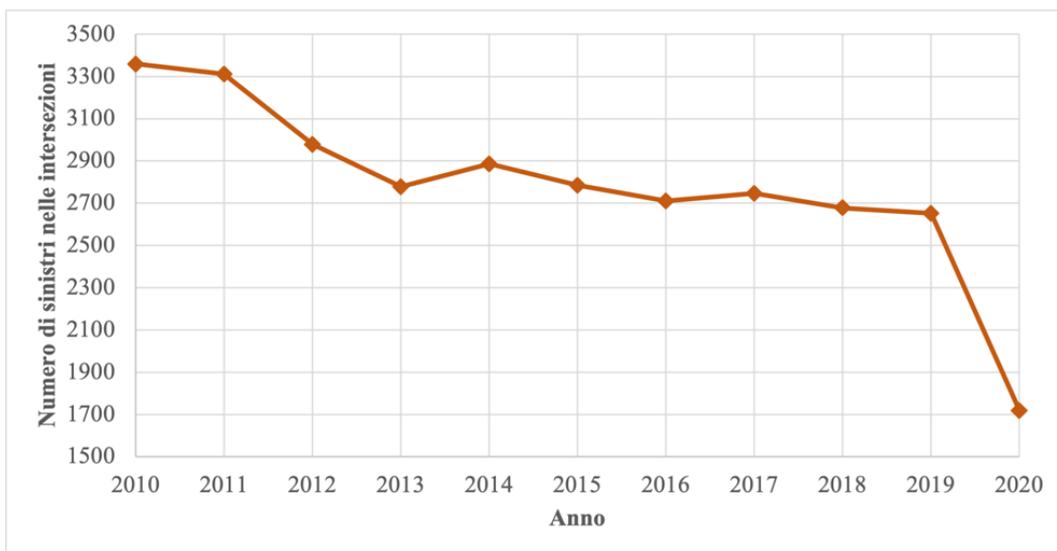


Figura 36: Trend del numero di sinistri nelle intersezioni per la città di Torino 2010-2020 (Fonte dati: ISTAT)

Tuttavia, effettuando un confronto tra le grandi città italiane possiamo notare che il tasso medio di mortalità (TMM) nelle intersezioni per la città di Torino, definito come numero di morti ogni mille incidenti tra il 2010 e il 2020:

$$TMM = \frac{\sum_{t=2010}^{2020} \text{numero morti intersezioni}_t}{\sum_{t=2010}^{2020} \text{numero incidenti intersezioni}_t} * 1000 \quad (2.2)$$

si pone al di sotto di quello registrato per l'Italia e a metà classifica rispetto alle grandi città italiane con un valore di 8,95 morti ogni mille incidenti avvenuti nelle intersezioni (*Figura 37*).

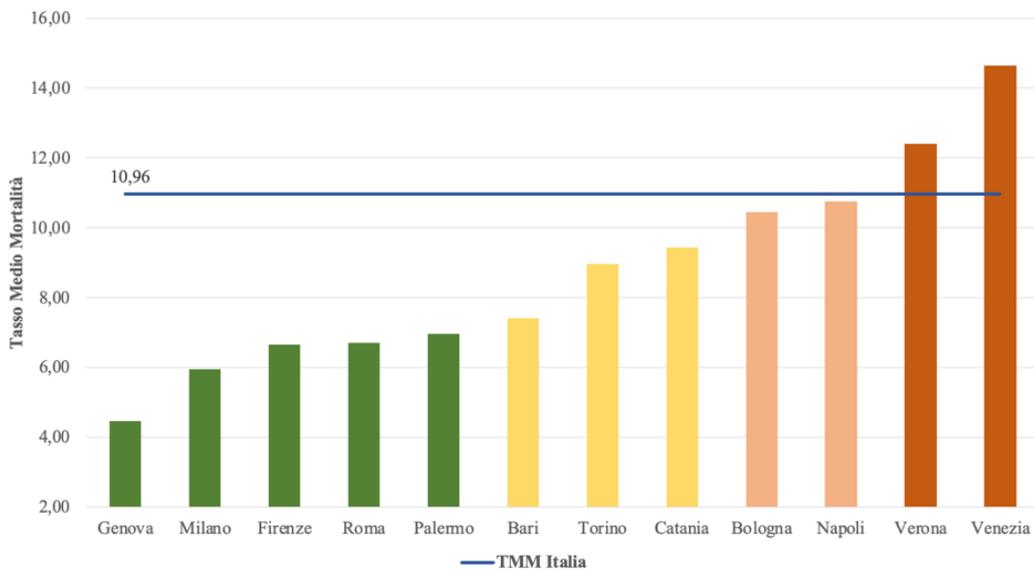


Figura 37: Tasso medio mortalità per i grandi comuni italiani (Fonte dati: ISTAT)

Seppur da una parte la posizione della città di Torino in termini di mortalità nelle intersezioni appare confortante, dall'altra un'analisi più microscopica rivela che il numero di decessi è in aumento tra il 2010 e il 2019, nonostante la riduzione, seppur bassa, dei sinistri avvenuti negli incroci. In particolare, dalla *Figura 38* si può notare che mentre il numero di morti nelle intersezioni subisce un aumento del 16,7% passando da 24 decessi del 2010 a 28 del 2019; per gli altri siti il trend è totalmente inverso con una riduzione del 33% dei decessi che passano da 103 del 2010 a 69 del 2019.

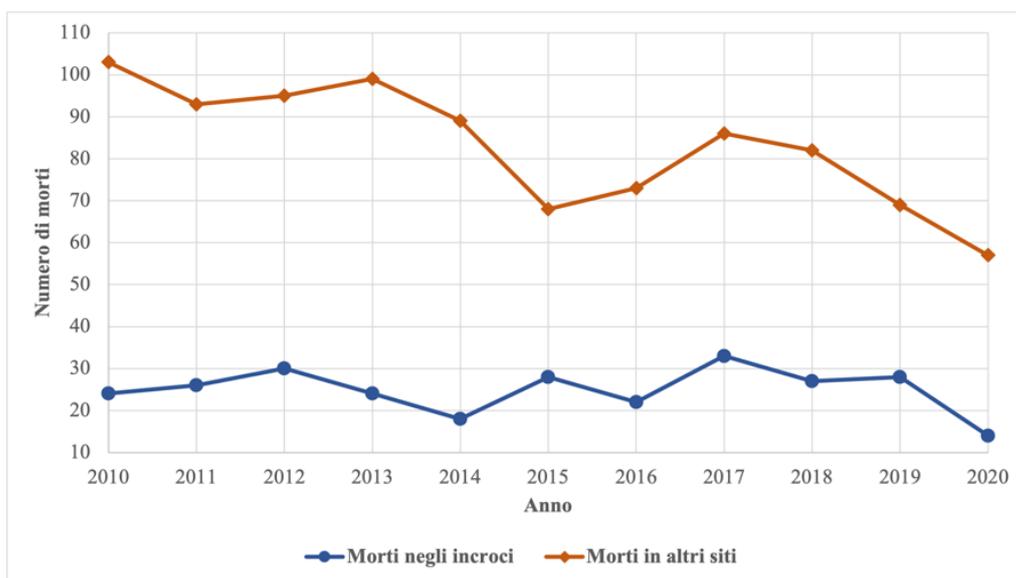


Figura 38: Trend mortalità nella città di Torino 2010-2020 (Fonte dati: ISTAT)

Inoltre, definendo il tasso medio di lesività (TML) negli incroci come il rapporto tra il numero di feriti e il numero di incidenti registrati tra il 2010 e il 2020:

$$TML = \frac{\sum_{t=2010}^{2020} \text{numero feriti intersezioni}_t}{\sum_{t=2010}^{2020} \text{numero incidenti intersezioni}_t} \quad (2.3)$$

il problema dell'incidentalità nelle intersezioni per Torino diventa ancora più critico dato che, come mostrato in *Figura 39*, la città presenta il secondo tasso medio di lesività negli incroci che si assesta a 1,53 feriti per sinistro, superando anche la media italiana.

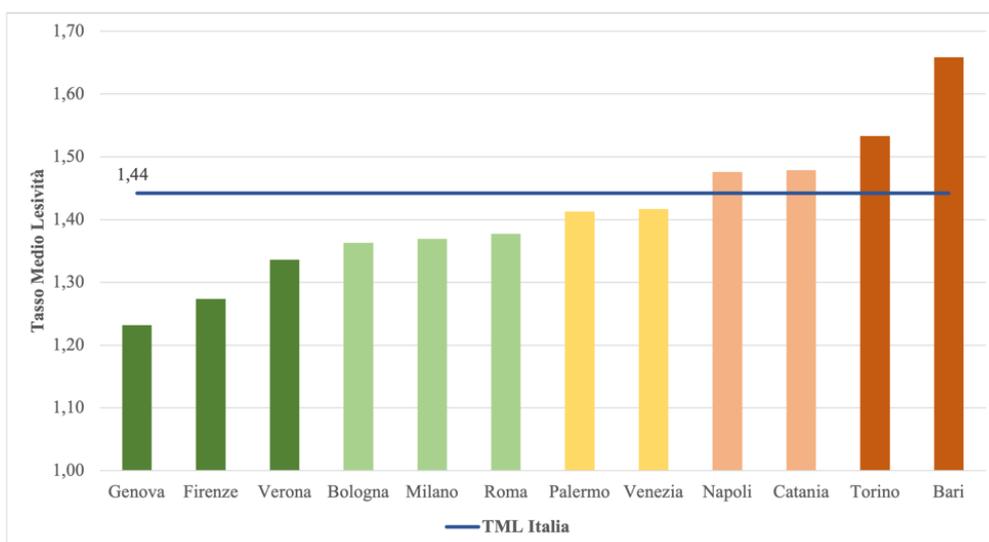


Figura 39: Tasso medio lesività per i grandi comuni italiani (Fonte dati: ISTAT)

Le tendenze appena mostrate per la città di Torino mettono in luce la necessità di effettuare degli interventi in politiche di sicurezza stradale in modo da contrastare il fenomeno dell'incidentalità nelle intersezioni dato che, come sottolineato anche dalla Giunta Comunale [9], rappresentano i siti con la maggiore lesività. Infatti, dalla *Figura 40* si può notare che il tasso di lesività degli incidenti avvenuti in tali siti, definito come rapporto tra numero di feriti e il numero di incidenti, risulta sempre più elevato rispetto a quello registrato per tutte le altre tipologie di strade.

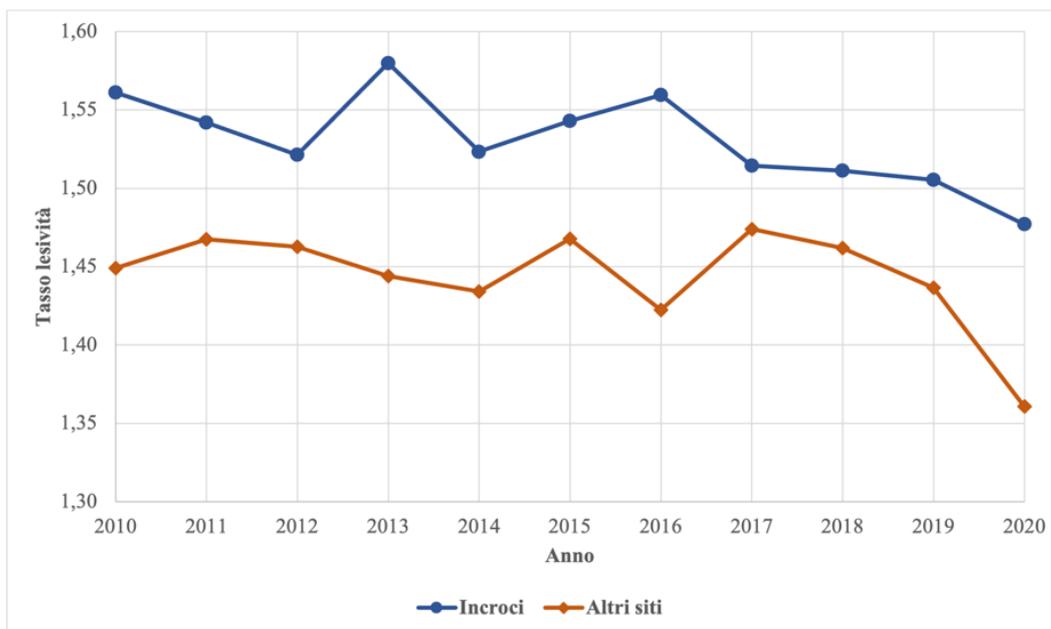


Figura 40: Confronto tasso lesività incidenti Torino 2010-2020 (Fonte dati: ISTAT)

Alla luce di quanto mostrato con la letteratura economica che rivela una relazione causale negativa tra l'*enforcement* del Codice della Strada e il numero di sinistri, possiamo affermare che l'installazione dei dispositivi T-Red a partire dal 2019 segue l'ambizioso obiettivo di ridurre il fenomeno dell'incidentalità nelle intersezioni della città di Torino. Infatti, tali dispositivi dovrebbero incentivare i conducenti a mantenere un comportamento alla guida più giudizioso in prossimità degli incroci con conseguenti spillover positivi sull'incidentalità e sulle relative conseguenze dato l'aumento della percezione degli utenti della strada di essere rilevati e sanzionati.

Una volta motivata l'installazione dei T-Red, risulta più chiaro lo scopo del presente elaborato, cioè quello di valutare a posteriori se tali dispositivi abbiano generato una riduzione statisticamente significativa del fenomeno dell'incidentalità prendendo come intervallo di osservazione il periodo 2016-2021 che copre i tre anni antecedenti e successivi alla prima installazione.

Tuttavia, prima di entrare nel dettaglio dell'analisi di regressione, è opportuno specificare la costruzione del dataset, in modo da aiutare il lettore nella comprensione dei termini utilizzati, e fornire ulteriori statistiche descrittive che chiariscano più nel dettaglio l'andamento del fenomeno nella città di Torino tra il 2016 e il 2021, così da agevolarlo nella comprensione della stessa analisi.

2.3 La costruzione del dataset

Il dataset utilizzato per analizzare l'impatto dei dispositivi T-Red sull'incidentalità nella città di Torino combina l'anagrafica dei dispositivi T-Red, i dati dei sinistri, entrambi gentilmente forniti dall'Ufficio Controllo di Gestione del Corpo di Polizia Municipale del Comune di Torino, e i dati relativi al flusso di traffico, messi a disposizione dalla società 5T.

2.3.1 I dati sull'incidentalità 2016-2021

I dati relativi all'incidentalità per gli anni 2016-2021 contengono numerose informazioni riguardanti i singoli sinistri:

- data dell'incidente;
- denominazione della strada;
- geolocalizzazione: latitudine e longitudine;
- tipologia di strada: curva, galleria/sottopasso, incrocio, intersezione con semaforo o vigile, passaggio a livello, rettilineo o rotonda;
- condizioni della pavimentazione: asfaltata, condizioni ignote per assenza di testimonianze o dissestata;
- condizioni del fondo stradale: asciutto, bagnato, condizioni ignote per assenza di testimonianze, ghiacciato, innevato, sdruciolevole o viscido da liquidi oleosi;
- condizioni metereologiche: condizioni ignote per assenza di testimonianze, foschia, grandine, nebbia, neve, nuvoloso, pioggia, sereno o vento;
- violazioni del Codice della Strada⁸;
- numero di conducenti e pedoni feriti;
- numero di conducenti e pedoni deceduti entro 30 giorni.

⁸ I dati relativi alle violazioni del Codice della Strada sono disponibili solo dal 2019.

Tuttavia, è importante sottolineare che alcune di queste informazioni sono state modificate in modo da poter condurre lo studio sui dispositivi T-Red.

Ad esempio, al fine di rendere univoca la denominazione della strada è stato definito un formato che comprende il solo nome della strada senza la specificità dei numeri civici o di altre informazioni fuorvianti. Inoltre, per identificare le intersezioni (semaforizzate e non) vengono utilizzati i nomi delle strade che si incrociano separati da una virgola e ordinati in ordine alfabetico.

La geolocalizzazione, invece, non era disponibile per ogni sinistro e per ovviare a tale problema e avere delle informazioni complete, si è utilizzato un *tool* di *Fogli di Google* che prendendo in input la denominazione della strada e la città restituisce la latitudine e la longitudine.

Per quanto concerne la tipologia di strada sono state effettuate le seguenti modifiche:

- curva, curva a visuale libera e curva senza visuale libera sono state poste sotto l'accezione di curva;
- cavalcavia, dosso, pendenza, pianeggiante, rettilineo e strettoia sono state identificate come rettilineo;
- galleria illuminata, galleria non illuminata e sottopasso illuminato sono state poste sotto l'accezione di galleria/sottopasso;
- incrocio, intersezione non regolata e non segnalata sono state identificate come incrocio;
- intersezione con semaforo o vigile, intersezione regolata dal vigile, intersezione segnalata e intersezione semaforizzata sono state poste sotto l'accezione di intersezione con semaforo o vigile.

Inoltre, definendo le intersezioni con semaforo o vigile come un sito nel quale convergono due o più strade governate da uno o più dispositivi, si è deciso di far rientrare in questa categoria anche gli incidenti che sono avvenuti nelle rotoatorie semaforizzate dato il rispetto delle caratteristiche appena citate⁹.

Per le condizioni della pavimentazione, invece, sono state raggruppate sotto il termine di dissestata i termini acciottolata, bitumata, con buche, fondo naturale, in conglomerato cementizio, in cubetti di porfido, inghiaia, lastricata, sterrata, strada non pavimentata e dissestata.

Le altre modifiche riguardanti le condizioni del fondo stradale e delle condizioni meteorologiche sono minime e non rilevanti.

⁹ Si precisa che, data l'importanza dell'informazione relativa alla tipologia di strada per l'oggetto di studio del presente elaborato, è stato effettuato un controllo minuzioso su *Google Maps* per ogni località nella quale è avvenuto un incidente al fine di determinare la presenza o l'assenza del semaforo.

Questi dati verranno utilizzati sia per fornire delle statistiche descrittive sull'incidentalità nella città di Torino per gli anni 2016-2021 sia per condurre l'analisi vera e propria che valuta l'impatto dei dispositivi T-Red. In particolare, in quest'ultimo caso si utilizzerà un sottoinsieme di questo dataset composto dai soli incidenti avvenuti nelle intersezioni semaforizzate riportante informazioni riguardanti la data con una granularità temporale mensile, la denominazione della strada e la geolocalizzazione.

2.3.2 Anagrafica dei dispositivi T-Red

I dati relativi all'anagrafica dei T-Red definiscono la denominazione dell'intersezione regolata, la geolocalizzazione (latitudine e longitudine) e la data di attivazione.

In particolare, considerando il periodo di analisi dal 2016 al 2021 vi sono state tre serie di attivazioni dei dispositivi, a partire da dicembre 2019, che hanno definito il monitoraggio di otto intersezioni nella città di Torino. In *Tabella 4* viene riportata l'anagrafica dei T-Red attivi al 2021.

Tabella 4: Anagrafica T-Red

T-RED	Intersezione regolata	Latitudine	Longitudine	Data di attivazione
1	Corso Lecce, Corso Potenza, Corso Regina Margherita	45,087	7,651	02/12/19
2	Corso Novara, Corso Vercelli, Corso Vigevano	45,089	7,688	02/12/19
3	Corso Peschiera, Corso Trapani	45,069	7,639	02/12/19
4	Corso Corsica, Corso Eusebio Giambone, Sottopassaggio Lingotto	45,031	7,652	10/03/20
5	Corso Enrico Tazzoli, Corso Giovanni Agnelli	45,034	7,642	10/03/20
6	Corso Appio Claudio, Corso Lecce	45,085	7,650	10/03/20
7	Corso Potenza, Via Nole, Via Pianezza	45,092	7,654	10/03/20
8	Corso Siracusa, Corso Trapani, Via Tirreno	45,055	7,635	14/07/21

Queste informazioni verranno unite a quelle riferite all'incidentalità in modo da impiegarle sia nelle statistiche descrittive, in modo da mostrare l'andamento del fenomeno negli incroci monitorati, sia nel modello econometrico così da identificare il gruppo di trattamento (incroci regolati dai T-Red) e il gruppo di controllo (altre intersezioni semaforizzate) che permettono di applicare il metodo del *difference-in-differences*. In particolare, l'idea di base è quella di valutare se, ipotizzando lo stesso andamento per i due gruppi in assenza di uno shock esogeno, l'installazione dei dispositivi T-Red abbia generato o meno una riduzione statisticamente significativa del numero di incidenti.

2.3.3 I dati relativi al flusso di traffico

L'ultimo dataset contiene informazioni riguardanti i flussi di traffico misurati sia dalle stazioni che dai sensori posti in specifici punti della città di Torino. In particolare, vengono specificati:

- nome del sensore/stazione;
- geolocalizzazione: latitudine e longitudine;
- incrocio monitorato;
- numero di veicoli rilevati aggregati a livello mensile.

In questo caso è bene sottolineare che il dataset iniziale è composto da 29 sensori e da 1060 stazioni che, tuttavia, presentano delle mancanze di informazioni per alcuni mesi dell'anno. Per ovviare a questo problema si è deciso di prendere in considerazione un sottoinsieme di questi dispositivi che presentano dati completi, composto da 13 sensori e 54 stazioni. Successivamente, attraverso la latitudine e la longitudine, è stato possibile risalire all'incrocio semaforizzato monitorato.

Questo dataset, invece, verrà utilizzato per migliorare la robustezza dell'analisi di regressione andando a valutare se l'eventuale riduzione del numero di incidenti sia effettivamente dovuta all'installazione dei dispositivi T-Red oppure sia una solamente una conseguenza del fatto che i conducenti, consci della presenza di tali dispositivi, abbiano optato per cambiare le loro abitudini di guida imboccando strade non soggette al monitoraggio. In questo caso, l'eventuale riduzione del numero di incidenti nelle intersezioni regolate dai dispositivi T-Red sarebbe il risultato di un minor traffico e non di un maggior *enforcement* del Codice della Strada che aumenta la percezione degli utenti di essere rilevati e sanzionati per un comportamento alla guida inadeguato.

2.4 Le statistiche descrittive

Tra il 2016 e il 2021 sono stati registrati 27399 incidenti, 151 morti e 23877 feriti nelle strade della città di Torino, temporalmente distribuiti come mostrato in *Figura 41*. In particolare, dalla figura si può notare che il numero di sinistri e feriti assumono un andamento pressoché costante fino al 2019; mentre il numero di decessi registra un picco nel 2017 seguito da un trend decrescente. I livelli delle tre variabili registrati nel 2021 sono più bassi rispetto a quelli del 2016 con riduzioni rispettivamente del 12,3%, 34,6% e del 7,2%.

