



Scuola di Dottorato in Ingegneria Civile

**Dottorato di Ricerca in
Ingegneria dei Sistemi Idraulici, di Trasporto e Territoriali
XXVI ciclo**

Metodi quantitativi per la gestione della sicurezza stradale

Lella Liana Imbriani

Relatore

Prof. Ing. Alfonso Montella

Controrelatore

Prof. Ing. Bruna Festa

Indice

1.	Introduzione	3
2.	Analisi della letteratura	5
2.1	Gli incidenti stradali.....	5
2.2	I sistemi di gestione della sicurezza	11
2.3	Le banche dati degli incidenti stradali	14
2.4	Le funzioni di prestazione della sicurezza	34
2.5	I fattori di modificazione degli incidenti	47
3.	Il metodo di analisi	53
3.1	Il metodo lineare generalizzato (GLM) per la calibrazione delle funzioni di prestazione della sicurezza.....	53
3.2	Il metodo empirico Bayesiano (EB) per la stima dei fattori di modificazione degli incidenti	56
4.	I dati di studio.....	61
4.1	Il sistema Tutor per il controllo della velocità media	61
4.2	La banca dati degli incidenti	70
4.3	La banca dati geometrici.....	86
4.4	La banca dati di traffico	93
5.	Le funzioni di prestazione della sicurezza.....	109
5.1	Le funzioni di prestazione della sicurezza nei sito di controllo	109
5.2	Le funzioni di prestazione della sicurezza nei sito di intervento	129
6.	Efficacia del sistema Safety Tutor.....	141
6.1	La percezione da parte degli utenti	141
6.2	L'effetto sulle velocità	151
6.3	L'effetto sugli incidenti: fattori di modificazione degli incidenti.....	155
6.4	L'effetto sugli incidenti: funzioni di modificazione degli incidenti	182
7	Conclusioni	195
	Bibliografia	198

1. Introduzione

L'incidentalità stradale è uno dei problemi di maggiore rilevanza per le gravissime conseguenze che ne derivano. Più di 3.500 persone muoiono ogni giorno sulle strade del mondo, per un totale annuo di 1.3 milioni di morti e 50 milioni di feriti (WHO, 2010).

Il 20 luglio 2010 la Commissione Europea ha presentato un nuovo programma incentrato sulla sicurezza stradale con l'obiettivo di dimezzare, nei prossimi dieci anni, le vittime d'incidenti stradali in Europa (*ETSC, 2011*).

Le iniziative proposte vanno da una più rigorosa applicazione delle norme del Codice della Strada, a regole più esigenti in materia di sicurezza dei veicoli e delle infrastrutture, all'educazione degli utenti della strada. In particolare sono stati prefissati sette obiettivi strategici:

- miglioramento dell'educazione stradale e della preparazione degli utenti della strada;
- rafforzamento dell'applicazione della normativa stradale;
- miglioramento della sicurezza delle infrastrutture stradali;
- miglioramento della sicurezza dei veicoli;
- promozione dell'uso delle moderne tecnologie per migliorare la sicurezza stradale;
- miglioramento dei servizi di emergenza e assistenza post-incidente;
- protezione degli utenti vulnerabili della strada.

Gli interventi di ingegneria della sicurezza influenzano in maniera diretta il comportamento del conducente. Per questa ragione la valutazione dell'efficacia degli interventi risulta cruciale nello studio della sicurezza stradale. Quindi, occorre definire metodologie adeguate per valutare l'impatto sulla sicurezza stradale delle scelte di progetto, così come previsto dalla Direttiva 2008/96/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 novembre 2008 sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali. La stima degli effetti degli interventi sulla sicurezza è difatti il punto fondamentale per effettuare scelte basate su analisi benefici/costi o analisi multicriteria. Solo una corretta stima degli effetti degli interventi può consentire procedure di ottimizzazione per la migliore allocazione delle risorse per la messa in sicurezza delle infrastrutture e per effettuare scelte razionali in fase di progettazione. Attualmente la scelta degli interventi di miglioramento della sicurezza e quindi l'allocazione delle risorse viene effettuata sulla base di criteri soggettivi anche a causa delle difficoltà relative alla stima della sicurezza dell'infrastruttura, alla scarsa disponibilità e qualità dei dati di incidenti stradali, dovuta alle procedure di rilievo e di archiviazione attualmente adottate, alla scarsa

disponibilità di informazioni relative alle caratteristiche dell'infrastruttura ed alle condizioni di circolazione.

L'obiettivo della tesi è stato quello di definire metodi quantitativi per la valutazione della sicurezza stradale mediante la calibrazione di modelli predittivi delle velocità operative, di modelli predittivi degli incidenti nonché la definizione di fattori e funzioni di modificazione degli incidenti.

Nell'ambito dell'attività di ricerca svolta durante i tre anni di dottorato, sono state progettate e realizzate la banca dati degli interventi di miglioramento della sicurezza stradale, la banca dati degli incidenti stradali, la banca dati dei traffici e la banca dati geometrici, relativamente alle autostrade oggetto di studio: la Tangenziale di Napoli e l'autostrada A16 tratto Napoli – Candela.

L'intervento di miglioramento della sicurezza analizzato è stato il sistema Safety Tutor installato nel febbraio 2009 sulla Tangenziale di Napoli su sette tratte: 4 tratte consecutive per la direzione Est (E1, E2, E3, E4) per una lunghezza complessiva di circa 13 km e 3 tratte consecutive per la direzione Ovest (W1, W2, W3) per una lunghezza complessiva di circa 5 km.

Sono stati calibrati, inoltre modelli predittivi delle velocità operative, ovvero funzioni matematiche che relazionano la velocità operativa con le caratteristiche geometriche della strada. I dati di velocità utilizzati per la calibrazione dei modelli predittivi delle velocità sono stati ricavati attraverso una sperimentazione condotta sull'autostrada A16 tratto Napoli – Avellino Est tra giugno 2011 e settembre 2011 con il veicolo strumentato del Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Ambientale. Quindi, sono stati calibrati i modelli predittivi degli incidenti nei siti di controllo e nei siti di intervento con la tecnica di regressione dei modelli lineari generalizzati che consente di tener conto della circostanza che gli incidenti sono eventi rari, discreti e non negativi.

Determinati i modelli predittivi degli incidenti, per valutare l'efficacia degli interventi di miglioramento della sicurezza sono state effettuate analisi del tipo before-after con il metodo empirico Bayesiano. Tale metodo ha consentito la valutazione di efficacia degli interventi di miglioramento della sicurezza in termini di riduzione dell'incidentalità e la calibrazione dei fattori di modificazione degli incidenti. Infine, è stato studiato il legame tra i fattori di modificazione degli incidenti e le velocità e tra i fattori di modificazione degli incidenti e la curvatura degli elementi geometrici della Tangenziale di Napoli.

2. Analisi della letteratura

2.1 Gli incidenti stradali

2.1.1 Le statistiche d'incidente in Europa

Gli incidenti stradali rappresentano un problema di grave rilevanza sociale per l'elevato numero di morti e di feriti. Nel mondo, si verificano ogni anno 1.3 milioni di morti e 50 milioni di feriti a causa degli incidenti stradali. L'Organizzazione Mondiale della Sanità prevede che nel 2020 gli incidenti stradali causeranno oltre 1.9 milioni di morti e saranno la terza causa di morte e la prima causa di morte per i giovani (WHO, 2010).

Nella sola Unione Europea (UE-27), come mostrato in Tabella 1, nel 2012 sono stati rilevati più di 1 milione di incidenti, che hanno causato il decesso di oltre 28 mila persone, mentre oltre un milione hanno subito lesioni di diversa gravità.

L'analisi dell'incidentalità nel lungo termine mostra una costante riduzione della gravità (Tabella 1 e Figura 1), evidenziata dall'indice di mortalità che si attesta al 5.28% nel 1991, contro il 2.61% del 2012.

Tabella 1 – Statistiche degli incidenti dal 1991 al 2012 in EU-27 (Fonte: <http://ec.europa.eu/>).

Anno	Incidenti	Morti	Feriti	Morti/Incidenti [%]
1991	1'444'623	76'230	1'907'125	5.28
1992	1'434'795	71'535	1'894'423	4.99
1993	1'374'434	66'245	1'811'261	4.82
1994	1'405'067	64'707	1'861'362	4.61
1995	1'420'352	63'955	1'894'225	4.50
1996	1'408'916	60'130	1'885'557	4.27
1997	1'435'023	60'981	1'920'045	4.25
1998	1'451'802	59'628	1'937'278	4.11
1999	1'482'628	58'353	1'978'197	3.94
2000	1'462'996	57'082	1'945'284	3.90
2001	1'479'099	54'949	2'008'744	3.72
2002	1'426'950	53'969	1'960'845	3.78
2003	1'406'784	51'052	1'893'877	3.63
2004	1'360'513	47'898	1'820'790	3.52
2005	1'341'981	45'943	1'769'141	3.42
2006	1'320'636	43'718	1'742'224	3.31
2007	1'320'520	43'159	1'747'644	3.27
2008	1'255'403	39'605	1'653'612	3.15
2009	1'204'720	35'361	1'595'426	2.94
2010	1'130'361	31'484	1'500'225	2.79
2011	1'128'524	30'686	1'484'036	2.72
2012	1'078'746	28'136	1'340'000	2.61

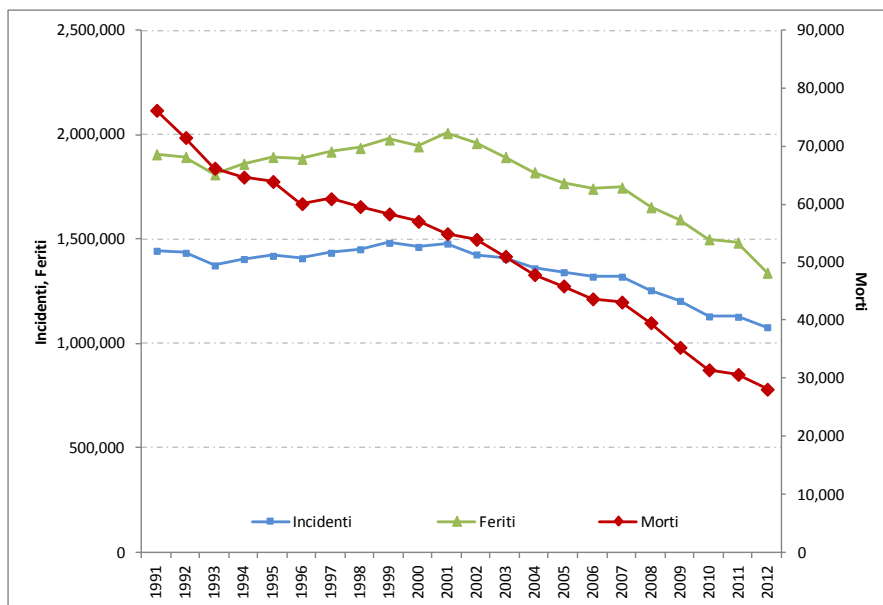


Figura 1 – Numero di incidenti, feriti e morti dal 1991 al 2012 in EU-27 (Fonte: <http://ec.europa.eu/>).

Nonostante la riduzione del numero di incidenti e del numero di vittime negli ultimi anni, l'obiettivo fissato dalla Commissione Europea nel 2001 (*WHO, 2004; ANCI – UPI, 2010*), che prevedeva la riduzione della mortalità del 50% entro il 2010 non è stato raggiunto.

2.1.2 Le statistiche d'incidente in Italia

In Italia, la mortalità per incidente stradale è fra le più elevate rispetto al resto dell'Europa. Ogni anno in Italia circa 5'000 persone perdono la vita a causa di incidenti stradali, 120'000 sono feriti gravi di cui 15'000 restano invalidi gravi (*ISTAT, 2013*). L'andamento del numero di incidenti con morti e feriti è stato in crescente aumento fino all'anno 2002 e poi ha subito una graduale decrescita (Tabella 2, Figura 2). In particolare, gli incidenti sono diminuiti del 30%, passando da 256'546 nel 2002 a 186'726 nel 2012, mentre il numero delle vittime è diminuito del 48% (in linea con la media europea pari al -42,8%), passando da 7'096 nel 2001 a 3'653 decessi nel 2012, nonostante il numero di veicoli circolanti si sia più che triplicato. In tale periodo è stata registrata una costante riduzione della gravità degli incidenti, evidenziata dall'indice di mortalità che si attesta al 1.96% nel 2012 contro il 2.75% del 2000.

Tabella 2 – Statistiche degli incidenti dal 1991 al 2012 in Italia (Fonte: ISTAT, 2013).

Anno	Incidenti	Morti	Feriti	Morti/Incidenti [%]
1991	170'702	7'498	240'688	4.39
1992	170'814	7'434	241'094	4.35
1993	148'032	6'645	206'689	4.49
1994	170'679	6'578	239'184	3.85
1995	182'761	6'512	259'571	3.56
1996	190'068	6'193	272'115	3.26
1997	190'031	6'226	270'962	3.28
1998	204'615	6'342	293'842	3.10
1999	219'032	6'633	316'698	3.03
2000	256'546	7'061	360'013	2.75
2001	263'100	7'096	373'286	2.70
2002	265'402	6'980	378'491	2.63
2003	252'271	6'563	356'475	2.60
2004	243'487	6'122	343'177	2.51
2005	240'010	5'818	334'855	2.42
2006	238'121	5'669	332'947	2.38
2007	230'868	5'131	325'847	2.22
2008	218'963	4'725	310'745	2.16
2009	215,404	4,237	307,254	1.97
2010	212,997	4,114	304,720	1.93
2011	205,638	3,860	292,019	1.88
2012	186,726	3,653	264,716	1.96

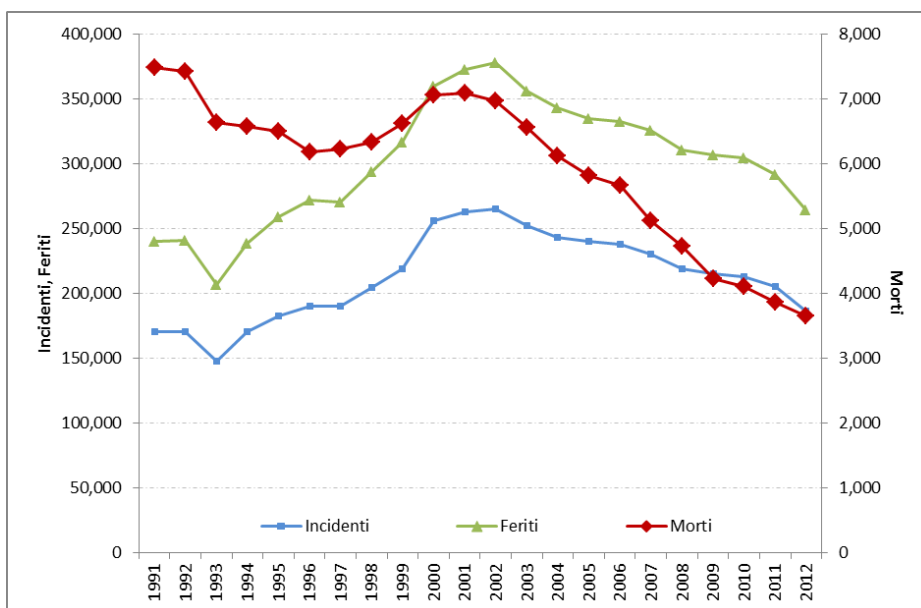


Figura 2 – Numero di incidenti, morti e feriti dal 1991 al 2012 in Italia (Fonte: ISTAT, 2013).

Disaggregando le differenti tipologie di strade (Tabella 3, Figura 3 e Figura 4), si evidenzia che anche se sulle strade urbane si ha una percentuale di incidenti maggiore (76.39%) il rapporto di mortalità più elevato di riscontra su altre strade (5.91%).

Tabella 3 – Statistiche degli incidenti per tipo di strada dal 2001 al 2012 (Fonte: ISTAT, 2013).

Tipologia	Incidenti	Morti	Feriti	I/I _{Tot} [%]	M/M _{Tot} [%]	F/F _{Tot} [%]	M/I [%]
Strada urbana	2'118'176	28'177	2'858'909	76.39	44.05	72.85	1.33
Autostrada	158'531	6'472	269'599	5.72	10.12	6.87	4.08
Altra strada	496'280	29'319	796'024	17.90	45.83	20.28	5.91
Totale	2'772'987	63'968	3'924'532	100.00	100.00	100.00	2.31

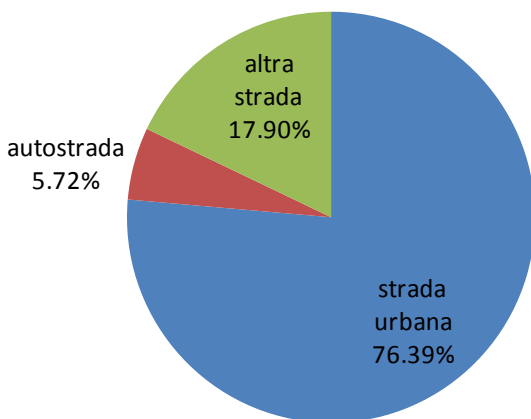


Figura 3 – Percentuale di incidenti per tipo di strada.

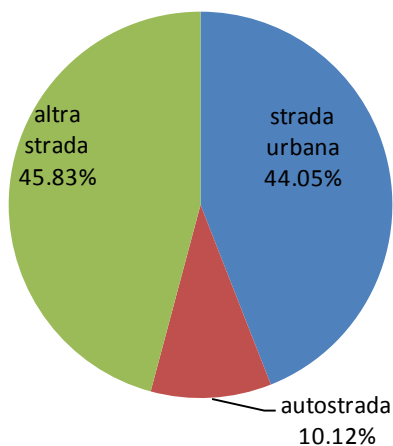


Figura 4 – Percentuale di incidenti morti per tipo di strada.

2.1.3 I fattori contributivi degli incidenti

I fattori che contribuiscono al verificarsi degli incidenti sono legati all'utente, ai veicoli, alla strada, alle condizioni atmosferiche e all'ambiente circostante.

La grande maggioranza degli incidenti stradali è dovuta ad un'errata valutazione da parte del conducente (60%) ed alla cattiva interazione tra utente e infrastruttura (26%) (Falconetti, 2012).

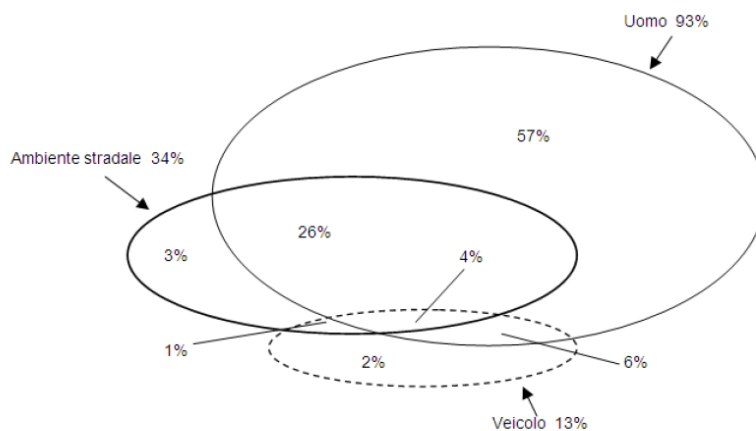


Figura 5 – Le cause degli incidenti

I fattori determinanti precedenti all'incidente possono essere ad esempio dovuti alle cattive condizioni delle infrastrutture viarie o dei veicoli o alla poca attenzione prestata dai conducenti durante la guida e la loro rimozione avrebbe evitato la collisione. È importante valutare le cause durante l'evento incidentale perché esse sono alla base della maggiore o minore gravità dell'evento stesso, infatti il mancato uso di dispositivi di sicurezza, quali cinture o caschi, il cattivo funzionamento degli airbag, la presenza di oggetti contundenti nel veicolo o ancora l'urto violento e ad un'elevata velocità contro un ostacolo fisso, sono condizioni che possono solo aumentare la gravità delle conseguenze dell'incidente. Non meno influenza hanno gli eventi che accadono subito dopo un incidente sugli esiti dello stesso. Infatti fattori come la tempestività dei soccorsi e la qualità delle cure riducono fortemente la gravità delle conseguenze.

Le cause degli incidenti sono frequentemente attribuite ad errori dei guidatori, infatti è stato stimato che nel 90% degli incidenti il comportamento umano è la causa dominante o concausa (Weller et al., 2006). Il comportamento degli utenti è sicuramente uno dei fattori maggiormente determinanti ai fini dell'insorgere di un incidente (Figura 6, Figura 7 e Figura 8).

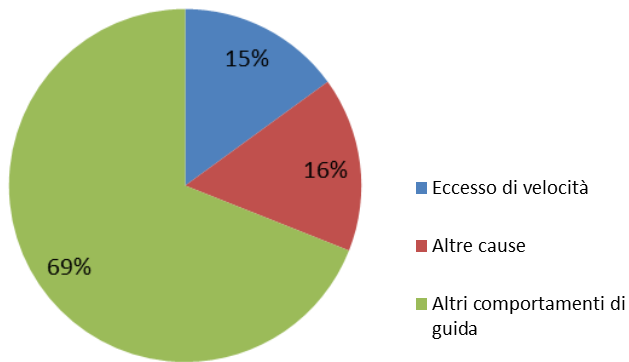


Figura 6 – Le cause degli incidenti, ISTAT 2008-2010.

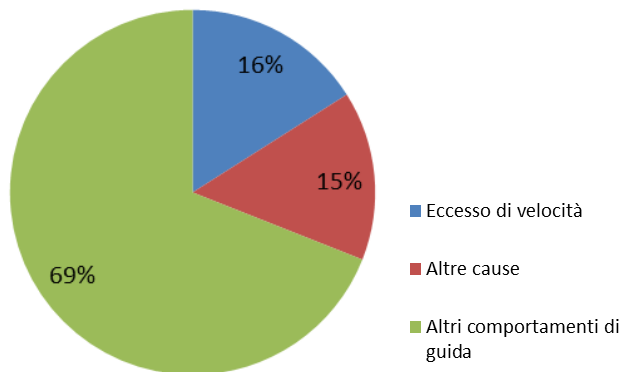


Figura 7 – Le cause degli incidenti con feriti, ISTAT 2008-2010.

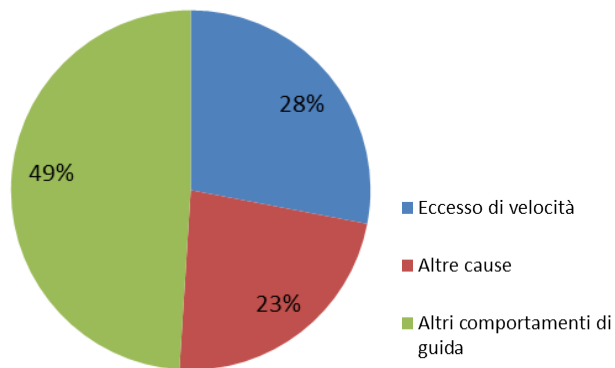


Figura 8 – Le cause degli incidenti con morti, ISTAT 2008-2010.

L'elevata velocità di guida, ossia velocità di marcia superiore ai limiti legali o inappropriata in relazione alle condizioni della strada, può essere un fattore importante per la sicurezza stradale, ed è strettamente correlata sia con la gravità sia con la probabilità degli incidenti (Liu et al., 2009; Hauer, 2009). L'eccesso di velocità riduce la capacità del conducente di reagire a situazioni di emergenza, infatti, si riduce il tempo disponibile per acquisire le informazioni che la strada fornisce all'utente in modo che questo possa prendere una decisione, di conseguenza il tempo di reazione diminuisce all'aumentare della velocità. Inoltre, la distanza necessaria per l'arresto del veicolo è proporzionale al quadrato della velocità, essa aumenta con la velocità, quindi anche se l'eccesso di velocità non è la causa dell'incidente, la probabilità di evitare l'incidente è maggiore se la velocità è minore (Elvik et al., 2004; Mauriello, 2010).

Lo studio dei fattori umani si pone l'obiettivo di ricercare nell'infrastruttura e nel contesto in cui essa si inserisce i motivi che inducono particolari manovre o atteggiamenti di guida, cercando soluzioni che riducono non tanto gli effetti di un evento critico, piuttosto la probabilità che il guidatore inneschi i presupposti per un incidente (AIPCR, 2010).

La difficoltà nel comprendere come intervenire per ridurre o eliminare le cause che hanno portato gli utenti a commettere errori nell'interazione con l'ambiente circostante è data dal fatto che ogni incidente è il risultato di un'unica catena di eventi e non è sempre possibile individuare tutti gli elementi ed i loro collegamenti. Realizzare questo tipo di analisi a livello nazionale è complesso data anche la scarsità dei dati disponibili.

2.2 I sistemi di gestione della sicurezza

Negli ultimi anni l'Unione Europea ha mostrato un costante interesse al problema della sicurezza stradale.

La Commissione Europea ha fissato come obiettivo fondamentale quello di dimezzare entro il 2020 il numero dei morti in incidenti stradali rispetto al 2010. Gli obiettivi strategici del piano EU 2011 – 2020 sono:

- Migliorare l'educazione e l'addestramento di tutti gli utenti della strada
- Aumentare il controllo delle regole di circolazione
- Infrastrutture stradali più sicure
- Veicoli più sicuri
- Uso di moderne tecnologie per migliorare la sicurezza
- Migliorare i servizi di emergenza e di primo soccorso
- Proteggere gli utenti deboli (pedoni, ciclisti e motociclisti).

L'ultimo strumento normativo emanato a livello Europeo è la Direttiva 2008/96/EC (*Parlamento Europeo, 2008*), la quale si propone di indicare le azioni mirate al miglioramento della sicurezza: dalla pianificazione, al progetto, alla gestione delle infrastrutture stradali.