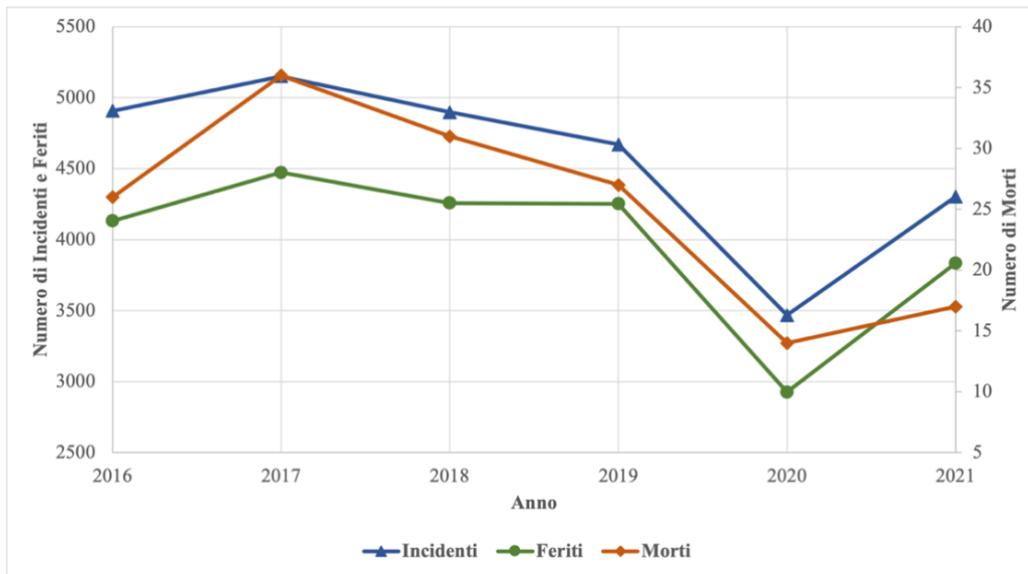


Figura 41: Trend di incidentalità nella città di Torino 2016-2021

La distribuzione degli incidenti, aggregati dal 2016 al 2021, in base alla tipologia di strada è mostrata in *Figura 42* dalla quale si può notare che le intersezioni (semaforizzate e non) coprono quasi il 60% di tutti i sinistri avvenuti nella città di Torino, seguite dai rettilinei con il 35%. Gli incidenti localizzati nei passaggi a livello sono stati esclusi dalla suddivisione dato che ricoprono meno dell'1%.

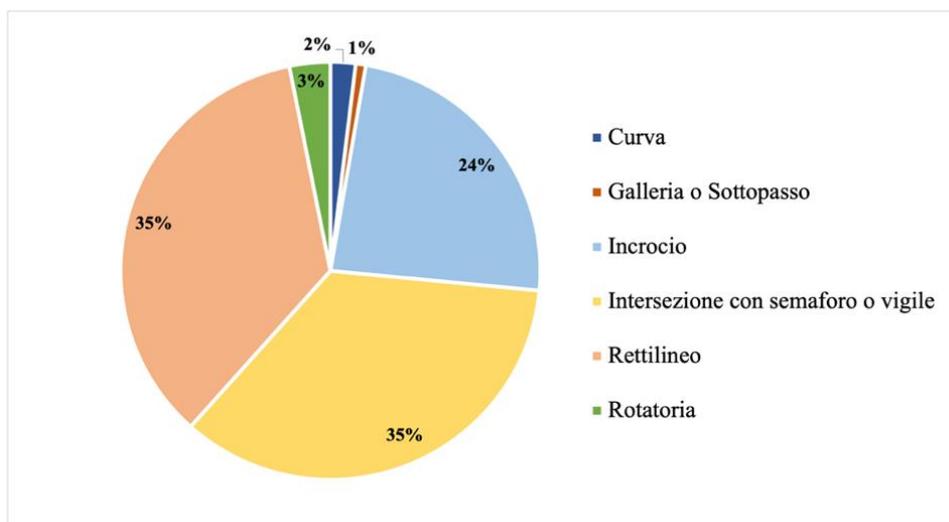


Figura 42: Distribuzione degli incidenti per tipologia strada 2016-2021

In *Figura 43*, invece, viene mostrata la distribuzione degli incidenti in base alle condizioni della pavimentazione dalla quale si può notare che il 96,7% dei sinistri avviene in strade asfaltate, l'1,9% in strade dissestate e per il restante 1,4% non si hanno informazioni. Dato che i sinistri avvengono quasi totalmente sotto una condizione della pavimentazione, la non inclusione di variabili di controllo per tale fattore non fa perdere di significatività alla regressione svolta nel capitolo successivo.

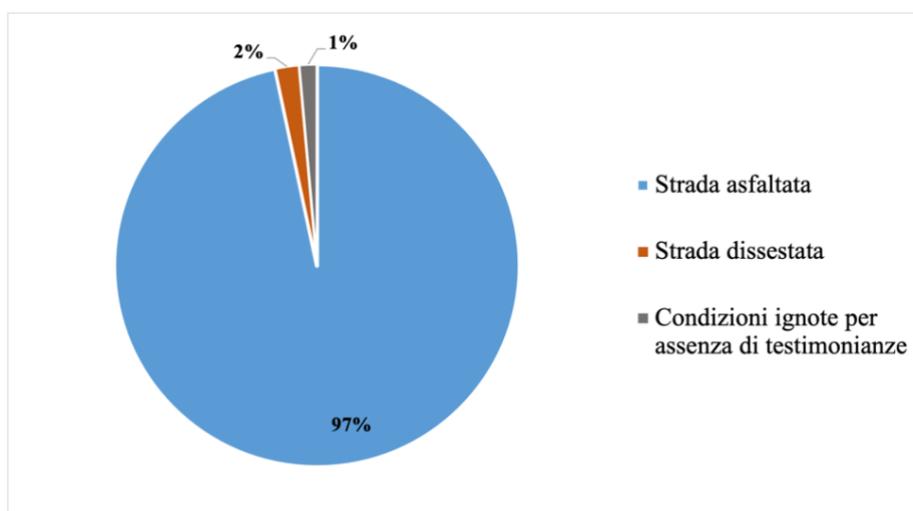


Figura 43: Distribuzione degli incidenti per condizione della pavimentazione 2016-2021

Lo stesso discorso vale per le condizioni del fondo stradale dove gli incidenti con fondo asciutto rappresentano l'84% di tutti i sinistri seguiti dal fondo bagnato con il 14%. Gli incidenti avvenuti con fondo ghiacciato, innevato e viscido da liquidi oleosi sono stati esclusi dalla suddivisione dato che ricoprono meno dell'1% (*Figura 44*).

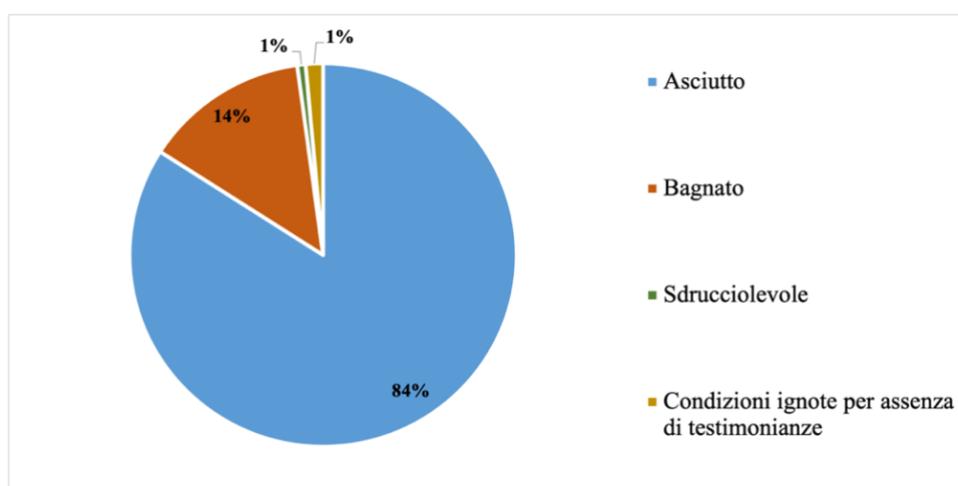


Figura 44: Distribuzione degli incidenti per condizioni del fondo stradale 2016-2021

Anche nel caso delle condizioni metereologiche si può notare dalla *Figura 45* una netta preponderanza degli incidenti avvenuti con tempo sereno (80%) seguiti dalla pioggia (9,4%) e dal nuvoloso (4,5%). Gli incidenti avvenuti con foschia, grandine, nebbia, neve e vento rappresentano complessivamente l'1,1%.

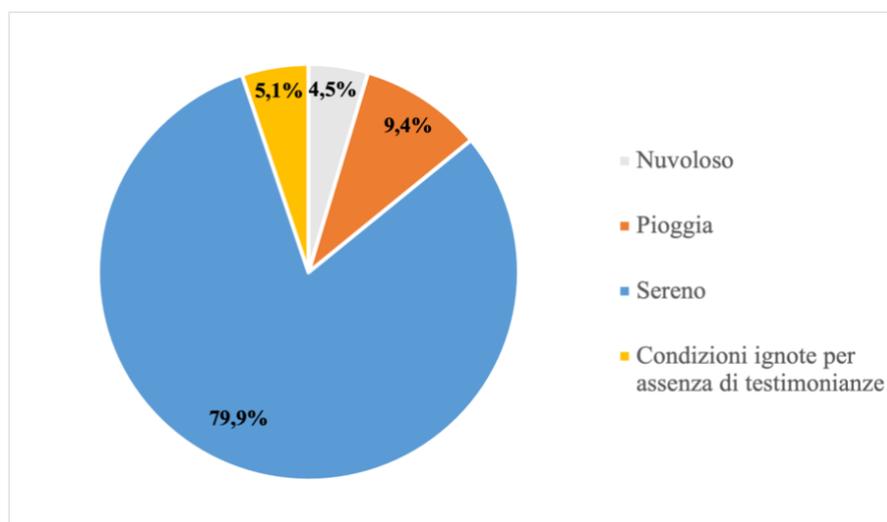


Figura 45: Distribuzione degli incidenti per condizioni metereologiche 2016-2021

2.4.1 L'incidentalità per tipologia di strada

Prendendo in considerazione gli incidenti avvenuti negli incroci, nelle intersezioni con semaforo o vigile e nei rettilinei, che rappresentano il 94% di tutti i sinistri avvenuti nella città di Torino, possiamo notare dalla *Figura 46* che fino al 2019 le intersezioni semaforizzate rappresentavano il sito nel quale avvenivano il maggior numero di sinistri; ma dal 2020 in poi il rispettivo livello di incidenti scende al di sotto di quello registrato per i rettilinei evidenziando un miglioramento del fenomeno dell'incidentalità per tali siti. Ciò si riflette anche nelle variazioni percentuali tra il 2016 e il 2021 dove i sinistri localizzati nelle intersezioni semaforizzate subiscono una riduzione del 18,4%, seguiti da quelli avvenuti negli incroci con il 16,3%, entrambe maggiori rispetto a quella registrata per i sinistri in aggregato; mentre per i rettilinei si assiste ad una riduzione del solo 7,3%.

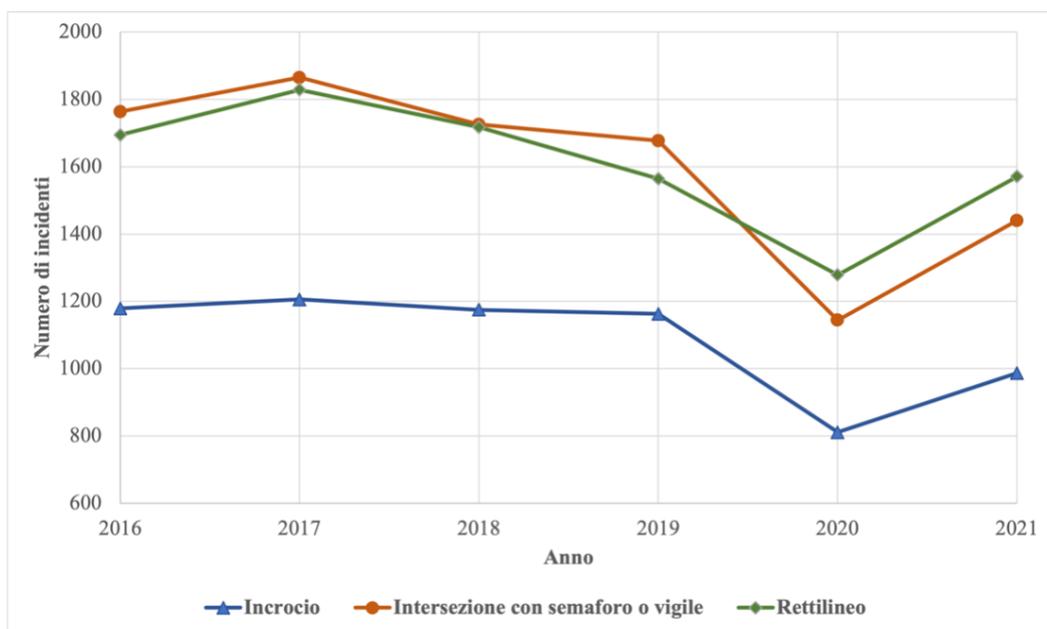


Figura 46: Trend degli incidenti per tipologia strada 2016-2021

Anche per quanto concerne la lesività si possono notare dei miglioramenti per gli incidenti localizzati nelle intersezioni semaforizzate e negli incroci data la rispettiva riduzione del numero di feriti del 13,3% e del 14,9% dal 2016 al 2021; viceversa, per gli incidenti avvenuti nei rettilinei si registra un aumento del 2,4%. Tuttavia, c'è da sottolineare che le intersezioni con semaforo o vigile rimangono i siti nei quali si registrano il maggior numero di feriti (Figura 47).

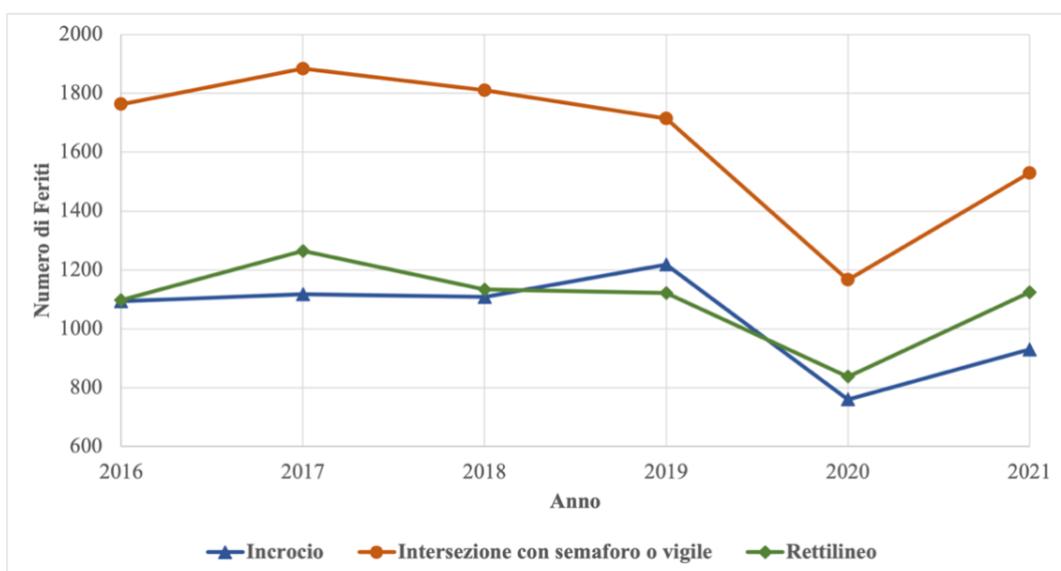


Figura 47: Trend del numero di feriti per tipologia strada 2016-2021

Inoltre, definendo il tasso di lesività come il rapporto tra il numero di feriti e il numero di incidenti:

$$TL_t = \frac{\text{numero feriti}_t}{\text{numero incidenti}_t} \quad (2.4)$$

si può notare dalla *Figura 48* un suo aumento per tutte e tre le tipologie di strada: 1,6% per gli incroci, 6,2% per le intersezioni con semaforo o vigile e 10,5% per i rettilinei. Anche in questo caso le intersezioni semaforizzate presentano il tasso più elevato.

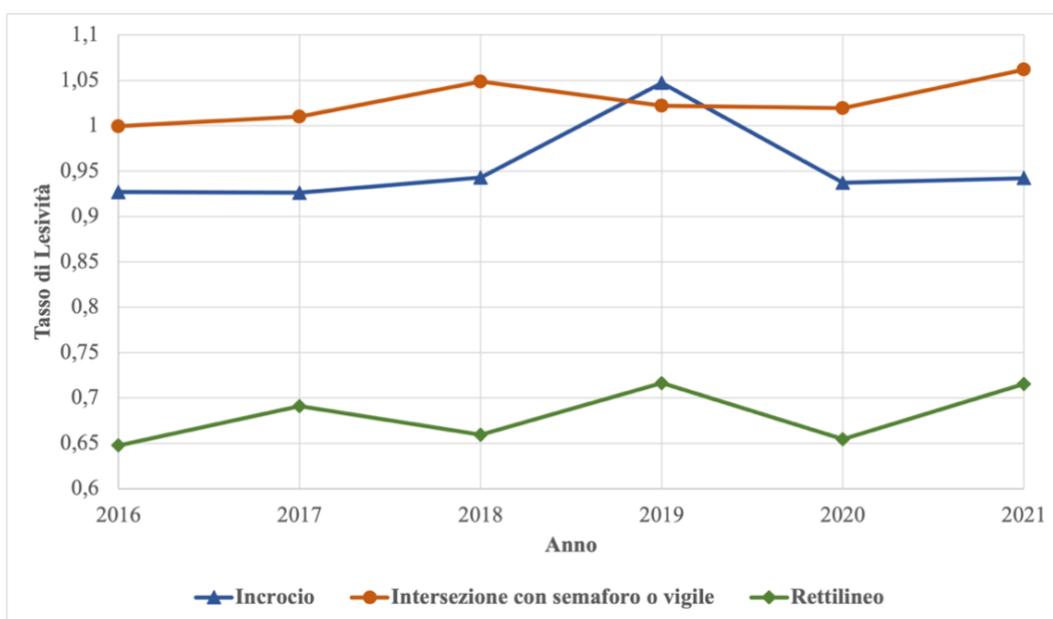


Figura 48: Trend del tasso di lesività per tipologia strada 2016-2021

L'andamento della mortalità, invece, è mostrato in *Figura 49* dalla quale si evince che per tutte le tipologie di strade vi è una riduzione del numero di deceduti rispetto ai livelli del 2016. In particolare, negli incroci si registra una riduzione del 71,4%, nelle intersezioni con semaforo o vigile del 16,7% e nei rettilinei del 33,3%. Dalla figura, inoltre, si può notare un andamento crescente del numero di decessi nelle intersezioni semaforizzate fino al 2018 che porta tali siti a registrare la prestazione peggiore in termini di mortalità. Tuttavia, nell'intervallo di tempo successivo si registrano dei miglioramenti in grado di controbilanciare tale andamento e di far scendere il numero di morti al di sotto di quello registrato per i rettilinei.

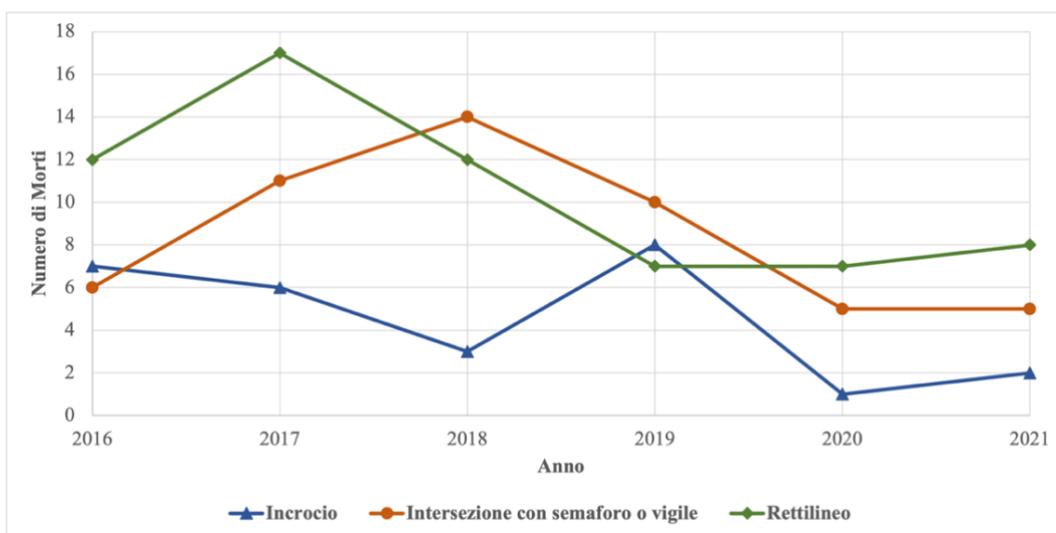


Figura 49: Trend del numero di morti per tipologia strada 2016-2021

Inoltre, definendo il tasso di mortalità come numero di morti ogni mille incidenti:

$$TM_t = \frac{\text{numero morti}_t}{\text{numero incidenti}_t} * 1000 \quad (2.5)$$

si può evincere dalla *Figura 50* un aumento del 2,1% per le intersezioni con semaforo o vigile e una riduzione del 65,9% e del 28% rispettivamente per gli incroci e per i rettilinei. Anche in questo caso si nota un picco del tasso di mortalità per le intersezioni con semaforo o vigile nel 2018, che diventa il sito con il valore più elevato, per poi scendere al di sotto di quello registrato per i rettilinei nel 2021.

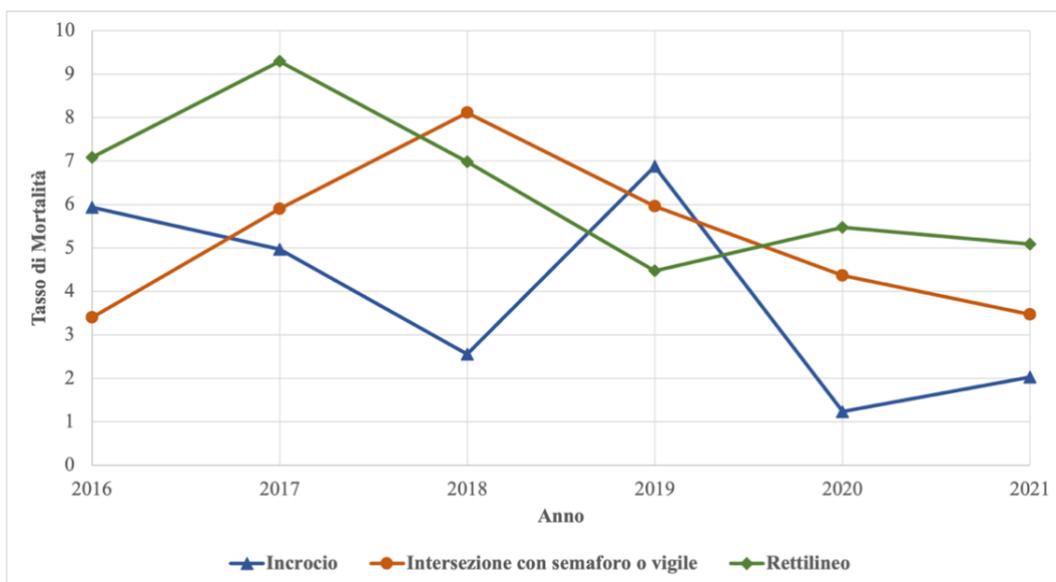


Figura 50: Trend del tasso di mortalità per tipologia strada 2016-2021

Nonostante le intersezioni semaforizzate rappresentino ancora il sito con i maggiori tassi di lesività, i trend appena mostrati mettono in luce dei miglioramenti relativi al fenomeno dell'incidentalità dopo il 2018, che inducono a ipotizzare un possibile impatto positivo dei dispositivi T-Red vista la concomitanza temporale con la loro installazione. Tuttavia, ciò non è sufficiente per concludere che i nuovi semafori intelligenti abbiano comportato un miglioramento del fenomeno dato che gli andamenti mostrati si riferiscono a tutte le intersezioni semaforizzate e non agli specifici incroci monitorati. Infatti, per poter trarre una conclusione è necessario condurre uno studio econometrico che analizza nel dettaglio l'andamento dell'incidentalità negli incroci soggetti al trattamento separandolo da quello registrato per gli incroci non regolati dai dispositivi T-Red. In particolare, supponendo lo stesso andamento in assenza di uno shock esogeno sia per le intersezioni semaforizzate dove sono stati installati i T-Red che in quelle non monitorate, bisogna valutare se l'installazione dei dispositivi abbia comportato una riduzione più o meno marcata dei sinistri nelle località soggette al trattamento rispetto a quelle di controllo. Di conseguenza, per una maggiore comprensione del modello di regressione, dettagliato nel capitolo successivo, risulta opportuno mostrare l'andamento del fenomeno dell'incidentalità nelle otto intersezioni regolate dai dispositivi T-Red, prima e dopo la loro rispettiva installazione, confrontandolo con quello registrato per tutte le altre intersezioni semaforizzate.

2.4.2 L'incidentalità nelle intersezioni monitorate dai dispositivi T-Red

Considerando i soli incidenti avvenuti nelle intersezioni semaforizzate, in *Tabella 5* viene riportata una classifica delle 15 località che presentano il maggior numero di sinistri nell'intervallo temporale tra il 2016 e il 2018 dalla quale si può notare la presenza di quattro intersezioni monitorate dai dispositivi T-Red attivi al 2021 e di due intersezioni regolate dai T-Red a partire da giugno 2022. Inoltre, c'è da sottolineare la presenza di altri tre incroci limitrofi alle intersezioni regolate dai dispositivi T-Red rappresentate dall'incrocio tra corso Vigevano e via Francesco Cigna, che dista circa 400 metri dal T-Red che monitora l'intersezione tra corso Novara, corso Vercelli e corso Vigevano, dall'incrocio tra corso Cosenza, corso Eusebio Giambone e corso Unione Sovietica che dista anch'esso circa 400 metri dal T-Red che monitora l'intersezione tra corso Enrico Tazzoli e corso Giovanni Agnelli e dall'incrocio tra corso Lecce e via Michele Lessona, distante circa 200 metri dal T-Red che regola l'intersezione tra corso Appio Claudio e corso Lecce.

Tabella 5: Classifica delle intersezioni semaforizzate per numero di incidenti 2016-2018

Posizione	Intersezione semaforizzata	2016	2017	2018	Totale	Note
1	Corso Lecce, Corso Potenza, Corso Regina Margherita	15	28	29	72	T-Red
2	Corso Giulio Cesare, Piazza Derna, Via Sandro Botticelli	23	23	20	66	
3	Corso Bramante, Corso Filippo Turati, Corso Lepanto, Corso Unione Sovietica	13	22	22	57	Nuovo T-Red
4	Corso Vigevano, Via Francesco Cigna	17	17	22	56	Distante \approx 400m da T-Red
5	Corso Enrico Tazzoli, Corso Orbassano, Piazza Riccardo Cattaneo	19	15	18	52	
6	Corso Unione Sovietica, Piazzale San Gabriele di Gorizia	11	15	13	39	
7	Corso Castelfidardo, Corso Inghilterra, Corso Vittorio Emanuele II	14	12	12	38	
8	Corso Piero Maroncelli, Corso Trieste, Corso Unita' d'Italia, Via Corrado Corradino	16	14	7	37	
9	Corso Siracusa, Corso Trapani, Via Tirreno	17	13	7	37	T-Red
10	Corso Cosenza, Corso Orbassano, Corso Siracusa, Piazza Pitagora, Via Monte Novegno, Via Publio Elvio Pertinace	18	9	9	36	Nuovo T-Red
11	Corso Peschiera, Corso Trapani	10	16	10	36	T-Red
12	Corso Cosenza, Corso Eusebio Giambone, Corso Unione Sovietica	14	13	7	34	Distante \approx 400m da T-Red
13	Corso Enrico Tazzoli, Corso Giovanni Agnelli	10	11	13	34	T-Red
14	Corso Giovanni Agnelli, Corso Luigi Settembrini, Corso Unione Sovietica, Piazzale Caio Mario, Via Onorato Vigliani	12	13	9	34	
15	Corso Lecce, Via Michele Lessona	11	10	13	34	Distante \approx 200m da T-Red

Anche in termini di lesività la classifica delle 15 località con il maggior numero di feriti nell'intervallo temporale tra il 2016 e il 2018 (*Tabella 6*) mette in evidenza la presenza di sette intersezioni regolate dai dispositivi T-Red e di due incroci limitrofi alle intersezioni monitorate rappresentati dall'incrocio tra corso Vigevano e via Francesco Cigna e dall'incrocio tra corso Lecce e via Michele Lessona.

Tabella 6: Classifica delle intersezioni semaforizzate per numero di feriti 2016-2018

Posizione	Intersezione semaforizzata	2016	2017	2018	Totale	Note
1	Corso Lecce, Corso Potenza, Corso Regina Margherita	23	18	39	80	T-Red
2	Corso Enrico Tazzoli, Corso Orbassano, Piazza Riccardo Cattaneo	24	24	15	63	
3	Corso Bramante, Corso Filippo Turati, Corso Lepanto, Corso Unione Sovietica	13	20	26	59	Nuovo T-Red
4	Corso Vigevano, Via Francesco Cigna	13	26	19	58	Distante \approx 400m da T-Red
5	Corso Unione Sovietica, Piazzale San Gabriele di Gorizia	16	20	15	51	
6	Corso Siracusa, Corso Trapani, Via Tirreno	23	15	11	49	T-Red
7	Corso Grosseto, Via Ala di Stura	3	21	21	45	
8	Corso Giulio Cesare, Piazza Dema, Via Sandro Botticelli	13	14	15	42	
9	Corso Potenza, Via Nole, Via Pianezza	24	13	5	42	T-Red
10	Corso Enrico Tazzoli, Corso Giovanni Agnelli	14	14	13	41	T-Red
11	Corso Peschiera, Corso Trapani	11	17	13	41	T-Red
12	Corso Castelfidardo, Corso Inghilterra, Corso Vittorio Emanuele II	10	20	9	39	
13	Corso Lecce, Via Michele Lessona	15	12	12	39	Distante \approx 200m da T-Red
14	Corso Novara, Corso Vercelli, Corso Vigevano	15	12	12	39	T-Red
15	Corso Vercelli, Via Lauro Rossi	15	15	9	39	

La presenza di otto intersezioni semaforizzate regolate dai dispositivi T-Red su undici nelle classifiche riguardanti il numero di incidenti e il numero di feriti è in grado di giustificare verosimilmente la scelta di tali siti per l'installazione dei dispositivi data la maggiore pericolosità in termini di incidentalità.

Inoltre, considerando sempre l'intervallo temporale tra il 2016 e il 2018 e andando a rapportare il numero di incidenti avvenuti nelle otto intersezioni T-Red attive al 2021 al numero globale di incidenti possiamo notare dalla *Figura 51* che la proporzione relativa si assesta al 2%, che risulta essere un valore relativamente elevato data la presenza di 3442 località in cui sono avvenuti dei sinistri nel periodo preso in considerazione. Andando a considerare anche gli incidenti avvenuti in un raggio di 250, 500 e 1000 metri dalle intersezioni monitorate, tale stima sale rispettivamente al 4,7%, al 10,6% e al 28,9%, coprendo una notevole fetta dei sinistri registrati nella città di Torino.

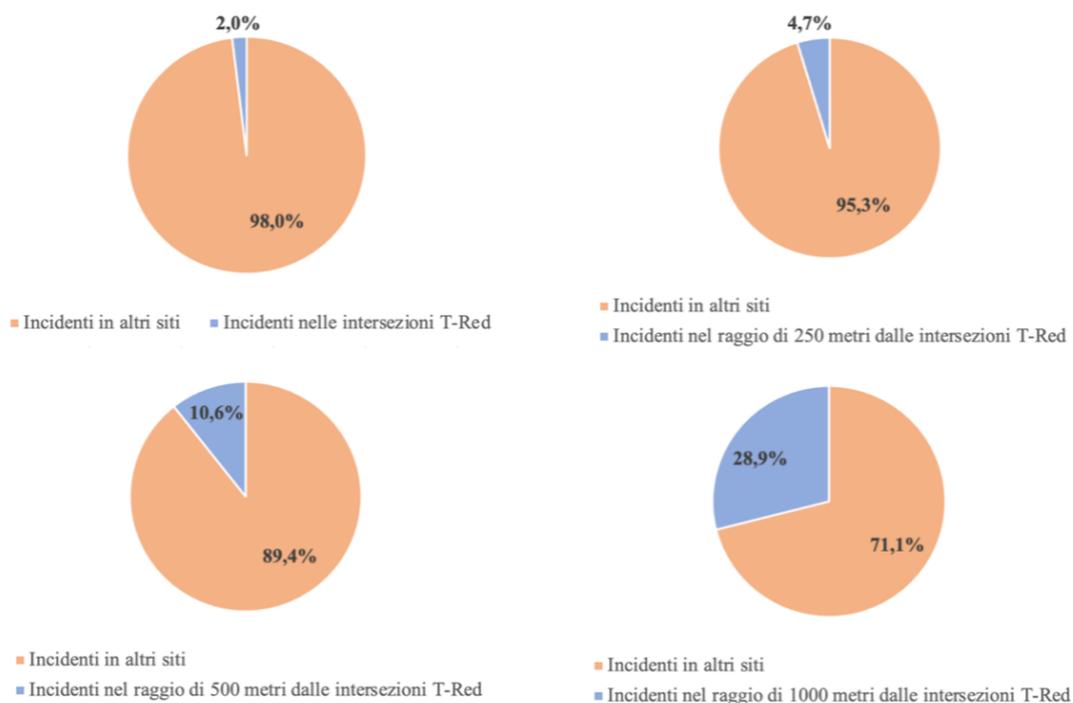


Figura 51: Proporzioe relativa degli incidenti avvenuti nelle intersezioni semaforizzate T-Red e nei siti limitrofi 2016-2018

Considerando le sole intersezioni semaforizzate, la proporzioe del numero di incidenti avvenuti negli otto incroci T-Red si assesta al 5,5% e anche in questo caso risulta particolarmente elevata data la presenza nel dataset di 681 intersezioni semaforizzate nelle quali sono avvenuti dei sinistri nell'intervallo temporale preso in considerazione (Figura 52).

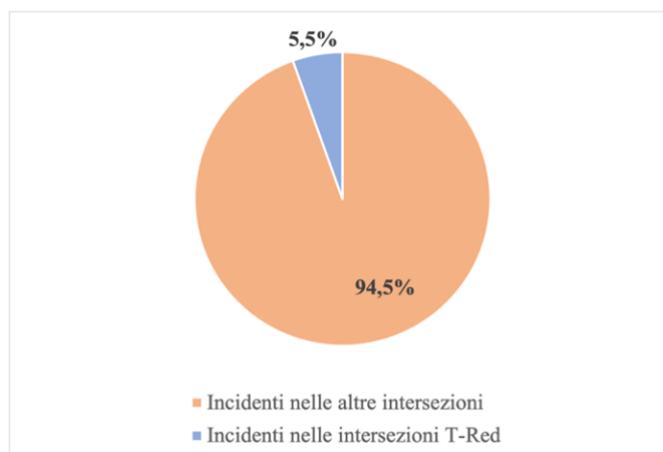


Figura 52: Proporzioe relativa degli incidenti avvenuti nelle intersezioni T-Red rispetto agli incidenti avvenuti nelle altre intersezioni semaforizzate 2016-2018

Anche in termini di lesività la proporzione relativa del numero di feriti registrati nelle intersezioni T-Red assume un valore relativamente elevato assestandosi al 2,6%. La stima sale al 5,4%, 11,9% e al 30,8% se si considera un raggio rispettivamente di 250, 500 e 1000 metri dagli incroci soggetti al monitoraggio (Figura 53).

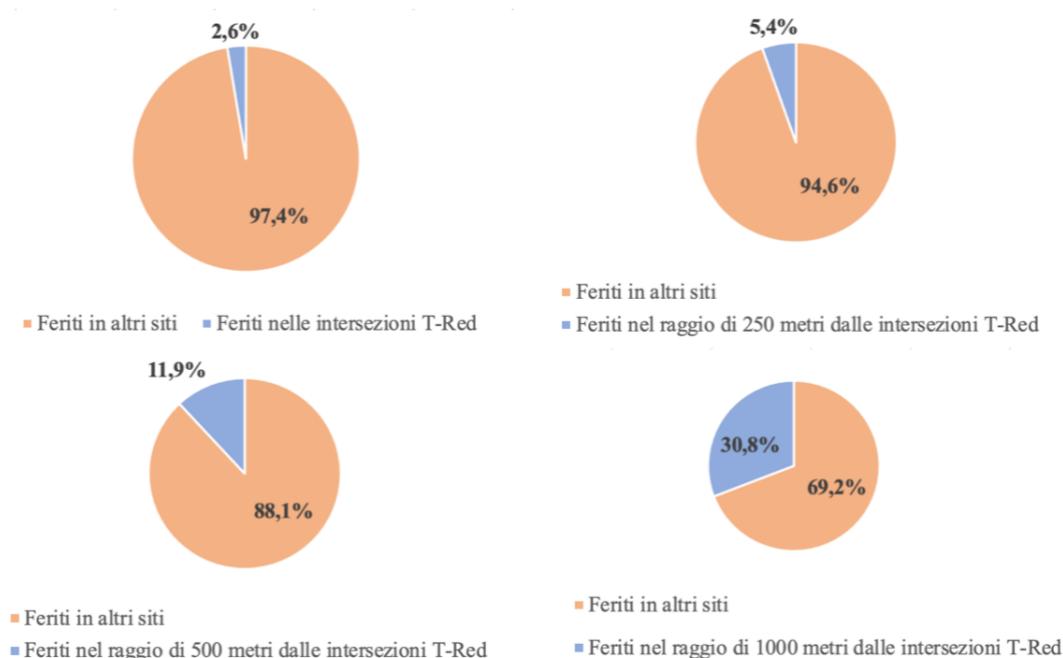


Figura 53: Proporzione relativa dei feriti registrati nelle intersezioni semaforizzate T-Red e nei siti limitrofi 2016-2018

La proporzione relativa del numero di feriti registrati nelle intersezioni T-Red rispetto alle sole intersezioni semaforizzate, invece, si assesta al 6,2% (Figura 54).

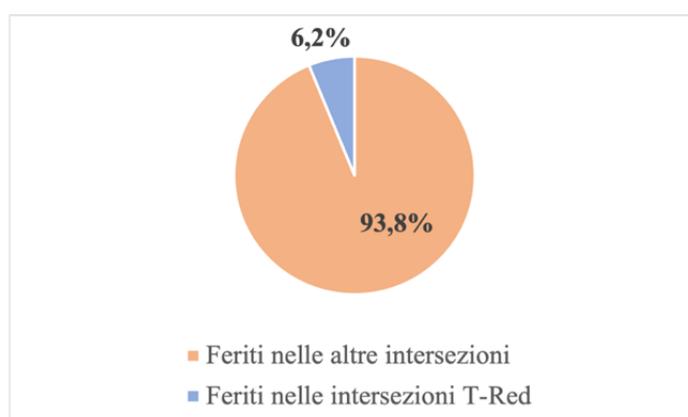


Figura 54: Proporzione relativa dei feriti registrati nelle intersezioni T-Red rispetto ai feriti registrati nelle sole intersezioni semaforizzate 2016-2018

Una volta motivata la scelta delle intersezioni semaforizzate soggette al monitoraggio, possiamo analizzare nel dettaglio il rispettivo andamento del fenomeno dell'incidentalità nell'intervallo temporale 2016-2021, confrontandolo con quello registrato per tutte le altre intersezioni semaforizzate, in modo da poter valutare, in prima battuta, se l'installazione dei dispositivi T-Red sia correlata ad una riduzione del numero di sinistri.

In linea generale, tra il 2016 e il 2021 sono stati registrati 507 incidenti e 596 feriti nelle intersezioni semaforizzate monitorate dai dispositivi T-Red, temporalmente distribuiti come mostrato in *Figura 55* dalla quale si può notare una riduzione rispettivamente del 30,1% e del 34,4% delle due variabili. Durante il periodo di analisi sono state registrate due morti, avvenute nell'anno 2019.

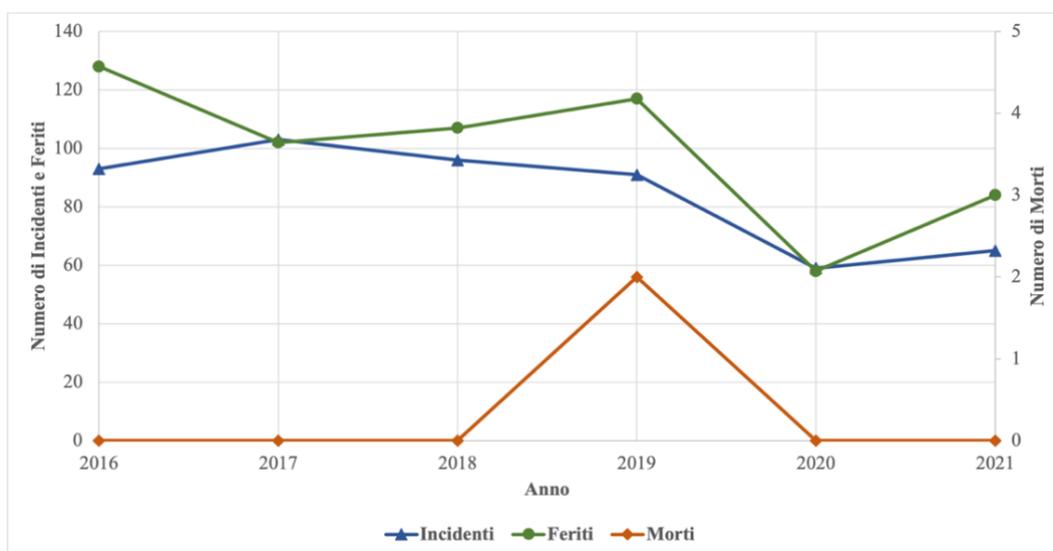


Figura 55: Trend di incidentalità nelle intersezioni T-Red 2016-2021

In *Tabella 7* viene specificato il numero di sinistri registrato per ogni intersezione T-Red nell'intervallo temporale 2016-2021 dalla quale è possibile constatare che cinque incroci registrano una riduzione della variabile; mentre i restanti tre un suo aumento. In particolare, l'intersezione tra corso Corsica, corso Eusebio Giambone e sottopassaggio Lingotto registra la prestazione peggiore con un aumento del numero di sinistri da 4 a 8; mentre quella tra corso Potenza, via Nole e via Pianezza registra la migliore con una riduzione dell'86,7%. Inoltre, l'incrocio tra corso Lecce, corso Potenza e corso Regina Margherita risulta essere il più pericoloso in termini di incidentalità con 130 sinistri; mentre quello tra corso Potenza, via Nole e via Pianezza il meno pericoloso con 47 sinistri.

Tabella 7: Distribuzione del numero di incidenti nelle intersezioni T-Red 2016-2021

Intersezione regolata dal T-Red	Data di Attivazione	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Totale	Variazione Percentuale
Corso Lecce, Corso Potenza, Corso Regina Margherita	02/12/19	15	28	29	25	17	16	130	6,7%
Corso Novara, Corso Vercelli, Corso Vigevano	02/12/19	10	8	8	2	7	2	37	-80,0%
Corso Peschiera, Corso Trapani	02/12/19	10	16	10	13	6	12	67	20,0%
Corso Corsica, Corso Eusebio Giambone, Sottopassaggio Lingotto	10/03/20	4	8	12	14	8	8	54	100,0%
Corso Enrico Tazzoli, Corso Giovanni Agnelli	10/03/20	10	11	13	9	6	9	58	-10,0%
Corso Appio Claudio, Corso Lecce	10/03/20	12	9	9	6	6	7	49	-41,7%
Corso Potenza, Via Nole, Via Pianezza	10/03/20	15	10	8	9	3	2	47	-86,7%
Corso Siracusa, Corso Trapani, Via Tirreno	14/07/21	17	13	7	13	6	9	65	-47,1%
Totale		93	103	96	91	59	65	507	-30,1%

Il dettaglio relativo al numero di feriti registrato per ogni intersezione T-Red, invece, è mostrato in *Tabella 8* dalla quale si può evincere che sei incroci riportano una riduzione della variabile e due un suo aumento. Anche in questo caso le prestazioni migliori e peggiori vengono attribuite rispettivamente agli incroci tra corso Potenza, via Nole e via Pianezza, che registra una riduzione dell'87,5%, e tra corso Corsica, corso Eusebio Giambone e sottopassaggio Lingotto che presenta un aumento della variabile da 2 a 12 feriti, anche se tale incrocio risulta essere il meno pericoloso in termini di lesività. L'intersezione tra corso Lecce, corso Potenza e corso Regina Margherita registra il più alto numero di feriti nell'intervallo temporale preso in considerazione.

Tabella 8: Distribuzione del numero di feriti nelle intersezioni T-Red 2016-2021

Intersezione regolata dal T-Red	Data di Attivazione	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Totale	Variazione Percentuale
Corso Lecce, Corso Potenza, Corso Regina Margherita	02/12/19	23	18	39	37	13	17	147	-26,1%
Corso Novara, Corso Vercelli, Corso Vigevano	02/12/19	15	12	12	1	10	6	56	-60,0%
Corso Peschiera, Corso Trapani	02/12/19	11	17	13	11	3	13	68	18,2%
Corso Corsica, Corso Eusebio Giambone, Sottopassaggio Lingotto	10/03/20	2	6	8	16	9	12	53	500,0%
Corso Enrico Tazzoli, Corso Giovanni Agnelli	10/03/20	14	14	13	9	6	12	68	-14,3%
Corso Appio Claudio, Corso Lecce	10/03/20	16	7	6	9	9	10	57	-37,5%
Corso Potenza, Via Nole, Via Pianezza	10/03/20	24	13	5	15	3	3	63	-87,5%
Corso Siracusa, Corso Trapani, Via Tirreno	14/07/21	23	15	11	19	5	11	84	-52,2%
Totale		128	102	107	117	58	84	596	-34,4%

Le due morti registrate nel periodo di analisi sono avvenute nelle intersezioni semaforizzate tra corso Lecce, corso Potenza e corso Regina Margherita e tra corso Potenza, via Nole e via Pianezza.