L'applicazione della Direttiva è indirizzata alle strade che fanno parte della rete trans-europea, siano esse in fase di progettazione, in costruzione o già aperte al traffico. Ovvero entro il 2020 sarà necessario mettere in sicurezza i 6.000 km di autostrade nazionali (rete TEN). In realtà si tratta di una parte molto esigua della rete stradale nazionale in quanto:

- la rete a carattere nazionale extraurbano è di circa 20.000 km;
- la rete provinciale e regionale è circa 150.000 km;
- le reti comunali extraurbane sono circa 300.000 km;
- le reti dei capoluoghi di provincia sono circa 68.000 km.

Gli strumenti individuati dalla Direttiva 2008/96/EC per migliorare la sicurezza stradale sono (Figura 9):

- a) In fase di pianificazione: la valutazione d'impatto sulla sicurezza stradale per i progetti di infrastruttura;
- b) In fase di progettazione: i controlli della sicurezza stradale per i progetti di infrastruttura ovvero l'analisi preventiva di sicurezza di un progetto al fine di identificarne le possibili criticità prima che sia realizzato e fornire le raccomandazioni mirate a mitigare le criticità;
- c) In fase di gestione: la classificazione e la gestione della sicurezza della rete stradale aperta al traffico al fine di poter individuare le contromisure in grado di ridurre l'incidentalità sui tratti della rete ad elevato rischio e le ispezioni di sicurezza sulle strade esistenti al fine di determinare le criticità presenti sugli elementi della rete stradale con l'obiettivo di predisporre gli interventi finalizzati a prevenire gli incidenti.



Figura 9 – Strumenti per il miglioramento della sicurezza stradale.

L'Italia ha affrontato il problema nella sicurezza stradale per la prima volta con la legge 17 maggio 1999, n. 144, art. 32 che prevedeva la realizzazione di un Piano Nazionale per la Sicurezza Stradale, i cui indirizzi generali e linee guida sono stati predisposti dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (*Ministero dei Lavori Pubblici, 2001*). I piani di attuazione del 2002 e 2003 hanno efficacemente incentivato la presa di coscienza del problema da parte degli enti gestori di strade ed hanno sollecitato iniziative mirate al miglioramento della sicurezza stradale (*Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2002 – Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2003*).

Il D.Lgs. n.35/11 di recepimento della Direttiva 2008/96/CE del Parlamento Europeo sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali introduce una serie di procedure finalizzate al miglioramento della sicurezza delle infrastrutture, al miglioramento della gestione della sicurezza stradale e all'aumento delle prestazioni di sicurezza delle strade esistenti, concentrando gli investimenti sui tratti che presentano la concentrazione più elevata di incidenti e/o il maggiore potenziale di riduzione degli incidenti. Il D.Lgs. n.35/11 va anche oltre il semplice recepimento della Direttiva laddove prevede la sua applicazione a decorrere dal 1° gennaio 2016 anche alle strade appartenenti alla rete di interesse nazionale, individuata dal decreto legislativo 29 ottobre 1999, n. 461, e successive modificazioni, non comprese nella rete stradale trans-europea (art.1, c.3).

Inoltre nel 2012, sono state emanate, ai sensi dell'art. 8 del decreto legislativo n.35/2011 di attuazione della Direttiva 2008/96/CE sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali, le Linee Guida per la gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali (*Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, 2012*).

2.3 Le banche dati degli incidenti stradali

La gestione dei dati di incidente è fondamentale per una corretta gestione della sicurezza stradale in quanto la disponibilità e la qualità dei dati influenzano le decisioni per l'allocazione delle risorse per la messa in sicurezza delle infrastrutture.

La direttiva europea 2008/96/CE del Parlamento Europeo sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali, al fine di migliorare il livello di sicurezza delle strade esistenti, richiede il miglioramento delle procedure di gestione della sicurezza stradale e l'aumento delle prestazioni di sicurezza delle strade esistenti, concentrando gli investimenti sui tratti che presentano la concentrazione più elevata di incidenti e/o il maggiore potenziale di riduzione degli incidenti. La disponibilità e la qualità dei dati di incidente influenzano fortemente le decisioni per l'allocazione delle risorse per la messa in sicurezza delle infrastrutture. Quindi, la corretta applicazione della Direttiva si basa sulla disponibilità di una banca dati degli incidenti stradali completa, accurata, affidabile e aggiornata. La direttiva europea 2008/96/CE definisce i requisiti minimi per i rapporti di incidenti mortali sulla strade che fanno parte della rete trans-europea. Purtroppo, però la direttiva ha limitazioni significative in quanto si applica solo per gli incidenti mortali e solo per gli incidenti che avvengono sulla rete stradale trans-europea. Inoltre, i requisiti della direttiva sono troppo generici e non garantiscono efficacia e uniformità.

La maggior parte dei paesi sviluppati investono molte risorse per la raccolta dati ed il miglioramento delle banche dati nazionali. L'Italia è ancora molto lontana dalle migliori pratiche internazionali ed è uno passo indietro rispetto alla procedure comuni dei paesi Europei a causa della scarsissima qualità della banca dati nazionale (*Montella et al., 2013*).

2.3.1 Le banche dati dei paesi dell' EU- 27

In Europa, ciascun paese raccoglie i dati di incidente con procedure locali che variano da stato a stato.

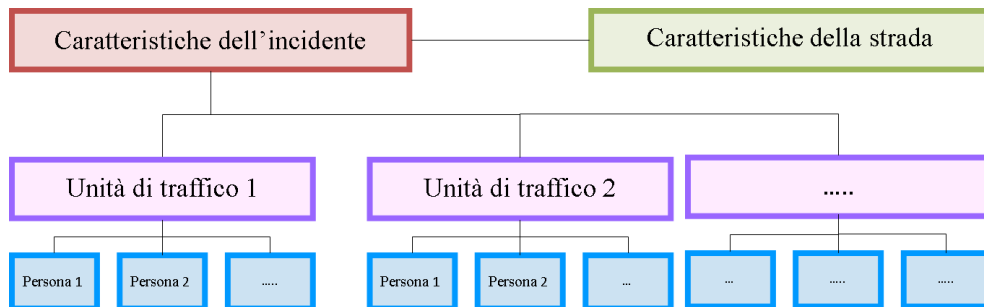
A livello europeo, tutti i dati di incidenti stradali con feriti e morti sono disponibili dal 1991 nella banca dati Community Road Accidents Database (CARE).

Le prime indicazioni per una banca dati comune sono state sviluppate nel 2008 con il "Common Accident Data Set (CADaS)" e poi aggiornate nel 2011 (*De Meester, 2011*). Le differenze nelle procedure di raccolta dei dati e nelle informazioni considerate tra i diversi paesi dell'Unione influenzano significativamente la disponibilità e la qualità dei dati. Infatti la mancanza di uniformità limita il potenziale sfruttamento della banca dati comunitaria.

Il CADaS definisce un set minimo di 73 variabili e 471 possibili valori da considerare per ciascun incidente. Le variabili, scelte in base ai dati disponibili nei 25 paesi dell'unione sono suddivise in 4 categorie: (a) caratteristiche dell'incidente; (b) caratteristiche della strada; (c) caratteristiche delle unità di traffico coinvolte; (d) caratteristiche delle persone coinvolte (Figura 10).

Poiché le indicazioni fornite dal CADaS saranno adottate gradualmente e volontariamente nei prossimi anni dai paesi dell'Unione Europea, le variabili standardizzate individuate dal CADaS sono suddivise in due categorie a seconda della loro importanza per l'analisi degli incidenti: variabili di grande importanza (H) e variabili di importanza minore (L).

Le variabili relative alle caratteristiche dell'incidente sono 12 di cui 7 di grande importanza e 5 di importanza minore, quelle legate alle caratteristiche della strada sono 26 di cui 11 di grande importanza e 15 di importanza minore. Le variabili relative alle unità di traffico sono 17 per ciascuna unità di traffico coinvolta nell'incidente (7 di grande importanza e 10 di importanza minore). Le variabili relative alle persone coinvolte sono 18 (11 di grande importanza e 7 di importanza minore) per ciascun conducente e/o passeggero e sono collegate all'unità di traffico corrispondente.



Caratteristiche dell'incidente	Caratteristiche della strada	Unità di traffico	Persona
A-1 Codice incidente (H)	A-1 Codice incidente (H)	A-1 Codice incidente (H)	A-1 Codice incidente (H)
A-2 Data dell'incidente (H)	R-1 Sito dell'incidente- latitudine (L)	U-1 Codice unità di traffico (H)	U-1 Codice unità di traffico (H)
A-3 Ora dell'incidente (H)	R-2 Sito dell'incidente- longitudine (L)	U-2 Tipo di unità di traffico (H)	P-1 Identificazione della persona (H)
A-4 Nomenclatura delle unità territoriali statistiche (H)	R-3 Strada su cui è avvenuto l'incidente (L)	U-3 Funzioni speciali del veicolo (L)	P-2 Data di nascita (H)
A-5 Unità amministrative locali (H)	R-4 Progressiva chilometrica del luogo dell'incidente (L)	U-4 Rimorchio (H)	P-3 Sesso (H)
A-6 Condizioni meteorologiche (H)	R-5 Classe di funzionalità della strada- strada principale (H)	U-5 Cilindrata (L)	P-4 Nazionalità (H)
A-7 Illuminazione (H)	R-6 Classe di funzionalità della strada- strada secondaria (H)	U-6 Dispositivi di sicurezza attivi (L)	P-5 Tipo di lesioni (H)
Variabili sul tipo d'incidente (H)	R-9 Limiti di velocità – strada principale (H)	U-7 Posizione del guidatore (L)	P-6 Tipo utente (H)
A-8 Incidenti con pedoni (L)	R-10 Limiti di velocità – strada secondaria (H)	U-8 Produttore (L)	P-7 Effettuazione alcoltest (L)
A-9 Incidenti con veicoli parcheggiati(L)	R-11 Autostrada (H)	U-9 Modello (L)	P-8 Tipo campione alcoltest (L)
A-10 Incidenti di veicolo singolo (L)	R-12 Area urbana (H)	U-10 Anno d'immatricolazione (H)	P-9 Risultati alcoltest (H)
A-11 Incidenti tra più veicoli- senza svolta(L)	R-13 Svincolo (H)	U-11 Manovra effettuata dall'unità di traffico (H)	P-10 Tasso alcolemico (H)
A-12 Incidenti tra più veicoli- svolta o attraversamento(L)	R-14 Relazioni con svincoli/intersezioni (L)	U-12 Primo punto d'impatto (L)	P-11 Esame tossicologico (L)
	R-15 Controllo dello svincolo (L)	U-13 Primo ostacolo urtato in carreggiata (L)	P-12 Data di rilascio patente di guida (H)
	R-16 Condizioni della strada (H)	U-14 Primo ostacolo urtato fuori carreggiata (L)	P-13 Validità patente di guida (L)
	R-17 Ostacoli (L)	U-15 Assicurazione del conducente/motociclista (L)	P-14 Dispositivi di sicurezza (H)
	R-18 Tipo di carreggiata (H)	U-16 Fuga successiva all'impatto (H)	P-15 Posto occupato nel/sul veicolo (H)
	R-19 Numero di corsie (H)	U-17 Paese d'immatricolazione (H)	P-16 Distrazione per dispositivo (L)
	R-20 Corsia d'emergenza (L)		P-17 Condizioni psicofisiche del conducente (L)
	R-21 Segnaletica (L)		P-18 Scopo del viaggio (L)
	R-22 Galleria (L)		
	R-23 Ponte (L)		
	R-24 In prossimità di un cantiere (H)		
	R-25 Curva (L)		
	R-26 Grado di curvatura (L)		

Figura 10 – Informazioni minime richieste da CADaS.

2.3.2 La banca dati italiana

La banca dati nazionale sugli incidenti stradali è gestita dall'ISTAT (www.istat.it/it/archivio/4609/) e allo stato attuale non è sufficiente per implementare un sistema di gestione della sicurezza congruente con i requisiti della Direttiva. Il modulo ISTAT non è conforme con le prescrizioni dei paesi più avanzati nonostante ha subito continui aggiornamenti nel tempo e la versione più recente (2012) contiene 189 variabili. Esso è costituito da una parte generale contenente le informazioni relative alla compilazione dei dati e otto sezioni relative (Figura 11, Figura 12): alla localizzazione dell'incidente, al luogo dell'incidente, alla natura dell'incidente, al tipo di veicoli coinvolti, alle circostanze presunte dell'incidente, ai veicoli coinvolti, alle conseguenze dell'incidente sulle persone e alle conseguenze dell'incidente sui veicoli.

Gli incidenti sono rilevati dalla Polizia Stradale, dalla Polizia Municipale, dalla Polizia, dai Carabinieri e dagli Ausiliari del traffico. Il personale degli organi di rilevazione non hanno sempre le stesse competenze ed utilizzano moduli di rilevazione diversi (Figura 13). Ciò determina una grande difformità dei dati e molto spesso i dati di incidente raccolti dagli organi di rilevazione sono poco leggibili e presentano incongruenze, dati mancanti, errori sulla localizzazione, ecc. Inoltre, la banca dati ISTAT non riporta gli incidenti con soli danni materiali ed i dati di incidente non sono collegati con i dati geometrici della strada e con i volumi di traffico in quanto queste banche dati, pur essendo richieste dal Codice della Strada (*Decreto Legislativo 30 aprile 1992 n. 285*) non esistono. Nell'ambito della realizzazione del Piano Nazionale di Sicurezza Stradale, sono stati istituiti alcuni centri di monitoraggio di sicurezza stradale che hanno sviluppato delle banche dati locali. Queste ultime rappresentano un miglioramento della banca dati nazionale, anche se non sono diffuse in tutto il paese e non sono omogenee tra loro per cui non consentono di attuare una politica di gestione della sicurezza a livello nazionale. Anche l'accesso ai dati in Italia è molto ristretto e molte informazioni raccolte dagli organi di rilievo non sono contenute nella banca dati ISTAT. Le università possono accedere ad una versione parziale della banca dati dove sono omesse le cause dell'incidente, la localizzazione, le caratteristiche dei veicoli coinvolti e i dati relativi ai dispositivi di sicurezza. Ciò comporta una perdita significativa di informazioni che potrebbero essere utili per i miglioramenti della sicurezza.

7. Conseguenze dell'incidente alle persone														
CONDUCENTI COINVOLTI						PASSEGGERI INFORTUNATI E ESCLUSO IL CONDUCENTE								
VEICOLI A	Età conducente		<input type="checkbox"/> Maschio <input type="checkbox"/> Femmina		Patente ciclomotori 0 <input type="checkbox"/>		Anno di rilascio della patente (ultime due cifre) <input type="checkbox"/>		Morti		Feriti		Sesso	
	Sesso		1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>		Patente Tipo A 1 <input type="checkbox"/>		Conduttore coinvolto in incidente su strada durante lo scorgimento della propria attività lavorativa 1 <input type="checkbox"/>		Sedile anteriore		Sedile anteriore		M <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/>	
	Incolumi		1 <input type="checkbox"/>		Patente Tipo B 2 <input type="checkbox"/>		Conduttore coinvolto in incidente su strada durante l'irraggio casa-lavoro o lavoro-casa 2 <input type="checkbox"/>		Sedile posteriore		Sedile posteriore		g <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
	Feriti		2 <input type="checkbox"/>		Patente Tipo C 3 <input type="checkbox"/>		Conduttore coinvolto in incidente su strada durante l'irraggio casa-lavoro o lavoro-casa 2 <input type="checkbox"/>		Sedile posteriore		Sedile posteriore		g <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
	Morto entro 24 ore		3 <input type="checkbox"/>		Patente Tipo D 4 <input type="checkbox"/>		Non indicato la data nascita e negli/la data nel caso di titoli di tipo di legge o di licenza emessa al di fuori dell'Italia, di licenza		Sedile posteriore		Sedile posteriore		g <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
	Morto entro 30 giorni		4 <input type="checkbox"/>		Patente Tipo E 5 <input type="checkbox"/>		Non indicato la data nascita e negli/la data nel caso di titoli di tipo di legge o di licenza emessa al di fuori dell'Italia, di licenza		Sedile posteriore		Sedile posteriore		g <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
					AGIC speciale 6 <input type="checkbox"/>		Indirizzo sede di rilascio in cui il conducente partecipa, in caso di conducente di licenza straniera o di licenza italiana, di licenza emessa al di fuori dell'Italia, di licenza		Sedile posteriore		Sedile posteriore		g <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
					Non richiesta 7 <input type="checkbox"/>		Indirizzo sede di rilascio in cui il conducente partecipa, in caso di conducente di licenza straniera o di licenza italiana, di licenza emessa al di fuori dell'Italia, di licenza		Sedile posteriore		Sedile posteriore		g <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
					Foglio rosa 8 <input type="checkbox"/>		Indirizzo sede di rilascio in cui il conducente partecipa, in caso di conducente di licenza straniera o di licenza italiana, di licenza emessa al di fuori dell'Italia, di licenza		Sedile posteriore		Sedile posteriore		g <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
					Sprovvisori 9 <input type="checkbox"/>		Indirizzo sede di rilascio in cui il conducente partecipa, in caso di conducente di licenza straniera o di licenza italiana, di licenza emessa al di fuori dell'Italia, di licenza		Sedile posteriore		Sedile posteriore		g <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
VEICOLI B	Età conducente		<input type="checkbox"/> Maschio <input type="checkbox"/> Femmina		Patente ciclomotori 0 <input type="checkbox"/>		Anno di rilascio della patente (ultime due cifre) <input type="checkbox"/>		Morti		Feriti		Sesso	
	Sesso		1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>		Patente Tipo A 1 <input type="checkbox"/>		Conduttore coinvolto in incidente su strada durante lo scorgimento della propria attività lavorativa 1 <input type="checkbox"/>		Sedile anteriore		Sedile anteriore		M <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/>	
	Incolumi		1 <input type="checkbox"/>		Patente Tipo B 2 <input type="checkbox"/>		Conduttore coinvolto in incidente su strada durante l'irraggio casa-lavoro o lavoro-casa 2 <input type="checkbox"/>		Sedile posteriore		Sedile posteriore		g <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
	Feriti		2 <input type="checkbox"/>		Patente Tipo C 3 <input type="checkbox"/>		Conduttore coinvolto in incidente su strada durante l'irraggio casa-lavoro o lavoro-casa 2 <input type="checkbox"/>		Sedile posteriore		Sedile posteriore		g <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
	Morto entro 24 ore		3 <input type="checkbox"/>		Patente Tipo D 4 <input type="checkbox"/>		Non indicato la data nascita e negli/la data nel caso di titoli di tipo di legge o di licenza emessa al di fuori dell'Italia, di licenza		Sedile posteriore		Sedile posteriore		g <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
	Morto entro 30 giorni		4 <input type="checkbox"/>		Patente Tipo E 5 <input type="checkbox"/>		Non indicato la data nascita e negli/la data nel caso di titoli di tipo di legge o di licenza emessa al di fuori dell'Italia, di licenza		Sedile posteriore		Sedile posteriore		g <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
					AGIC speciale 6 <input type="checkbox"/>		Indirizzo sede di rilascio in cui il conducente partecipa, in caso di conducente di licenza straniera o di licenza italiana, di licenza emessa al di fuori dell'Italia, di licenza		Sedile posteriore		Sedile posteriore		g <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
					Non richiesta 7 <input type="checkbox"/>		Indirizzo sede di rilascio in cui il conducente partecipa, in caso di conducente di licenza straniera o di licenza italiana, di licenza emessa al di fuori dell'Italia, di licenza		Sedile posteriore		Sedile posteriore		g <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
					Foglio rosa 8 <input type="checkbox"/>		Indirizzo sede di rilascio in cui il conducente partecipa, in caso di conducente di licenza straniera o di licenza italiana, di licenza emessa al di fuori dell'Italia, di licenza		Sedile posteriore		Sedile posteriore		g <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
					Sprovvisori 9 <input type="checkbox"/>		Indirizzo sede di rilascio in cui il conducente partecipa, in caso di conducente di licenza straniera o di licenza italiana, di licenza emessa al di fuori dell'Italia, di licenza		Sedile posteriore		Sedile posteriore		g <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
VEICOLI C	Età conducente		<input type="checkbox"/> Maschio <input type="checkbox"/> Femmina		Patente ciclomotori 0 <input type="checkbox"/>		Anno di rilascio della patente (ultime due cifre) <input type="checkbox"/>		Morti		Feriti		Sesso	
	Sesso		1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>		Patente Tipo A 1 <input type="checkbox"/>		Conduttore coinvolto in incidente su strada durante lo scorgimento della propria attività lavorativa 1 <input type="checkbox"/>		Sedile anteriore		Sedile anteriore		M <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/>	
	Incolumi		1 <input type="checkbox"/>		Patente Tipo B 2 <input type="checkbox"/>		Conduttore coinvolto in incidente su strada durante l'irraggio casa-lavoro o lavoro-casa 2 <input type="checkbox"/>		Sedile posteriore		Sedile posteriore		g <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
	Feriti		2 <input type="checkbox"/>		Patente Tipo C 3 <input type="checkbox"/>		Conduttore coinvolto in incidente su strada durante l'irraggio casa-lavoro o lavoro-casa 2 <input type="checkbox"/>		Sedile posteriore		Sedile posteriore		g <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
	Morto entro 24 ore		3 <input type="checkbox"/>		Patente Tipo D 4 <input type="checkbox"/>		Non indicato la data nascita e negli/la data nel caso di titoli di tipo di legge o di licenza emessa al di fuori dell'Italia, di licenza		Sedile posteriore		Sedile posteriore		g <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
	Morto entro 30 giorni		4 <input type="checkbox"/>		Patente Tipo E 5 <input type="checkbox"/>		Non indicato la data nascita e negli/la data nel caso di titoli di tipo di legge o di licenza emessa al di fuori dell'Italia, di licenza		Sedile posteriore		Sedile posteriore		g <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
					AGIC speciale 6 <input type="checkbox"/>		Indirizzo sede di rilascio in cui il conducente partecipa, in caso di conducente di licenza straniera o di licenza italiana, di licenza emessa al di fuori dell'Italia, di licenza		Sedile posteriore		Sedile posteriore		g <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
					Non richiesta 7 <input type="checkbox"/>		Indirizzo sede di rilascio in cui il conducente partecipa, in caso di conducente di licenza straniera o di licenza italiana, di licenza emessa al di fuori dell'Italia, di licenza		Sedile posteriore		Sedile posteriore		g <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
					Foglio rosa 8 <input type="checkbox"/>		Indirizzo sede di rilascio in cui il conducente partecipa, in caso di conducente di licenza straniera o di licenza italiana, di licenza emessa al di fuori dell'Italia, di licenza		Sedile posteriore		Sedile posteriore		g <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
					Sprovvisori 9 <input type="checkbox"/>		Indirizzo sede di rilascio in cui il conducente partecipa, in caso di conducente di licenza straniera o di licenza italiana, di licenza emessa al di fuori dell'Italia, di licenza		Sedile posteriore		Sedile posteriore		g <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
PEDIONI COINVOLTI						NUMERO DI VEICOLI COINVOLTI OLTRE A VEICOLI A,B,C <input type="checkbox"/>		PIRLOGGI INFORTUNATI						
Morti		Maschio		Femmina		PERSONE COINVOLTE SU ALTRI VEICOLI OLTRE A VEICOLI A,B,C		Morti entro le 24 ore <input type="checkbox"/>						
1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>		1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>		1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>		Morti		Morti dal 2° al 30° giorno <input type="checkbox"/>						
1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>		1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>		1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>		Maschio		Feriti <input type="checkbox"/>						
1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>		1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>		1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>		Femmina		Il totale riportato nel riepilogo deve corrispondere alla somma dei morti e dei feriti indicati distintamente nella sezione 7 del modello						
1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>		1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>		1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>		Feriti								
1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>		1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>		1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>										
1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>		1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>		1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>										
1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>		1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>		1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>										

8. Nominativo dei morti		
NOME		COGNOME
_____		_____
_____		_____
_____		_____

9. Nominativo dei feriti e Istituto di ricovero			
NOME		COGNOME	ISTITUTO DI RICOVERO
_____		_____	_____
_____		_____	_____
_____		_____	_____
_____		_____	_____

SEGRETO STATISTICO, OBBLIGO DI RISERVATEZZA DELLA IDENTITÀ E DIRITTI DEGLI INTERESSATI

- Decreto legislativo 6 settembre 1998, n. 332, e successive modificazioni ed integrazioni, "Norme sul Sistema statistico nazionale e sulla organizzazione dell'istituto nazionale di statistica" - art. 6-bis (trattamenti dei dati personali), art. 9 (regime di ufficio degli accessi agli uffici di statistica), art. 9 (protezioni per la tutela dei segreti statistici), art. 10 (Programma statistico nazionale)

- Decreto legislativo 30 giugno 2003, n. 195 "Circa la materia di protezione dei dati personali" - art. 2 (titolo), art. 4 (principi), art. 7-10 (poteri dell'interessato), art. 13 (informatica), art. 25-30 (soggetti che effettuano il trattamento), 104-110 (trattamento per scopi statistici e scientifici)

- "Codice di deontologia e di buona condotta per i trattamenti di dati personali a scopi statistici e di ricerca scientifica effettuati nell'ambito del Sistema statistico nazionale" (art. 4 del Codice in materia di protezione dei dati personali) - d.lgs. 30 giugno 2003, n. 195;

- Decreto del Presidente del Consiglio del 31 marzo 2011, "Approvazione del Programma statistico nazionale 2011-2017" - (pubblicato nella Gazzetta Ufficiale del 2 agosto 2011, n. 178, Suppl. Ord. n. 181)

I dati raccolti sono tutelati dal segreto statistico e sottoposti alle norme in materia di protezione dei dati personali e potranno essere utilizzati, anche per successivi trattamenti, esclusivamente per fini statistiche dei soggetti del Sistema statistico nazionale ed essere comunicati per finalità di ricerca scientifica alle condizioni e secondo le modalità previste dall'art. 7 del Codice di deontologia e di buona condotta per i trattamenti di dati personali a scopi statistici e di ricerca scientifica nel campo del Sistema statistico nazionale. I trattamenti del sistema di ricerca in forma aggregata, in modo tale che non sia possibile risalire ai soggetti ai quali è riferito.