Nel grafico in *Figura 56*, invece, viene effettuato un confronto tra i trend dell'aggregato del numero di sinistri registrato per le intersezioni semaforizzate regolate e per quelle non monitorate, dal quale è possibile notare che fino al 2018 quest'ultime presentano delle prestazioni migliori in termini di incidentalità rispetto alle prime. Infatti, andando a considerare le variazioni percentuali di anno in anno del numero di sinistri possiamo notare che tra il 2016 e il 2017 si registra un aumento della variabile del 10,8% per le intersezioni T-Red contro il 5,4% delle altre intersezioni semaforizzate e tra il 2017 e il 2018 si verifica una riduzione del numero di sinistri del 7,5% per le intersezioni semaforizzate, poco più elevata rispetto a quella registrata per gli incroci soggetti al monitoraggio (6,8%).

Tuttavia, dal 2019, anno in cui è avvenuta la prima serie di installazione dei dispositivi T-Red, la situazione si ribalta dato che:

- tra il 2018 e il 2019 si registra una riduzione del 5,2% del numero di sinistri nelle intersezioni regolate dai dispositivi, quasi il doppio rispetto a quella registrata per gli altri incroci semaforizzati (2,7%);
- tra il 2019 e il 2020 le intersezioni T-Red presentano una diminuzione del 35,2% degli incidenti contro il 31,6% registrato per quelle non monitorate;
- tra il 2020 e il 2021 si verifica un incremento del 26,7% dei sinistri nelle intersezioni semaforizzate non regolate dai T-Red; mentre solo del 10,2% per quelle monitorate dai dispositivi.

Inoltre, considerando l'intero intervallo temporale tra il 2016 e il 2021 si può notare che le intersezioni T-Red registrano una riduzione del 30,1% del numero di incidenti che rappresenta quasi il doppio di quella che si verifica per le altre intersezioni semaforizzate (17,7%).

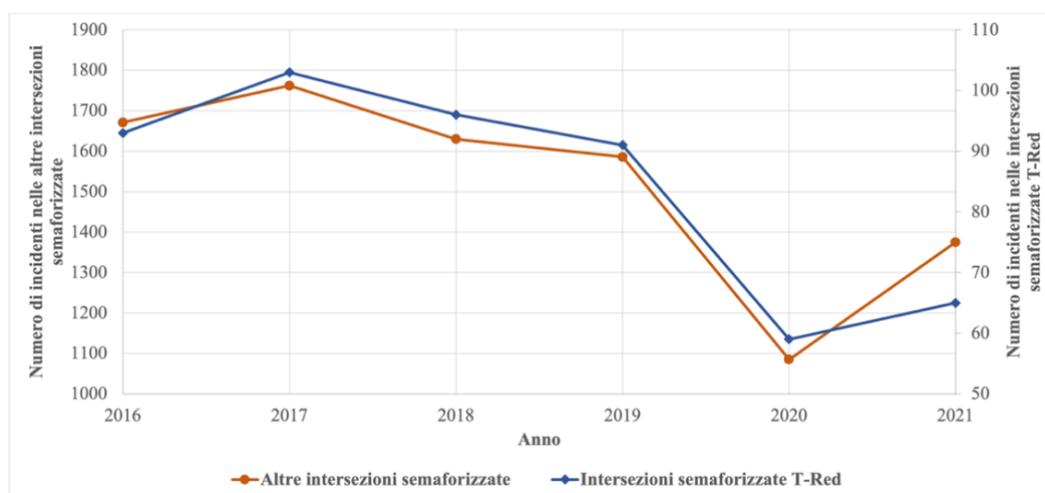


Figura 56: Trend del numero di incidenti nelle intersezioni T-Red e negli altri incroci semaforizzati 2016-2021

Dei risultati simili si ottengono andando a considerare gli incidenti avvenuti nel raggio di 250, 500 e 1000 metri dalle intersezioni T-Red dove le riduzioni del numero di sinistri tra il 2016 e il 2021 risultano più elevate rispetto a quelle registrate per gli altri siti, anche se si assiste ad una convergenza al crescere del raggio.

In particolare:

- con un raggio di 250 metri si registra una diminuzione del 24,3% del numero di incidenti in prossimità delle intersezioni T-Red contro l'11,7% registrato per le altre località (*Figura 57*);
- con un raggio di 500 metri la riduzione del numero di sinistri si assesta al 17,9% nelle località vicine ai T-Red e all'11,6% nelle restanti (*Figura 58*);
- con un raggio di 1000 metri si assiste ad una riduzione del 13,1% del numero di sinistri nei siti limitrofi alle intersezioni T-Red e del 12% nelle altre località (*Figura 59*).

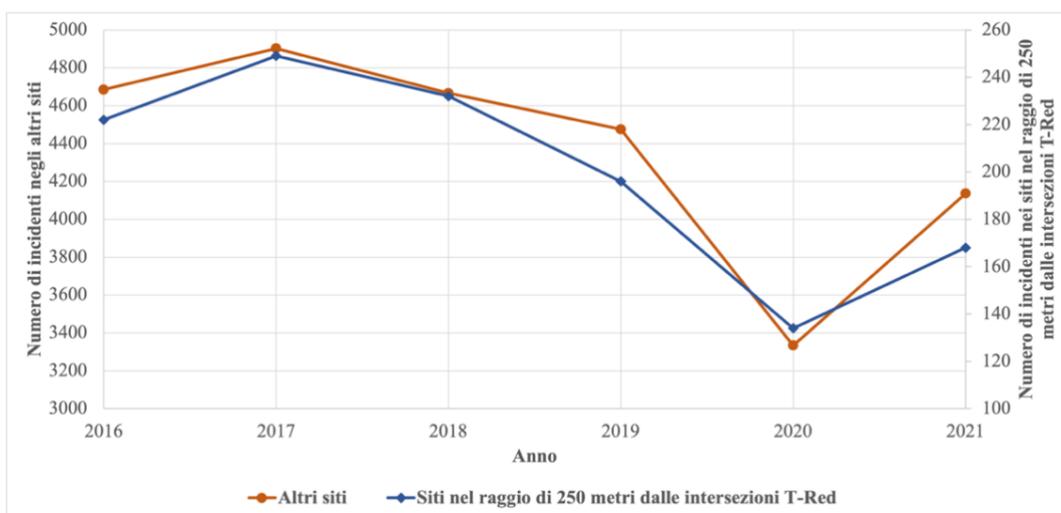


Figura 57: Trend del numero di incidenti nei siti nel raggio di 250 metri dai T-Red e nelle altre località 2016-2021

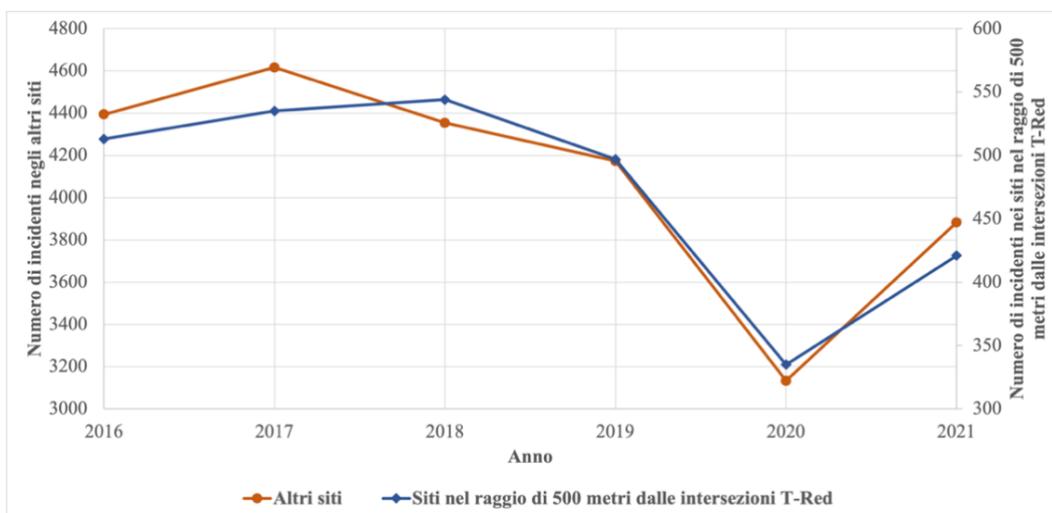


Figura 58: Trend del numero di incidenti nei siti nel raggio di 500 metri dai T-Red e nelle altre località 2016-2021

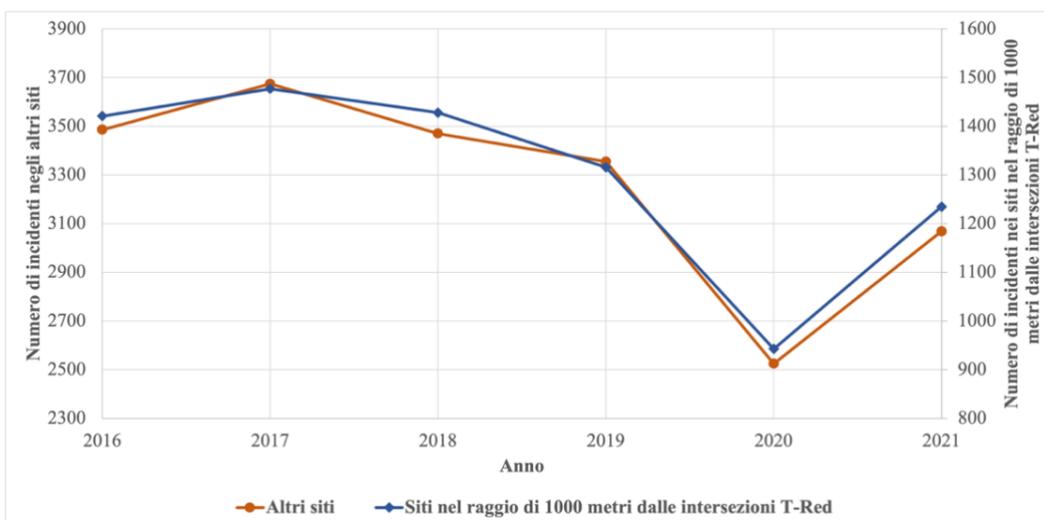


Figura 59: Trend del numero di incidenti nei siti nel raggio di 1000 metri dai T-Red e nelle altre località 2016-2021

Il confronto tra i trend di lesività registrati per le intersezioni semaforizzate monitorate e per quelle non regolate è mostrato in *Figura 60*. In particolare, dal grafico è possibile evincere una riduzione del numero di feriti tra il 2016 e il 2017 per le intersezioni T-Red seguita da un trend crescente fino al 2019, anche se il livello del numero di feriti risulta essere più basso di quello di partenza data la riduzione dell'8,6%. Viceversa, per gli incroci semaforizzati non regolati si verifica un andamento decrescente della variabile fino al 2019 in grado di controbilanciare il marcato incremento iniziale, vista la diminuzione del 2,3% tra il 2016 e il 2019. Anche in questo caso, considerando l'intero intervallo temporale, è possibile constatare una prestazione migliore in termini di incidentalità per le intersezioni

semaforizzate T-Red data la riduzione del 34,4% del numero di feriti tra il 2016 e il 2021 che rappresenta quasi il triplo di quella registrata per le altre intersezioni semaforizzate (11,6%).

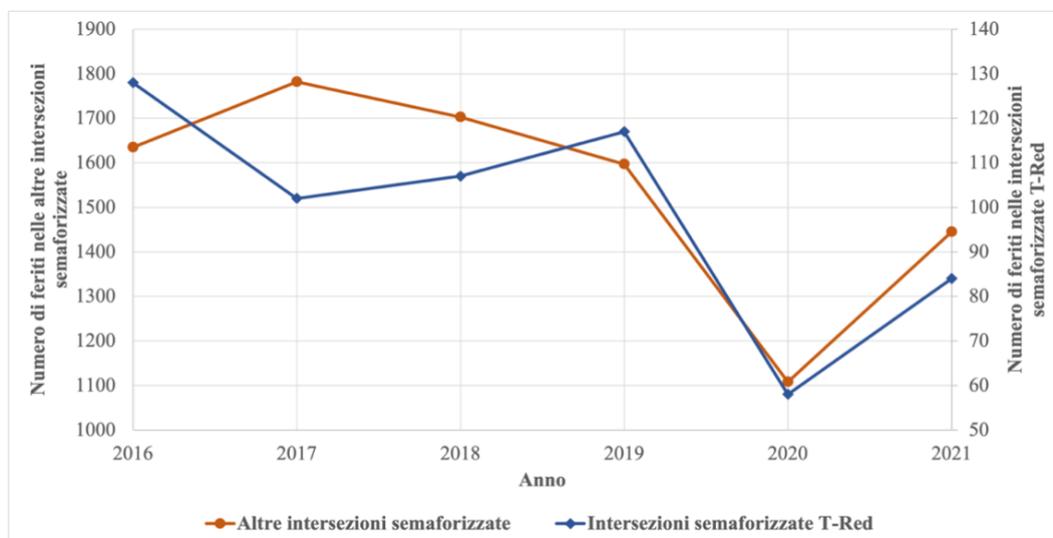


Figura 60: Trend del numero di feriti nelle intersezioni semaforizzate T-Red e negli altri incroci semaforizzati 2016-2021

In *Figura 61*, *Figura 62* e in *Figura 63*, invece, vengono confrontati gli andamenti del numero di feriti registrati rispettivamente nei siti nel raggio di 250, 500 e 1000 metri dalle intersezioni T-Red con quelli che si verificano nelle altre località. Anche in questo caso è possibile notare delle prestazioni migliori in termini di lesività per i siti limitrofi agli incroci monitorati rispetto a quelle riportate per le altre località. In particolare:

- con un raggio di 250 metri si registra una riduzione del 27,6% del numero di feriti in prossimità delle intersezioni T-Red contro il 5,9% registrato per le altre località;
- con un raggio di 500 metri la riduzione del numero di feriti si assesta all'11,9% nelle località vicine ai T-Red e al 6,6% nelle restanti;
- con un raggio di 1000 metri si assiste ad una riduzione del 13,5% del numero di feriti nei siti limitrofi alle intersezioni T-Red e del 4,4% nelle altre località.

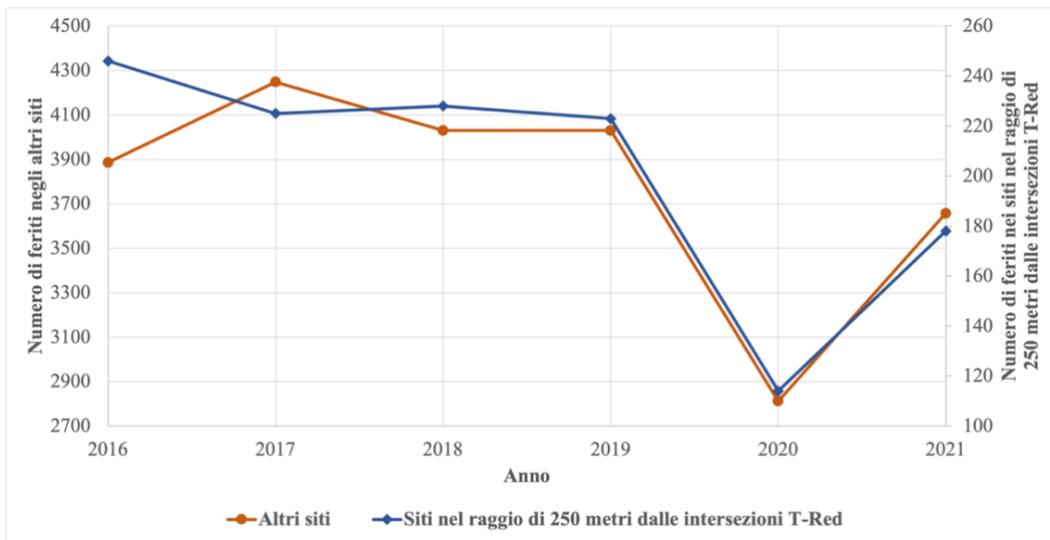


Figura 61: Trend del numero di feriti nei siti nel raggio di 250 metri dalle intersezioni T-Red e nelle altre località 2016-2021

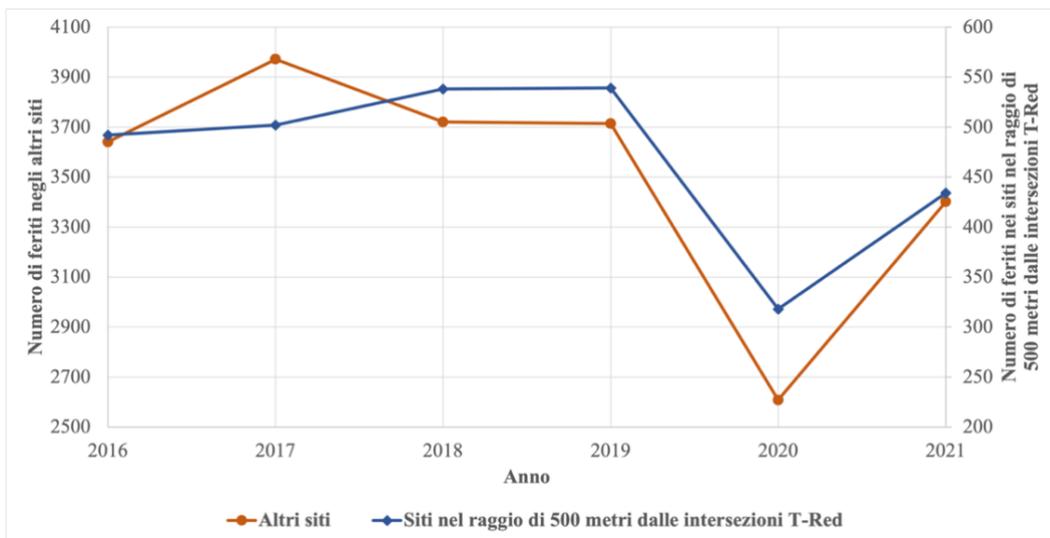


Figura 62: Trend del numero di feriti nei siti nel raggio di 500 metri dalle intersezioni T-Red e nelle altre località 2016-2021

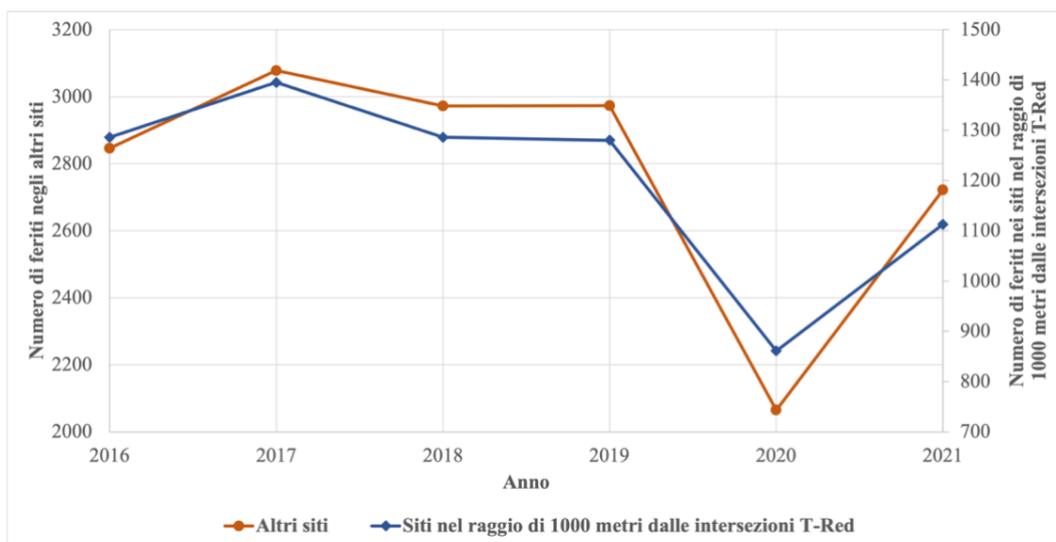


Figura 63: Trend del numero di feriti nei siti nel raggio di 1000 metri dalle intersezioni T-Red e nelle altre località 2016-2021

I trend appena analizzati mettono in mostra un miglioramento generale del fenomeno dell'incidentalità nella città di Torino tra il 2016 e il 2021 che diviene più marcato nel momento in cui si considerano le sole intersezioni monitorate dai T-Red. Tale risultato permette di avanzare l'ipotesi di un possibile impatto positivo sul numero di sinistri e feriti da parte dei dispositivi intelligenti che risulta essere rafforzata dal fatto che il miglioramento del fenomeno dell'incidentalità nelle intersezioni semaforizzate regolate è allineato da un punto di vista temporale alla prima serie di attivazione dei dispositivi. Tuttavia, tali andamenti sono riferiti al totale dei sinistri e dei feriti registrati per le otto intersezioni soggette al monitoraggio e non permettono di effettuare una distinzione sulla base delle rispettive date di attivazione. Di conseguenza, risulta necessario analizzare nel dettaglio il fenomeno dell'incidentalità per gli incroci T-Red raggruppandoli in base alle serie di attivazione in modo da poter visualizzare chiaramente i trend del numero di sinistri e feriti prima e dopo i rispettivi azionamenti dei dispositivi e confrontarli con quelli registrati nelle restanti intersezioni semaforizzate.

2.4.2.1 Prima serie di attivazioni del 02/12/2019

Le intersezioni semaforizzate tra corso Lecce, corso Potenza e corso Regina Margherita, tra corso Novara, corso Vercelli e corso Vigevano e tra corso Peschiera e corso Trapani rappresentano i primi incroci ad essere monitorati dai dispositivi T-Red a partire dal 02/12/2019.

Nel grafico in *Figura 64* viene mostrato l'andamento dell'aggregato del numero di incidenti per tali siti con una granularità temporale mensile dal quale è possibile constatare un livello della variabile più basso nell'intervallo di tempo successivo all'attivazione dei dispositivi T-Red rispetto a quello precedente, evidenziato dalla riduzione della media mensile del numero di incidenti che passa da 3,68 a 2,44.

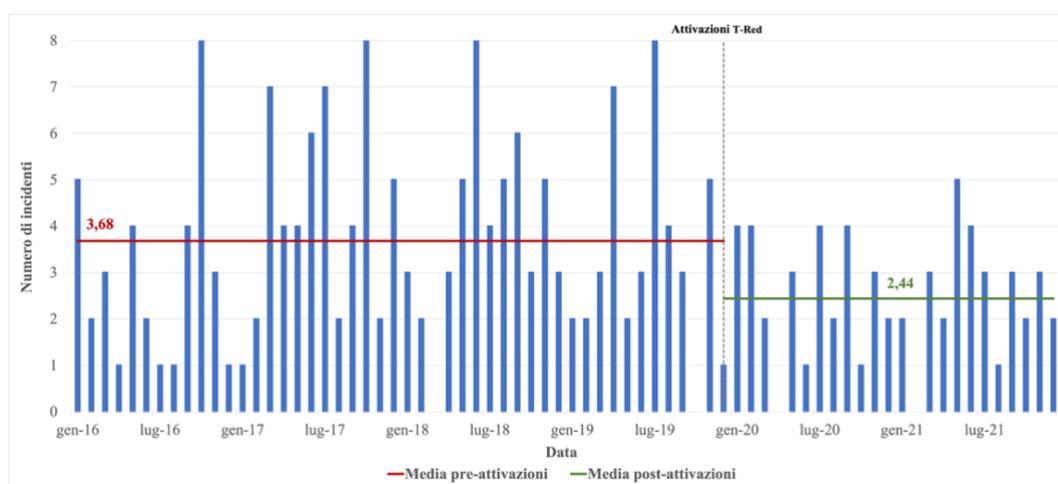


Figura 64: Andamento del numero di incidenti nelle intersezioni semaforizzate soggette alla prima serie di attivazioni del 02/12/2019

Tuttavia, è importante sottolineare che seppur da una parte tale diminuzione possa far ipotizzare un impatto positivo dei dispositivi, vista la concomitanza temporale con l'installazione, dall'altra potrebbe essere semplicemente dovuta ad altri fattori quali, ad esempio, le restrizioni alla mobilità per via della pandemia da Covid-19. Di conseguenza, per poter trarre una conclusione, è necessario identificare un termine di paragone adeguato in modo da confrontare le riduzioni percentuali della variabile. A tal proposito, in *Figura 65* viene mostrato il trend del numero di sinistri nelle intersezioni semaforizzate non regolate dai T-Red dove è possibile notare, anche in questo caso, una riduzione della media mensile. Tuttavia, la diminuzione della variabile registrata per le tre intersezioni semaforizzate T-Red (-33,71%) risulta essere più elevata rispetto a quella che si verifica per gli incroci non regolati dai dispositivi, che si assesta al 25,32%.

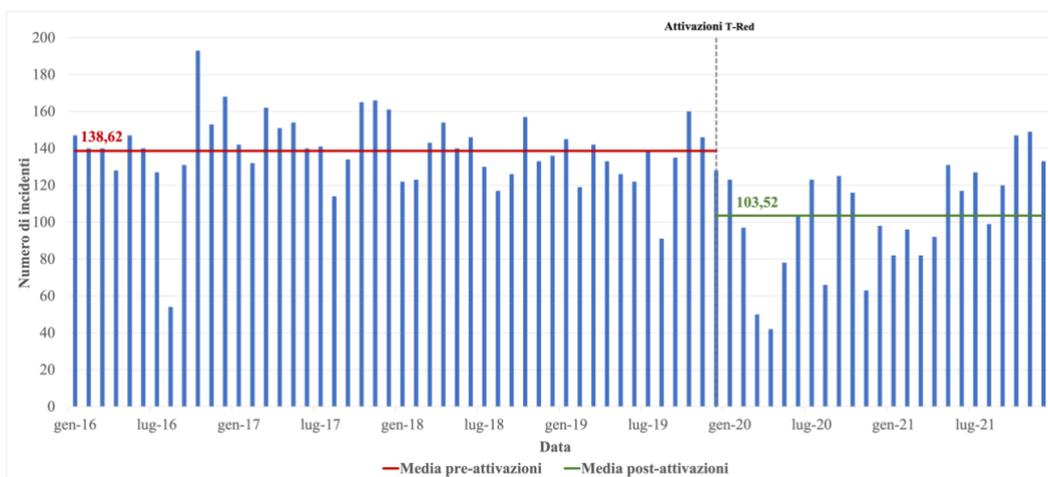


Figura 65: Andamento del numero di incidenti nelle intersezioni semaforizzate non regolate dai T-Red prima e dopo la prima serie di attivazioni del 02/12/2019

La *Figura 66* e la *Figura 67*, invece, mostrano gli andamenti del numero di feriti con una granularità mensile registrati rispettivamente per le tre intersezioni T-Red e per gli incroci semaforizzati non soggetti al monitoraggio. Anche in questo caso, dal confronto tra i due istogrammi è possibile evincere una prestazione migliore in termini di lesività nei siti regolati dai dispositivi T-Red rispetto a quella che si verifica per le altre intersezioni semaforizzate a seguito della data di attivazione, vista la riduzione della media mensile del numero di feriti del 40,68% per le prime località che rappresenta quasi il doppio di quella registrata per le seconde (23,3%).

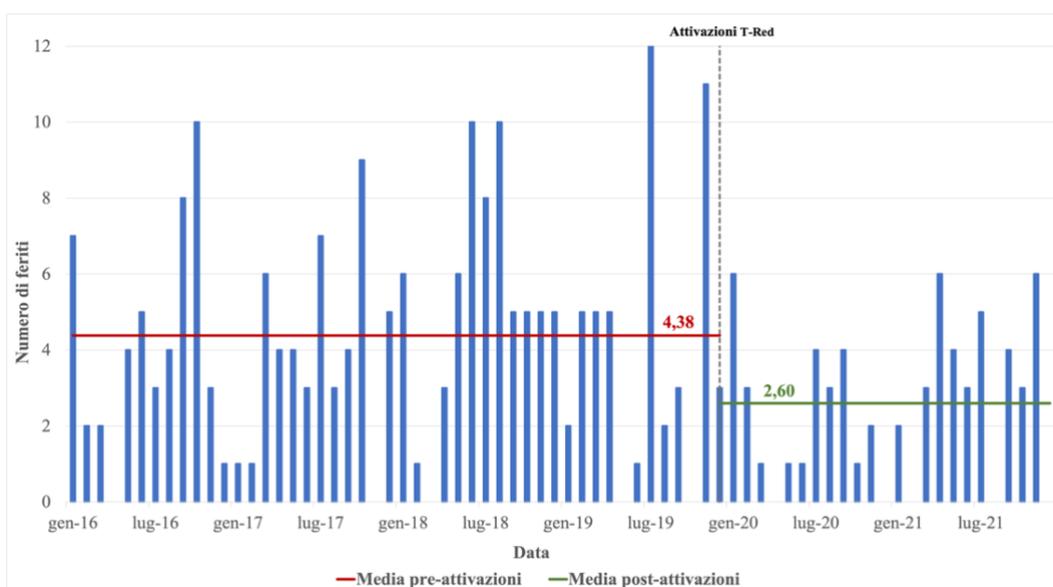


Figura 66: Andamento del numero di feriti nelle intersezioni semaforizzate soggette alla prima serie di attivazioni del 02/12/2019

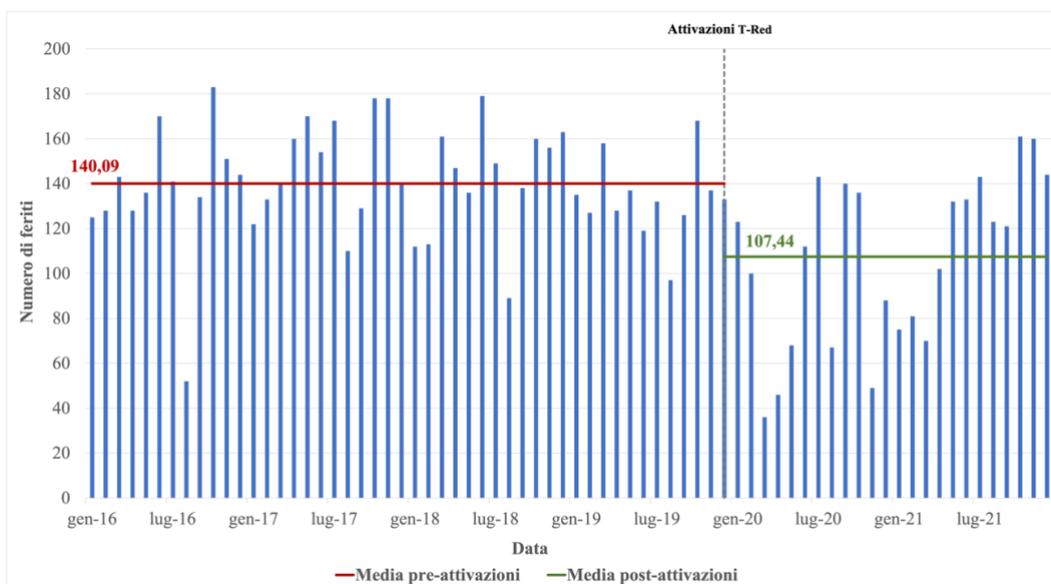


Figura 67: Andamento del numero di feriti nelle intersezioni semaforizzate non regolate dai T Red prima e dopo la prima serie di attivazioni del 02/12/2019

2.4.2.2 Seconda serie di attivazioni del 10/03/2020

La seconda serie di attivazioni del 10/03/2020 colpisce le intersezioni semaforizzate tra corso Corsica, corso Eusebio Giambone e sottopassaggio Lingotto, tra corso Enrico Tazzoli e corso Giovanni Agnelli, tra corso Appio Claudio e corso Lecce e tra corso Potenza, via Nole e via Pianezza.

Gli andamenti del numero mensile di sinistri registrati per le quattro intersezioni T-Red e per gli altri incroci semaforizzati non soggetti al monitoraggio vengono mostrati rispettivamente in *Figura 68* e in *Figura 69*. Anche per la seconda serie di attivazioni la media mensile del numero di incidenti subisce una riduzione più marcata nelle intersezioni regolate dai dispositivi (37,26%) rispetto a quella che si verifica per gli incroci non regolati (25,82%).

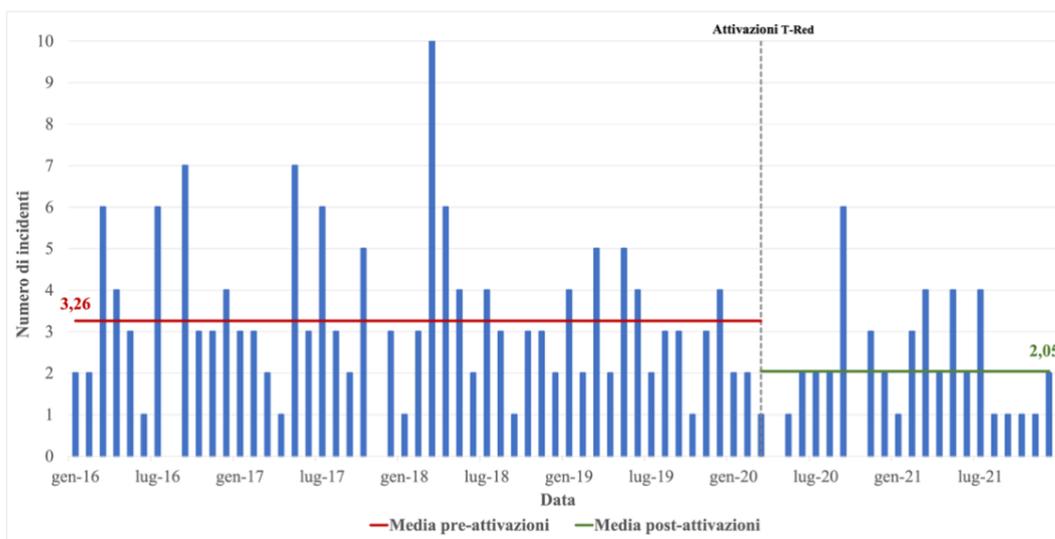


Figura 68: Andamento del numero di incidenti nelle intersezioni semaforizzate soggette alla seconda serie di attivazioni del 10/03/2020

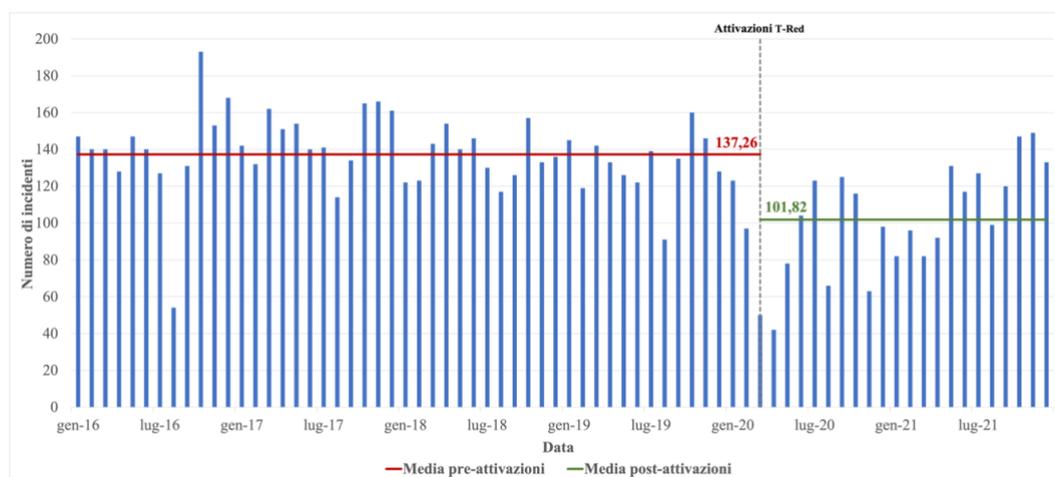


Figura 69: Andamento del numero di incidenti nelle intersezioni semaforizzate non regolate dai T-Red prima e dopo la prima serie di attivazioni del 02/12/2019

In Figura 70 e in Figura 71, invece, vengono mostrati gli andamenti del numero di feriti rispettivamente per le quattro intersezioni coinvolte nella seconda serie di attivazioni e per gli altri incroci semaforizzati. Entrambi i gruppi presentano un livello della media mensile del numero di feriti più basso a seguito della data di attivazione del dispositivo, ma le intersezioni T-Red riportano una prestazione migliore data la riduzione della variabile del 34,37%, molto più elevata rispetto a quella che si verifica per le altre intersezioni semaforizzate che si assesta al 23,7%.

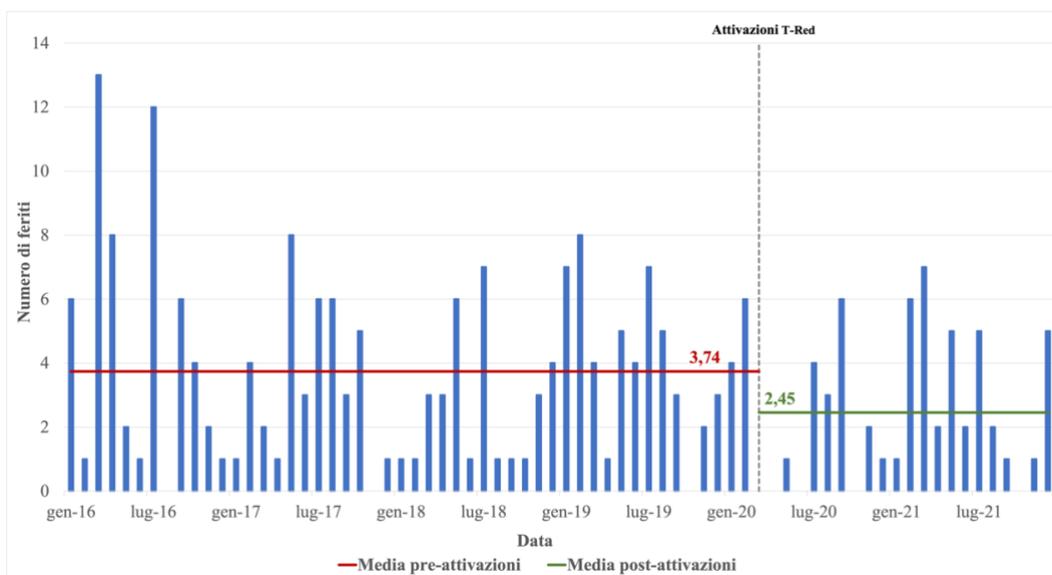


Figura 70: Andamento del numero di feriti nelle intersezioni semaforizzate soggette alla seconda serie di attivazioni del 10/03/2020

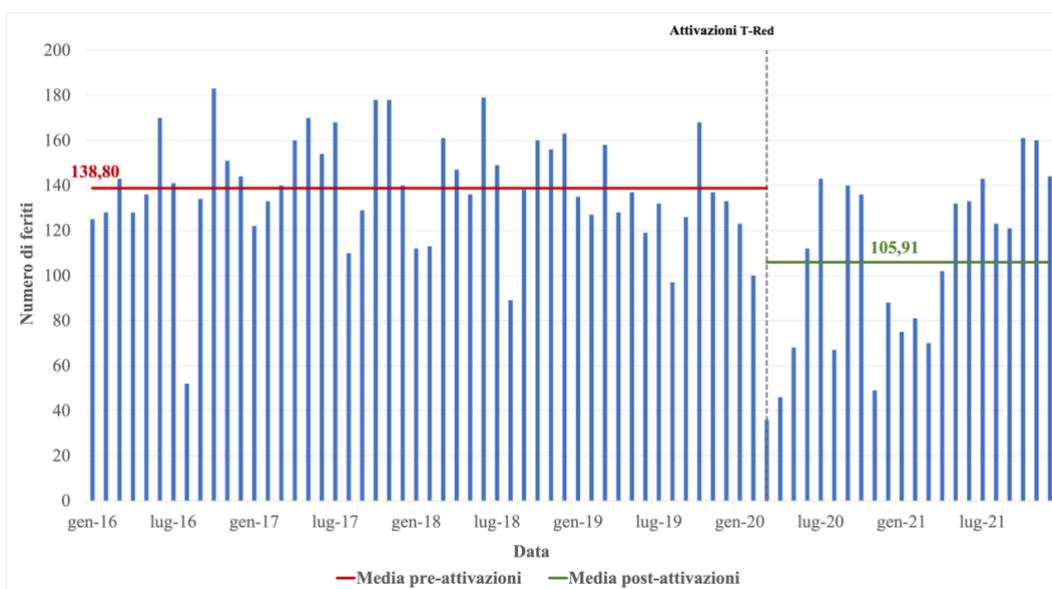


Figura 71: Andamento del numero di feriti nelle intersezioni semaforizzate non regolate dai T Red prima e dopo la seconda serie di attivazioni del 10/03/2020

2.4.2.3 Terza attivazione del 14/07/2021

La terza attivazione del 14/07/2021 coinvolge la sola intersezione semaforizzata tra corso Siracusa, corso Trapani e via Tirreno. In questo caso, il confronto tra gli andamenti del numero di sinistri registrati per l'incrocio T-Red e per gli altri incroci semaforizzati mette in mostra una riduzione della media mensile della variabile nel primo caso e un suo aumento nel secondo. In particolare, dalla *Figura 72* è possibile constatare una diminuzione del 12,57% del numero di sinistri mensile che passa da 1,53 a 1,33 incidenti; mentre dalla *Figura 73* si evince un suo incremento del 2,37% dato che la variabile passa da 126,18 a 129,17 sinistri.

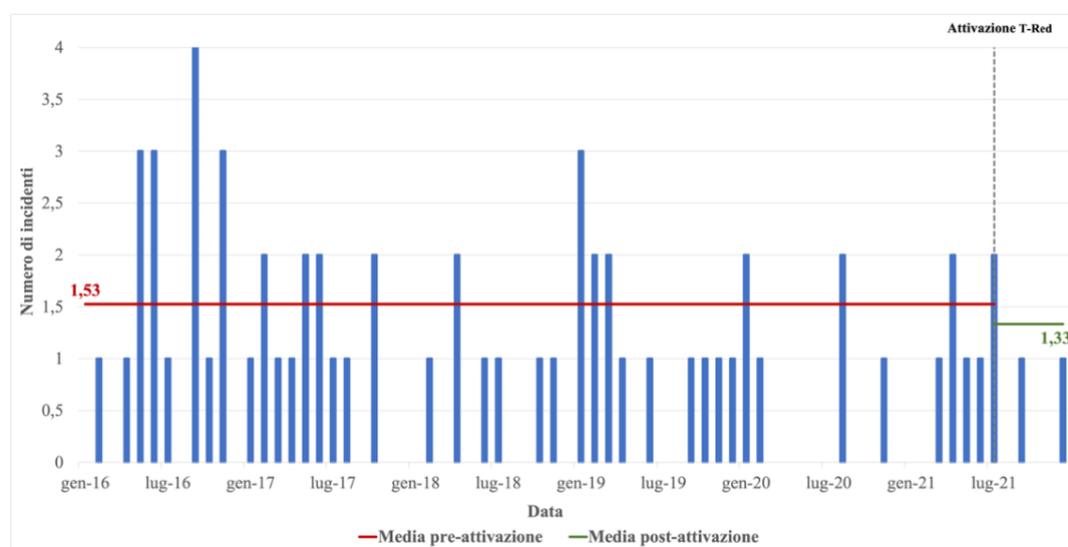


Figura 72: Andamento del numero di incidenti nell'intersezione semaforizzata soggetta alla terza serie di attivazione del 14/07/2021

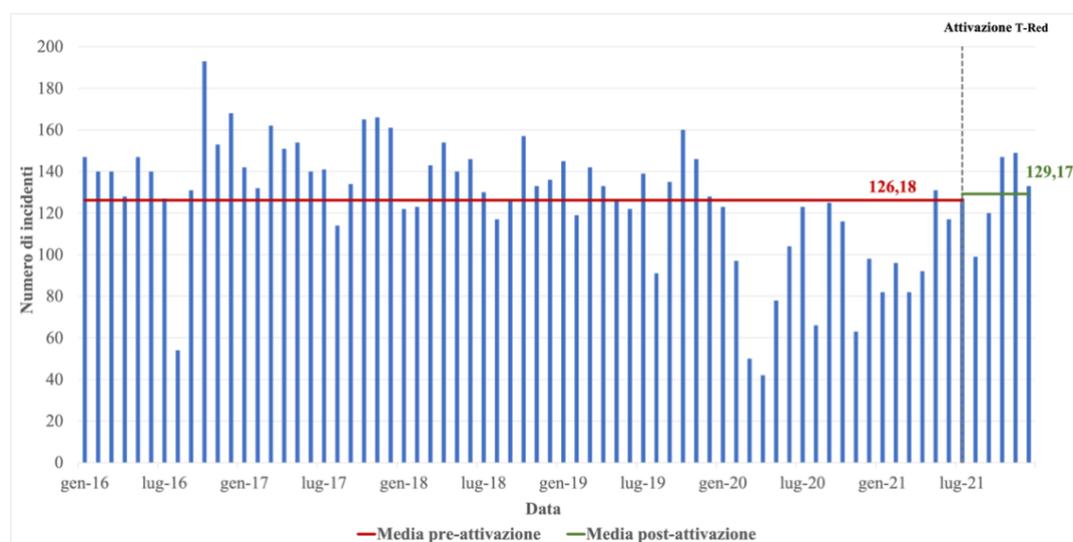


Figura 73: Andamento del numero di incidenti nelle intersezioni semaforizzate non regolate dai T-Red prima e dopo la terza attivazione del 14/07/2021

Anche in termini di lesività l'intersezione tra corso Siracusa, corso Trapani e via Tirreno presenta delle prestazioni migliori rispetto a quelle registrate per le altre intersezioni semaforizzate. Infatti, dal confronto degli istogrammi riportati in *Figura 74* e in *Figura 75* è possibile constatare rispettivamente una riduzione dell'86,75% della media mensile del numero di feriti per l'incrocio T-Red e un aumento dell'11,33% per gli altri incroci semaforizzati.