Tutte le informazioni e dati relativi ai trattamenti di dati personali e all'istituto nazionale di statistica - Via Cassia Balbo, 16 - 00184 Roma, Responsabili del trattamento dei dati sono, per le fasi di ripetitiva compilazione, il Direttore centrale della statistica socio-demografica e amministrativa dell'istituto e il direttore dell'ufficio di statistica della Regione o Provincia autonoma, ad essi è possibile rivolgersi anche per quanto riguarda l'esercizio dei diritti degli interessati (art. 7 del d.lgs. n. 196/2003) e per conoscere il nominativo degli eventuali altri interessati.

Al sensi dell'art. 7 del d.lgs. n. 332/1998 il fatto obbligo alle amministrazioni, enti ed organismi pubblici, di fornire tutti i dati e le notizie richieste nel modello di rilevazione. Tuttavia, poiché la normativa in materia statistica (art. 7, comma 2, del d.lgs. n. 332/1998) stabilisce che non può essere imposto l'obbligo di risposta sul dati sensibili, qualora il conducente del veicolo abbia menzionato la velocità, contraria al suo statistico dei dati relativi al proprio veicolo può non fornire il dato che lo riguarda, possono essere ammessi al trattamento in forma anonima, senza che sia possibile risalire all'identità dell'interessato nemmeno in modo indiretto. Pertanto, il modello ISTAT OTT/INC deve comunque essere compilato in tutti gli altri campi dell'evento, garantendo l'anonimato dell'interessato con l'eccezione dei seguenti campi:

Sezione 6: Nominativo del veicolo - Nome e Cognome del morti coinvolti nell'incidente

Sezione 8: Nominativo dei feriti - Nome e Cognome dei feriti coinvolti nell'incidente

Per richiesta di informazioni e chiarimenti rivolgersi a ISTAT, tel. 06-46733 - Incid@istat.it

Figura 12 - Modulo ISTAT per il rilievo degli incidenti – foglio 2.

N.

data incidente

PRONTUARIO PER LE ANNOTAZIONI E GLI ACCERTAMENTI URGENTI RELATIVI AGLI INCIDENTI STRADALI

INCIDENTE

Con soli danni a cose

Con feriti

Mortale

RILIEVI

Planimetrici

Fotografici

ACCERTATORI

Cognome	Nome	Qualifica

ORARIO INCIDENTE

ORARIO CHIAMATA

ORARIO INTERVENTO

Figura 13 - Modulo per il rilievo degli incidenti della Polizia Stradale.

Una delle informazioni più importanti per la gestione della sicurezza stradale e quindi l'identificazione dei problemi e la definizione di programmi di prevenzione è la localizzazione dell'incidente, ovvero la posizione in cui si è verificato l'evento più dannoso. Dall'analisi della banca dati nazionale italiana nel periodo 2008 – 2010 è emerso che nel 36% degli incidenti la progressiva è assente e in tutti gli altri casi è segnata solo la chilometrica. Nella nuova versione del modulo ISTAT le variabili utilizzate per la localizzazione sono il nome della strada, la progressiva e le

coordinate GPS anche se il rapporto di incidente compilato dalla Polizia Stradale non contiene alcun campo per le coordinate GPS e la maggior parte delle unità di Polizia non posseggono dispositivi GPS.

Altre informazioni importanti da analizzare riguardano la classificazione e la descrizione degli incidenti. È ben noto che un incidente è una successione di eventi che portano alla collisione con conseguenti danni e /o feriti. Non tutte le banche dati indicano queste circostanze.

I rapporti di incidente della Polizia contengono una descrizione dettagliata degli eventi, delle manovre dei conducenti e delle cause che hanno contribuito al verificarsi dell'incidente, ed il diagramma dell'incidente. Queste informazioni che spesso consentono di capire i fattori che hanno influenzato l'incidente non sono riportate nella banca dati ISTAT e l'incidente è descritto da una sola variabile "natura dell'incidente".

La classifica degli incidenti in base alla gravità viene effettuata dalla Polizia senza verificare a posteriori i referti medici degli ospedali, eccetto quando la persona coinvolta nell'incidente muore in ospedale. Gli ospedali posseggono le loro banche dati sui feriti degli incidenti stradali ma non esiste alcun collegamento sistematico con la banca dati della Polizia.

Le caratteristiche geometriche della strada sono descritte da un unico campo nel modulo ISTAT, di conseguenza è impossibile descrivere in modo adeguato le caratteristiche geometriche del sito dove si è verificato l'incidente. Inoltre sono omesse le informazioni relative alle aree di cantiere, importanti per valutare l'impatto sulla sicurezza delle attività lavorative sulle strade e per pianificare il controllo del traffico per la sicurezza dei lavoratori e degli utenti della strada.

Relativamente alle informazioni sui veicoli coinvolti, il rapporto d'incidente della Polizia non contiene tutti i campi necessari per avere una descrizione completa, ma molte informazioni possono essere ricavate dalla descrizione e dal diagramma dell'incidente. Ulteriori informazioni sulle caratteristiche dei veicoli coinvolte vengono perse nel passaggio dei dati dai rapporti della Polizia al modulo ISTAT.

Relativamente alle persone coinvolte, la banca dati ISTAT non riporta informazioni sulle persone illese e ciò influenza notevolmente l'analisi della gravità dell'incidente.

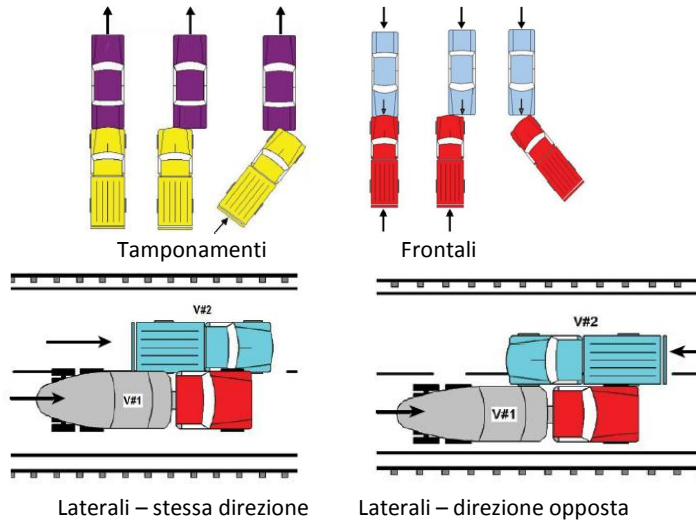
2.3.3 La banca dati degli Stati Uniti

Negli Stati Uniti esistono banche dati a livello nazionale e banche dati gestite dai singoli stati. Le due banche dati di livello nazionale sono denominate Fatality Analysis Reporting System (FARS) (NHTSA, 2010) e Highway Safety Information System (HSIS) (FHWA, 2012). FARS contiene i dati di tutti gli incidenti mortali. HSIS contiene i dati relativi agli incidenti, alle caratteristiche delle strade e ai volumi di traffico in sette Stati (California, Illinois, Maine, Minnesota, North Carolina, Ohio e Washington).

Le banche dati dei singoli stati seguono le linee guida del MMUCC (Minimum Uniform Crash Criteria Model), sviluppate nel 1998 e poi aggiornate nel 2003, nel 2008 e nel 2012 (NHTSA, 2012). Il MUUCC definisce il set minimo di variabili da registrare per ciascun incidente in modo da fornire le informazioni necessarie per il miglioramento della sicurezza stradale. L'applicazione del MMUCC è volontaria ed inoltre le linee guida non forniscono per ciascuna variabile da registrare i possibili valori da attribuire, pertanto si viene a creare una perdita di standardizzazione tra i paesi.

Il MUUCC è costituito da sottosezioni relative a:

- dati dell'incidente contenete la classificazione dell'incidente, la data e l'ora, la nazione, la città e la localizzazione dell'incidente, il primo evento dannoso (Figura 14), la localizzazione del primo evento dannoso in relazione alle condizioni di traffico, il tipo di collisione, le condizioni atmosferiche, le condizioni di illuminazione, le condizioni della pavimentazione, le cause dell'incidente dovute all'ambiente, le cause dell'incidente dovute alla strada, la presenza di intersezioni, il tipo di intersezioni e la presenza di cantieri;
- dati dei veicoli coinvolti contenete per ciascun veicolo coinvolto il numero identificativo del veicolo, il tipo di veicolo, l'anno e il paese di immatricolazione, la targa, la casa produttrice, il modello, la categoria di veicolo, il numero di occupanti, la direzione di viaggio prima dell'incidente, ecc..
- dati delle persone coinvolte contenete il nome, la data di nascita e il genere delle persone, le condizioni di salute in seguito all'incidente, la posizione nell'abitacolo, ecc.



Laterali – stessa direzione Laterali – direzione opposta
Figura 14 – Esempi di classificazione degli incidenti del MUCC.

Ad esempio, lo stato dell'Indiana dispone di due banche dati, una sulle caratteristiche geometriche delle strade, gestita dal Dipartimento di Trasporti dell'Indiana, e l'altra sui dati di incidente (Tarko et al., 2012). Le due banche dati sono integrate in un sistema GIS. La Polizia di Stato dell'Indiana (ISP) rileva tutti gli incidenti elettronicamente mediante computer e software con applicazioni specifiche. I dati d'incidente sono gestiti da una società privata che ha realizzato un portale web (Figura 15), in grado di fornire per ciascun incidente la localizzazione precisa, i veicoli coinvolti, le caratteristiche dei conducenti e dei passeggeri, le cause dell'incidente, ecc. Il sistema GIS è accessibile a tutti i professionisti accreditati tramite una piattaforma web (crashreports.in.gov/Public/About.aspx), consentendo la consultazione dei rapporti di incidente stradale circa tre giorni dopo l'evento.

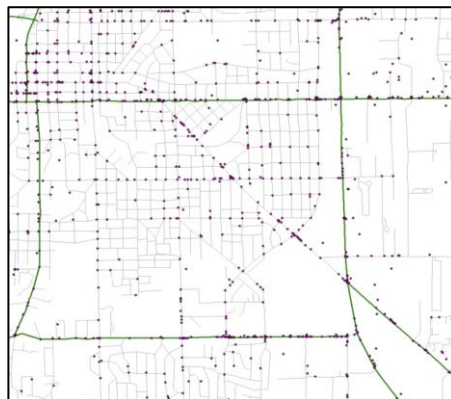


Figura 15 - Localizzazione degli incidenti nello stato dell'Indiana.

2.3.4 La banca dati dell’Australia

In Australia il Dipartimento di Sicurezza dei Trasporti, a partire dagli anni 80, gestisce l’Australian Road Deaths Database che è una banca dati centralizzata che colleziona tutti i dati di incidenti mortali verificatisi negli stati e nei territori australiani (Austroads, 2010; Andreassen, 2001; 1994; 1991). Per ciascun incidente le informazioni riportate sono ricavate dai rapporti dei medici legali, manca però una descrizione degli eventi degli incidenti.

Inoltre, ciascuno stato e territorio dell’Australia ha un proprio sistema di analisi dei dati d’incidente (il CrashStats in Victoria (Figura 16, Figura 17), il TIRS in Queensland ed il CARS nell’Australia Occidentale) che fornisce informazioni di dettaglio su tutti gli incidenti mortali e con feriti riportati dalla Polizia.

Caratteristiche dell'incidente	Caratteristiche della strada	Unità di traffico	Persona
Codice incidente Data e ora dell'incidente Giorno della settimana Comune dell'incidente Localizzazione dell'incidente Condizioni atmosferiche Condizioni di illuminazione Dinamica dell'incidente Gravità dell'incidente Direzione di marcia dei veicoli	Tipo di strada Limite di velocità Ostacolo urtato Tipo e stato della pavimentazione Tipo di intersezione Dispositivi di controllo del traffico alle intersezioni Urbanizzazione Geometria della strada	Tipo di veicoli Numero di veicoli coinvolti Età del veicolo	Età Genere Tipo di utente della strada Posizione nell'abitacolo Grado delle lesioni Uso delle cinture Uso del casco Tipo di patente Numero di persone coinvolte

Figura 16 – Informazioni contenute nel CrashStats (Victoria).

In molte giurisdizioni anche gli incidenti con soli danni materiali sono riportati nella banca dati. Le banche dati presentano alcune differenze sostanziali anche se sono tutte realizzate secondo il modello Austroads (Austroads, 1997). Recentemente, è stata proposta l’istituzione di una banca dati nazionale che raccolga le informazioni dei differenti Stati e Territori secondo un modello unificato.

L’accesso ai dati varia da stato a stato. In Victoria, in Queensland e nell’Australia Occidentale i dati sono disponibili per i professionisti di sicurezza stradale attraverso il sito del Governo. In altre giurisdizioni l’accesso ai dati è limitato solo alle organizzazioni riconosciute. L’accesso ai rapporti di incidente della Polizia, invece, è limitato in tutte le giurisdizioni per motivi di privacy.

Nell’Australia Occidentale i dati di incidente registrati dalla Polizia sono anche collegati con i dati degli ospedali al fine di ottenere informazioni sulla gravità. Negli altri stati invece le informazioni sulla gravità sono ricavate collegando i dati della Polizia con quelli dell’assicurazione contro gli infortuni stradali.

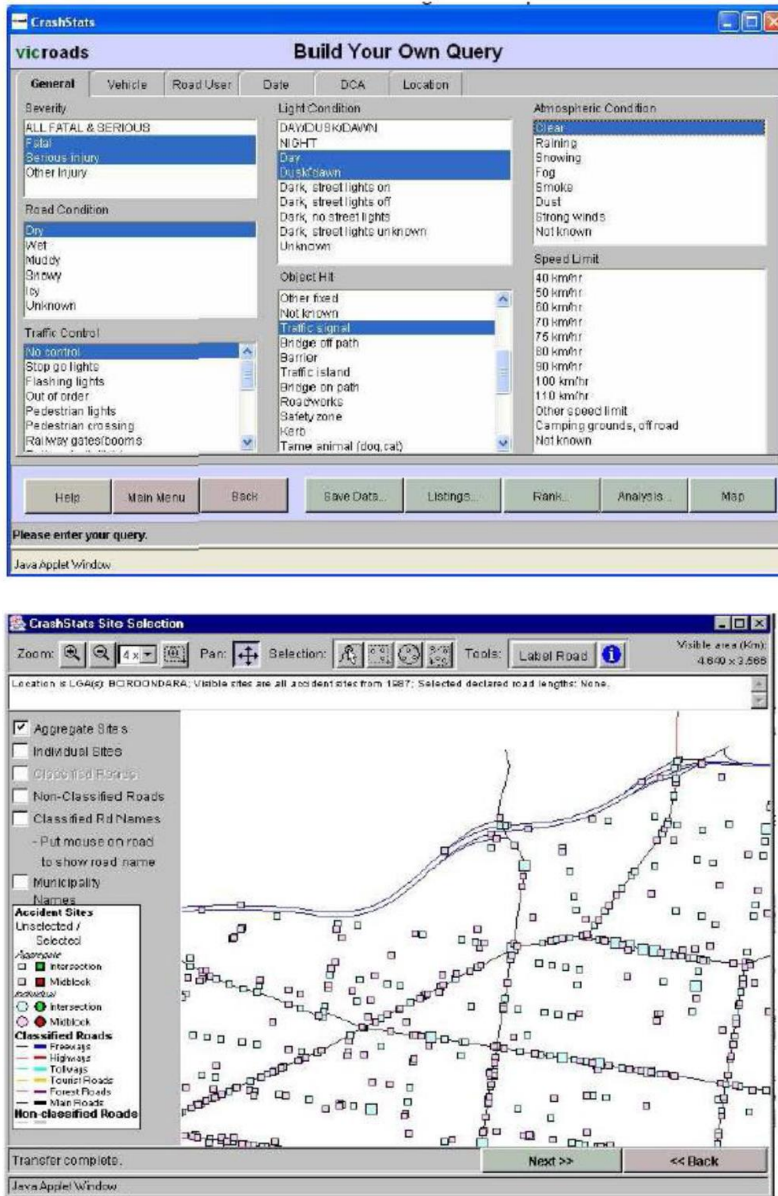


Figura 17 – CrashStats database.

2.3.5 La banca dati della Nuova Zelanda

In Nuova Zelanda, il sistema di analisi degli incidenti (CAS – Crash Analysis System) è gestito dall’Agenzia di Trasporto Nazionale. Gli incidenti mortali sono collezionati a partire dal 1921, gli incidenti con feriti dal 1951 e quelli con soli danni materiali dagli anni 90. Il CAS include tutti gli incidenti collezionati a partire dal 1980 ed i dati sono disponibili, per i professionisti di sicurezza stradale, attraverso un portale web, che fornisce l’identificativo dell’incidente e l’accesso al rapporto della Polizia. La facile accessibilità ha fatto sì che ci fosse un ampio uso dei dati di incidente nella ricerca sulla sicurezza stradale.

Il CAS ha tutte le caratteristiche degli altri database degli stati dell’Australasia con un interfaccia GIS (Figura 18) che fornisce automaticamente il diagramma di collisione, fondamentale per capire le cause dell’incidente.

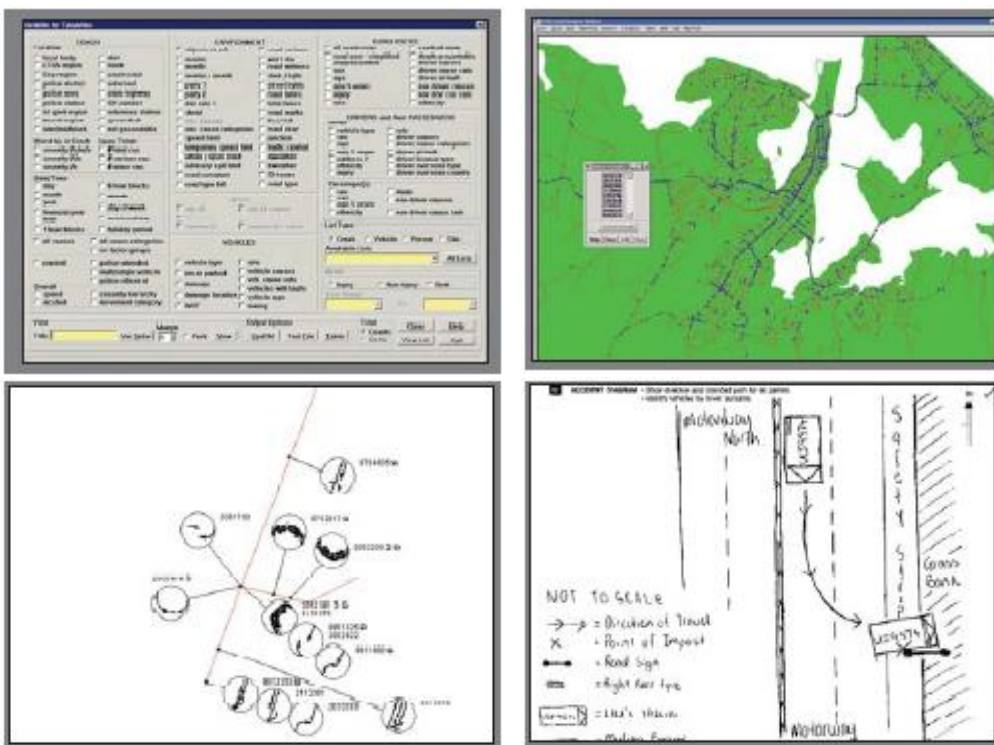


Figura 18 – CAS database.

Inoltre in Nuova Zelanda sono disponibili, attraverso il RAMM database, i dati geometrici e di traffico (Figura 19). I dati geometrici sono disponibili per l’intera rete stradale nazionale e per alcune strade locali mentre i dati di traffico sono disponibili per l’intera rete stradale con diversi livelli di dettaglio. La banca dati è accessibile a tutti gli ingegneri della sicurezza accreditati.

Caratteristiche dell'incidente	Caratteristiche della strada	Unità di traffico	Persona
Codice incidente Data e ora dell'incidente Giorno della settimana Comune dell'incidente Localizzazione dell'incidente Condizioni atmosferiche Condizioni di illuminazione Dinamica dell'incidente Cause dell'incidente Gravità dell'incidente Direzione di marcia dei veicoli	Tipo di strada Limite di velocità Ostacolo urtato Tipo e stato della pavimentazione Tipo di intersezione Dispositivi di controllo del traffico alle intersezioni Geometria della strada Segnaletica orizzontale Condizioni di umidità della strada	Numero di veicoli coinvolti Tipo di veicoli Marca del veicolo Modello del veicolo Dimensioni del motore Danni al veicolo Età del veicolo	Numero di occupanti nel veicolo Età del pedone Età del ciclista Data di nascita Posizione nell'abitacolo Genere Grado delle lesioni Tipo di patente Tasso alcol emico Tasso tossicologico

Figura 19 – Informazioni contenute nel CAS (New Zealand).

2.3.6 Analisi critica delle banche dati

Da un'analisi critica delle banche dati italiana, dell'Europa (EU 27), dell'Australia, della Nuova Zelanda e degli Stati Uniti (*De Meester, 2011; NHTSA, 2012; Austroads, 1997; Montella et al., 2012a*) e dal confronto con i ricercatori americani, australiani e neozelandesi è emerso che l'Italia è ancora molto lontana dalle migliori pratiche internazionali ed è uno passo indietro rispetto alla procedure comuni dei paesi Europei a causa della scarsissima qualità della banca dati nazionale.

Informazioni sull'incidente

Le informazioni di maggiore importanza sono la localizzazione e la descrizione dell'incidente (Tabella 4). Per una corretta localizzazione degli incidenti, in Australia, in Nuova Zelanda e negli Stati Uniti sono utilizzate le coordinate GPS. Per quanto riguarda la descrizione dell'incidente è ben noto che un incidente è una successione di eventi che portano alla collisione con conseguenti danni e /o feriti. Non tutte le banche dati indicano queste circostanze. In Australia la classificazione degli incidenti viene effettuata dall'agenzia di gestione delle strade in ufficio e non sul campo dalla Polizia, in base alla descrizione e al diagramma dell'incidente e alla manovre effettuate dalle unità di traffico prima dell'incidente. Le linee guida MMUCC tengono conto di tutti gli eventi che danno luogo all'incidente e per ciascun veicolo coinvolto riportano la manovra prima dell'incidente, la sequenza di eventi e l'evento più dannoso. Il CADaS non tiene conto della sequenza di eventi che determinano l'incidente in quanto è registrato solo il primo evento, anche se il tipo di incidente è definito da 5 categorie e ciascuna categoria è descritta dal tipo di collisione e dalle manovre dei veicoli.

Tabella 4 – Informazioni relative all'incidente.

Variabili	Direttiva UE	CADaS UE	USA MMUCC	Australia	Nuova Zelanda	Italia Polizia Stradale	Italia ISTAT
Sito incidente	Localizzazione quanto più precisa possibile	Coordinate GPS	Nome della strada e coordinate GPS o sistema di riferimento lineare	Nome della strada e coordinate GPS (in alcuni Stati)	Nome della strada e coordinate GPS	Nome della strada, sistema di riferimento lineare/indirizz o nel caso di strade urbane	Nome della strada, sistema di riferimento lineare/indirizz o nel caso di strade urbane, coordinate GPS
Descrizione incidente	No	No	No	No	Descrizione	Si	No
Rappresentazione grafica incidente	Alternativa ai rilievi fotografici del sito dell'incidente	No	No	Si, ma con accesso ristretto	Si	Si	No
Tipo incidente	Si	Si	Tutti gli eventi vengono registrati nella sezione sulle unità di traffico	Si	Si	Descrizione	Dodici voci
Primo evento pericoloso	No	Viene registrato solo il primo evento	Voci: senza urto,(8), collisione (9] collisione con ostacolo fisso (21)	Alcuni codici di causa sono forniti	Viene registrato un vasto numero di fattori scatenanti	Descrizione	Viene registrato solo il primo evento
Tipo collisione	Si	Si	Otto voci	Si	Si	Descrizione	No
Fattori contributivi	No	No	Fattori ambientali (6 voci, 3 sottovoci)	Si	Si, ad esempio le condizioni stradali	Descrizione	No
Condizioni meteorologiche	Si	Sette voci	Dieci voci	Si	Cinque voci	Si	Voci CADaS
Illuminazione	Si	Sei voci	Sette voci	Si	Sette voci	Si	No

Informazioni sulla gravità dell'incidente

Il livello di gravità di un incidente è fissato in funzione della persona ferita più gravemente. Non ci sono definizioni comuni relativamente alla gravità ed i criteri per la classificazione variano da paese a paese. Solo la definizione dell'incidente mortale è comune a tutti i paesi, ovvero è l'incidente in cui muore almeno una persona sulla scena dell'incidente o entro 30 giorni dall'incidente (Tabella 5).