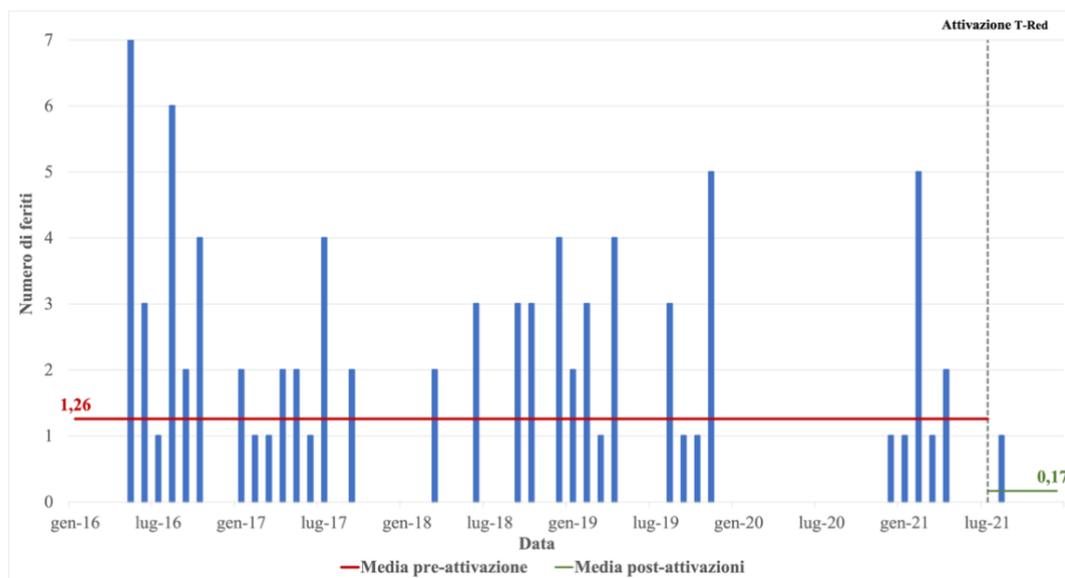


Figura 74: Andamento del numero di feriti nell'intersezione semaforizzata soggetta alla terza serie di attivazione del 14/07/2021

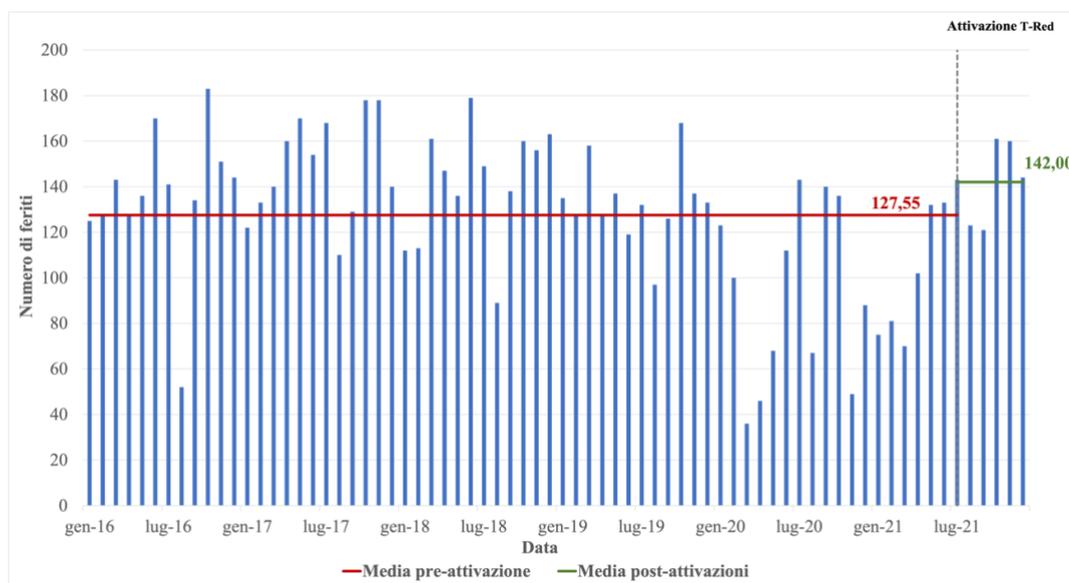


Figura 75: Andamento del numero di feriti nelle intersezioni semaforizzate non regolate dal T-Red prima e dopo la terza attivazione del 14/07/2021

I trend appena analizzati mettono in evidenza un marcato miglioramento del fenomeno dell'incidentalità nei siti soggetti al monitoraggio a seguito delle rispettive date di attivazione dei dispositivi T-Red che rafforzano l'ipotesi di un loro impatto positivo sul numero di sinistri e feriti. Inoltre, i precedenti andamenti riscontrati per le località situate in un raggio di 250, 500 e 1000 metri dalle intersezioni monitorate inducono ad ipotizzare anche uno spillover positivo sull'incidentalità da parte dei T-Red nei siti limitrofi agli incroci regolati.

Tale risultato, alla luce di quanto riscontrato nella letteratura economica, può essere ragionevolmente associato ad un maggior *enforcement* del Codice della Strada data la presenza dei dispositivi intelligenti che incentivano gli utenti della strada a mantenere un comportamento alla guida più giudizioso, vista l'elevata probabilità di essere scoperti e sanzionati nel momento in cui commettono delle infrazioni.

A tal proposito risulta rilevante sottolineare che, considerando l'intervallo temporale tra il 2019 e il 2021, un'elevata proporzione del numero di sinistri è associata ad una violazione delle normative. In particolare, dal grafico mostrato in *Figura 76* è possibile constatare che su 12433 sinistri avvenuti nella città di Torino 7225 riportano una violazione del Codice della Strada, che rappresentano il 58,1% del totale.

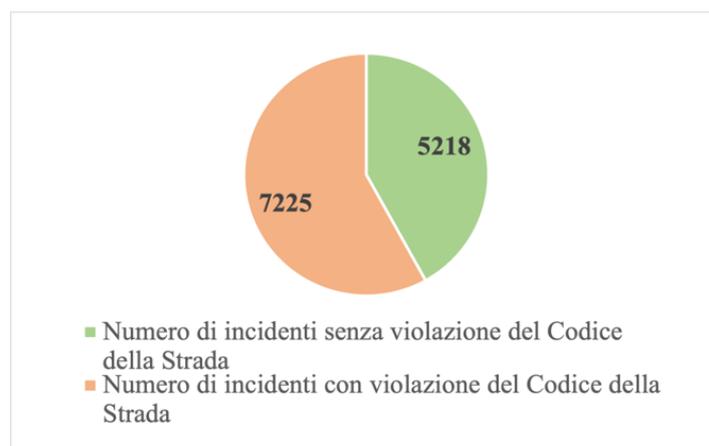


Figura 76: Ripartizione del numero di incidenti con e senza violazione del Codice della Strada 2019-2021

Considerando le sole intersezioni semaforizzate, la proporzione relativa si assesta al 50,4% con 2148 incidenti associati ad una violazione delle normative, di cui 601, il 27,9%, riportano il non rispetto degli articoli 41 e 146 del Codice della Strada riferiti rispettivamente alle leggi sui segnali luminosi e alla violazione della segnaletica stradale (*Figura 77*).



Figura 77: Infrazioni associate agli incidenti nelle intersezioni semaforizzate 2019-2021

Prendendo in considerazione, invece, le sole intersezioni semaforizzate T-Red possiamo notare dalla *Figura 78* che la proporzione del numero di sinistri associati ad una violazione del Codice della Strada risulta essere più elevata rispetto a quella registrata in aggregato per gli incroci semaforizzati (50,4%) assestandosi al 56,3%. Di questi 121 incidenti, 23 (il 19%) riportano il non rispetto degli articoli 41 e 146.

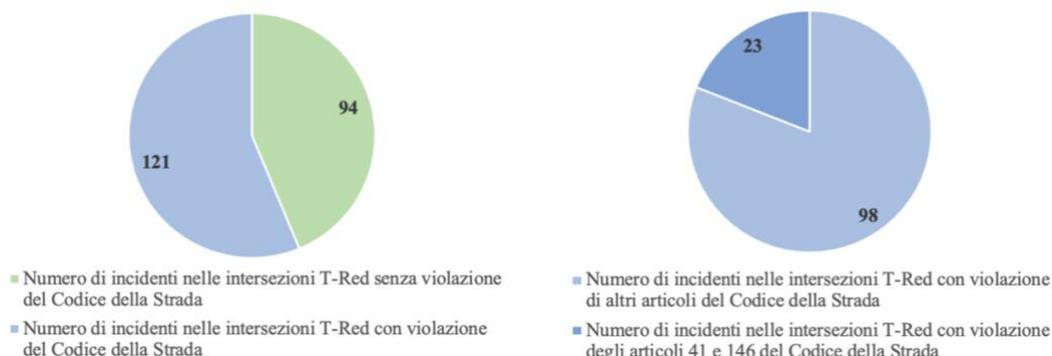


Figura 78: Infrazioni associate agli incidenti nelle intersezioni T-Red 2019-2021

Data l'elevata proporzione del numero di sinistri che si verificano in concomitanza con una violazione del Codice della Strada, l'intensificazione dell'applicazione delle normative dovrebbe rappresentare un elemento chiave nella lotta contro l'incidentalità nella città di Torino, soprattutto se si considerano i risultati riportati dalla letteratura economica che evidenziano una causalità inversa tra l'enforcement del Codice della Strada e il numero di incidenti.

In particolare, tenendo a mente lo studio condotto da Bauernschuster e Rekers [39] che dimostrano una riduzione statisticamente significativa del numero di sinistri a seguito della maggiore probabilità percepita dagli utenti della strada di essere rilevati e sanzionati per le infrazioni durante le campagne *SLMO*, l'ipotesi di attribuire all'installazione dei dispositivi T-Red

la differenza riscontrata nella diminuzione del numero di incidenti che si verifica tra le intersezioni semaforizzate regolate (31,1%) e quelle non monitorate (17,7%), evidenziata in *Figura 56*, risulta essere rafforzata dato che, oltre ad una concomitanza temporale, si riscontra un notevole incremento dell'enforcement del Codice della Strada a seguito dell'attivazione dei dispositivi.

Infatti, andando a considerare il numero di multe emesse per passaggio con il rosso, che può essere visto come una misura dell'applicazione delle normative stradali, possiamo notare come la variabile assuma dei valori molto più elevati a partire dal 2019 rispetto a quelli registrati nel triennio precedente. In particolare, dal confronto tra la *Tabella 9* e la *Tabella 10* è possibile notare che il numero di sanzioni per infrazioni semaforiche tra il 2016 e il 2018 assume il valore massimo di 4361 multe, valore che viene superato in un solo mese nelle tre località monitorate dai dispositivi T-Red coinvolte nella prima serie di attivazioni. Negli anni 2020 e 2021 il numero di sanzioni cresce esponenzialmente assestandosi rispettivamente a 124470 e 91876 multe, dovute alle sole infrazioni rilevate dai dispositivi intelligenti.

Tabella 9: Sanzioni per il passaggio con il rosso 2016-2018

	2016	2017	2018
Sanzioni per passaggio con il rosso	3373	3393	4361

Tabella 10: Sanzioni emesse nelle intersezioni monitorate dai T-Red 2019-2021

Intersezione regolata dal T-Red	Data di Attivazione	2019	2020	2021	Totale
Corso Lecce, Potenza, Corso Regina Margherita	02/12/19	546	1431	475	2452
Corso Novara, Corso Vercelli, Corso Vigevano	02/12/19	1574	30851	20312	52737
Corso Peschiera, Corso Trapani	02/12/19	2557	51794	27039	81390
Corso Corsica, Corso Eusebio Giambone, Sottopassaggio Lingotto	10/03/20	0	1850	3103	4953
Corso Enrico Tazzoli, Corso Giovanni Agnelli	10/03/20	0	4803	4029	8832
Corso Appio Claudio, Corso Lecce	10/03/20	0	1072	734	1806
Corso Potenza, Via Nole, Via Pianezza	10/03/20	0	32669	16681	49350
Corso Siracusa, Corso Trapani, Via Tirreno	14/07/21	0	0	19503	19503
Totale		4677	124470	91876	221023

Questi risultati assumono una notevole importanza se si considera anche lo studio condotto da Luca [38] che dimostra come un aumento del numero di sanzioni comporti una riduzione statisticamente significativa degli incidenti e dei relativi infortuni.

Tuttavia, seppur da una parte la concomitanza temporale e il maggior enforcement del Codice della Strada permettono di avanzare l'ipotesi secondo la quale il marcato miglioramento del fenomeno dell'incidentalità nelle intersezioni monitorate e nei siti limitrofi possa essere associato all'installazione dei dispositivi T-Red, dall'altra non permettono di dimostrarne una causalità ma solo una correlazione negativa. Infatti, per poter affermare che la presenza dei dispositivi intelligenti abbia causato una riduzione del numero di sinistri e feriti è necessario un modello econometrico che fornisca delle evidenze statisticamente significative del loro impatto, oltre a una quantificazione dei relativi effetti.

Capitolo 3

3 L'impatto dei dispositivi T-Red

3.1 Introduzione

Dopo aver motivato l'installazione dei T-Red nella città di Torino e analizzato il fenomeno dell'incidentalità nei siti soggetti al monitoraggio, tale capitolo si propone di analizzare e individuare il possibile impatto dei dispositivi intelligenti sul numero di sinistri e feriti attraverso l'utilizzo di tecniche econometriche che permettono di derivare la presenza di un loro legame causale.

Specificatamente, dato che l'installazione dei dispositivi T-Red rappresenta uno shock esogeno che permette di identificare degli istanti di tempo dopo i quali è possibile distinguere un gruppo di trattamento e un gruppo di controllo, le analisi condotte saranno basate sul metodo del *difference-in-differences* che, supponendo lo stesso andamento per i due gruppi in assenza dello shock, permette di isolare il contributo dei T-Red quantificandone un impatto causale sulle due variabili in questione. Inoltre, al fine di rendere quanto più rigorosa possibile l'analisi verranno implementate più specificazioni, basate sulla stessa metodologia, che differiscono nella definizione dei due gruppi e nella specificità del dataset preso in considerazione. In particolare, tali specificazioni possono essere raggruppate nelle seguenti tre macrocategorie:

- il primo gruppo di specificazioni utilizza un dataset comprendente i dati dei sinistri registrati nelle sole intersezioni semaforizzate della città di Torino con lo scopo di andare a verificare se i siti soggetti al monitoraggio presentano una riduzione statisticamente significativa del numero di incidenti e feriti a seguito dell'installazione dei T-Red;
- il secondo gruppo di specificazioni, invece, utilizza l'intero dataset sull'incidentalità in modo da valutare se l'installazione dei dispositivi abbia generato una riduzione del numero di sinistri e feriti nelle località comprese in un raggio di 250, 500 e 1000 metri dagli incroci T-Red;
- il terzo gruppo di specificazioni restringe l'analisi alle sole intersezioni semaforizzate di cui si hanno a disposizione anche le informazioni riguardanti il flusso di traffico mensile. In questo caso, oltre a valutare l'impatto dei dispositivi sul numero di incidenti e feriti

registrato per il sottogruppo delle intersezioni T-Red, si condurrà un'ulteriore analisi riguardante il traffico mensile con l'obiettivo di andare a verificare se l'eventuale riduzione delle due variabili sia effettivamente il risultato dell'installazione dei T-Red oppure sia solamente una conseguenza del fatto che i conducenti, consci della presenza di tali dispositivi, abbiano optato per cambiare le loro abitudini di guida imboccando strade non soggette al monitoraggio.

Tutto lo studio prende in considerazione l'intervallo temporale 2016-2021 ed è stato condotto attraverso l'ausilio del software statistico *STATA*.

Prima di entrare nel dettaglio delle specificazioni utilizzate, si fornisce una descrizione dettagliata del metodo *difference-in-differences* in modo da chiarire ulteriormente la sua applicazione.

3.2 Il metodo del *difference-in-differences*

Più volte nella presente trattazione si è affermato che la correlazione esistente tra due variabili non necessariamente comporta una loro relazione causale. Ciò è dovuto al fatto che potrebbe essere presente una terza variabile, correlata alle prime due, che spiega l'andamento del fenomeno (distorsione da variabile omessa). Per chiarire il concetto al lettore, si consideri, ad esempio, l'istogramma riportato in *Figura 68* Figura 64. A primo impatto si potrebbe concludere che l'installazione dei dispositivi T-Red abbia comportato una riduzione del 37,6% della media mensile del numero di incidenti nelle intersezioni semaforizzate coinvolte nella seconda serie di attivazioni. Tale affermazione, però, potrebbe essere facilmente confutata attribuendo la diminuzione della variabile alla pandemia da Covid-19, vista la sua concomitanza temporale con l'installazione dei dispositivi, che ha generato una riduzione sostanziale del traffico nella città di Torino¹⁰. Risulta necessario, quindi, utilizzare delle tecniche statistiche, tipiche dell'econometria, che permettono di derivare ed eventualmente quantificare l'impatto causale dei T-Red sul numero di sinistri e feriti attraverso l'utilizzo di dati osservazionali.

¹⁰ Si noti che seppur da una parte il periodo di lockdown ha causato una riduzione sostanziale del numero di incidenti, dall'altra ha avuto come effetto collaterale quello di aumentare la velocità media, incrementando così il rischio di un sinistro [49].

Idealmente, per poter derivare la presenza di un effetto causale tra due variabili bisognerebbe condurre un *esperimento controllato casualizzato* che consiste nel confrontare un risultato di interesse tra due gruppi di entità che differiscono semplicemente per aver ricevuto o meno il trattamento e che vengono denominati, per l'appunto, gruppo di trattamento e gruppo di controllo. In particolare, l'aspetto fondamentale di tale esperimento risiede nell'assegnare causalmente il trattamento in modo che venga eliminata la possibilità che esista una relazione tra la ricezione del trattamento stesso e le caratteristiche non osservabili delle entità che possono influire sul risultato di interesse. Sotto tale ipotesi, si può affermare che la differenza nella variabile in analisi tra i due gruppi è causata proprio dal trattamento e che non vi sia distorsione da variabile omessa.

Tuttavia, gli esperimenti controllati casualizzati rappresentano soltanto un riferimento teorico in quanto praticamente impossibili da realizzare con dati non sperimentali, cioè con dati che derivano dall'osservazione naturale dei fenomeni. In molti casi, però, delle circostanze esterne producono un "quasi-esperimento", cioè una situazione nella quale il trattamento (o shock) di alcune entità è come se fosse assegnato casualmente. Ciò, quindi, consente di definire un gruppo di trattamento e un gruppo di controllo sui quali è possibile condurre uno studio che analizza l'effetto del trattamento su un risultato di interesse attraverso l'utilizzo di dati osservazionali.

In particolare, la tecnica statistica principalmente utilizzata per questa tipologia di studio e particolarmente rilevante per il presente elaborato, è la *difference-in-differences (DID)* che prendendo in input le medie della variabile risultato per entrambi i gruppi, nei periodi antecedenti e successivi allo shock, restituisce come output una doppia differenza che rappresenta l'impatto del trattamento. In termini matematici, definendo y il risultato di interesse e indicando con:

- \bar{y}_T^{prima} : la media di y nel gruppo di trattamento prima dello shock;
- \bar{y}_C^{prima} : la media di y nel gruppo di controllo prima dello shock;
- \bar{y}_T^{dopo} : la media di y nel gruppo di trattamento dopo lo shock;
- \bar{y}_C^{dopo} : la media di y nel gruppo di controllo dopo lo shock;

l'effetto del trattamento sulla variabile risultato può essere determinato applicando l'equazione 3.1:

$$DID = (\bar{y}_T^{dopo} - \bar{y}_T^{prima}) - (\bar{y}_C^{dopo} - \bar{y}_C^{prima}) \quad (3.1)$$

La particolarità del metodo *difference-in-differences* risiede nel fatto di non effettuare una semplice differenza tra quanto registrato nel periodo

successivo allo shock per il gruppo di trattamento e per il gruppo di controllo, che rappresenterebbe una stima distorta dell'effetto, ma questa viene depurata dalla differenza iniziale tra i due gruppi in modo da tenere in considerazione i rispettivi livelli di partenza.

Per rendere più chiaro il concetto, si consideri il grafico riportato in *Figura 79*. Supponiamo, ad esempio, che il livello della variabile risultato, prima dello shock, assuma un livello più basso per il gruppo di trattamento rispetto a quello del gruppo di controllo e che nel periodo successivo tale distanza risulti più marcata. Ovviamente, non tutta la differenza finale tra i due gruppi può essere spiegata come un effetto del trattamento ma risulta necessario depurare l'influenza dei valori iniziali della variabile risultato. Così facendo, è possibile rendere il trattamento non correlato con il livello iniziale della variabile e avere una stima non distorta dell'effetto.

In altre parole, supponendo lo stesso andamento in assenza di uno shock per il gruppo di trattamento e per il gruppo di controllo, il *difference-in-differences* restituisce la differenza che si manifesta tra il valore atteso e quello osservato, che rappresenta una quantificazione dell'impatto del trattamento.

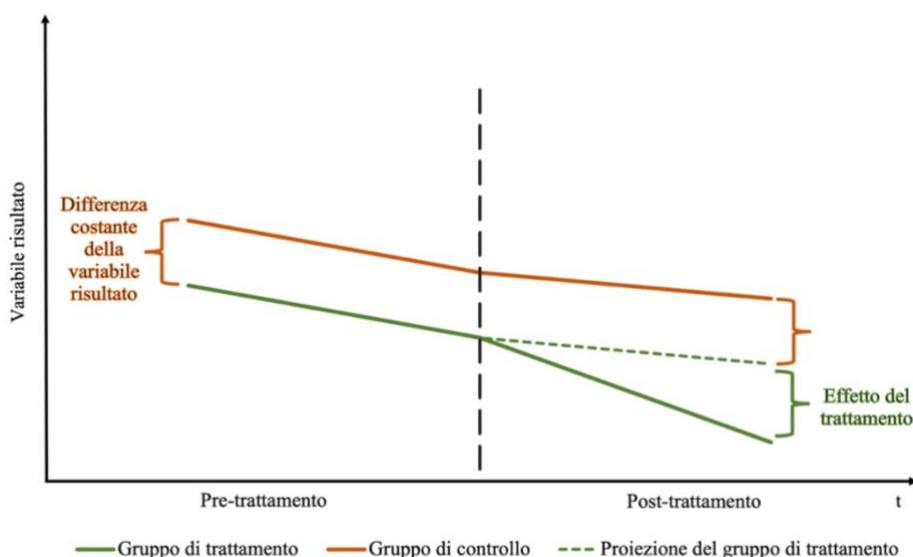


Figura 79: Il metodo del *difference-in-difference*

Una volta spiegata la logica di base del metodo *difference-in-differences* è possibile introdurre la notazione di regressione che permette di effettuare un'inferenza statistica utilizzando un campione di dati a disposizione. In particolare, il modello di regressione postula la presenza di una relazione tra due variabili e tenta di stimare l'effetto della variazione di una di queste, definita variabile indipendente, sull'altra, denominata variabile dipendente. Successivamente, tale effetto può essere sottoposto ad una verifica di ipotesi in modo da poter valutare la sua significatività da un punto di vista statistico.