Per quanto riguarda gli incidenti non mortali, quasi in tutti i paesi sono definiti più livelli di gravità. In Australasia sono definiti due livelli di gravità anche se esistono alcune differenze tra l'Australia e la Nuova Zelanda. In Australia gli incidenti con feriti sono suddivisi in incidenti con feriti ospedalizzati ed incidenti con feriti non ospedalizzati, che richiedono cure mediche. In Nuova Zelanda i feriti sono classificati in feriti gravi se necessitano di cure mediche e feriti minori se necessitano solo del primo soccorso in sito.

La classificazione del MMUCC definisce tre livelli di gravità: (a) sospetto ferito grave se ha subito gravi lacerazioni, fratture, lesioni da schiacciamento, ustioni di

secondo e terzo grado, paralisi, ecc.; (b) sospetto ferito lieve se non è ferito grave, (c) possibile ferito se la persona sente dolore senza lesioni visibili. Nello stato dell'Indiana è adottata la classificazione della 3ª edizione del MMUCC (feriti con lesioni invalidanti, feriti con lesioni non invalidanti, possibili feriti). Sistematicamente i dati degli ospedali e della Polizia sono collegati per integrare i rapporti di incidente della Polizia con informazioni aggiuntive come la durata del periodo di ospedalizzazione, i costi medici, i traumi e le lesioni riportate.

Nei paesi dell'Unione Europea (ad eccezione di Bulgaria, Estonia, Finlandia, e Italia) sono definiti due livelli di gravità (feriti gravi e feriti lievi). Nella maggior parte dei paesi dell'UE, un ferito grave è una persona ospedalizzata per più di 24 ore. Nel Regno Unito un ferito grave è una persona ospedalizzata per più di 24 ore o una persona che ha riportato una delle seguenti lesioni anche se non è ricoverata in ospedale: fratture, trauma cranico, lesioni interne, schiacciamento, ustioni (escluso ustioni di attrito), tagli e lacerazioni gravi, grave scossa generale che impone un trattamento medico e le lesioni che causano la morte di 30 o più giorni dopo l'incidente. Nei Paesi Bassi, è considerato ferito grave una persona con lesioni almeno di livello 2 della scala ASI (Abbreviated Injury Scale), che classifica le ferite da 1 (lesioni minori) a 6 (lesioni mortali) in funzione della classifica internazionale delle malattie. Il massimo valore dell'ASI tra tutte le ferite riportate definisce il MAIS (Maximum Abbreviated Injury Scale). L'IRTAD (International Traffic Safety Data and Analysis) classifica ferito grave una persona coinvolta nell'incidente che riporta lesioni almeno di livello 3 della scala ASI. Poiché l'utilizzo del MAIS è di difficile applicazione ed ancora limitato, il CADaS propone una definizione più semplice basata sulle ore di ospedalizzazione, secondo la quale le ferite gravi richiedono un periodo di ospedalizzazione superiore a 24 ore. Attualmente la durata del periodo di ospedalizzazione è l'indicatore più usato per classificare la gravità degli incidenti anche se non sempre riflette la gravità delle lesioni.

Tabella 5 – Informazioni relative alla gravità dell'incidente.

Variabili	Direttiva UE	CADaS UE	USA MMUCC	Australia	Nuova Zelanda	Italia Polizia Stradale	Italia ISTAT
Verbalizzazione incidenti	Richieste generali	Solo incidenti con feriti	Incidenti di ogni grado di severità	Incidenti con feriti di ogni grado di severità (incidenti con soli danni materiali solo in alcune giurisdizioni)	Incidenti di ogni grado di severità	Incidenti di ogni grado di severità	Solo incidenti con feriti
Soli danni alle proprietà	Rapporto generale dell'incidente	Non verbalizzati	Danni $\geq 1,000$ \$	Superiore ai valori massimi (diversi per ogni giurisdizione) o in caso di veicolo portato via dal carro attrezzi	Superiore ai valori massimi (diversi per ogni giurisdizione) o in caso di veicolo portato via dal carro attrezzi	Verbalizzati	Non verbalizzati
Numero del livello in cui l'incidente non è catalogato come mortale (MAIS)	2	2	3	Generalmente 2	2	1	1
Definizione del livello in cui l'incidente non è catalogato come mortale	Ferito grave e ferito lieve	Ferito grave: richiede un periodo di ricovero superiore a 24 ore Ferito lieve: altro	A: ferite inabilitanti B: ferite non inabilitanti C: possibili ferite	Ferito grave: richiede cure mediche Ferito lieve: altre lesioni	Ferito grave: richiede cure mediche Ferito lieve: altre lesioni	Ogni tipo di lesione è registrata dalla Polizia	Ogni tipo di lesione è registrata dalla Polizia
Decessi	Morte entro 30 giorni dal giorno dell'incidente	Morte entro 30 giorni dal giorno dell'incidente	Morte entro 30 giorni dal giorno dell'incidente	Morte entro 30 giorni dal giorno dell'incidente	Morte entro 30 giorni dal giorno dell'incidente	Morte entro 30 giorni dal giorno dell'incidente	Morte entro 30 giorni dal giorno dell'incidente
Riscontro con dati ospedalieri	No	In Repubblica Ceca e in Germania	No	Ovest Australia	No	No	No

Informazioni sulle caratteristiche della strada

Le banche dati internazionali sono abbastanza omogenee nella descrizione delle caratteristiche della strada e molte informazioni sono collezionate (Tabella 6).

In Australia e in Nuova Zelanda sono riportate molte informazioni come: la tipologia di strada, le immagini del sito dell'incidente, il limite di velocità, lo stato di degrado della pavimentazione e l'andamento planimetrico anche se sono presenti delle differenze tra i due stati. In Nuova Zelanda sono collezionate anche le cause dell'incidente, la presenza dei cantieri stradali e la direzione delle curve. Nello stato dell'Indiana sono riportate anche informazioni relative alla pendenza longitudinale del tratto di strada dove si verifica l'incidente.

Tabella 6 – Informazioni relative alle caratteristiche della strada.

Variabili	Direttiva UE	CADaS UE	USA MMUCC	Australia	Nuova Zelanda	Italia Polizia Stradale	Italia ISTAT
Classificazione strada	Tipo di strada	Si	No	Strada classificate e strade non classificate. NZ: Strade statali o altri tipi di strada	Classificazione amministrativa	Classificazione amministrativa	
Rilievi fotografici del sito dell'incidente	Alternativi alla rappresentazione grafica del sito dell'incidente	No	No	Si	Si	Si	No
Fattori contributivi	No	No	Undici voci (3 sottovoci)	Alcuni codici di causa, p.es. i rischi	Numerosi codici di causa	Descrizione	No
Limiti di velocità	Si	Si	Si	Si	Si	No	No
In prossimità di un cantiere	No	Si	Si (5 sottovoci)	-	Si-codici di causa	Descrizione	No
Condizioni manto stradale	Si	Sei voci	Dieci voci	Si	Tre voci	Descrizione	Cinque voci
Relazione con svincoli/intersezioni	Tipo di svincolo	Sette voci	Undici voci	Si	Tipo di svincolo	Descrizione	Si
Curve	No	Si	Si (3 sottovoci)	Si	Quattro voci	Si	Si
Direzione curva	No	Si	Si	-	Si – nel codice d'incidente	Si	No
Grado di curvatura	No	Si	Si	No	No	Si	Si

Informazioni sulle unità di traffico coinvolte

Per quanto riguarda le informazioni relative alle unità di traffico coinvolte (Tabella 7) le linee guida MMUCC utilizzate negli USA sono le più complete e per questo possono essere utilizzate come riferimento per le altre banche dati. Per ciascuna unità di traffico sono riportate le manovre prima dell'incidente, la sequenza di eventi, l'evento più pericoloso, gli ostacoli urtati in carreggiata e fuori dalla carreggiata.

Tabella 7 – Informazioni relative alle unità di traffico coinvolte.

Variabili	Direttiva UE	CADaS UE	USA MMUCC	Australia	Nuova Zelanda	Italia Polizia Stradale	Italia ISTAT
Tipo unità di traffico	Si	Si	Diciotto voci	Si	Si	Si	Si
Fattori contributivi	No	No	Quattordici voci	Varie NZ: posizione del veicolo colpito	Varie NZ: posizione del veicolo colpito	Descrizione	Dieci voci
Manovra effettuata dall'unità di traffico	Si	Si	Quattordici voci	Si	Si	Descrizione	No
Sequenza degli eventi	No	No	Voci: senza urto,(16), collisione (9) collisione con oggetto fisso (21) (4 sottovoci)	Alcune cause, tra cui gli oggetti fissi	Numerosi codici di causa	Descrizione	No
Evento più pericoloso	No	No	Voci: senza urto (8), collisione (9) collisione con oggetto fisso (21)	No	No	No	No
Primo oggetto colpito in carreggiata	No	Si	Si	Si	Si	Descrizione	No
Primo oggetto colpito fuori carreggiata	No	Si	Si	Si	Si-ogni oggetto colpito	Descrizione	No
Fuga successiva all'impatto	No	Si	Si	-	No	Si	No
Paese d'immatricolazione	Si	Si	Si	-	No	Si	Si
Sequenza degli eventi	No	No	Voci: senza urto,(16), collisione (9) collisione con oggetto fisso (21) (4 sottovoci)	Alcune cause, tra cui gli oggetti fissi	Numerosi codici di causa	Descrizione	No

Informazioni sulle persone coinvolte

Tutte le banche dati, ad eccezione di quelle europee, contengono molte informazioni sulle persone coinvolte negli incidenti (Tabella 8). Per ciascuna unità di traffico è riportato il genere e l'età del conducente, le azioni del guidatore prima dell'incidente, il tasso alcolemico e tossicologico del conducente, lo stato di salute del conducente e dei passeggeri, l'utilizzo dei dispositivi di sicurezza, la posizione dei passeggeri nell'abitacolo, ecc. Le banche dati europee omettono molti dati relativi alle persone coinvolte. Inoltre la banca dati ISTAT non riporta informazioni sulle persone illese e ciò influenza notevolmente l'analisi della gravità dell'incidente.

Tabella 8 – Informazioni relative alle persone coinvolte.

Variabili	Direttiva UE	CADaS UE	USA MMUCC	Australia	Nuova Zelanda	Italia Polizia Stradale	Italia ISTAT
Età	Si	Data di nascita	Data di nascita	Si	Si	Data di nascita	Si
Sesso	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Nazionalità	Si	Si	No	-	Identificazione conducenti stranieri	Si	No
Condizioni fisiche	No	Quattro voci	Cinque voci	Si	Si	Due voci	Tre voci per il conducente e due voci per i passeggeri
Azione del conducente nel momento dell'incidente	No	No	Diciannove voci (4 sottovoci)	-	Nei rapporti della Polizia	Descrizione	Settantatré voci
Azione del pedone precedente all'incidente	No	No	Undici voci	-	Nei rapporti della Polizia	No	No
Azione del pedone al momento dell'incidente	No	No	Tredici voci (2 sottovoci)	-	Nei rapporti della Polizia	Descrizione	Sedici voci
Posizione del pedone al momento dell'incidente			Tredici voci	-	Nella rappresentazione grafica dell'incidente	Descrizione	No
Violazione del codice	No	No	Si	Si	Si	Si	No
Tasso alcolemico	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Risultati esame tossicologico	No	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Dispositivi di sicurezza	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No
Posto occupato nel veicolo	No	Si	Si	Si	Si	Si	No

2.4 Le funzioni di prestazione della sicurezza

Le funzioni di prestazione della sicurezza (SPFs), note anche come modelli predittivi degli incidenti, rappresentano funzioni matematiche che relazionano la frequenza attesa degli incidenti con i volumi di traffico e le caratteristiche geometriche della strada, ovvero la SPF è un modello multivariato che si adatta ai dati di incidenti per stimare la relazione tra la frequenza attesa degli incidenti e i fattori che possono essere legati al verificarsi dell'incidente stesso.

Le funzioni di prestazione della sicurezza forniscono una misura quantitativa del valore atteso della frequenza media d'incidente in un dato sito. La stima è riferita ad un dato periodo di tempo durante il quale le caratteristiche geometriche della strada restano invariate e i volumi di traffico sono noti (AASHTO, 2010).

Le SPFs possono essere applicate per stimare il numero atteso di incidenti in diverse situazioni, quali:

- una nuova infrastruttura in relazione ai volumi di traffico futuri
- una nuova infrastruttura in relazione a differenti alternative di progetto
- infrastrutture esistenti in corrispondenza dei volumi di traffico passati e futuri
- infrastrutture esistenti in seguito a differenti alternative di intervento.

La frequenza attesa degli incidenti varia da una area geografica all'altra, anche tra strade con caratteristiche geometriche e di traffico simili, a causa di variazione delle condizioni climatiche, delle condizioni demografiche, del comportamento degli utenti, dei dispositivi di sicurezza dei veicoli, delle politiche di controllo ed educazione per la sicurezza stradale, delle differenti modalità nel processo di rilievo degli incidenti, ecc. Le funzioni di prestazione sono riferite a condizioni base ma possono essere applicate a diverse condizioni di studio applicando dei fattori di modificazione degli incidenti che tengono conto delle specifiche condizioni locali.

Le principali fonti da cui i professionisti e gli enti gestori di strade possono attingere le funzioni di prestazione della sicurezza sono l'Highway Safety Manual (AASHTO, 2010) e le pubblicazioni scientifiche della letteratura tecnica.

In letteratura per la calibrazione delle funzioni di prestazione della sicurezza sono utilizzati metodi tradizionali e metodi nuovi.

I metodi tradizionali includono il modello Poisson, il modello binomiale negativo e le loro estensioni (Uhm, 2012). I metodi nuovi comprendono i modelli bivariati, i modelli multivariati, i modelli lineari generalizzati (GLM), i modelli di correlazione spaziale e temporale, le reti neurali, le reti neurali Bayesiane, i modelli gerarchici, il modello multinomiale negativo, il modello logit binario, il modello probit binario, il modello logit multinomiale, il modello nested logit, il modello logit sequenziale, il

modello probit sequenziale, ecc. (Lord et al., 2010; Savolainen et al., 2011; Mannering et al., 2013).

Da un punto di vista applicativo le funzioni di prestazione della sicurezza possono essere riferite a: intersezioni semaforizzate (Zhang et al, 2013); intersezioni (Wang et al., 2014; Potts et al., 2013; Pulugurtha et al., 2012); rotatorie (Fawez et al., 2014; Dixon et al., 2014; Angelastro et al., 2012; Sacchi et al., 2011); strade extraurbane a due corsie (Bornheimer et al. 2012; Peng et al., 2012, Russo et al., 2013); tratti autostradali (Chen et al., 2014; Qin et al., 2014; Zeng et al., 2014; Chngye et al., 2013; Montella, 2009; Montella et al., 2012b); reti stradali (Xu et al., 2014); cantieri stradali (Chen et al., 2014); ecc.

Con riferimento alle condizioni locali italiane, Montella et al. (Montella et al., 2008) hanno calibrato funzioni di prestazione della sicurezza sull'autostrada A16 (Napoli Candela) nel periodo di analisi 2001 – 2005.

2.4.1 Le funzioni di prestazione dell'Highway Safety Manual

L'Highway Safety Manual, pubblicato dall' American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 2010) fornisce funzioni di prestazione della sicurezza differenti per i tronchi e le intersezioni stradali ed assume che la somma della frequenza media attesa degli incidenti in tutti tronchi stradali e della frequenza media attesa degli incidenti nelle intersezioni è pari alla frequenza media attesa degli incidenti sull'intera rete stradale (Figura 20).

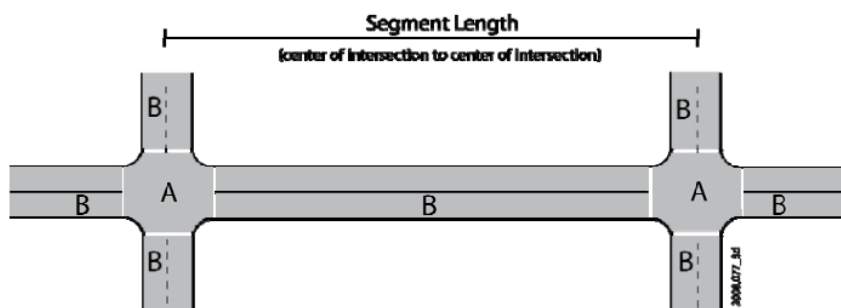


Figura 20 - Schema dell'HSM.

Le SPF sono state sviluppate per tre tipologie di strada:

- strada extraurbana a due corsie,
- strada extraurbana a più corsie,
- arterie urbane e suburbane,

e per ciascuna tipologia di strada per tronchi stradali, intersezioni regolate da stop e intersezioni semaforizzate.

Nel caso di tronchi su strade extraurbane a due corsie, la funzione di prestazione della sicurezza fornita dall’HSM è (Figura 21):

$$N_{spf\ rs} = AADT \times L \times 365 \times 10^{(-6)} \times e^{(-0.312)} \quad (1)$$

dove:

- $N_{spf\ rs}$ è il numero atteso di incidenti in condizioni base nei tronchi [incidenti/anno];
- $AADT$ è il traffico giornaliero medio annuo [veic/gg];
- L è la lunghezza del tronco [miglia].

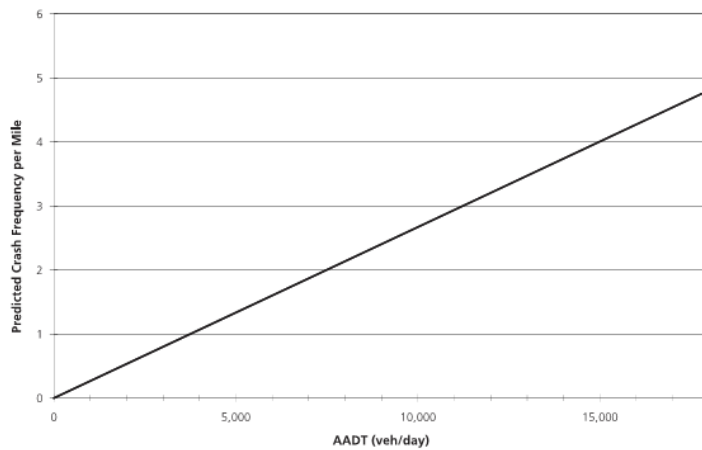


Figura 21 – Rappresentazione grafica delle SPFs per tronchi su strade extraurbane a due corsie (Fonte: AASHTO, 2010).

Nel caso di intersezioni a 3 bracci regolate da stop su strade extraurbane a due corsie, la funzione di prestazione della sicurezza fornita dall’HSM è (Figura 22):

$$N_{spf\ 3ST} = e^{[-9.86+0.79 \times \ln(AADT_{maj})+0.49 \times \ln(AADT_{min})]} \quad (2)$$

dove:

- $N_{spf\ 3ST}$ è il numero atteso di incidenti in condizioni base nelle intersezioni a 3 bracci regolate da stop sulla secondaria [incidenti/anno];
- $AADT_{maj}$ è il traffico giornaliero medio annuo sulla principale [veic/gg];
- $AADT_{min}$ è il traffico giornaliero medio annuo sulla secondaria [veic/gg].

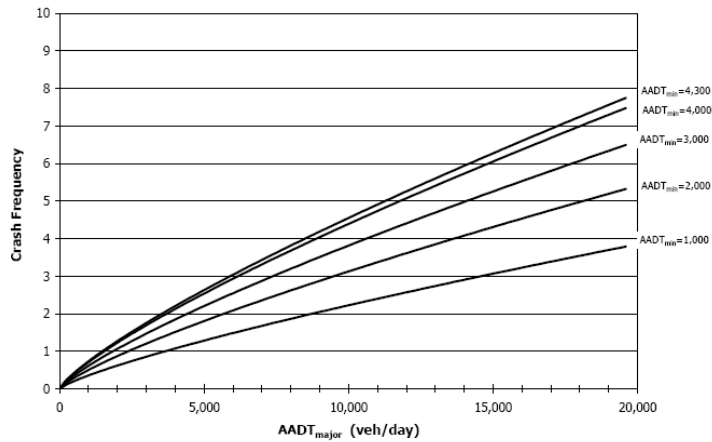


Figura 22 - Rappresentazione grafica delle SPFs per intersezioni a 3 bracci, regolate da stop, su strade extraurbane a due corsie (Fonte: AASHTO, 2010).

Nel caso di intersezioni a 4 bracci regolate da stop su strade extraurbane a due corsie, la funzione di prestazione della sicurezza fornita dall’HSM è (Figura 23):

$$N_{spf\ 4ST} = e^{[-8.56+0.60 \times \ln(AADT_{maj})+0.61 \times \ln(AADT_{min})]} \quad (3)$$

dove:

- $N_{spf\ 4ST}$ è il numero atteso di incidenti in condizioni base nelle intersezioni a 4 bracci regolate da stop sulla secondaria [incidenti/anno];
- $AADT_{maj}$ è il traffico giornaliero medio annuo sulla principale [veic/gg];
- $AADT_{min}$ è il traffico giornaliero medio annuo sulla secondaria [veic/gg].

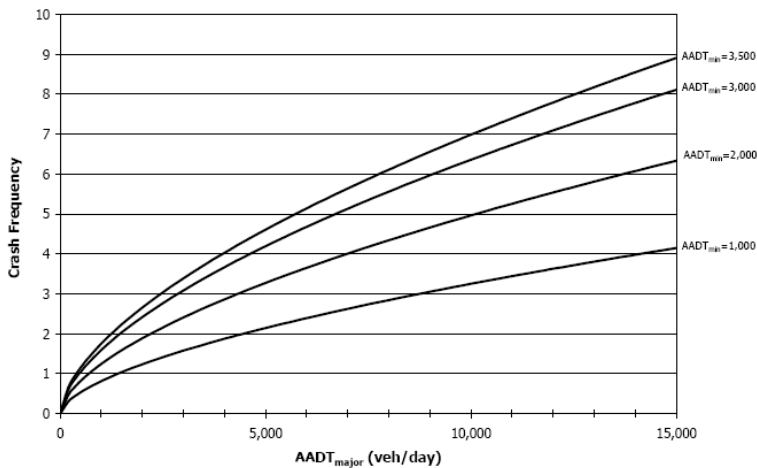


Figura 23 - Rappresentazione grafica delle SPFs per intersezioni a 4 bracci, regolate da stop, su strade extraurbane a due corsie (Fonte: AASHTO, 2010).

Nel caso di intersezioni a 4 bracci semaforizzate su strade extraurbane a due corsie, la funzione di prestazione della sicurezza fornita dall’HSM è (Figura 24):

$$N_{spf\ 4SG} = e^{[-5.13+0.60 \times \ln(AADT_{maj})+0.20 \times \ln(AADT_{min})]} \tag{4}$$

dove:

- $N_{spf\ 4SG}$ è il numero atteso di incidenti in condizioni base nelle intersezioni a 4 bracci semaforizzate sulla secondaria [incidenti/anno];
- $AADT_{maj}$ è il traffico giornaliero medio annuo sulla principale [veic/gg];
- $AADT_{min}$ è il traffico giornaliero medio annuo sulla secondaria [veic/gg].

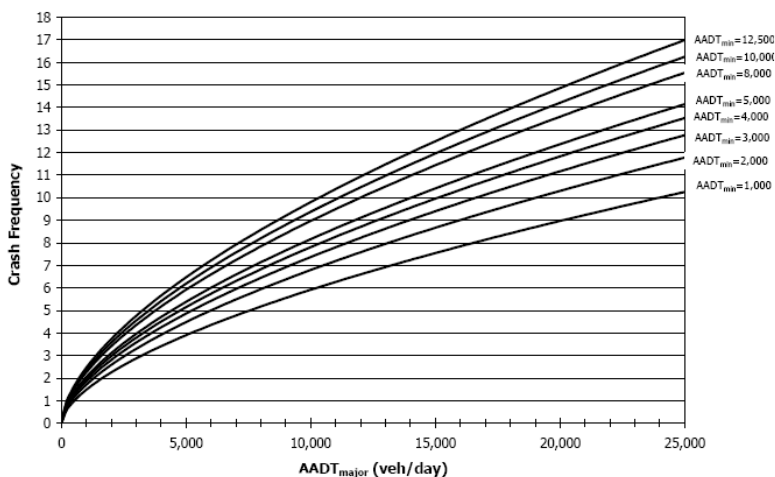


Figura 24 - Rappresentazione grafica delle SPFs per intersezioni semaforizzate a 4 bracci su strade extraurbane a due corsie (Fonte: AASHTO, 2010).

Nel caso di tronchi di strade extraurbane a più corsie ed unica carreggiata, la funzione di prestazione della sicurezza fornita dall’HSM è (Figura 25):

$$N_{spf\ nt} = e^{[a+b \times \ln(AADT_{maj})+\ln(L)]} \tag{5}$$

dove:

- $N_{spf\ nt}$ è il numero atteso di incidenti in condizioni base [incidenti/anno];
- $AADT$ è il traffico giornaliero medio annuo [veic/gg];
- L è la lunghezza del tronco [migliaia];
- a e b sono i coefficienti di regressione i cui valori sono riportati in Tabella 9.

Tabella 9 – Coefficienti delle SPFs su strade extraurbane ad una carreggiata (Fonte: AASHTO, 2010).