3.2.1 La notazione di regressione e il metodo *Ordinary Least Squares*

Indicando con Y la variabile dipendente e con X la variabile indipendente, la forma base, del tutto generale, del modello di regressione lineare che mette in relazione le due variabili è data dall'equazione 3.2:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad (3.2)$$

dove $i = 1, \dots, n$ indica l' i -esima osservazione del campione ed ε l'errore (o residuo) rappresentante la differenza tra quanto osservato e il valore predetto dal modello stesso che ingloba l'effetto sulla variabile dipendente di tutte le variabili non incluse. L'intercetta β_0 e la pendenza β_1 della retta di regressione rappresentano i parametri da stimare al fine di poter quantificare l'effetto di una variazione di X su Y . Ovviamente non è possibile risalire al valore esatto di β_0 e β_1 ma bisogna stimare tali parametri attraverso l'utilizzo dei dati osservazionali a disposizione.

A tal proposito, indicando con b_0 e b_1 gli stimatori di β_0 e β_1 , il metodo *Ordinary Least Squares (OLS)* permette di effettuare una stima di tali parametri attraverso la minimizzazione della distanza tra i valori reali di Y_i e i valori predetti sulla base della retta di regressione stimata:

$$\min \sum_{i=1}^n [Y_i - (b_0 + b_1 X_i)]^2 \quad (3.3)$$

Gli stimatori che si ottengono applicando l'equazione 3.3 vengono definiti stimatori dei minimi quadrati ordinari e indicati con $\widehat{\beta}_0$ e $\widehat{\beta}_1$. Sotto determinate assunzioni e in grandi campioni, gli stimatori *OLS* hanno distribuzioni campionarie normali che permettono di sottoporre a verifiche di ipotesi i veri valori dei coefficienti della retta di regressione.

In particolare, per poter valutare da un punto di vista statistico la presenza di un effetto causale tra la variabile indipendente e quella dipendente bisogna condurre un test di ipotesi circa il valore della pendenza della retta di regressione che verifica l'ipotesi nulla $\beta_1 = 0$, indicante nessun effetto, contro l'ipotesi alternativa $\beta_1 \neq 0$:

$$\begin{cases} H_0: \beta_1 = 0 \\ H_1: \beta_1 \neq 0 \end{cases} \quad (3.4)$$

Nel caso in cui esistano sufficienti prove che permettano di rifiutare l'ipotesi nulla con un livello di significatività α prefissato, allora l'effetto della variazione di X sulla variabile dipendente Y sarà pari al valore $\widehat{\beta}_1$; viceversa, si esclude l'esistenza di un impatto causale.

Esistono tre modi per determinare l'accettazione o il rifiuto dell'ipotesi nulla: calcolare la statistica t , il p -value o la costruzione dell'intervallo di fiducia.

La statistica t permette di valutare quanto si discosta significativamente il valore $\widehat{\beta}_1$ da un valore di riferimento. Nel nostro caso:

$$t = \frac{\widehat{\beta}_1 - 0}{SE(\widehat{\beta}_1)} \quad (3.5)$$

L'accettazione o il rifiuto dell'ipotesi nulla possono essere determinati confrontando il valore trovato applicando l'equazione 3.5 con il valore della distribuzione t di student con $n-1$ gradi di libertà e con un livello di significatività pari ad α . In particolare, se $|t| > t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}$ allora H_0 può essere rifiutata; altrimenti si accetta.

Il p -value, invece, restituisce direttamente il più basso livello di significatività con il quale è possibile rigettare l'ipotesi nulla. In altre parole, rappresenta la probabilità di osservare un valore di $\widehat{\beta}_1$ diverso dal valore fissato con l'ipotesi nulla, assumendo che questa sia vera. Ad esempio, definendo tre livelli di significatività pari al 10%, 5% e 1% un p -value più basso restituisce sufficienti prove per poter rigettare l'ipotesi nulla rispettivamente con un livello di significatività del 10%, 5% o dell'1%.

Infine, l'accettazione o il rifiuto dell'ipotesi nulla possono essere determinati costruendo l'intervallo di fiducia, cioè un intervallo che contiene il valore vero del parametro β_1 nel $(1-\alpha)\%$ dei campioni che si possono estrarre. In particolare, considerando un intervallo di fiducia del 95% per β_1 :

$$\widehat{\beta}_1 \pm 1,96 \cdot SE(\widehat{\beta}_1) \quad (3.6)$$

la nostra ipotesi nulla può essere rigettata con un livello di significatività del 5% se tale intervallo non contiene lo zero.

Prima di entrare nel dettaglio della notazione di regressione che permette di esplicitare il metodo *difference-in-differences*, è necessario introdurre la variabile binaria (o *dummy*) che permette di identificare il gruppo di trattamento e il gruppo di controllo assumendo soltanto due valori: $D_i = 1$ se siamo in presenza del gruppo di trattamento e $D_i = 0$ se siamo in presenza del gruppo di controllo. Il modello di regressione corrispondente è analogo a quello descritto nell'equazione 3.2:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 D_i + \varepsilon_i \quad (3.7)$$

In questo caso, però, dato che D_i non è una variabile continua, β_1 non può essere interpretato come la pendenza della retta ma rappresenta semplicemente la differenza tra le medie campionarie di Y_i nei due gruppi.

Di conseguenza, indicando con ΔY_i la variazione di Y_i per l'osservazione i -esima del campione, allora l'effetto causale del trattamento è espresso dal coefficiente β_1 nella seguente regressione lineare:

$$\Delta Y_i = \beta_0 + \beta_1 D_i + \varepsilon_i \quad (3.8)$$

Applicando il metodo *OLS*, lo stimatore $\widehat{\beta}_1$ rappresenta la differenza tra il valore medio di ΔY nei due gruppi, cioè $\widehat{\beta}_1$ è lo stimatore del metodo *difference-in-differences*. Tale valore, quindi, può essere utilizzato per condurre un test di ipotesi che ci permetterà di valutare l'eventuale presenza e significatività dell'impatto del trattamento.

A questo punto dovrebbe risultare chiaro come il metodo del *difference-in-differences* e la relativa analisi di regressione si adattino quasi perfettamente al tipo di studio proposto in questo elaborato. L'installazione dei dispositivi T-Red, infatti, può essere considerata uno shock esogeno che colpisce solo alcune intersezioni semaforizzate della città di Torino dando, quindi, la possibilità di identificare un gruppo di trattamento (intersezioni semaforizzate T-Red o i siti limitrofi) e un gruppo di controllo (altre intersezioni semaforizzate o le altre località), che costituiscono la base del metodo in questione. In particolare, applicando il *difference-in-differences* sui dati di incidentalità della città di Torino, lo scopo è quello di verificare e valutare il possibile impatto dell'installazione dei dispositivi T-Red sul numero di incidenti e feriti.

Tuttavia, prima di entrare nel dettaglio della specificazione utilizzata per condurre lo studio, è opportuno effettuare due precisazioni sulla retta di regressione riguardanti la distribuzione degli errori e la loro correlazione con la variabile di interesse.

In particolare, nel primo caso, in base a come si distribuiscono gli errori si possono distinguere due situazioni:

- Omoschedasticità: la varianza della distribuzione di ε_i condizionata a X_i è costante e non dipende da X_i :

$$var(\varepsilon_i|X_i = x) = \text{costante} \quad (3.9)$$

- Eteroschedasticità: la varianza della distribuzione condizionata di ε_i a X_i varia al variare di X_i , cioè non è costante.

In questo caso, è necessario modificare la formula per il calcolo dell'errore standard poiché altrimenti si otterrebbero dei valori più piccoli che porterebbero ad una statistica t più elevata (*equazione 3.5*) con conseguente possibile rifiuto errato dell'ipotesi nulla.

Nel caso di variabili binarie, l'omoschedasticità si manifesta in presenza di varianze uguali tra i gruppi; viceversa, si riscontra eteroschedasticità.

La seconda precisazione, nota anche come prima assunzione dei minimi quadrati, riguarda, invece, la media della distribuzione condizionata di ε_i a X_i . In particolare, dato che l'errore ε_i contiene tutti quei fattori omessi nell'analisi che possono spiegare una variazione della variabile dipendente, è necessario che l'errore ε_i non sia correlato con X_i affinché non si presenti la distorsione da variabile omessa. In altre parole, la media della distribuzione di ε_i condizionata a X_i deve essere nulla:

$$E(\varepsilon_i|X_i) = 0 \quad (3.10)$$

Per limitare la possibilità di avere una stima distorta dell'effetto si può condurre una regressione multipla che permette di introdurre dei regressori aggiuntivi (variabili di controllo) in grado di assorbire parte della variazione della variabile dipendente. Infatti, scorporando dall'errore ulteriori variabili è possibile catturare l'effetto della variabile indipendente, tenendo costanti tutti gli altri regressori inclusi.

Purtroppo, però, non sempre sono disponibili dati che permettono di introdurre delle variabili di controllo e ciò aumenta il rischio di avere degli stimatori distorti verso l'alto o verso il basso. Tuttavia, esistono alcune circostanze che consentono di controllare per alcuni tipi di variabili omesse, senza osservarle realmente. In particolare, quando si ha a disposizione un panel bilanciato di dati, cioè dei dati completi riferiti a diverse entità osservate in distinti periodi temporali, è possibile introdurre degli effetti fissi che permettono di controllare per caratteristiche idiosincratice delle entità che non variano nel tempo e degli effetti fissi temporali che controllano per variabili che sono costanti tra le entità ma che si evolvono nel tempo. Così facendo, è possibile eliminare l'effetto di alcune caratteristiche che variano tra le entità, ma non nel tempo, e l'effetto di altre caratteristiche che variano nel tempo ma non tra le entità, pur non osservandole realmente.

Da un punto di vista operativo, sia gli effetti fissi temporali che quelli per entità possono essere inseriti nella retta di regressione attraverso l'utilizzo di un insieme di variabili binarie che identificano rispettivamente il periodo e l'entità presa in considerazione.

Per rendere più chiaro il concetto, si consideri lo studio sui T-Red. Esistono numerosi fattori che possono influenzare il numero di incidenti e feriti ma che allo stesso tempo non sono osservabili. Non includere tali fattori nella retta di regressione renderebbe elevata la possibilità di avere una distorsione nella valutazione dell'impatto dei dispositivi rendendo così lo studio poco robusto. Tuttavia, dato che le informazioni sull'incidentalità rappresentano un panel bilanciato di dati, grazie all'utilizzo degli effetti fissi alcuni di questi fattori possono essere presi in considerazione. Ad esempio, introducendo degli effetti fissi per entità è possibile mantenere costanti caratteristiche specifiche delle località, come la vicinanza ad una scuola o i limiti di velocità, che possono influenzare notevolmente il numero di incidenti. Allo stesso modo, aggiungendo degli effetti fissi temporali è possibile controllare per caratteristiche che cambiano nel tempo ma non tra i gruppi di trattamento e di controllo, come, ad esempio, i miglioramenti riguardanti la sicurezza delle automobili o l'effetto della pandemia da Covid-19. Introducendo tali effetti fissi, quindi, è possibile limitare notevolmente la distorsione da variabile omessa.

Infine, per poter misurare la bontà con cui la stima *OLS* della retta di regressione si adatta ai dati è possibile utilizzare l' R^2 che indica la frazione della varianza campionaria di Y_i spiegata dai regressori:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y}_l)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_l)^2} \quad (3.11)$$

Più l' R^2 si avvicina all'unità, maggiore è la capacità esplicativa del modello utilizzato. Tuttavia, poiché nella regressione multipla l' R^2 cresce ogni qualvolta si aggiunge un regressore, tale parametro viene sostituito dall' R^2 *Adjusted* che corregge questo effetto:

$$\overline{R^2} = 1 - \frac{n-1}{n-k-1} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y}_l)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_l)^2} \quad (3.12)$$

Si noti, però, che né l' R^2 né l' $\overline{R^2}$ vengono utilizzati per stabilire se vi è un impatto causale o l'assenza di distorsione da variabile omessa, ma indicano solo quanto i regressori predicono bene il valore della variabile dipendente nel campione.

Una volta esplicitati gli elementi che permettono di attuare e valutare da un punto di vista statistico i risultati del modello *difference-in-differences* è possibile entrare nel dettaglio delle specificazioni utilizzate per condurre l'analisi sull'impatto dell'installazione dei dispositivi T-Red sul numero di sinistri e feriti nella città di Torino.

3.3 Il modello utilizzato

Come evidenziato già nell'introduzione del presente capitolo, per rendere quanto più veritiera possibile l'analisi, sono state condotte diverse specificazioni che, variando il gruppo di controllo, hanno l'obiettivo di valutare la resistenza dell'impatto dei T-Red sul numero di sinistri e feriti.

In linea generale, il modello di regressione utilizzato per stimare l'effetto della presenza dei dispositivi T-Red è il seguente:

$$Y_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 TRed_{i,t} + \tau_t + \alpha_i + \varepsilon_{i,t} \quad (3.13)$$

dove i rappresenta la località i -esima e t il periodo di riferimento ottenuto mediante composizione di mese e anno. Inoltre:

- $Y_{i,t}$ è la variabile dipendente che differisce in base al gruppo di specificazioni preso in considerazione. In particolare:
 - nel primo e nel secondo gruppo, l'output della regressione rappresenta il numero di incidenti o il numero di feriti registrati nella località i nel periodo t ;
 - nel terzo gruppo, la variabile dipendente, oltre a rappresentare il numero di sinistri o il numero di feriti, viene identificata anche come logaritmo del numero di veicoli transitati nella località i nel periodo t ;
- β_0 rappresenta l'intercetta;
- β_1 è il coefficiente da stimare, cioè valuta l'impatto dei T-Red;
- $TRed_{i,t}$ è la variabile di interesse, cioè una *dummy* che assume il valore 1 per identificare il gruppo di trattamento e zero per il gruppo di controllo. Anche in questo caso, in base al gruppo di specificazioni preso in considerazione distinguiamo diverse situazioni:
 - nel primo e nel terzo gruppo tale variabile assume il valore 1 se ci troviamo nell'intersezione semaforizzata T-Red e se siamo nel periodo successivo all'attivazione del rispettivo dispositivo; altrimenti è pari a zero;

- nel secondo gruppo di specificazioni la *dummy* è pari ad 1 se ci troviamo in un sito limitrofo all'intersezione semaforizzata T-Red e se siamo nel periodo successivo all'attivazione del rispettivo dispositivo; zero altrimenti;
- τ_t è una variabile binaria che cattura gli effetti fissi temporali come, ad esempio, una migliore qualità della sicurezza dei veicoli o l'effetto della pandemia da Covid-19 che sono costanti tra le località ma differiscono in base al periodo preso in considerazione;
- α_i è una variabile binaria che cattura gli effetti fissi della località come, ad esempio, la vicinanza ad una scuola o i limiti di velocità che differiscono tra i siti ma che sono costanti nel tempo;
- $\varepsilon_{i,t}$ è il termine di errore clusterizzato.

Tutte le specificazioni prendono come periodo di riferimento l'intervallo temporale compreso tra il 2016 e il 2021 con una granularità mensile.

3.4 I risultati del modello

Per una maggiore chiarezza espositiva, i risultati dell'analisi empirica ottenuti per ogni specificazione verranno suddivisi in tre categorie che permettono di chiarire di volta in volta i rispettivi gruppi di trattamento e di controllo. Si sottolinea che tutte le specificazioni tengono in considerazione gli effetti fissi delle località e quelli temporali. Inoltre, in tutte le analisi condotte ci si è assicurati di modificare le impostazioni per il calcolo degli errori standard in modo che fossero robusti all'eteroschedasticità, evitando così i problemi discussi nel *paragrafo 3.2.1*.

3.4.1 I risultati del primo gruppo di specificazioni

Il primo gruppo di specificazioni si focalizza sulle sole intersezioni semaforizzate della città di Torino in modo da poter valutare l'impatto dei dispositivi T-Red sul numero di incidenti e feriti confrontandolo con quanto registrato in località simili.

In *Tabella 11* vengono mostrate sei specificazioni che condividono lo stesso gruppo di trattamento, rappresentate dalle intersezioni T-Red, e la stessa variabile dipendente, rappresentata dal numero di sinistri. Tali specificazioni, però, differiscono nella definizione del gruppo di controllo in modo da poter

effettuare un confronto con diversi insiemi di incroci semaforizzati, valutando così la resistenza dell'impatto dei dispositivi.

In particolare, nel primo modello (*colonna 1*) vengono considerate 733 intersezioni semaforizzate della città di Torino nelle quali è avvenuto almeno un incidente nel periodo di analisi preso in considerazione. Da tale specificazione è possibile constatare come l'installazione dei dispositivi T-Red comporti una riduzione del numero di incidenti dato che il coefficiente della rispettiva variabile risulta essere negativo (-0,301) e statisticamente significativo all'1%. Seppur in primo momento il valore assoluto di tale coefficiente possa sembrare irrisorio, non appena si considera la media mensile del numero di sinistri registrati nelle intersezioni T-Red nel periodo antecedente alle attivazioni che si assesta a 0,975, il coefficiente della variabile pari a -0,301 assume un carattere considerevole.

Per rendere più simili possibile il gruppo di trattamento e il gruppo di controllo, il secondo modello (*colonna 2*) restringe l'analisi alle sole intersezioni semaforizzate della città di Torino che coinvolgono almeno un corso. Anche in questo caso si riscontra un coefficiente negativo e statisticamente significativo all'1% per i dispositivi T-Red, anche se leggermente più basso rispetto a quello della prima specificazione, che si assesta a -0,289.

Nel terzo modello (*colonna 3*) vengono scomutate dal gruppo di controllo le intersezioni semaforizzate che sono state soggette al monitoraggio dei dispositivi T-Red da giugno 2022. La stima dell'impatto risulta essere leggermente più elevata e statisticamente significativa all'1%.

I successivi tre modelli (*colonne 4, 5 e 6*), invece, prendono nuovamente in considerazione tutte le intersezioni semaforizzate della città di Torino ma eliminano rispettivamente dal gruppo di controllo gli incroci che sono presenti in un raggio di 250, 500 e 1000 metri dalle intersezioni T-Red in modo da poter scomputare possibili effetti di spillover che renderebbero distorta l'analisi. Dalla tabella possiamo notare che l'impatto dei dispositivi torna ad essere praticamente analogo a quello di partenza assestandosi rispettivamente a -0,302, -0,303 e -0,302. Tutte e tre le stime sono statisticamente significative all'1%.

Tabella 11: Analisi di regressione sul numero di incidenti per il primo gruppo di specificazioni

VARIABLES	(1) Model 1 Road accidents	(2) Model 2 Road accidents	(3) Model 3 Road accidents	(4) Model 4 Road accidents	(5) Model 5 Road accidents	(6) Model 6 Road accidents
T-Red	-0.301*** (0.073)	-0.289*** (0.073)	-0.292*** (0.073)	-0.302*** (0.073)	-0.303*** (0.073)	-0.302*** (0.073)
Constant	0.210*** (0.016)	0.264*** (0.023)	0.257*** (0.023)	0.202*** (0.016)	0.199*** (0.017)	0.198*** (0.018)
Local Fixed Effects	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Data Fixed Effects	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Observations	52,776	33,048	32,832	52,344	49,824	41,184
R-squared	0.198	0.202	0.193	0.198	0.193	0.202
Adjusted R-squared	0.185	0.189	0.180	0.186	0.181	0.190
Number of locations	733	459	456	727	692	572

Robust standard errors in parentheses
 *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

La *Tabella 12* mostra, invece, l’impatto dei dispositivi T-Red sul numero di feriti utilizzando delle specificazioni analoghe a quelle appena analizzate con la sola differenza riguardante, ovviamente, la variabile dipendente. Anche in questo caso, tutte le specificazioni suggeriscono una relazione negativa tra il numero di feriti e la presenza dei dispositivi dato che i coefficienti sono tutti negativi e statisticamente significativi all’1%. In particolare, dalla tabella è possibile constatare come l’effetto sia resistente alla definizione di diversi gruppi di controllo oscillando da -0,405 a -0,415. Tale impatto risulta essere notevole alla luce del fatto che la media mensile del numero di feriti nelle intersezioni monitorate dai T-Red si assesta a 1,164 nel periodo antecedente alla loro attivazione.

Tabella 12: Analisi di regressione sul numero di feriti per il primo gruppo di specificazioni

VARIABLES	(1) Model 1 Road injuries	(2) Model 2 Road injuries	(3) Model 3 Road injuries	(4) Model 4 Road injuries	(5) Model 5 Road injuries	(6) Model 6 Road injuries
T-Red	-0.414*** (0.157)	-0.405** (0.157)	-0.415*** (0.157)	-0.415*** (0.156)	-0.414*** (0.156)	-0.415*** (0.156)
Constant	0.188*** (0.022)	0.227*** (0.032)	0.186*** (0.022)	0.186*** (0.022)	0.184*** (0.023)	0.180*** (0.025)
Local Fixed Effects	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Data Fixed Effects	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Observations	52,776	33,048	52,560	52,344	49,824	41,184
R-squared	0.116	0.118	0.110	0.117	0.113	0.118
Adjusted R-squared	0.102	0.103	0.0962	0.103	0.0989	0.104
Number of locations	733	459	730	727	692	572

Robust standard errors in parentheses
 *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

3.4.2 I risultati del secondo gruppo di specificazioni

Dato che le statistiche descrittive hanno messo in mostra un possibile effetto di spillover dei T-Red nei siti limitrofi alle intersezioni monitorate, il secondo gruppo di specificazioni utilizza l'intero dataset sull'incidentalità, comprendente anche gli incidenti avvenuti nei rettilinei e negli incroci non semaforizzati, in modo da valutare se l'installazione dei dispositivi abbia potuto generare una riduzione del numero di sinistri e feriti nelle località comprese in un raggio di 250, 500 e 1000 metri dalle intersezioni T-Red.

A tal proposito in *Tabella 13* vengono mostrate tre specificazioni che condividono la stessa variabile dipendente, il numero di incidenti, ma che differiscono nella definizione dei gruppi di trattamento e di controllo. In particolare, i tre modelli (*colonne 1, 2 e 3*) assumono rispettivamente come gruppo di trattamento i siti compresi in un raggio di 250, 500 e 1000 metri dai T-Red e come gruppo di controllo le rispettive restanti località.