	<i>a</i>	<i>b</i>
Incidenti totali	-9.653	1.176
Incidenti con morti e feriti	-9.410	1.094
Incidenti con morti e feriti (esclusi i possibili feriti)	-8.577	0.938

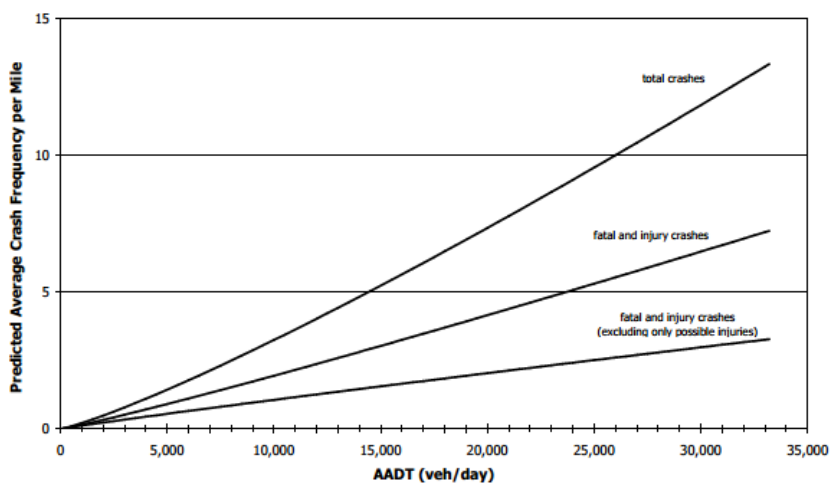


Figura 25 - Rappresentazione grafica delle SPFs per strade extraurbane a più di due corsie e carreggiata unica (Fonte: AASHTO, 2010).

Nel caso di tronchi di strade extraurbane (Figura 26) a più di due corsie e due carreggiate i coefficienti *a* e *b* assumono i valori riportati in Tabella 10.

Tabella 10 – Coefficienti delle SPFs su strade extraurbane a due carreggiate (Fonte: AASHTO, 2010).

	<i>a</i>	<i>b</i>
Incidenti totali	-9.025	1.049
Incidenti con morti e feriti	-8.837	0.958
Incidenti con morti e feriti (esclusi i possibili feriti)	-8.505	0.874

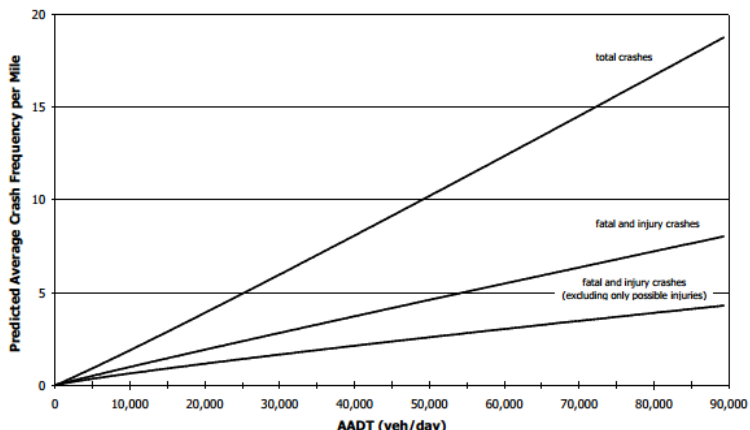


Figura 26 - Rappresentazione grafica delle SPFs per strade extraurbane a più di due corsie e due carreggiate (Fonte: AASHTO, 2010).

Nel caso di intersezioni su strade extraurbane a più di due corsie e due carreggiate, la funzione di prestazione della sicurezza fornita dall’HSM è (Figura 27, Figura 28, Figura 29):

$$N_{spf\ int} = e^{[a+b \times \ln(AADT_{maj}) + c \times \ln(AADT_{min})]} \tag{6}$$

o anche :

$$N_{spf\ int} = e^{[a+d \times \ln(AADT_{total})]} \tag{7}$$

dove:

- $N_{spf\ int}$ è il numero atteso di incidenti in condizioni base nelle intersezioni [incidenti/anno];
- $AADT_{maj}$ è il traffico giornaliero medio annuo sulla principale [veic/gg];
- $AADT_{min}$ è il traffico giornaliero medio annuo sulla secondaria [veic/gg];
- $AADT_{total}$ è il traffico giornaliero medio annuo sulla principale e sulla secondaria [veic/gg];
- a, b, c e d sono i coefficienti di regressione i cui valori sono riportati in Tabella 11e in Tabella 12.

Tabella 11 – Coefficienti delle SPFs per intersezioni su strade extraurbane con più di due corsie e due carreggiate – prima formula (Fonte: AASHTO, 2010).

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
Intersezioni a 4 bracci regolate da stop			
Incidenti totali	-10.008	0.848	0.448
Incidenti con morti e feriti	-11.554	0.888	0.525
Incidenti con morti e feriti (esclusi i possibili feriti)	-10.734	0.828	0.412
Intersezioni a 3 bracci regolate da stop			
Incidenti totali	-12.526	1.204	0.236
Incidenti con morti e feriti	-12.664	1.107	0.072
Incidenti con morti e feriti (esclusi i possibili feriti)	-11.989	1.013	0.228

Tabella 12 – Coefficienti delle SPFs per intersezioni su strade extraurbane con più di due corsie e due carreggiate – seconda formula (Fonte: AASHTO, 2010).

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
Intersezioni semaforizzate a 4 bracci				
Incidenti totali	-7.182	0.722	0.337	
Incidenti con morti e feriti	-6.393	0.638	0.232	
Incidenti con morti e feriti (esclusi i possibili feriti)	-12.011			1.279

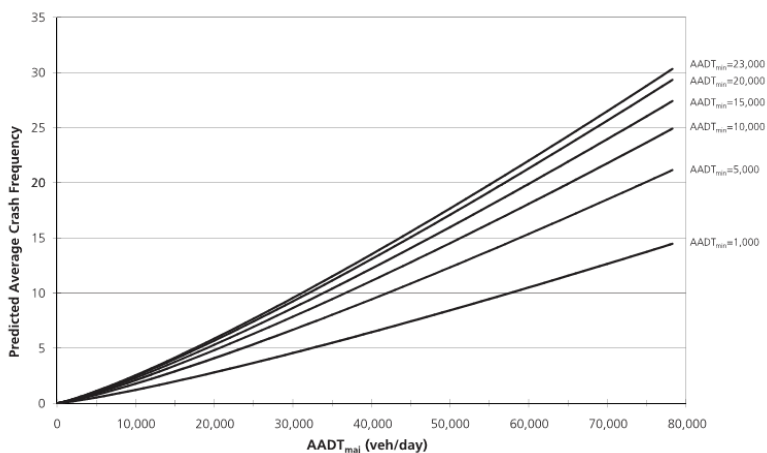


Figura 27 - Rappresentazione grafica delle SPFs intersezioni a 3 bracci regolate da stop su strade a più di due corsie e due carreggiate (Fonte: AASHTO, 2010).

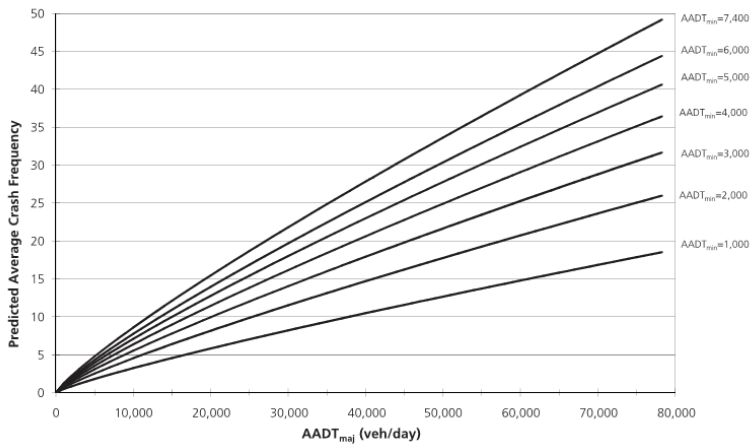


Figura 28 - Rappresentazione grafica delle SPFs intersezioni a 4 bracci regolate da stop su strade a più di due corsie e due carreggiate (Fonte: AASHTO, 2010).

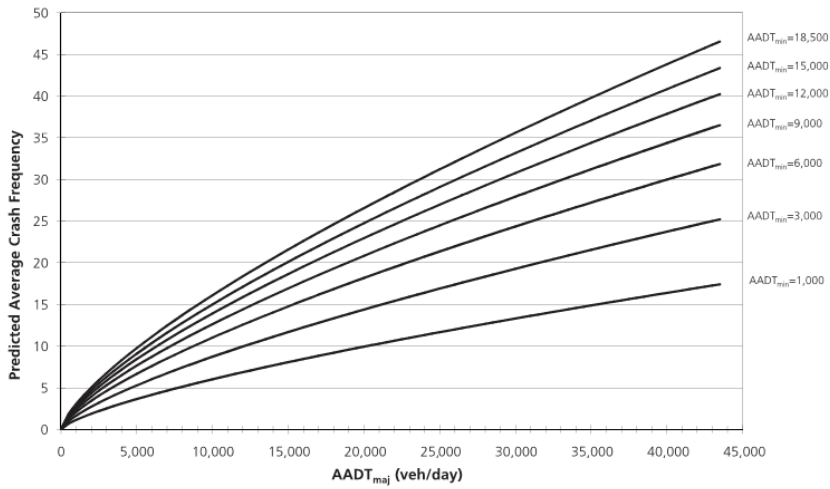


Figura 29 - Rappresentazione grafica delle SPFs intersezioni semaforizzate a 4 bracci su strade a più di due corsie e due carreggiate (Fonte: AASHTO, 2010).

2.4.2 Le misure di adattamento del modello ai dati reali

Le funzioni di prestazione della sicurezza possono essere calibrate con differenti procedure analitiche tenendo conto della significatività delle variabili e del miglioramento delle misure di adattamento del modello ai dati reali. L'adattamento del modello può essere valutata con:

a) il coefficiente di correlazione corretto (Miaou et al., 1996)

$$R_{\alpha}^2 = 1 - \left(\frac{k}{k_{\max}} \right) \quad (8)$$

dove k è il parametro di dispersione del modello calibrato e k_{\max} è il parametro di dispersione del modello ottenuto in assenza di covariate.

Un valore R_{α}^2 prossimo a zero indica che non vi è legame lineare tra le variabili dipendenti ed indipendenti, mentre un valore vicino a 1 indica una legame lineare.

b) l'Akaike Information Criterion (Akaike, 1987)

$$AIC = -2 \times ML + 2 \times p \quad (9)$$

dove ML è la log-verosimiglianza massima del modello adattato e p è il numero di parametri del modello. Il primo termine dell'equazione AIC misura l'adattamento quando si utilizzano le stime di massima verosimiglianza dei parametri. Il secondo termine misura la complessità del modello, penalizzando così il modello per l'utilizzo di più parametri. L'obiettivo per la selezione del miglior modello è quello di scegliere la soluzione migliore con la minima complessità. Un valore AIC minore riflette un modello migliore.

c) il Bayesian Information Criterion (Schwarz, 1978)

$$BIC = -2 \times ML + p \times \log(n) \quad (10)$$

dove ML è la log-verosimiglianza massima del modello adattato, p è il numero di parametri del modello ed n è il numero di osservazioni.

d) La "Mean Prediction Bias" (Washington et al., 2005)

$$MPB = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)}{n} \quad (11)$$

dove Y_i è il numero di incidenti osservati, \hat{Y}_i è il numero di incidenti attesi ed n è il numero di siti. Un valore positivo di MPB indica che la funzione di prestazione della sicurezza sovrastima il numero di incidenti, mentre un valore negativo sottostima il numero di incidenti reali.

e) La “Mean Absolute Deviation” (Washington et al., 2005)

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n \text{ass}(Y_i - \hat{Y}_i)}{n} \quad (12)$$

dove Y_i è il numero di incidenti osservati, \hat{Y}_i è il numero di incidenti attesi ed n è il numero di siti. Minore è la MAD, meglio il modello si adatta ai dati reali.

f) La “Mean Squared Prediction Error” (Mehta et al., 2013)

$$MSPE = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n} \quad (13)$$

dove Y_i è il numero di incidenti osservati, \hat{Y}_i è il numero di incidenti attesi ed n è il numero di siti. Un valore inferiore di MSPE implica un modello migliore.

g) La “Mean Absolute Percentage Error” (Mehta et al., 2013)

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{(Y_i - \hat{Y}_i)}{\hat{Y}_i} \times 100 \right|}{n} \quad (14)$$

dove Y_i è il numero di incidenti osservati, \hat{Y}_i è il numero di incidenti attesi ed n è il numero di siti. Un valore inferiore di MAPE implica un modello migliore.

h) il metodo dei residui cumulati

Il metodo dei residui cumulati (CURE), introdotto da Hauer (*Hauer et al., 1997*), per valutare l'adattamento del modello ai dati reali si basa sullo studio dei residui:

$$R_i = (Y_i - \hat{Y}_i) \quad (15)$$

dove Y_i è il numero di incidenti osservati, \hat{Y}_i è il numero di incidenti attesi nello stesso sito e nello stesso periodo di tempo.

Il residuo cumulato è dato dalla formula:

$$R_n = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i) \quad (16)$$

Dal grafico dei residui cumulati è possibile verificare se i valori teorici calcolati si adattano ai dati reali con buona approssimazione (Figura 30). In particolare, se all'aumentare del volume di traffico, i residui cumulati oscillano intorno allo zero il modello si adatta con buona approssimazione ai dati reali.

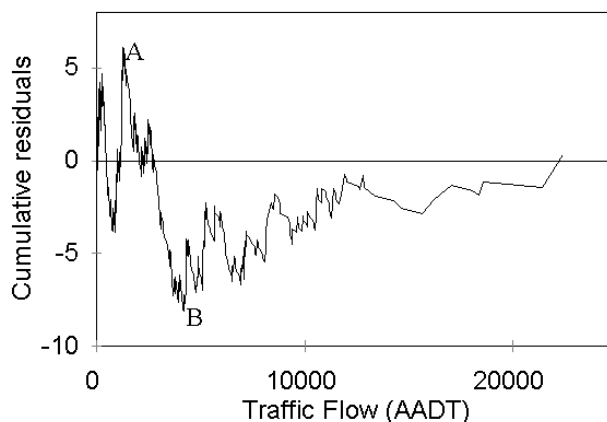


Figura 30 – Esempio della rappresentazione grafica dei residui cumulati.

In tal caso, la media dei residui cumulati tende a zero e la varianza dei residui cumulati può essere calcolata dal valore dei residui cumulati elevato al quadrato:

$$\sigma_n^2 = R_n^2 \quad (17)$$

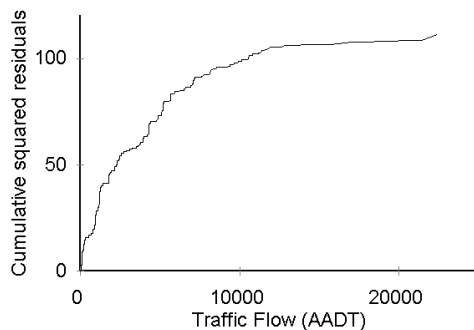


Figura 31 – Esempio della rappresentazione grafica del quadrato dei residui cumulati.

Disponendo le n osservazioni in ordine crescente per volume di traffico si calcola la varianza come:

$$\sigma^{*2} = \sigma_n^2 \times \left(1 - \frac{\sigma_n^2}{\sigma_N^2}\right) \tag{18}$$

dove N è l' n -esima osservazione che corrisponde al maggior volume di traffico. Quindi si calcolano i valori limite della deviazione standard $\pm 2 \sigma^*$ (Figura 32). Se il grafico dei residui cumulati è contenuto nell'intervallo $\pm 2 \sigma^*$, il modello selezionato è valido e le stime dei coefficienti calcolati sono affidabili.

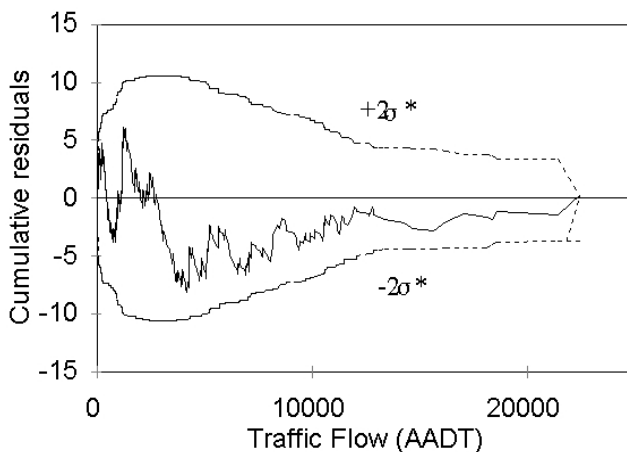


Figura 32 – Esempio della rappresentazione grafica dei residui cumulati e della deviazione standard $\pm 2 \sigma^*$.

2.5 I fattori di modificazione degli incidenti

I fattori di modificazione degli incidenti (CMFs) sono una stima dell'efficacia dell'implementazione di un particolare intervento di miglioramento della sicurezza. Ovvero sono fattori moltiplicativi utilizzati per calcolare il numero atteso di incidenti dopo l'implementazione di una data contromisura in uno specifico sito (Carter et al., 2012; Harkey et al., 2008). Gli effetti sulla sicurezza di una data contromisura possono essere rappresentati da fattori di modificazione degli incidenti che sono stime puntuali dell'efficacia o anche da funzioni di modificazione degli incidenti, che legano i CMFs a specifiche condizioni.

I CMFs possono essere utilizzati per:

- stimare l'efficacia degli interventi di miglioramento della sicurezza stradale;
- confrontare i benefici per la sicurezza di differenti alternative di progetto;
- identificare le strategie più convenienti in termini di riduzione dell'incidentalità;
- confrontare nuove analisi con i CMFs esistenti.

Per poter applicare i fattori di modificazione degli incidenti occorre conoscere il numero atteso di incidenti in assenza della contromisura. In particolare il numero di incidenti atteso in assenza della contromisura viene moltiplicato per il fattore di modificazione degli incidenti per stimare il numero atteso di incidenti dopo l'implementazione del trattamento di miglioramento della sicurezza.

Un valore del CMF maggiore di 1 indica un incremento atteso del numero di incidenti, mentre un valore minore di 1 indica una riduzione attesa del numero di incidenti dopo l'implementazione di un intervento di miglioramento della sicurezza.

I fattori di modificazione degli incidenti non sono costanti universali applicabili ovunque ed in ogni momento ma variabili casuali caratterizzate da media e deviazione standard (Hauer et al., 2012; FHWA, 2013). Pertanto, a parità di intervento i CMFs possono assumere valori differenti in funzione del tipo di strada, del tipo di controllo del traffico, del volume di traffico, dell'area geografica (Figura 33), quindi si presentano sotto forma di stime puntuali o anche di funzioni.

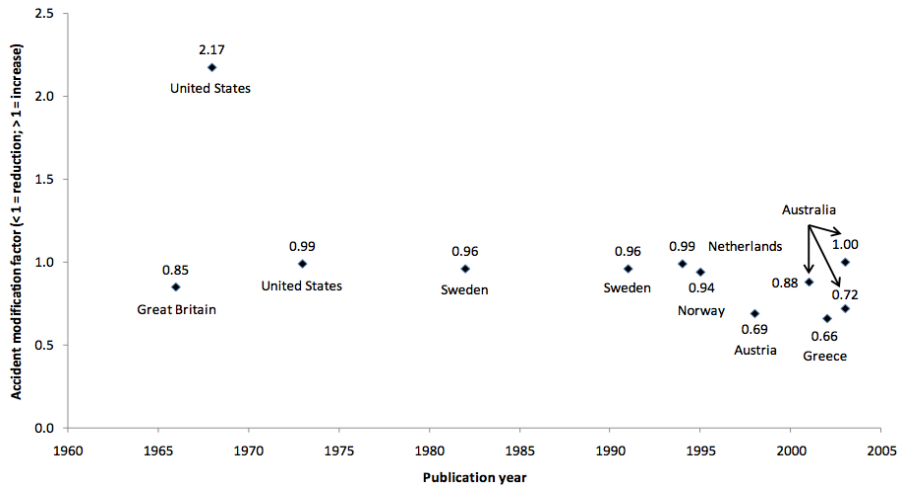


Figura 33 – CMFs per interventi di controllo delle velocità in 12 studi eseguiti negli anni 1966 – 2003.

2.5.1 Metodi per la stima dei fattori di modificazione degli incidenti

Nonostante le loro somiglianze matematiche, le tecniche utilizzate per stimare i fattori di modificazione degli incidenti sono molto diverse.

Gli studi osservazionali presenti in letteratura, per la stima dell'efficacia degli interventi di miglioramento della sicurezza possono essere classificati in analisi cross-sectional e analisi before-after (Savolainen et al., 2011; Lord et al., 2010).

Le analisi cross-sectional confrontano la frequenza media degli incidenti in un dato sito in presenza di trattamento con la frequenza media degli incidenti in siti simili in assenza di trattamento nello stesso periodo di tempo (Chen et al. 2014; Chen, 2014; Saha et al., 2014; Mohammadi et al., 2014).

Questo metodo è molto usato per stimare i fattori di modificazione degli incidenti quando non si ha a disposizione un numero sufficiente di siti dove è stato implementato uno specifico trattamento tale da garantire una significatività statistica. Inoltre il metodo cross-sectional è di facile implementazione ma può essere applicato solo quando tutti i siti sono uguali tra loro per tutti gli altri fattori che influenzano il rischio di incidente (Gross, 2013; Gross et al., 2011; Gross et al., 2010).

Le analisi before – after confrontano la frequenza media degli incidenti prima e dopo l'implementazione di uno specifico trattamento in un dato sito o gruppo di siti e possono essere eseguite con:

- il metodo “naive”, confronto tra i dati d'incidente prima e dopo l'intervento
- il metodo dei siti di confronto

- il metodo empirico Bayesiano
- il metodo Bayesiano completo.

Valutata l'efficacia degli interventi di miglioramento della sicurezza stradale è possibile definire i fattori di modificazione dell'incidentalità che possono essere utilizzati dagli Enti gestori di strade per la definizione degli interventi di messa in sicurezza più convenienti. Pertanto, risulta molto importante utilizzare valori dei CMFs adatti allo scenario in esame. Il processo di selezione di un fattore di modificazione degli incidenti è strettamente legato alla disponibilità, all'applicabilità e alla qualità dei CMFs. Le principali fonti da cui i professionisti e gli enti gestori di strade possono attingere i valori dei fattori di modificazione degli incidenti sono l'Highway Safety Manual (AASHTO, 2010), il sito web <http://www.cmfclearinghouse.org/> e le pubblicazioni scientifiche della letteratura tecnica.

Il metodo "naive"

Il metodo di analisi "naive" consiste nel misurare l'incidentalità prima e dopo l'esecuzione di un intervento che modifica le caratteristiche di un gruppo di siti sottoposti a trattamento.

Questo metodo si basa, sull'ipotesi che la sicurezza di un sito rimanga costante nel tempo e presuppone che l'unico fattore che influenza la variazione dell'incidentalità sia l'intervento stesso.

Le valutazioni di efficacia degli interventi di miglioramento della sicurezza con il metodo "naive", che confronta i dati di incidente prima e dopo l'intervento, è il metodo più semplice da applicare ma presenta numerose problematiche. Infatti, tale metodo produce stime errate in quanto parte dei cambiamenti osservati possono risultare:

- da modifiche dei volumi di traffico;
- da modifiche del trend dell'incidentalità dovute alla variazione delle condizioni climatiche, del comportamento degli utenti, dei dispositivi di sicurezza dei veicoli, delle politiche di controllo ed educazione per la sicurezza stradale, delle differenti modalità nel processo di rilievo degli incidenti, ecc.
- dal fenomeno di regressione alla media: ovvero il metodo naive non tiene conto delle variazioni del numero di incidenti che si sarebbe verificata anche in assenza di interventi in quanto il meccanismo di selezione dei siti da trattare non è di tipo casuale ma è basato in genere sulla frequenza

degli incidenti, per cui è elevata la probabilità di un'oscillazione del conteggio degli incidenti intorno al valore medio. Ne consegue che l'applicazione del metodo del semplice confronto dei dati di incidente prima e dopo l'intervento tende a sovrastimare l'efficacia degli interventi.

Pertanto, per effettuare una corretta quantificazione degli effetti di un intervento di miglioramento della sicurezza, occorre confrontare la situazione con l'intervento nel periodo after con la situazione che si sarebbe avuta senza l'intervento nello stesso periodo di tempo.

Il metodo dei siti di confronto

Le analisi before - after effettuate con il metodo dei siti di confronto utilizzano un gruppo di siti di confronto simili a quelli in cui è stato eseguito l'intervento, per tener conto delle variazioni dell'incidentalità non dovute all'intervento (variazione nelle condizioni atmosferiche, nella demografia, nelle pratiche di rilievo degli incidenti).

L'ipotesi di base del metodo è che la variazione del numero degli incidenti nei siti di intervento, nel caso di assenza di intervento, sarebbe stata nella stessa proporzione che si è verificata nel gruppo di confronto (Hauer, 1997).

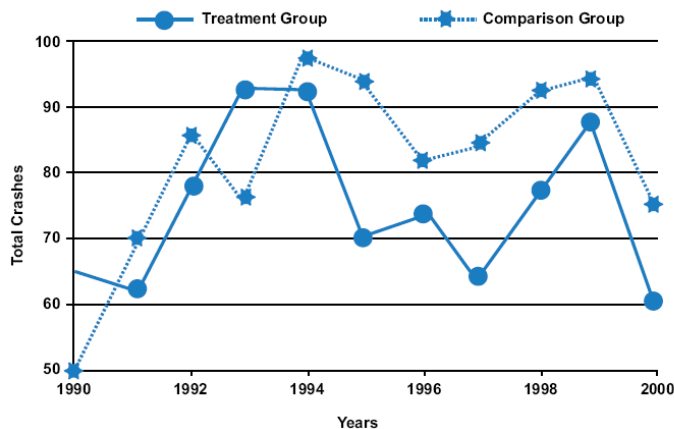


Figura 34 – Esempio di trend dell'incidentalità nei siti di intervento e di confronto (Fonte: Gross et al., 2010).

Il gruppo di siti di confronto viene utilizzato per calcolare il rapporto tra la frequenza osservata degli incidenti nel periodo dopo e nel periodo prima. Tale rapporto viene moltiplicato per la frequenza degli incidenti osservata nel periodo dopo nei siti di intervento per fornire la frequenza attesa degli incidenti nei siti di

intervento quando il trattamento non è stato implementato. Tale stima viene poi confrontata con la frequenza osservata degli incidenti nel periodo dopo nei siti di trattamento per stimare l'efficacia dell'intervento (*De Pauw et al., 2012*).

Il metodo empirico Bayesiano (EB)

Il metodo empirico bayesiano (EB) è riconosciuto a livello internazionale come il più efficace per la stima di efficacia degli interventi di miglioramento della sicurezza stradale.

Tale metodo:

- rimuove gli errori dovuti alla regressione alla media;
- tiene conto dei cambiamenti nel tempo non dovuti all'intervento oggetto di valutazione;
- riduce il livello di incertezza nella stima di efficacia degli interventi;
- consente di valutare anche l'intervallo di confidenza delle stime (*Park et al., 2012; AASHTO, 2010; Gross et al., 2010; Persaud et al., 2007; Hauer et al., 2002; Hauer, 1997*).

Il metodo EB per la valutazione di efficacia degli interventi di miglioramento della sicurezza può essere applicato solo se sono disponibili i dati di traffico e di incidentalità nei periodi prima e dopo, con numerosità tale da consentire valutazioni statisticamente significative e i dati per calibrare funzioni di prestazione della sicurezza in un numero di siti di riferimento tale da garantirne significatività statistica (*Wang et al., 2014; Cafiso et al., 2014; Sun et al., 2014; Hawkins et al., 2014; Zeng et al., 2014; Abuzwidah et al., 2014*).

Gli studi before-after con il metodo Empirico Bayesiano possono essere effettuati per eseguire analisi di efficacia di una tipologia di trattamento in siti multipli (*Qin et al., 2013; Lyon et al.2008a, Lyon et al.2008b, Srinivasan et al., 2008, Patel et al., 2007*) e di trattamenti multipli in un'area geografica (*Richard et al., 2011*).

Nel primo caso si selezionano siti in differenti aree geografiche in cui è stato realizzato un intervento della stessa tipologia mentre nel secondo si selezionano siti di intervento in un'area geografica (p.e., un comune o una provincia) in cui sono state effettuate misure combinate di miglioramento della sicurezza (p.e., modifica del piano semaforico, attivazione del piano semaforico nelle ore notturne, aumento del diametro delle lanterne ed installazione di pannelli di contrasto delle lanterne).

Molti studi presenti in letteratura, utilizzano il metodo EB per valutare l'efficacia di interventi di miglioramento della sicurezza stradale quali:

- la riduzione del limite di velocità da 90 a 70 km/h nella città di Limburg in Germania (*De Pauw et al., 2012*);
- la variazione delle fasi semaforiche per la svolta a sinistra (*Srinivasan et al., 2012*);
- l'istallazione di segnali con lampeggiatori sequenziali (*Persaud et al., 2012*);
- l'istallazione di due corsie centrali di svolta a sinistra sulle strada a due corsie (*Lyon et al., 2008a*);
- l'istallazione di corsie di svolta a destra canalizzate (*Potts et al., 2013*);
- l'istallazione di strisce di margine rumorose (*Patel et al., 2007*);
- l'istallazione di fari lampeggianti in corrispondenza delle intersezioni regolate da stop (*Srinivasan et al., 2008*);
- l'utilizzo di diverse tipologie di banchina pavimentata su strade extraurbane a due corsie (*Zeng H. et al., 2013; Zeng H. et al., 2012; Li et al., 2013*).

Il metodo Bayesiano completo (FB)

Il metodo bayesiano completo per le stime di efficacia degli interventi viene utilizzato in mancanza dei dati di traffico e di incidente adeguati (*Schultz et al., 2014; El-Basyouny et al., 2014; Li et al., 2014*) o quando si hanno a disposizione campioni di dimensioni piccole. Questo può essere particolarmente utile per analizzare le tipologie di incidente più rare come gli incidenti che coinvolgono i pedoni.

Tale metodo utilizza le conoscenze a priori, compresi i risultati degli studi al simulatore e delle altre esperienze nazionali ed internazionali o mediante l'analisi before-after con siti di confronto.

Il principale problema per l'applicazione del metodo bayesiano completo è la complessità di applicazione e di implementazione in quanto può richiedere un livello molto elevato di formazione statistica.

3. Il metodo di analisi

3.1 Il metodo lineare generalizzato (GLM) per la calibrazione delle funzioni di prestazione della sicurezza

I metodi statistici principalmente utilizzati per la calibrazione delle funzioni di prestazione della sicurezza sono la tecnica di regressione lineare convenzionale e la tecnica di regressione lineare generalizzata. A partire da metà degli anni ottanta, molti lavori di ricerca hanno evidenziato i limiti della tradizionale regressione lineare nel caso di modelli predittivi degli incidenti, ed è per questo, che al giorno d'oggi la tecnica di regressione lineare generalizzata (GLM) è la metodologia statistica di regressione più comunemente utilizzata.

Nel caso di regressione lineare ordinaria, la distribuzione dell'errore è di tipo normale con media zero e varianza costante.

Ma gli incidenti sono eventi rari discreti e non negativi, pertanto il modello previsionale deve essere uno stimatore di eventi discreti, rari ed indipendenti.

Infatti, la regressione lineare non è adatta per la stima del numero di incidenti in quanto:

- la distribuzione normale è continua ed il numero di incidenti è una variabile aleatoria discreta;
- la distribuzione normale degli errori implica una probabilità di un numero negativo di incidenti diversa da zero, specialmente quando sono piccoli i flussi ed il numero di incidenti previsto mentre il numero di incidenti non può essere negativo;
- la varianza del numero di incidenti non è costante ma tende ad aumentare con l'aumento dei flussi di traffico e del numero di incidenti previsto.

I modelli di regressione lineari generalizzati (GLM) rappresentano una variazione della tecnica di regressione lineare convenzionale pur conservando la stessa forma generale:

$$Y = E(Y) + \varepsilon \quad (19)$$

In tal caso, però il legame tra il valore atteso della variabile di risposta e le covariate non è di tipo lineare ma il legame è espresso da una funzione g invertibile e derivabile:

$$g(E(Y)) = X\beta \quad (20)$$

Quindi il modello assume la forma:

$$Y = g^{-1}(X\beta) + \varepsilon \quad (21)$$

Per stimare la frequenza di incidenti si assume la forma lineare generalizzata in quanto garantisce un valore non negativo del numero medio di incidenti per unità di tempo:

$$Y = \exp(b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + \dots + b_n \cdot X_n) + \varepsilon \quad (22)$$

dove:

- X_i sono le variabili esplicative;
- b_j sono i coefficienti del modello;
- ε è l'errore.

I modelli più consono per effettuare una stima della frequenza degli incidenti attraverso variabili esplicative sono il Modello di Poisson e in Modello Binomiale Negativo.

Nel modello di Poisson, la probabilità che siano osservati y incidenti per unità di tempo è:

$$P(Y = y / \lambda) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^y}{y!} \quad (23)$$

con $y = 0, 1, 2, \dots$

dove:

- Y è la variabile dipendente, numero di incidenti
- $P(Y = y)$ è probabilità che si verifichi un numero di incidenti pari a y nell'intervallo di tempo scelto
- λ è valore atteso del numero di incidenti.

La distribuzione Poisson è una distribuzione discreta utilizzata per il conteggio di eventi casuali nel tempo e nello spazio, caratterizzata dal fatto che la media e la varianza sono uguali. Tale assunzione che pone la media pari alla varianza non è quasi mai rispettata in quanto il conteggio degli incidenti è in genere sovradisperso, ossia la varianza è maggiore della media. Per tener conto questa limitazione è stato utilizzato il modello binomiale negativo, che prende in considerazione il problema della dispersione dei dati. La variabile casuale binomiale negativa è una variabile casuale discreta, la cui distribuzione è caratterizzata dalle seguenti relazioni:

$$E(Y) = \mu \quad (24)$$

$$\text{Var}(Y) = \mu + \alpha\mu^2 \quad (25)$$

dove:

- Y rappresenta la frequenza degli incidenti relativa ad una determinata zona e in un determinato istante
- μ è la media della variabile Y
- α è il parametro di dispersione.

Se il parametro di dispersione α è prossimo allo zero, la varianza è prossima alla media, il che coincide con l'assunzione della distribuzione di Poisson. La presenza della dispersione è corretta attraverso la seguente relazione logaritmica lineare tra il numero atteso di incidenti e le variabili esplicative:

$$\ln(\mu_i) = X_i\beta + \varepsilon_i \quad (26)$$

dove:

- i è l'unità di osservazione (come per dire la i-esima osservazione),
- μ_i è il numero atteso di incidenti,
- X_i sono le variabili esplicative,
- β è il vettore dei coefficienti stimati
- ε_i è il fattore di errore casuale che tiene in conto dell'effetto delle variabili omesse.

La funzione di probabilità della distribuzione negativa binomiale è:

$$\Pr(Y = y_i) = \frac{\Gamma(y_i + \frac{1}{k})}{\Gamma(\frac{1}{k})\Gamma(y_i + 1)} \left(\frac{k\mu_i}{1+k\mu_i}\right)^{y_i} \left(\frac{1}{1+k\mu_i}\right)^{\frac{1}{k}} \quad (27)$$

dove:

- Y è la variabile numero di incidenti,
- $P(Y=y)$ è la probabilità che si verifichi un numero di incidenti pari a y,
- $\lambda = \Psi(X_i; \beta_j)$ è il valore atteso del numero di incidenti,
- X_i è il vettore degli attributi,
- β_j è il vettore dei coefficienti degli attributi da stimare,
- k è parametro di forma della variabile $\Gamma(\cdot)$, indipendente dagli attributi X_i .

Nel considerare una distribuzione degli incidenti secondo una binomiale negativa, in genere si ipotizza che il parametro di sovradisersione sia lo stesso per tutte le entità considerate (per tutti gli incidenti rilevati). Tale semplificazione non corrisponde esattamente alla realtà in quanto anche a parità di media (anche ad esempio del traffico giornaliero medio) le distribuzioni possono essere anche molto diverse.

3.2 Il metodo empirico Bayesiano (EB) per la stima dei fattori di modificazione degli incidenti

Il metodo empirico bayesiano (EB) è riconosciuto a livello internazionale come il più efficace nella stima dei fattori di modificazione degli incidenti in quanto rimuove gli errori dovuti alla regressione alla media, tiene conto dei cambiamenti nel tempo non dovuti all'intervento oggetto di valutazione, riduce il livello di incertezza nella stima di efficacia degli interventi e consente di valutare anche l'intervallo di confidenza delle stime (Hauer et al., 2002).

Con l'approccio EB, la modifica di sicurezza per un dato tipo di incidente in un dato sito è calcolata come la differenza tra il numero atteso di incidenti nel periodo dopo in assenza di intervento (basato sulla stima della sicurezza di lungo termine del sito) ed il numero di incidenti registrati nel periodo dopo:

$$\delta = \lambda - \pi \quad (28)$$

$$Var(\delta) = Var(\lambda) + Var(\pi) \quad (29)$$

dove λ è il numero atteso di incidenti nel periodo dopo in assenza di intervento e π il numero di incidenti registrati nel periodo dopo.

Nella stima di λ , gli effetti della regressione alla media e delle modifiche nel volume di traffico e negli altri fattori sono esplicitamente tenuti in conto calibrando modelli predittivi degli incidenti, denominati anche funzioni di prestazione della sicurezza (SPF), basati su siti di riferimento non sottoposti a trattamento che correlano gli incidenti al volume di traffico ed altri fattori influenti di controllo del traffico e caratteristiche della strada (p.e., andamento planimetrico, andamento altimetrico, distanza di visibilità, sezione trasversale, ecc.).

A causa del fenomeno della regressione alla media (Figura 76) se un sito è scelto per intervenire in base ad un elevato conteggio del numero di incidenti si osserverà: (a) un miglioramento apparente anche se il trattamento non è efficace,

(b) un miglioramento apparente maggiore di quello reale. Questo fenomeno è dovuto al fatto che gli incidenti sono eventi rari e casuali, distribuiti secondo una variabile casuale di Poisson con una media λ .

In media, un sito che ha registrato un elevato numero di incidenti registrerà in futuro (in assenza di interventi) una riduzione del numero di incidenti che tenderà verso la media, mentre un sito che ha registrato un basso numero di incidenti registrerà in futuro un aumento del numero di incidenti che tenderà verso la media.

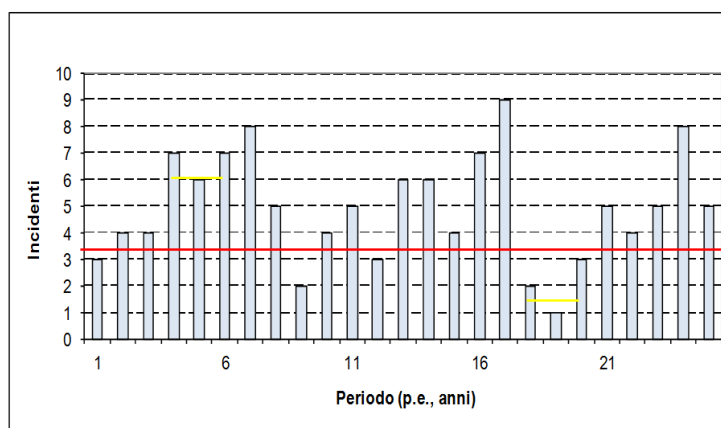


Figura 35 - Regressione alla media degli incidenti.

Gli effetti temporali sulla sicurezza legati alla variazione nelle condizioni atmosferiche, nella demografia, nelle pratiche di rilievo degli incidenti, ecc. sono tenuti in conto calibrando moltiplicatori annuali degli incidenti.

Le stime degli incidenti sono poi combinate con il conteggio degli incidenti nel periodo prima nel sito di trattamento per ottenere una migliore stima del numero di incidenti nel periodo prima nel sito, mediante l'equazione:

$$EB_b = w \times \hat{E}(Y)_b + (1 - w) \times Count_b \quad (30)$$

La deviazione standard della stima EB_b è:

$$\sigma(EB_b) = \sqrt{(1 - w) \times EB_b} \quad (31)$$

La stima EB_b dipende dal peso attribuito agli incidenti attesi in siti simili.

Il peso del numero atteso di incidenti stimato con il modello predittivo dipende da:

- quanti incidenti sono stimati (all'aumentare del numero stimato di incidenti diminuisce il peso, nel senso che aumenta il grado di fiducia assegnato ai dati storici degli incidenti);

- quanto può differire il numero di incidenti del sito rispetto al numero medio stimato con il modello predittivo, ovvero quanto è affidabile il modello predittivo (all'aumentare del parametro di sovradisersione aumenta l'affidabilità del modello predittivo e quindi il suo peso).

Al crescere di w si attribuisce maggior peso alla frequenza degli incidenti calcolata tramite la funzione di prestazione della sicurezza; viceversa, al diminuire di w , si conferisce maggiore importanza alla frequenza osservata nel sito in questione (Falconetti, 2012).

$$w = \frac{1}{1 + \frac{\hat{E}(Y)_b}{k}} \quad (32)$$

dove:

- K è il parametro della binomiale negativa (inverso del parametro di dispersione);
- $Count_b$ è la frequenza di incidenti osservata nel periodo prima
- $\hat{E}(Y)_b$ è la frequenza di incidenti nel periodo prima stimata con la funzione di prestazione della sicurezza.

Il grafico (Figura 36) illustra il principio del metodo EB, evidenziando come la stima sia una media pesata tra il conteggio degli incidenti ed il numero degli incidenti stimato con una funzione di prestazione della sicurezza.

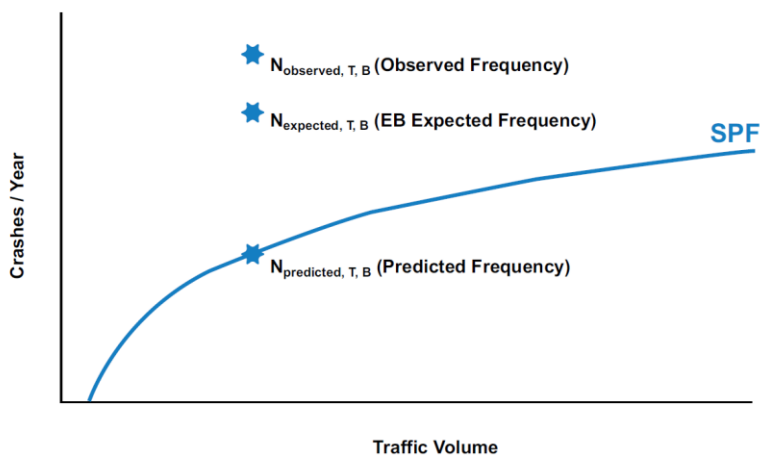


Figura 36 – Rappresentazione grafica della regressione alla media e della stima con il metodo EB (Fonte: Gross et al., 2010).

Il numero atteso di incidenti nel periodo dopo in assenza di intervento λ è calcolato moltiplicando la stima EB_b per il fattore R che tiene conto della durata del periodo dopo, delle differenze nei volume di traffico tra il periodo prima e il periodo dopo, e dei moltiplicatori annuali degli incidenti, calibrati insieme alle funzioni di prestazioni della sicurezza.

Il fattore R è il rapporto tra la incidenti stimati con il modello predittivo degli incidenti nel periodo dopo e nel periodo prima:

$$R = \frac{\hat{E}(Y)_a}{\hat{E}(Y)_b} \quad (33)$$

dove:

- $\hat{E}(Y)_a$ è la frequenza di incidenti nel periodo dopo stimata con la funzione di prestazione della sicurezza.
- $\hat{E}(Y)_b$ è la frequenza di incidenti nel periodo prima stimata con la funzione di prestazione della sicurezza.

$$\lambda = R \times EB_b = \frac{\hat{E}(Y)_a}{\hat{E}(Y)_b} \times EB_b \quad (34)$$

La varianza di λ è data dalla formula:

$$Var(\lambda) = R^2 \times \left[\frac{\hat{E}(Y)_b}{k + \hat{E}(Y)_b} \right]^2 \times (k + count_b) \quad (35)$$

La disaggregazione degli incidenti totali in differenti tipologie di incidenti dà luogo a stime degli incidenti con diversi pesi assegnati agli incidenti previsti e agli incidenti osservati, che a loro volta, producono stime complementari la cui somma differisce dalla stima di incidenti totali. Come suggerito da Hauer (*Hauer et al., 2002*), questa discrepanza viene corretta moltiplicando ciascuna stima disaggregata per il coefficiente (S) ottenuto come rapporto tra la stima EB per gli incidenti totali e la somma delle stime EB per le tipologie di incidenti complementari. Pertanto, per ogni tipologia di incidente disaggregata, la stima di λ viene moltiplicata per il fattore S e la stima della varianza di λ viene moltiplicato per il quadrato del fattore S .

La stima di λ è poi sommata in tutti i siti oggetto di studio (per ottenere λ_{sum}) e confrontata con la somma del conteggio degli incidenti nel periodo dopo (π_{sum}).

L'indice di efficacia (θ) è stimato come:

$$\theta = \frac{\frac{\pi_{sum}}{\lambda_{sum}}}{1 + \frac{\sum Var(\lambda)}{\lambda_{sum}^2}} \quad (36)$$

La deviazione standard di θ è calcolata come:

$$StDev(\theta) = \sqrt{\frac{\theta^2 \times \left[\frac{Var(\pi_{sum})}{\pi_{sum}^2} + \frac{\sum Var(\lambda)}{\lambda_{sum}^2} \right]}{\left[1 + \frac{\sum Var(\lambda)}{\lambda_{sum}^2} \right]^2}} \quad (37)$$

La percentuale di riduzione degli incidenti è $100 \times (1 - \theta)$.

L'intervallo di confidenza della stima è dato dalla formula:

$$(1 - \theta) \pm \alpha \times StDev(\theta) \quad (38)$$

dove α è pari a 1.96.

4. I dati di studio

L'attività di ricerca svolta nell'ambito del dottorato ha previsto nella fase preliminare l'individuazione di siti in cui sono stati eseguiti interventi di miglioramento della sicurezza come l'attivazione del sistema Safety Tutor sulla Tangenziale di Napoli e la realizzazione di una banca dati degli interventi in cui sono state registrate la data di attivazione del Tutor, la carreggiata, la progressiva iniziale e finale di ciascuna tratta Tutor. Tali informazioni, ricavate mediante sopralluoghi in sito e riprese video della strada, sono state poi verificate con i dati ufficiali della società "Tangenziale di Napoli spa". Inoltre, sono state progettate e realizzate la banca dati d'incidente, la banca dati geometrici e la banca dati dei traffici al fine di effettuare analisi di efficacia degli interventi più affidabili.

4.1 *Il sistema Tutor per il controllo della velocità media*

L'eccesso di velocità è tra i più importanti fattori che contribuiscono al verificarsi degli incidenti mortali (*Hauer, 2009; NHTSA, 2011*). La velocità eccessiva riduce la capacità del conducente di reagire e inoltre aumenta la distanza necessaria per l'arresto, quindi può logicamente aumentare la frequenza di incidenti. Anche la gravità degli incidenti aumenta notevolmente con l'aumento della velocità.

L' Highway Safety Manual (*AASHTO, 2010*) stima una riduzione degli incidenti con feriti del 17% dopo l'installazione di sistemi di controllo delle velocità.

L'installazione di sistemi di controllo delle velocità come l'autovelox presenta problemi in quanto gli automobilisti tendono a frenare bruscamente in prossimità della telecamera e poi riaccelerano fino a superare il limite di velocità. Questa frenata improvvisa può causare situazioni pericolose, incidenti o code. Inoltre, la velocità operativa di sicurezza non si ottiene dove non ci sono telecamere, soprattutto quando l'applicazione è manifesta, come accade in molti paesi, tra cui l'Italia.

Il sistema Safety Tutor è un sistema elettronico – informatico che permette di calcolare la velocità media dei veicoli su tratte autostradali di lunghezza variabile e di rilevare automaticamente le infrazioni al Codice della Strada. E' stato sviluppato dalla società Autostrade per l'Italia S.p.A. e la gestione è affidata alla Polizia Stradale. Il sistema può rilevare anche le velocità istantanee (ovviamente non in contemporanea alla modalità media).

Il sistema (Figura 37) è composto da:

1. Una telecamera, per ciascuna corsia di marcia, sospesa sopra la carreggiata su strutture in acciaio, appositamente installate o sui tralicci orizzontali dei pannelli a messaggio variabile già presenti in autostrada;
2. Una serie di spire ad induzione magnetica (per ogni corsia di marcia), annegate sotto l'asfalto immediatamente dopo le telecamere;
3. La rete in fibra ottica di Autostrade per l'Italia, che connette le varie sezioni di Polizia Stradale;
4. Un centro di elaborazione dati della Polizia Stradale;
5. Un software di riconoscimento ottico dei caratteri che compongono le targhe dei veicoli.

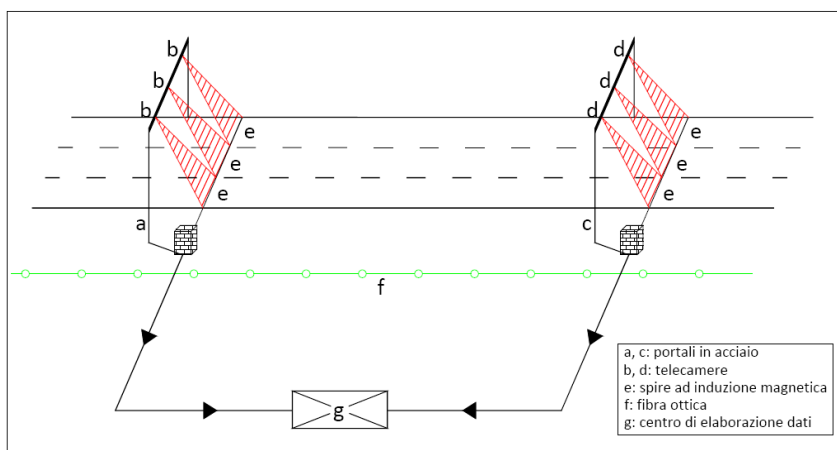


Figura 37 - Schema di funzionamento del sistema Safety Tutor.

Quando si attraversa una tratta coperta da Tutor:

- Il sensore del portale d'ingresso rileva la categoria del veicolo (automobile, moto, camion, pullman, ecc.) e attiva le telecamere che fotografano la targa e ne registrano la data e l'ora di passaggio.
- Alla fine della tratta, il sensore del portale d'uscita rileva il passaggio dei veicoli attivando le telecamere che ne fotografano la targa e ne registrano l'ora di transito sotto il portale.
- Un sistema centrale effettua gli abbinamenti tra i dati registrati dalle telecamere dei due portali, calcolando la velocità media di ciascun veicolo, intesa come il rapporto tra lo spazio percorso e il tempo impiegato per percorrerlo. I dati dei veicoli la cui velocità media non supera quella consentita vengono immediatamente eliminati.
- Per i veicoli in violazione, il sistema interroga in automatico gli archivi della Motorizzazione per risalire, tramite la targa, all'intestatario del veicolo. Le

violazioni vengono poi accertate dalla Polizia Stradale e il sistema provvede alla compilazione e alla stampa del verbale, inoltrando in via informatica i dati per la procedura di notifica al trasgressore.

A partire dal 2006, il sistema informativo per il controllo della velocità, è stato installato su molte autostrade italiane, sulle tratte che presentavano tassi di mortalità superiori alla media.