Per completezza, si sottolinea che il numero delle località varia dal primo al terzo modello in quanto i rettilinei sono stati segmentati in base alla lontananza dai T-Red attraverso l'utilizzo delle diciture "*Vicinanza1000*", "*Vicinanza500*" e "*Vicinanza250*", affiancate alla denominazione della strada. Di conseguenza, all'aumentare del raggio preso in considerazione sono stati identificati più rettilinei che subiscono la segmentazione. Ad esempio, Corso Alessandro Tassoni presenta degli incidenti che sono avvenuti in un raggio di 1000 e 500 metri dai T-Red ma non a 250. Nel dataset degli incidenti avvenuti a 500 e 1000 metri dai T-Red, quindi, sarà presente la sua segmentazione mentre non sarà riportata nel dataset dei sinistri avvenuti a 250m dai dispositivi.

In linea con le aspettative, i coefficienti della variabile T-Red entrano con segno negativo nelle rette di regressione, ma tutte e tre le stime non sono statisticamente significative. L'analisi, quindi, esclude uno spillover positivo sull'incidentalità da parte dei T-Red nei siti limitrofi agli incroci monitorati, evidenziando come l'effetto sia concentrato nelle sole località regolate dai dispositivi.

Tabella 13: Analisi di regressione sul numero di incidenti per il secondo gruppo di specificazioni

VARIABLES	(1) Model 7 Road accidents	(2) Model 8 Road accidents	(3) Model 9 Road accidents
T-Red	-0.003 (0.003)	-0.002 (0.003)	-0.003 (0.003)
Constant	0.096*** (0.005)	0.095*** (0.004)	0.094*** (0.004)
Local Fixed Effects	YES	YES	YES
Data Fixed Effects	YES	YES	YES
Observations	322,704	325,080	329,328
R-squared	0.278	0.259	0.247
Adjusted R-squared	0.268	0.249	0.236
Number of locations	4482	4515	4574

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

La *Tabella 14*, invece, riporta tre specificazioni che differiscono dalle precedenti per la sola variabile dipendente. Anche in questo caso, tutte le specificazioni mettono in mostra una relazione negativa tra l'installazione dei dispositivi T-Red e il numero di feriti, ma l'impatto non è statisticamente significativo.

Tabella 14: Analisi di regressione sul numero di feriti per il secondo gruppo di specificazioni

VARIABLES	(1) Model 7 Road injuries	(2) Model 8 Road injuries	(3) Model 9 Road injuries
T-Red	-0.003 (0.004)	-0.004 (0.004)	-0.006 (0.004)
Constant	0.072*** (0.006)	0.071*** (0.005)	0.070*** (0.005)
Local Fixed Effects	YES	YES	YES
Data Fixed Effects	YES	YES	YES
Observations	322,704	325,080	329,328
R-squared	0.164	0.153	0.148
Adjusted R-squared	0.152	0.141	0.136
Number of locations	4482	4515	4574

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

3.4.3 I risultati del terzo gruppo di specificazioni

Il terzo gruppo di specificazioni restringe l'analisi alle sole intersezioni semaforizzate di cui si hanno a disposizione anche le informazioni riguardanti il flusso di traffico mensile.

L'idea di condurre tale studio deriva dall'esigenza di effettuare un'analisi controfattuale che ha l'obiettivo di verificare se le riduzioni del numero di sinistri e feriti registrate nelle intersezioni T-Red possano essere associate effettivamente all'installazione dei dispositivi, come suggerito dal primo gruppo di specificazioni, oppure siano solo solamente una conseguenza del fatto che i conducenti, consci della presenza dei T-Red, abbiano optato per cambiare le loro abitudini di guida imboccando strade non soggette al monitoraggio.

Per condurre tale studio, quindi, è stato necessario combinare i dati relativi all'incidentalità, messi a disposizione dal Comune di Torino, e quelli relativi al flusso di traffico, gentilmente concessi dalla società 5T.

A tal proposito, è importante sottolineare che al fine di ottenere un panel bilanciato di dati si è deciso di prendere in considerazione solo un sottoinsieme dei dispositivi di monitoraggio del traffico che presentano informazioni complete nell'intervallo temporale 2016-2021, composto da 13 sensori e 54 stazioni.

L'incrocio tra i due dataset ha restituito, quindi, un totale di 67 intersezioni semaforizzate di cui si hanno informazioni riguardanti il numero di sinistri, di feriti e di veicoli transitati mensilmente.

In tale sottoinsieme, rientrano quattro intersezioni semaforizzate regolate dai dispositivi T-Red che costituiscono il gruppo di trattamento delle specificazioni analizzate in questo paragrafo. In particolare, gli incroci individuati sono quelli tra corso Lecce, corso Potenza e corso Regina Margherita, tra corso Novara, corso Vercelli e corso Vigevano, appartenenti entrambi alla prima serie di attivazioni, e quelli tra corso Enrico Tazzoli e corso Giovanni Agnelli e tra corso Appio Claudio e corso Lecce, che sono coinvolti, invece, nella seconda serie di attivazioni. Il gruppo di controllo, invece, è composto dalle altre 63 intersezioni semaforizzate individuate mediante fusione dei dataset.

In *Tabella 15* vengono mostrate cinque specificazioni che condividono gli stessi gruppi di trattamento e controllo ma che differiscono nella definizione della variabile dipendente.

In particolare, il decimo e undicesimo modello (*colonne 1 e 2*) assumono rispettivamente come variabile dipendente il numero di sinistri e feriti in modo da poter verificare la loro relazione negativa con l'installazione dei dispositivi. In linea con le aspettative, entrambi i coefficienti risultano essere negativi e statisticamente significativi al 5% assestandosi rispettivamente a -0,253 e a -0,418.

Nel dodicesimo modello (*colonna 3*), quindi, si effettua l'analisi controfattuale considerando come variabile dipendente il logaritmo naturale del numero di veicoli registrati mensilmente. Dato che il coefficiente della variabile di interesse T-Red è positivo (0,105) e, soprattutto, non statisticamente significativo disponiamo di sufficienti prove per poter rigettare l'ipotesi di un minor traffico nelle intersezioni semaforizzate regolate dai dispositivi a seguito delle rispettive attivazioni. Possiamo, quindi, affermare che il traffico è rimasto pressoché invariato.

Di conseguenza, si esclude la possibilità che la riduzione del numero di incidenti e feriti registrati nelle intersezioni T-Red sia il risultato di un minor traffico e si riconferma, invece, l'impatto negativo e statisticamente significativo dei dispositivi sulle due variabili in questione. Tale risultato risulta essere più chiaro considerando il tredicesimo e quattordicesimo modello (*colonne 4 e 5*) che, scorporando l'effetto del traffico sulle due variabili, mettono in mostra, ancora una volta, la relazione negativa e statisticamente significativa tra i T-Red e il numero di sinistri (-0,255) e feriti (-0,421). Tali impatti risultano essere considerevoli dato che le medie mensili delle due variabili nelle intersezioni monitorate dai T-Red si assestano rispettivamente a 1,062 e a 1,294 nel periodo antecedente alla loro attivazione.

Tabella 15: Analisi di regressione per il terzo gruppo di specificazioni

VARIABLES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Model 10 Road accidents	Model 11 Road injuries	Model 12 ln(Vehicles)	Model 13 Road accidents	Model 14 Road injuries
T-Red	-0.253** (0.104)	-0.418** (0.206)	0.105 (0.085)	-0.255** (0.104)	-0.421** (0.207)
ln(Vehicles)				0.016 (0.019)	0.026 (0.023)
Constant	0.448*** (0.066)	0.537*** (0.119)	12.427*** (0.033)	0.253 (0.242)	0.218 (0.316)
Local Fixed Effects	YES	YES	YES	YES	YES
Data Fixed Effects	YES	YES	YES	YES	YES
Observations	4,824	4,824	4,824	4,824	4,824
R-squared	0.250	0.144	0.861	0.250	0.144
Adjusted R-squared	0.228	0.119	0.857	0.228	0.119
Number of locations	67	67	67	67	67

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

In conclusione, le analisi di regressione condotte permettono di affermare la presenza di una relazione causale negativa tra i T-Red e il numero di sinistri e feriti. In particolare, considerando i risultati riportati in *Tabella 11* e in *Tabella 12* e prendendo in considerazione le stime più ampie e significative, possiamo notare come i dispositivi possano contrastare efficacemente il fenomeno dell'incidentalità. Infatti, moltiplicando tali valori (-0,303 e -0,415) per il numero di intersezioni monitorate (8) e per 12 mensilità, si registra una riduzione annua di circa 29 sinistri e 40 feriti. Tali stime assumono una notevole importanza se confrontate con le medie annuali registrate per il quadriennio 2016-2019 che si assestano rispettivamente a 95,8 incidenti e 113,5 feriti.

In base a quanto riscontrato nella letteratura economica, questi risultati possono essere ragionevolmente associati ad un maggior enforcement del Codice della Strada che, aumentando la percezione dei conducenti di essere rilevati e sanzionati qualora commettano delle infrazioni semaforiche, incentiva loro a mantenere un comportamento alla guida più giudizioso in prossimità delle intersezioni con conseguente spillover positivo sull'incidentalità.

L'analisi, inoltre, rivela che nessun effetto si manifesta nelle località limitrofe agli incroci regolati ma che questo sembra essere concentrato nelle sole intersezioni semaforizzate monitorate dai dispositivi.

Lo studio, infine, permette di sciogliere anche i dubbi riguardanti un possibile cambiamento nelle abitudini di guida dei conducenti evidenziando come non si sia registrata nessuna variazione statisticamente significativa del flusso di traffico nelle intersezioni monitorate.

Conclusioni

Il decennio appena trascorso è stato caratterizzato da un notevole rallentamento del trend di riduzione del fenomeno dell'incidentalità sia a livello internazionale che nazionale. Nemmeno l'impatto delle restrizioni alla mobilità a causa della pandemia da Covid-19, che segna una marcata riduzione del numero di sinistri, decessi e feriti, è riuscito a controbilanciare l'andamento pressoché costante registrato negli ultimi anni portando così l'Europa e, in particolare, l'Italia a non raggiungere gli obiettivi prefissati per il 2020.

La sfida proposta per il nuovo decennio di dimezzare il numero di vittime e di feriti gravi entro il 2030 rispetto ai livelli del 2019 è ambiziosa e necessita di uno sforzo congiunto per essere raggiunta. Come sottolineato dal nuovo Piano Nazionale sulla Sicurezza Stradale 2030 la pianificazione degli interventi deve essere condotta con un metodo *evidence-based*, cioè sulla base dell'analisi scientifica dei dati [46].

Sotto tale prospettiva, il *Capitolo I* del presente elaborato evidenzia le iniziative intraprese a livello internazionale che tentano di mitigare i fattori di rischio principalmente associati a un comportamento inadeguato dei conducenti. L'analisi dei rispettivi risultati conduce a identificare l'*enforcement* del Codice della Strada come uno degli strumenti più efficaci nella lotta contro l'incidentalità. Tale ipotesi trova ampio riscontro nella relativa letteratura economica, la quale dimostra come normative più stringenti e una maggiore applicazione delle stesse possano determinare una migliore sicurezza stradale e contribuire notevolmente al raggiungimento degli obiettivi prefissati. In particolare, l'efficacia dell'*enforcement* del Codice della Strada risulta più elevata se i controlli da parte degli organi di polizia sono difficili da evitare, si concentrano sulle infrazioni che hanno una relazione diretta con gli incidenti stradali e se sono seguiti da sanzioni proporzionate e dissuasive.

Il presente elaborato, dunque, è stato svolto con lo scopo di valutare se i dispositivi di rilevamento e sanzionamento delle infrazioni semaforiche T-Red possano portare ad una migliore sicurezza stradale, dato il rispetto delle caratteristiche sopracitate. La loro installazione nella città di Torino, infatti, è motivata dalla necessità di ridurre l'incidentalità nelle intersezioni in quanto luoghi con i più alti indici di lesività. Effettivamente è quanto accade.

In particolare, basandosi sui dati dei sinistri stradali registrati dal 2016 al 2021, messi a disposizione dal Comune di Torino, lo studio rivela una

relazione causale negativa tra i dispositivi e il numero di incidenti e feriti. Emerge, inoltre, dal *Capitolo III* che l'effetto è concentrato nelle sole intersezioni semaforizzate regolate e non si manifesta nessun spillover positivo nelle località limitrofe. Tali risultati sono resistenti a diverse specificazioni basate sul metodo OLS con effetti fissi e resi più robusti da un'analisi controfattuale che esclude la possibilità di una riduzione delle due variabili legata ad un minor traffico dato che i conducenti, consci della presenza dei T-Red, avrebbero potuto optare per cambiare le loro abitudini di guida imboccando strade non soggette al monitoraggio.

Senza dubbio la mobilità è un elemento imprescindibile della nostra società che purtroppo produce delle esternalità negative come i sinistri stradali. Le iniziative, però, non devono avere l'obiettivo di ridurre il numero di veicoli in circolazione ma piuttosto quello di rendere gli spostamenti più sicuri.

Il presente elaborato, infatti, si oppone all'idea diffusa secondo la quale gli incidenti siano degli eventi del tutto aleatori, cioè caratterizzati da poco margine per intraprendere delle azioni preventive che ne abbattano la frequenza di accadimento, e confuta il fatalismo secondo il quale decessi e feriti siano il prezzo da pagare per garantire la mobilità. Sotto tale ottica, i dispositivi T-Red possono rappresentare uno strumento efficace nella lotta contro l'incidentalità e contribuire notevolmente agli obiettivi nazionali volti ad una migliore sicurezza stradale.

È necessario, però, uno sforzo congiunto. La straordinaria e immediata risposta globale alla pandemia da Covid-19 ha dimostrato come i responsabili politici e la società nel suo complesso possono agire efficacemente se tutti lavorano verso un obiettivo comune. Se si applicasse la stessa intensità alla sicurezza stradale ci sarebbero risultati ben più evidenti e tangibili. Sicuramente, però, gli incidenti e i decessi non sono il prezzo da pagare per garantire la mobilità.

Bibliografia

- [1] World Health Organization, «Road traffic injuries», [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>.
- [2] World Health Organization, «Global Plan for the Decade of Action for road safety 2011-2020 2011», [Online]. Available: <https://www.who.int/publications/m/item/global-plan-for-the-decade-of-action-for-road-safety-2011-2020>.
- [3] Organizzazione delle Nazioni Unite, «Obiettivi per lo sviluppo sostenibile», [Online]. Available: <https://unric.org/it/agenda-2030/>.
- [4] World Health Organization, «Save LIVES: a road safety technical package», 2017. [Online]. Available: <https://www.who.int/publications/i/item/save-lives-a-road-safety-technical-package>.
- [5] World Health Organization, «The global health observatory», [Online]. Available: https://www.who.int/data/gho/data/themes/topics/sdg-target-3_6-road-traffic-injuries.
- [6] World Health Organization, «Global status report on road safety», 2018. [Online]. Available: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565684>.
- [7] Commissione Europea, «Sicurezza stradale: orientamenti 2011-2020 per la sicurezza stradale», 2010. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=LEGISSUM:tr0036>.
- [8] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, «Piano Nazionale di Sicurezza Stradale - Orizzonte 2020», 2014. [Online]. Available: <https://www.mit.gov.it/progetto/piano-nazionale-di-sicurezza-stradale-orizzonte-2020>.
- [9] Comune di Torino, «Deliberazione della Giunta Comunale - Linee di indirizzo per la redazione del piano operativo di sicurezza stradale 2019-2021: verso una "Vision Zero"», 2018. [Online]. Available: http://www.comune.torino.it/giunta_comune/intracom/htdocs/2018/2018_06749.pdf.
- [10] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, «Decreto Dirigenziale protocollo 4670 del 28/07/2016», 2016. [Online]. Available: <https://www.mit.gov.it/node/3851>.

- [11] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, «Decreto Dirigenziale protocollo 4020 del 21/06/2017», 2017. [Online]. Available: <https://www.mit.gov.it/normativa/decreto-dirigenziale-protocollo-4020-del-21062017#:~:text=E%20estesa%20l'approvazione%20del,AXIS%20P1365MKII>.
- [12] Engine srl, «Enves EVO MVD – Multi violation detection», [Online]. Available: <https://www.engineonline.it/eng/it/prodotti/enves-evo-mvd-multi-violation-detection/>.
- [13] Comune di Torino, «Controllo del rosso», [Online]. Available: <http://www.comune.torino.it/vigiliurbani/traffico-ztl-velox/controllo-del-rosso/>.
- [14] Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili, «Piano Nazionale Sicurezza Stradale 2030: indirizzi generali e linee guida di attuazione», 2021. [Online]. Available: <https://www.mit.gov.it/node/15908>.
- [15] Organizzazione delle Nazioni Unite, «Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages», [Online]. Available: <https://sdgs.un.org/goals/goal3>.
- [16] Organizzazione delle Nazioni Unite, «Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable», [Online]. Available: <https://sdgs.un.org/goals/goal11>.
- [17] World Health Organization, «Global Plan for the Decade of Action for road safety 2021-2030», 2021. [Online]. Available: <https://www.who.int/publications/m/item/global-plan-for-the-decade-of-action-for-road-safety-2021-2030>.
- [18] Commissione Europea, «Promuovere la sicurezza stradale nell'Unione europea - Il programma 1997-2001», 1998. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A51998IP0065>.
- [19] Commissione Europea, «Libro bianco: la politica europea dei trasporti fino al 2010», 2001. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/IT/legal-content/summary/white-paper-european-transport-policy-for-2010.html>.
- [20] Commissione Europea, «Comunicazione della Commissione - Programma di azione europeo per la sicurezza stradale: dimezzare il numero di vittime della strada nell'Unione Europea entro il 2010», 2003. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A52003DC0311&qid=1657645042360>.

- [21] European Transport Safety Council, «Fifth Road Safety PIN Report», 2011. [Online]. Available: <https://etsc.eu/5th-annual-road-safety-performance-index-pin-report/>.
- [22] Commissione Europea, «Verso uno spazio europeo della sicurezza stradale: orientamenti 2011-2020 per la sicurezza stradale», 2010. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=celex%3A52010DC0389>.
- [23] European Transport Safety Council, «Fifteenth Road Safety PIN Report», 2021. [Online]. Available: <https://etsc.eu/15th-annual-road-safety-performance-index-pin-report/>.
- [24] European Transport Safety Council, «Fourteenth Road Safety PIN Report», 2019. [Online]. Available: <https://etsc.eu/14th-annual-road-safety-performance-index-pin-report/>.
- [25] Commissione Europea, «Una mobilità sostenibile per l'Europa: sicura, interconnessa e pulita», 2018. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=COM:2018:293:FIN>.
- [26] Parlamento Europeo, «Quadro strategico dell'UE per la sicurezza stradale 2021-2030: raccomandazioni sulle prossime tappe verso l'obiettivo "zero vittime"», 2022. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A52021IP0407&qid=1657712031031>.
- [27] Commissione Europea, «Raccomandazione della Commissione relativa all'applicazione della normativa in materia di sicurezza stradale (2004/345/CE)», 2004.
- [28] European Transport Safety Council, «How traffic law enforcement can contribute to safer roads», 2022. [Online]. Available: <https://etsc.eu/how-traffic-law-enforcement-can-contribute-to-safer-roads-pin-flash-42/>.
- [29] The World Bank, «The World by Income and Region», [Online]. Available: <https://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/the-world-by-income-and-region.html>.
- [30] O. Ashenfelter e M. Greenstone, «Using mandated speed limits to measure the value of a statistical life», *Journal of political Economy*, vol. 112.S1, pp. 226-267, 2004.
- [31] A. V. Benthem, «What is the optimal speed limit on freeways?», *Journal of Public Economics*, vol. 124, pp. 44-62, 2015.
- [32] J. C. Fell e R. B. Voas, «Reducing illegal blood alcohol limits for driving: effects on traffic safety», in *Drugs, Driving and Traffic Safety*, 2009, pp. 415-437.

- [33] A. Cohen e L. Einav, «The effects of mandatory seat belt laws on driving behavior and traffic fatalities», *Review of Economics and Statistics*, vol. 85.4, pp. 828-843, 2003.
- [34] R. Abouk e S. Adams, «Texting bans and fatal accidents on roadways: do they work? Or do drivers just react to announcements of bans?», *American Economic Journal*, vol. 5.2, pp. 179-199, 2013.
- [35] M. Elliot e J. Broughton, «How methods and levels of policing affect road casualty rates», 2005.
- [36] G. DeAngelo e B. Hansen, «Life and death in the fast lane: Police enforcement and traffic fatalities», *American Economic Journal*, vol. 6.2, pp. 231-257, 2014.
- [37] P. Bertoli e V. Grembi, «The political cycle of road traffic accidents», *Journal of health economics*, vol. 76, n. 102435, 2021.
- [38] D. L. Luca, «Do traffic tickets reduce motor vehicle accidents? Evidence from a natural experiment», *Journal of Policy Analysis and Management*, vol. 34.1, pp. 85-106, 2015.
- [39] S. Bauernschuster e R. Rekers, «Speed limit enforcement and road safety», *Journal of Public Economics*, vol. 210, n. 104663, 2022.
- [40] R. A. Retting, A. F. Williams, C. M. Farmer e A. F. Feldman, «Evaluation of red light camera enforcement in Oxnard, California», *Accident Analysis & Prevention*, vol. 31.3, pp. 169-174, 1999.
- [41] A. T. McCartt e W. Hu, «Effects of red light camera enforcement on red light violations in Arlington County, Virginia», *Journal of safety research*, vol. 48, pp. 57-62, 2014.
- [42] R. A. Retting e S. Y. Kyrychenko, «Reductions in injury crashes associated with red light camera enforcement in Oxnard, California», *American journal of public health*, vol. 92.11, pp. 1822-1825, 2002.
- [43] W. Hu, A. T. McCartt e E. R. Teoh, «Effects of red light camera enforcement on fatal crashes in large US cities», *Journal of safety research*, vol. 42.4, pp. 277-282, 2011.
- [44] W. Hu e J. B. Cicchino, «Effects of turning on and off red light cameras on fatal crashes in large US cities», *Journal of safety research*, vol. 61, pp. 141-148, 2017.
- [45] Wikipedia, «Comuni d'Italia per popolazione», [Online]. Available: https://it.wikipedia.org/wiki/Comuni_d%27Italia_per_popolazione.
- [46] Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili, «Piano Nazionale Sicurezza Stradale 2030», 2022. [Online]. Available: <https://www.mit.gov.it/node/15908>.
- [47] World Bank Data Team, «New country classifications by income level: 2017-2018», [Online]. Available:

<https://blogs.worldbank.org/opendata/new-country-classifications-income-level-2017-2018>.

- [48] M. C. Jensen e W. H. Meckling, «Theory of the Firm: Managerial Behavior, Agency Costs and Ownership Structure», *Journal of Financial Economics*, vol. 3, n. 4, pp. 305-360, 1976.
- [49] European Transport Safety Council, «The Impact of Covid-19 Lockdowns on Road Deaths in April 2020», 2020. [Online]. Available: <https://etsc.eu/pin-briefing-the-impact-of-covid-19-lockdowns-on-road-deaths-in-april-2020/>.