Questo sistema è stato utilizzato per la prima volta nel 2001 ed attualmente è attivo nel Regno Unito, in Olanda, in Italia e in Austria (*Lynch et al., 2011*). Negli ultimi anni, il Ministero dei Trasporti Olandese ha applicato sistemi di controllo della velocità media sulle tratte ed ha riscontrato su tali tratte una riduzione del numero delle vittime pari al 50% (*Olde Karter et al., 2005*). In Austria, Stefan (*2006*) ha valutato l'uso dei sistemi di controllo delle velocità medie su un tratto autostradale in galleria. Dopo due anni dall'installazione, il sistema di controllo della velocità media ha prodotto una riduzione degli incidenti con feriti lievi del 33.3 % e del 48.8 % degli incidenti con feriti gravi e morti. Un sistema simile è stato testato anche in Norvegia (*Bjørnskau, 2011*).

Il controllo delle velocità tramite Tutor è attivo su circa 2600 km di carreggiate della rete autostradale di Autostrade per l'Italia (circa il 39% dell'intera rete del Gruppo Autostrade per l'Italia) e complessivamente su circa 2900 km di carreggiate della rete autostradale nazionale (Tabella 13).

Già nel primo anno di funzionamento del sistema è stata registrata una significativa riduzione delle velocità medie (-15%) e delle velocità di picco (-25%). Il Tutor ha dimostrato di essere un eccellente strumento preventivo, capace di modificare positivamente i comportamenti di guida, determinando una netta diminuzione dell'incidentalità e delle conseguenze sulle persone (tasso di mortalità: -51%; tasso di incidentalità con feriti: -27%; tasso di incidentalità: -19%). A seguito degli importanti risultati ottenuti sul fronte della sicurezza, il Tutor è stato installato anche sulla A4 Brescia-Padova, sulla rete della Strada dei Parchi (Roma-Teramo e Avezzano-Sulmona in entrambe le direzioni), sulla rete delle Autovie Venete (Trieste-Mestre, Udine-Palmanova, Portogruaro - Pordenone Conegliano) e nelle città di Torino, Roma e Cesena dove viene gestito dalla Polizia Municipale. L'efficacia del Tutor è significativa anche in termini di inquinamento ambientale, in quanto la diminuzione delle velocità medie e uno stile di guida più uniforme determina una riduzione delle emissioni di CO₂.

Tabella 13 - Tratte soggette a controllo con sistema Safety Tutor in Italia.

	Autostrada	Nome inizio tratta	Progressiva iniziale	Nome fine tratta	Progressiva Finale
A1	Milano -Napoli	S.Zenone al Lembo	12+300	Bivio A1/A14	186+900
A1		Orte	489+900	Caserta Sud	732+800
A1	Napoli - Milano	Caserta Nord	736+700	Orte	493+900
A1		Bivio A1/A14	186+900	S.Zenone al Lembo	12+100
A3	Napoli - Salerno	Scafati	25+000	Angri	29+800
		Cava dei Tirreni	42+800	Salerno	51+700
A3	Salerno - Napoli	Salerno	51+700	Cava dei Tirreni	42+800
		Angri	29+800	Scafati	25+000
A4	Milano - Brescia	Cavenago	149+300	Brescia Ovest	214+400
A4	Brescia - Milano	Brescia Ovest	217+000	Agrate	146+900
A4	Brescia - Verona	Brescia Est	225+900	Somma Campagna	268+800
A4	Verona - Brescia	Somma Campagna	273+500	Peschiera	260+400
		Desenzano	246+300	Brescia Est	232+000
A6	Torino - Savona	Carmagnola	14+400	Marene	33+400
A6	Savona - Torino	Altare	118+500	Bivio A6/A10	122+600
A7	Genova - Serravalle	Genova Bolzaneto	124+800	Isola del Cantone	104+800
A7	Serravalle - Genova	Isola del Cantone	99+200	Genova Bolzaneto	125+100
A8	Milano - Varese	Legnano	13+500	Gallarate	27+200
A8	Varese - Milano	Busto Arsizio	25+600	Origgio Ovest	12+200
A13	Bologna - Padova	Arcoveggio	1+500	Padova Zona Industriale	111+300
A13	Padova - Bologna	Padova Zona Industriale	114+200	Arcoveggio	1+400
A14	Bologna - Taranto	Bivio A14/R.Casalecchio	9+100	Rimini Nord	115+800
		Giulianova	327+000	Bivio A14/A25	374+900
		Pescara Ovest	378+400	Cerignola Est	580+200
		Canosa	609+000	Bari Nord	668+200
A14	Taranto - Bologna	Bari Sud	682+000	Canosa	611+100
		Foggia	566+000	Bivio A14/A25	378+400
		Bivio A14/A25	370+900	Val Vibrata	329+500
		Rimini Nord	118+400	Bivio A14/R.Casalecchio	9+600
A24	Roma - L'Aquila - Teramo	Tivoli	14+500	Carsoli	49+200
		Valle del Santo	74+600	L'Aquila Ovest	100+100
A24	Teramo - L'Aquila - Roma	L'Aquila Est	108+000	Valle del Santo	75+900
		Carsoli	51+500	Tivoli	14+500
A25	Torano - Pescara	Avezzano	87+100	Sulmona	135+900
A25	Pescara - Torano	Sulmona	137+900	Avezzano	89+100
A26	Genova Voltri - Gravellona	Bivio A26/A10	3+200	Bivio A26/Predosa - Bettole	44+500
		Bivio A26/Predosa -			
A26	Gravellona - Genova Voltri	Bettole	43+000	Bivio A26/A10	1+700
A30	Caserta - Salerno	Nola	17+200	Castel San Giorgio	42+800
A30	Salerno - Caserta	Nocera Pagani	41+000	Bivio A30/A1	1+300
	Diramazione Roma sud - G.R.A.	San Cesareo	3+800	Monteporzio Catone	10+000
	Diramazione Roma sud - A1	Monteporzio Catone	11+000	San Cesareo	3+900

4.1.1 Il sistema Tutor sulla Tangenziale di Napoli

La Tangenziale di Napoli (A56) è un'autostrada urbana a tre corsie per senso di marcia con lunghezza pari a 20.2 km, che collega il Comune di Pozzuoli, situato ad Ovest, con l'aeroporto e il nodo di scambio con l'autostrada Napoli – Roma (A1), l'autostrada Napoli – Salerno (A3) e l'autostrada Napoli – Bari (A16). Essa include 14 svincoli con 24 rampe di ingresso e 24 rampe di uscita.

Al fine di ridurre le velocità di percorrenza, fu introdotto, su tutta l'autostrada un limite statico di 80 km/h. Successivamente, il 9 febbraio 2009 è stato implementato il sistema Safety Tutor su sette tratte: 3 tratte consecutive per la direzione Ovest (W1, W2, W3) per una lunghezza complessiva di 5 km e 4 tratte consecutive per la direzione Est (E1, E2, E3, E4) per una lunghezza complessiva di 13 km (Figura 38, Figura 40).

Le tratte Tutor e le rispettive progressive di inizio e fine sono riportate in Tabella 14.

Tabella 14 – Tratte Tutor.

<i>Nome tratta</i>	<i>Nome portale d'ingresso</i>	<i>Progressiva portale d'ingresso</i>	<i>Nome portale d'uscita</i>	<i>Progressiva portale d'uscita</i>	<i>Lunghezza della tratta [km]</i>
E1	Astroni	Km 4'329	Agnano	Km 6+651	2'322
E2	Agnano	Km 6'651	Fuorigrotta	Km 9'684	3'033
E3	Fuorigrotta	Km 9'684	Arenella	Km 15'351	5'667
E4	Arenella	Km 15'351	Capodimonte	Km 17'357	2'006
				totale	13'028
W1	Camaldoli	Km 13'207	Vomero	Km 11'418	1'789
W2	Vomero	Km 11'418	Fuorigrotta	Km 9'886	1'532
W3	Fuorigrotta	Km 9'886	Agnano	Km 8'149	1'737
				totale	5'058

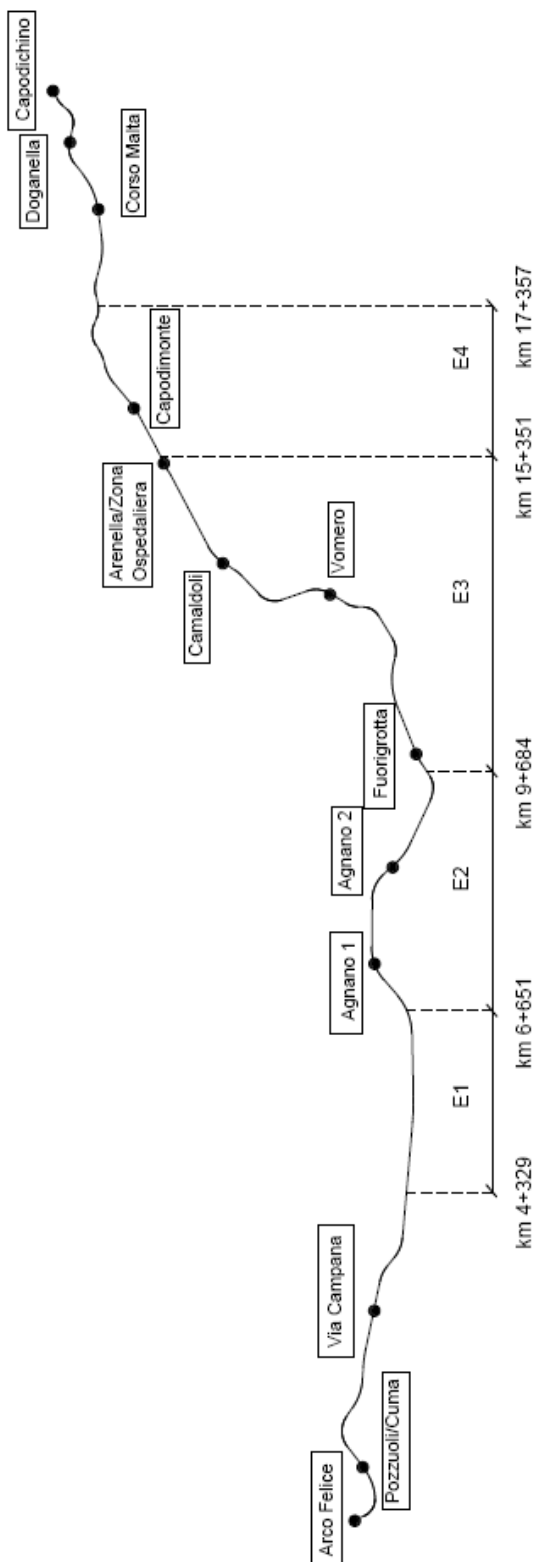


Figura 38 - Schema grafico delle tratte Tutor in carreggiata est.

In Figura 39 sono riportate le immagini dei portali Tutor in carreggiata Est.



Portale di Astroni – Km 4+329



Portale di Agnano – Km 6+651



Portale di Fuorigrotta – Km 9+684



Portale di Arenella – Km 15+351



Portale di Capodimonte – Km 17+357

Figura 39- Immagini dei portali Tutor in carreggiata Est.

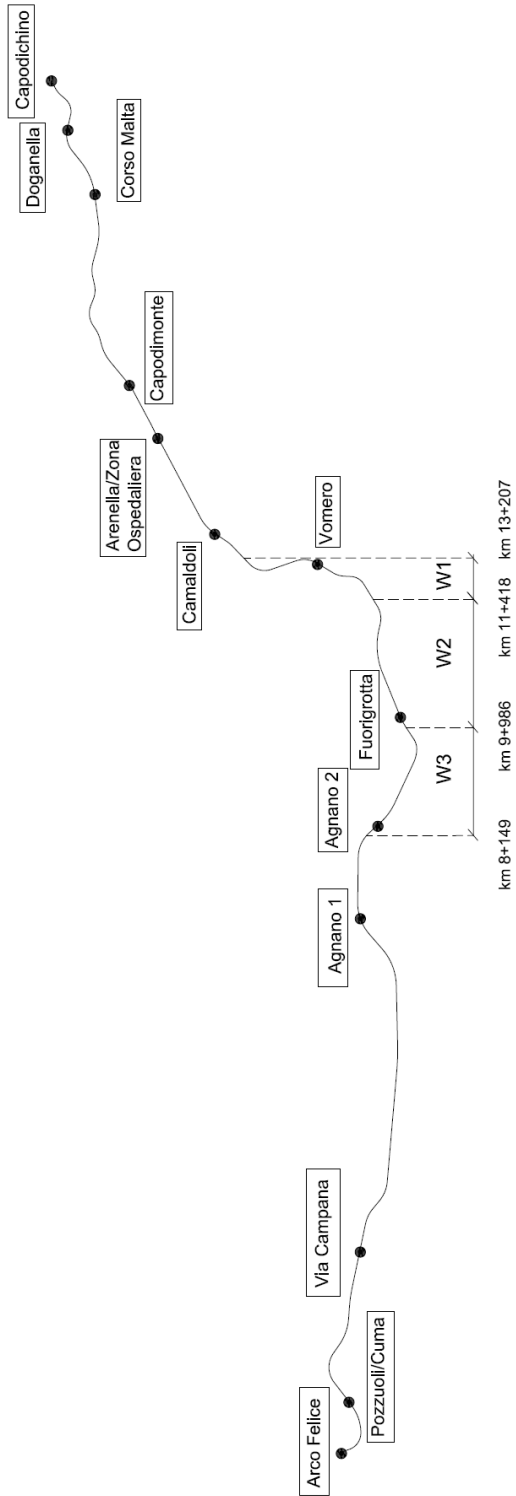


Figura 40 - Schema grafico delle tratte Tutor in carreggiata Ovest.

In Figura 41 sono riportate le immagini dei portali Tutor in carreggiata Ovest.



Portale di Agnano – Km 8+149



Portale di Fuorigrotta – Km 9+986



Portale del Vomero - Km 11+418



Portale dei Camaldoli – Km 13+207

Figura 41- Immagini dei portali Tutor in carreggiata Ovest.

4.2 La banca dati degli incidenti

Al fine di avere a disposizione una banca dati degli incidenti stradali completa, accurata, affidabile e aggiornata per poter effettuare analisi di sicurezza affidabili è stata progettata una nuova banca dati che include tutte le informazioni registrate dalla Polizia Stradale, anche gli incidenti con soli danni materiali.

La struttura della nuova banca dati è costituita da 9 sottosezioni:

- Identificativo dell'incidente;
- Caratteristiche della strada;
- Condizioni ambientali;
- Caratteristiche dell'incidente;
- Caratteristiche delle fuoriuscite;
- Caratteristiche dei veicoli;
- Caratteristiche degli occupanti;
- Caratteristiche dei pedoni;
- Conseguenze dell'incidente.

4.2.1 La struttura della banca dati

Identificativo dell'incidente

I campi della sottosezione "Identificativo dell'incidente" sono 14 e comprendono (Tabella 15):

- Il numero progressivo del rapporto indicato sul modulo per il rilievo degli incidenti
- Il nome dell'organo di rilievo dove si sono consultati i rapporti di incidente
- L'anno, il mese, il giorno, l'ora e il giorno della settimana dell'incidente
- L'intertempo trascorso tra il momento in cui si è verificato l'incidente e il momento in cui sono arrivati i soccorsi
- Il comune, la provincia, la carreggiata e la progressiva in cui si è verificato l'incidente
- Il tronco e la sezione in cui si è verificato l'incidente. Il tronco è stato definito come il tratto di autostrada tra due svincoli omogeneo per caratteristiche di traffico mentre la sezione è stata definita come il tratto di autostrada omogeneo per caratteristiche geometriche. Questi due campi sono stati introdotti al fine di poter collegare la banca dati degli incidenti alla banca dati geometrici e di traffico.

Tabella 15 - Sottosezione "Identificativo dell'incidente" della nuova banca dati.

Identificativo incidente
Id Numero progressivo di rapporto indicato sul modulo della Polstrada
Polstrada Sezione di Polstrada dove si sono consultati i rapporti di incidente stradale
Anno Anno dell'incidente
Mese Mese dell'incidente
Giorno Giorno dell'incidente
Giorno settimana Giorno della settimana (lunedì, martedì, ecc.)
Ora Formato ora (8.30; 16.30, ecc.)
Intertempo incidente-soccorsi Formato ora (0.30; 1.30, ecc.)
Carreggiata A16: Est (direzione Bari); Ovest (direzione Napoli) A56: Est (direzione Autostrade); Ovest (direzione Pozzuoli)
Comune
Provincia
Progressiva Formato numerico (in m)
Tronco cfr. foglio tronchi
Sezione cfr. foglio sezioni

Al fine di ottenere una localizzazione quanto più precisa dell'incidente, nella nuova banca dati, la congruenza dei dati registrati dalla Polizia Stradale è stata controllata sovrapponendo le informazioni Polstrada alla planimetria autocad (Figura 42), nel quale sono riportate le progressive di inizio e fine di tutti i tratti omogenei:

- Andamento planimetrico (curva/rettifilo)
- Direzione della curva (dx/sx)
- Presenza di opere d'arte (ponti e gallerie).

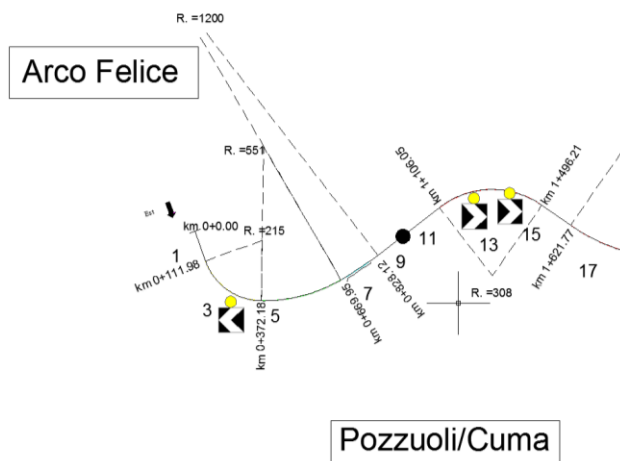


Figura 42 - Planimetria autocad della strada.

Caratteristiche della strada

I campi introdotti nella nuova banca dati per descrivere le caratteristiche della strada sono (Tabella 16):

- Lo svincolo, se l'incidente è avvenuto in uno svincolo
- Il nome dello svincolo
- Il tipo di rampa e la posizione dell'incidente nella rampa
- L'area di svincolo se l'incidente è avvenuto nella zona compresa tra 30 m prima della corsia di uscita e 30 m dopo la corsia di ingresso
- Il nome dell'area di servizio se l'incidente è avvenuto in un'area di servizio
- Il nome del casello se l'incidente è avvenuto al casello
- Le caratteristiche della sezione trasversale
- Il nome del viadotto e della galleria se l'incidente è avvenuto in viadotto o galleria
- La geometria orizzontale, la lunghezza del rettilo, il raggio della curva, l'angolo di deviazione
- La pendenza longitudinale, la lunghezza della livelletta, il tipo di raccordo verticale, il raggio del raccordo verticale
- Il limite di velocità vigente nel tratto di strada in cui si è verificato l'incidente
- La segnaletica e la delineazione della curva in cui si è verificato l'incidente.

Tabella 16 - Sottosezione "Caratteristiche della strada" della nuova banca dati.

Caratteristiche della strada
Svincolo Se l'incidente non è avvenuto in uno svincolo (o in corrispondenza di un casello o di un'area di servizio) indicare 0, altrimenti indicare 1.
Nome Svincolo Riportare il nome dello svincolo
Tipo di rampa Uscita, Immissione
Posizione nella rampa Tratto di decelerazione, Tratto di immissione, Curva di uscita, Curva di immissione, Altro (specificando la posizione nella rampa, cfr. dwg svincoli), Localizzare l'incidente nel dwg svincoli inserendo un cerchio con il codice dell'incidente
Area svincolo 0;1 (se l'incidente avviene nella zona compresa tra 30 m prima della corsia di uscita e 30 m dopo la corsia di ingresso)
Nome Area di servizio Riportare il nome dell'area di servizio se l'incidente è avvenuto nell'area di servizio; na se l'incidente non è avvenuto nell'area di servizio
Nome Casello Riportare il nome del casello se l'incidente è avvenuto al casello; na se l'incidente non è avvenuto al casello
Sezione trasversale Rilevato, A raso, Trincea, Viadotto, Galleria
Nome Viadotto Indicare nome del viadotto
Nome Galleria Indicare nome della galleria
Geometria orizzontale Rettililo, Curva
Lunghezza rettililo Lunghezza rettililo in m; na se l'incidente è avvenuto in curva
Dir. curva Dx, Sx, na se l'incidente è avvenuto in rettililo
Raggio curva in m, na se l'incidente è avvenuto in rettililo
Angolo di deviazione in gon, na se l'incidente è avvenuto in rettililo
Pendenza longitudinale Numero * 100 (3.0% = 3.0), Salita=pendenza positiva, Discesa=pendenza negativa
Lunghezza livelletta in m
Tipo di raccordo verticale Nessuno, Concavo (sacca), Convesso (dosso)
Raggio raccordo verticale in m
Limite di velocità Valore del limite di velocità vigente nel tratto
Segnalamento curva Nessuno, Segnale di curva pericolosa, Segnale di curva pericolosa + lampeggiatore, na se l'incidente è in rettililo
Delineazione curva Nessuna, Delineatori modulari di curva, Delineatori modulari di curva + lampeggiatori sequenziali, Delineatori modulari di curva con bordo rifrangente, Delineatori modulari di curva con bordo rifrangente + delineatori sequenziali, na se l'incidente è in rettililo

Condizioni ambientali

Nella nuova banca dati le condizioni ambientali sono descritte dai campi (Tabella 17):

- Cantiere
- Condizioni del fondo stradale
- Condizioni meteo
- Condizioni di illuminazione.

Il campo relativo alle informazioni delle aree di cantiere è molto importante per valutare l'impatto sulla sicurezza delle attività lavorative sulle strade e per pianificare il controllo del traffico per la sicurezza dei lavoratori e degli utenti della strada.

Tabella 17 - Sottosezione "Condizioni ambientali" della nuova banca dati.

Condizioni ambientali
Cantiere Se non è presente un cantiere indicare 0. Se è presente un cantiere indicare 1 e riportare ulteriori dettagli nella dinamica dell'incidente, quali: Tipo di cantiere, Presenza dei lavoratori, Zona del cantiere in cui avviene l'incidente (area di segnalazione del pericolo; area di transizione; area di attività; area di fine corsa)
Fondo stradale Asciutto, Bagnato, Sdruciolevole, Ghiacciato, Innevato
Meteo Sereni, Coperto, Pioggia, Grandine, Neve, Nebbia, Vento forte, Altro
Illuminazione Giorno, Notte, Notte con illuminazione artificiale

Caratteristiche dell'incidente

Un'informazione molto importante per capire i fattori che hanno contribuito al verificarsi dell'incidente è la descrizione dell'incidente. Questa informazione è sempre riportata nelle banche dati dell'Indiana, dell'Australia e della Nuova Zelanda, invece non è riportata nella banca dati ISTAT dove l'incidente è descritto da una sola variabile "natura dell'incidente". La descrizione degli incidenti, sebbene presente nei rapporti di incidente compilati dagli organi di rilievo, molto spesso è poco precisa e non riporta informazioni importanti pertanto nella nuova banca dati è stato introdotto un formato standard in cui sono specificate il tipo di manovra di ogni veicolo prima della serie di eventi che caratterizza l'incidente, la sequenza di eventi di ogni veicolo, la sequenza di ostacoli urtati e le caratteristiche ambientali e della strada al momento dell'incidente. In particolare, nella nuova banca dati, sono state registrate, per ciascun incidente (Tabella 18):

- La descrizione della dinamica dell'incidente secondo un formato standard
- Il nome del file che riproduce lo schizzo planimetrico dell'incidente
- Il tipo di collisione
- L'incidente secondario
- L'evento secondario, terziario, ecc..
- Le causa dell'incidente dovute alla strada, all'ambiente, al conducente o al veicolo
- Il tipo di ostacolo accidentale in piattaforma.

La descrizione della dinamica dell'incidente è stata trascritta seguendo un formato standard in cui sono riportati il tipo di veicoli coinvolti, il tipo di manovra di ogni veicolo prima della serie di eventi che caratterizza l'incidente, la sequenza di eventi di ogni veicolo e le caratteristiche ambientali e della strada al momento dell'incidente.

Tabella 18 - Sottosezione "Caratteristiche dell'incidente" della nuova banca dati.

Caratteristiche dell'incidente
Note dinamica
Spiegazione della dinamica dell'incidente (dal verbale di rilievo, tenuto conto anche dello schizzo planimetrico) Le informazioni principali da riportare sono: a) La descrizione dei veicoli coinvolti (p.e., A=Auto, B=Moto, ecc.) b) Il tipo di manovra di ogni veicolo prima della serie di eventi che caratterizza l'incidente (p.e., il veicolo A si era immesso dall'area di servizio e procedeva in direzione nord in prima corsia) bA) Tipo di manovra del veicolo A: Moto rettilineo, Ingresso curva (sx/dx), Percorrenza curva (sx/dx), Uscita curva (sx/dx), Accodamento ad altro veicolo, Sorpasso, Rallentamento, Fermo nel traffico, Cambio corsia, Uscita dalla principale (p.e., fase di uscita per immettersi nella rampa), Ingresso nella principale (p.e., fase di immissione da una rampa), Parcheggio (p.e., fermo in corsio in corsia di emergenza o piazzola di sosta), Retromarcia (p.e., retromarcia per immettersi in rampa di svincolo precedente), Contro senso bB) Tipo di manovra del veicolo B c) Sequenza di eventi di ogni veicolo (p.e., evento critico, manovre evasive, collisione, eventi dopo la collisione) cA) Eventi del veicolo A cB) Eventi del veicolo B
Nome file disegno incidente
Disegno non in scala che riproduce il campo "Schizzo planimetrico del campo del sinistro" (formato jpeg) in cui sono specificate anche le tipologie dei veicoli rappresentati (p.e., A: auto, B: moto, C: pedone)
Numero di unità di traffico coinvolte
Anche il pedone è un unità di traffico
Tipo di incidente
Frontale, Fronto-laterale, Laterale stessa direzione, Laterale direzione opposta, Tamponamento, Investimento pedone, Investimento animale, Urto con veicolo fermo, Urto con veicolo in sosta, Urto con ostacolo accidentale in carreggiata, Fuoriuscita, Frenata improvvisa, Caduta da veicolo, Ribaltamento in carreggiata
Incidente secondario
0;1 (se l'incidente è causato da incidente precedente)
Evento secondario
Come tipo di incidente
Evento terziario
Come tipo di incidente
Evento quaternario
Come tipo di incidente
Evento quinternario
Come tipo di incidente
Violazioni al Codice
Numero e comma degli articoli del Codice per cui è stata somministrata contravvenzione
Causa incidente - strada
Particolari circostanze dell'infrastruttura che hanno contribuito all'incidente, p.e: Buca nella pavimentazione, Macchia d'olio, Pavimentazione sdruciolevole, Pavimentazione ghiacciata, ecc.
Causa incidente - ambiente
Particolari circostanze ambientali che hanno contribuito all'incidente, p.e: Neve, Forte pioggia, Forte vento, Ostacolo accidentale in carreggiata, Animale in strada, ecc.
Causa incidente - conducente
Particolari circostanze legate alla guida che hanno contribuito all'incidente, p.e: Velocità eccessiva, Velocità oltre i limiti, Mancato rispetto distanza di sicurezza, Sorpasso inappropriato, Colpo di sonno, Guida in stato di ebbrezza, Guida sotto l'effetto di stupefacenti, Guida distratta, ecc.
Causa incidente - veicolo
Difetti del veicolo che hanno contribuito all'incidente, p.e: Scoppio pneumatico, Distacco di ruota, Rottura freni, Avaria del motore, Deficienza delle attrezzature per il trasporto merci, Separazione di unità (p.e., distacco del rimorchio)
Tipo ostacolo accidentale in carreggiata

Caratteristiche delle fuoriuscite

Relativamente agli incidenti per fuoriuscita sono stati introdotti nella nuova banca dati una serie di campi relativi alla direzione della fuoriuscita, all'ostacolo urtato, al punto d'urto e alla conseguenza dell'urto (Tabella 19).

Tabella 19 - Sottosezione "Caratteristiche delle fuoriuscite" della nuova banca dati.

Caratteristiche fuoriuscita
Direzione 1° fuoriuscita Interna (verso il margine interno), Esterna (verso il margine esterno), na se l'incidente non è una fuoriuscita
1° Ostacolo urtato Albero, Attenuatore d'urto, Barriera bordo laterale a due onde, Barriera bordo laterale a tre onde, Barriera bordo laterale a due onde più tre onde, Barriera bordo laterale New Jersey, Barriera bordo ponte, Barriera bordo ponte a due onde con mancorrente, Barriera bordo ponte New Jersey, Barriera spartitraffico a due onde, Barriera spartitraffico doppia due onde, Barriera spartitraffico a tre onde, Barriera spartitraffico a due onde più tre onde, Barriera spartitraffico New Jersey, Cunetta alla francese, Cunetta trapezia, Muro, Palo per l'illuminazione, Palo per segnaletica, Pila di ponte, Profilo redirettivo, Scarpata rilevato, Scarpata trincea, Altro
1° Punto d'urto Tratto corrente, Terminale, Terminale speciale, Cuspide spartitraffico, Cuspide svincolo, Cuspide spartitraffico più attenuatore, Cuspide svincolo più attenuatore
Conseguenze 1°urto Arresto, Redirezione, Rotazione, Ribaltamento, Penetrazione, Scavalamento
Direzione 2° fuoriuscita Come direzione 1° fuoriuscita
2° Ostacolo urtato Come 1° ostacolo urtato
2° Punto d'urto Come 1° punto d'urto
Conseguenze 2°urto Come conseguenza 1°urto
Direzione 3° fuoriuscita Come direzione 1° fuoriuscita
3° Ostacolo urtato Come 1° ostacolo urtato
3° Punto d'urto Come 1° punto d'urto
Conseguenze 3°urto Come conseguenza 1°urto
Ostacolo urtato più pericoloso Come 1° ostacolo urtato
Punto d'urto più pericoloso Come 1° punto d'urto
Conseguenze dell'urto più pericoloso Come conseguenza 1°urto

Caratteristiche dei veicoli

Per ciascuna veicolo coinvolto nell'incidente sono state registrate (Tabella 20) il tipo di veicolo, la cilindrata, l'anno di immatricolazione, il paese di immatricolazione, l'anno dell'ultima revisione, il tipo di manovra prima della serie di eventi che caratterizza l'incidente e i danni al veicolo.

Tabella 20 - Sottosezione "Caratteristiche del veicolo" della nuova banca dati.

Caratteristiche veicolo
Tipo veicolo Auto, Moto, Bus, Autocarro, Autotreno, Autoarticolato, Trattore stradale, Trattore agricolo, Autobus, Veicolo speciale (taxi, polizia, ambulanza, pompieri, scuola bus, trasporto eccezionale, ecc.)
Cilindrata
Anno di immatricolazione
Paese di immatricolazione
Anno di ultima revisione
Tipo di manovra Il tipo di manovra del veicolo prima della serie di eventi che caratterizza l'incidente (cfr. dinamica), Moto rettilineo, Ingresso curva (sx/dx), Percorrenza curva (sx/dx), Uscita curva (sx/dx), Accodamento ad altro veicolo, Sorpasso, Rallentamento, Fermo nel traffico, Cambio corsia, Uscita dalla principale (p.e., fase di uscita per immettersi nella rampa), Ingresso nella principale (p.e., fase di immissione da una rampa), Parcheggio (p.e., fermo in corsio in corsia di emergenza o piazzola di sosta), Retromarcia (p.e., retromarcia per immettersi in rampa di svincolo precedente), Contro senso
Danni A Nessuno, Lievemente danneggiato, Mediamente danneggiato, Molto danneggiato, Distrutto, Incendiato

Caratteristiche degli occupanti

Per ciascuna veicolo coinvolto nell'incidente sono state registrate il numero di occupanti, il genere, l'età, l'uso di cinture/casco e la nazione di provenienza del conducente e di tutti i passeggeri nonché il tasso alcolemico e l'esame tossicologico del conducente (Tabella 21).

Tabella 21 - Sottosezione "Caratteristiche degli occupanti" della nuova banca dati.

Caratteristiche degli occupanti
Numero di occupanti Numero totale di occupanti, compreso il guidatore
Sesso del conducente M,F
Età del conducente
Uso cinture conducente 0 (non indossa la cintura), 1 (indossa la cintura), nd (informazione non disponibile), na (se si tratta di un motociclista)
Uso casco conducente 0 (non indossa il casco), 1 (indossa il casco), nd (informazione non disponibile), na (se si tratta di un veicolo a 4 o più ruote)
Tasso alcolemico conducente 0 (inferiore al limite di legge), 1 (superiore al limite di legge, in questo caso riportare i dettagli nella sezione note), nd (informazione non disponibile)
Esame tossicologico conducente 0 (inferiore al limite di legge), 1 (superiore al limite di legge, in questo caso riportare i dettagli nella sezione note), nd (informazione non disponibile)
Nazione conducente
Sesso passeggero M,F
Età passeggero
Uso cinture passeggero 0 (non indossa la cintura), 1 (indossa la cintura), nd (informazione non disponibile), na (se si tratta di un motociclista)
Uso casco passeggero 0 (non indossa il casco), 1 (indossa il casco), n.d. (informazione non disponibile), n.a. (se si tratta di un veicolo a 4 o più ruote)
Nazione passeggero

Caratteristiche dei pedoni

Per ciascuna pedone coinvolto nell'incidente sono state registrate il veicolo investitore, il genere e l'età del pedone, la manovra del pedone al momento della collisione, la nazione di provenienza nonché il tasso alcolemico e l'esame tossicologico (Tabella 22).

Tabella 22 - Sottosezione "Caratteristiche dei pedoni" della nuova banca dati.

Caratteristiche dei pedoni
Veicolo investitore
Codice del veicolo (p.e., veicolo A)
Sesso pedone
M, F
Età pedone
.....
Manovra pedone
Manovra eseguita dal pedone al momento della collisione: Fermo in corsia di emergenza, Fermo in banchina dx, Fermo in banchina sx, Fermo in carreggiata, Steso in carreggiata, Cammino in carreggiata - traffico di fronte, Cammino in carreggiata - traffico alle spalle, Ingresso o uscita dal veicolo, Attraversamento - strisce pedonali, Attraversamento - fuori strisce pedonali, Cammino sul marciapiedi, Fermo sul marciapiedi
Tasso alcolemico pedone
0 (inferiore al limite di legge), 1 (superiore al limite di legge, in questo caso riportare il valore in gr/% nella sezione note), nd (informazione non disponibile)
Esame tossicologico pedone
0 (inferiore al limite di legge), 1 (superiore al limite di legge, in questo caso riportare i dettagli nella sezione note), nd (informazione non disponibile)
Nazione pedone
.....

Conseguenze dell'incidente

La sottosezione "conseguenze dell'incidente" è relativa alla gravità dell'incidente (Tabella 22). In Italia esiste un solo livello di gravità per la classificazione degli incidenti con feriti e tale classificazione viene effettuata dalla Polizia senza verificare a posteriori i referti medici degli ospedali, eccetto quando la persona coinvolta nell'incidente muore in ospedale. Gli ospedali posseggono le loro banche dati sui feriti degli incidenti stradali ma non esiste alcun collegamento sistematico con la banca dati della Polizia.

Nell'ambito della realizzazione della nuova banca dati sono stati introdotti due livelli di gravità delle lesioni: (a) feriti gravi, (b) feriti lievi. Sono definiti feriti gravi le persone ricoverate in ospedale o che riportano una delle seguenti lesioni: fratture, trauma cranico, lesioni interne, schiacciamento, ustioni, tagli e lacerazioni gravi, invalidità parziali per almeno 30 gg, o lesioni che provocano la morte dopo più di 30 gg dall'incidente. È classificato ferito lieve una persona che riporta lesioni ma non è ferito grave. È classificato incidente mortale l'incidente in cui muore almeno una persona sulla scena dell'incidente o entro 30 giorni dall'incidente stesso.

Tabella 23 - Sottosezione "Conseguenze dell'incidente" della nuova banca dati.

Conseguenze incidente
Note gravità
Conducente A: medicato presso.....; ricoverato presso.....; diagnosi.....; prognosi.....
Passeggero A:
Classificazione dell'incidente
Incidente con soli danni materiali, incidente con feriti lievi, incidente con feriti gravi, incidente mortale
Numero di feriti lievi
.....
Numero di feriti gravi
.....
Numero di morti
.....

4.2.2 Gli incidenti nei siti di controllo

La banca dati degli incidenti nei siti di controllo (autostrada A16 Napoli – Canosa) è stata realizzata attraverso l'analisi dei rapporti di indidente presso le stazioni di Polizia stradale locali di Avellino Ovest e Grottaminarda e contiene tutte le informazioni registrate dalla Polizia Stradale, anche gli incidenti con soli danni materiali.

La raccolta dei dati di incidente è stata possibile grazie al previo rilascio di un'autorizzazione del Ministero degli Interni. Gli incidenti totali registrati nel tratto di studio Napoli - Candela sono 3'294, negli anni dal 2006 al 2011 (1563 - 47 % in direzione Est e 1731 - 53 % in direzione Ovest). Dal grafico sottostante (Figura 43) si nota che il numero di incidenti stradali risulta quasi costante dal 2006 al 2009 e poi inizia a decrescere.

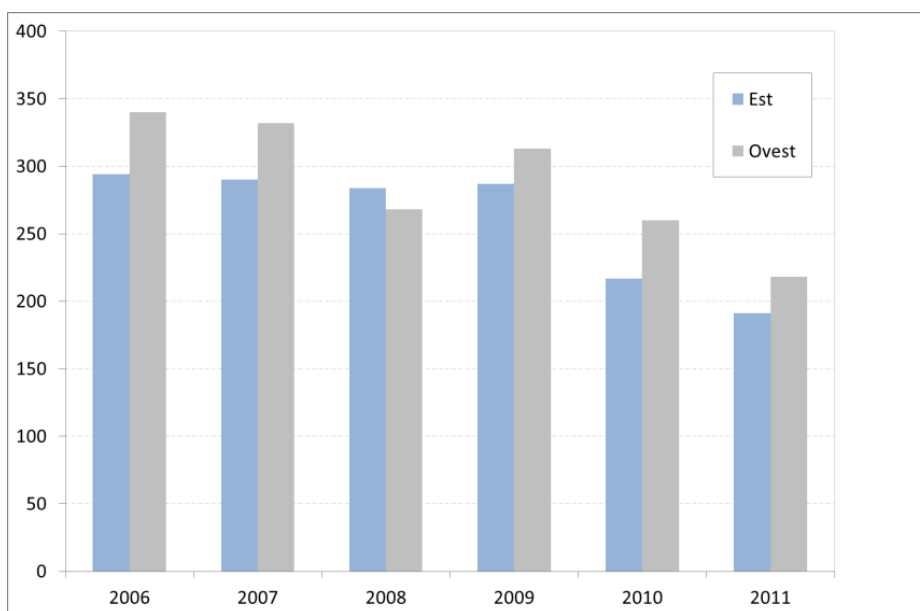


Figura 43 - Trend dell'incidentalità negli anni 2006 - 2011 sull'autostrada A16 - tratto Napoli – Candela

A partire dalla banca dati progettata e realizzata nell'ambito dell'attività di ricerca è stata effettuata un'accurata analisi descrittiva dei dati d'incidente (Tabella 24).

Tabella 24 - Incidenti disaggregati negli anni 2005 - 2011.

	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<i>Totali</i>	634	622	552	600	477	409
<i>Danni materiali</i>	529	485	451	475	372	317
<i>Feriti lievi</i>	82	103	74	97	86	73
<i>Feriti gravi</i>	22	27	23	22	14	11
<i>Morti</i>	1	7	4	6	5	8
<i>Giorno</i>	479	434	371	419	341	303
<i>Notte</i>	155	188	181	181	136	106
<i>Pioggia</i>	103	96	101	131	94	45
<i>Non pioggia</i>	531	526	451	469	383	364
<i>Asciutto</i>	447	470	366	380	295	333
<i>Bagnato</i>	187	152	186	220	182	76
<i>Fuoriuscite</i>	246	226	212	224	183	139
<i>Tamponamenti</i>	83	82	51	60	50	30
<i>Laterali</i>	32	34	31	28	24	22
<i>Urto con ostacolo accidentale in carreggiata</i>	202	200	174	193	151	164
<i>Altri</i>	71	80	84	95	69	54
<i>Rettifilo</i>	313	335	293	318	250	204
<i>Curva</i>	321	287	259	282	227	205

Gli incidenti totali sono diminuiti del 35%, passando da 634 nel 2006 a 409 nel 2011.

Analizzando la distribuzione degli incidenti in funzione della gravità il 16% degli incidenti ha dato luogo a feriti lievi, il 4% a feriti gravi e l'1% a morti (Tabella 24). L'80% degli incidenti totali ha prodotto solo danni a cose.

Con riferimento alla distribuzione temporale degli incidenti durante l'arco della giornata, si riscontra un maggior numero di incidenti nelle ore diurne con il 71% degli incidenti totali. Ciò è dovuto essenzialmente alle differenti condizioni di circolazione di giorno, caratterizzate da maggiori flussi di traffico.

La tipologia di incidente più diffusa è la fuoriuscita con il 37% di incidenti seguita dall'urto con ostacolo accidentale in carreggiata, che registra il 33% dei casi. Dai dati si rileva inoltre che il 52% degli incidenti avviene in rettilineo.

4.2.3 Gli incidenti nei siti di intervento

La banca dati degli incidenti nel sito di intervento (autostrada A56 Tangenziale di Napoli) è stata realizzata attraverso l'analisi dei rapporti di indidente presso la stazione di Polizia Stradale di Fuorigrotta. Gli incidenti totali registrati negli anni dal 2006 al 2011 sono 2'059 (831 - 46 % in direzione Est e 982 - 54 % in direzione Ovest).

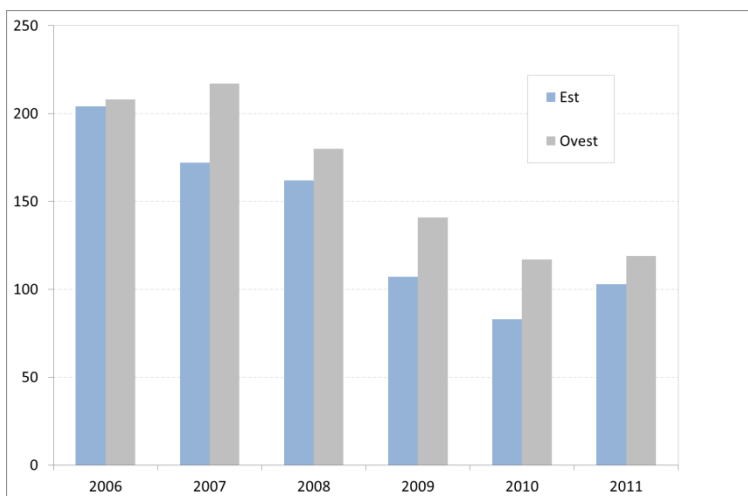


Figura 44 - Trend dell'incidentalità negli anni 2006 - 2011 sulla Tangenziale di Napoli

A partire dalla banca dati progettata e realizzata nell'ambito dell'attività di ricerca è stata effettuata un'accurata analisi descrittiva dei dati d'incidente (Tabella 25). Gli incidenti totali sono diminuiti del 46%, passando dal 412 a 222 del 2011, mentre il numero delle vittime è diminuito del 67%, passando da 6 a 2 decessi. Nel periodo 2006 - 2011 è stata registrata una costante riduzione della gravità degli incidenti, evidenziata dall'indice di mortalità che si attesta al 0.9% nel 2011 contro l' 1.5% del 2006.

Con riferimento alla distribuzione temporale degli incidenti durante l'arco della giornata, si riscontra un maggior numero di incidenti nelle ore diurne con il 67% degli incidenti totali. Ciò è dovuto essenzialmente alle differenti condizioni di circolazione di giorno, caratterizzate da maggiori flussi di traffico.

La tipologia di incidente più diffusa è il tamponamento con il 45% di incidenti seguita dalla fuoriuscita, che registra il 21% dei casi. Analizzando la distribuzione degli incidenti in funzione delle caratteristiche geometriche si rileva che il 58% degli incidenti avviene in curva.

Tabella 25 - Incidenti disaggregati negli anni 2006 - 2011.

	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<i>Totali</i>	412	389	342	248	200	222
<i>Danni materiali</i>	152	148	123	101	72	79
<i>Feriti lievi</i>	232	217	187	132	117	128
<i>Feriti gravi</i>	22	18	26	11	9	13
<i>Morti</i>	6	6	6	4	2	2
<i>Giorno</i>	280	248	226	164	132	158
<i>Notte</i>	132	141	116	84	68	64
<i>Pioggia</i>	30	20	33	19	18	6
<i>Non pioggia</i>	382	369	309	229	182	216
<i>Asciutto</i>	377	360	291	222	174	214
<i>Bagnato</i>	35	29	51	26	26	8
<i>Fuoriuscite</i>	90	87	84	57	32	37
<i>Tamponamenti</i>	193	179	138	89	103	107
<i>Laterali</i>	27	22	19	24	14	14
<i>Urto con ostacolo accidentale in carreggiata</i>	46	50	45	39	28	31
<i>Altri</i>	56	51	56	39	23	33
<i>Rettifilo</i>	158	152	131	121	97	102
<i>Curva</i>	254	237	211	127	103	120

4.3 La banca dati geometrici

Relativamente alle autostrade oggetto di studio, una in ambito extraurbano (A16 – Napoli – Candela) ed una in ambito urbano (A56 - Tangenziale di Napoli), sono state realizzate due banche dati geometriche.

Il database è stato realizzato suddividendo il tracciato di ciascuna autostrada in tronchi omogenei per caratteristiche di traffico.

Ciascun tronco è stato suddiviso a sua volta in sezioni omogenee per caratteristiche geometriche (andamento planimetrico).

L'autostrada A16 è stata suddivisa in 10 tronchi e 646 sezioni (323 per direzione di marcia), la Tangenziale di Napoli in 46 tronchi e 167 sezioni (82 per la direzione Est e 85 per la direzione Ovest). Per ciascuna sezione sono state collezionate le seguenti informazioni:

- Tronco e carreggiata di appartenenza
- Progressiva iniziale e finale
- Lunghezza
- Andamento planimetrico (rettifilo/curva), raggio della curva, direzione della curva, angolo di deviazione, rapporto di variazione della curvatura
- Andamento altimetrico (livelletta/raccordo), pendenza longitudinale della livelletta, tipo di raccordo altimetrico, raggio del raccordo
- Sezione trasversale (rilevato/trincea/galleria/viadotto), nome dell'opera d'arte (galleria/viadotto), larghezza della banchina in destra, presenza della corsia di arrampicamento
- Distanza di visibilità
- Tipologia di barriera spartitraffico e bordo laterale
- Segnaletica verticale presente (segnali di curva pericolosa, delineatori modulari di curva, lampeggiatori sequenziali, ecc.)
- Limiti di velocità presenti
- Presenza delle piazzole di sosta, nome, progressiva di inizio e fine della piazzola
- Presenza delle aree di servizio, nome, progressiva di inizio e fine dell'area di servizio.

4.3.1 La geometria dei siti di controllo

L'autostrada A 16 Napoli – Canosa è un' autostrada extraurbana (tipo A secondo il D.M. 5.11.01 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade") che fa parte della Rete Stradale Trans Europea (E841). Essa è localizzata nel Sud Italia e collega la costa ovest (A1 Napoli – Milano) con la costa est (A14 Bari – Pescara). È costruita da due carreggiate separate da spartitraffico, ciascuna con due corsie di marcia (larghezza della corsia 3.75 m, banchina in destra variabile tra 0.50 e 3.50 m e spartitraffico con larghezza di 2 m). Il tratto di studio Napoli – Candela ha una lunghezza di 127.50 km e presenta 11 svincoli con 21 rampe di uscita (13 in curva e 8 in rettilineo) e 20 rampe di ingresso (11 in curva e 9 in rettilineo). Il tracciato stradale attraversa zone montuose e pertanto sono presenti 11 gallerie (per una lunghezza complessiva di 4.03 km) e 38 viadotti (per una lunghezza complessiva di 8.11 km). Il limite di velocità generalizzato è pari a 130 km/h ma sono presenti anche sezioni in cui il limite di velocità imposto è 80 km/h (50.25 km in carreggiata est e 26.60 km in carreggiata ovest).

In funzione delle caratteristiche geometriche e dei volumi di traffico, il tratto di studio Napoli – Candela (Figura 45) è stato suddiviso in 10 tronchi e 652 sezioni (326 per senso di marcia). Il tracciato stradale è costituito da una successione di elementi geometrici a curvatura costante (curve e rettilinei) in assenza di clotoidi di flesso e di continuità.

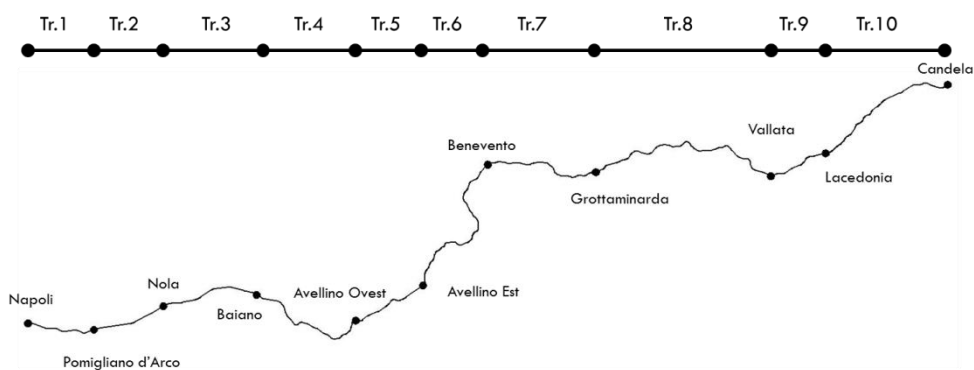


Figura 45 - Asse stradale dell'autostrada A16, tratto Napoli - Candela.

Le sezioni hanno lunghezza variabile compresa tra 62 e 3.50 m, i raggi delle curve sono compresi tra 245 e 4000 m e gli angoli di deflessione sono compresi tra 5 e 109 gon. L'andamento altimetrico è caratterizzato da livellette con pendenza longitudinale fino al 6.35 % raccordate con raccordi circolari di raggio variabile tra 3000 e 30000 m.

Dato l'andamento planimetrico e altimetrico del tracciato stradale, la distanza di visibilità varia tra 62.27 e 840 m. Si riportano in Tabella 26 le caratteristiche geometriche del tracciato.

Tabella 26 - Dati geometrici dell'autostrada A16, tratto Napoli - Candela.

<i>Parametri</i>	<i>Media</i>	<i>Deviazione standard</i>	<i>Minimo</i>	<i>Massimo</i>
Lunghezza della sezione [m]	394.1	348.12	61.51	3509.08
Raggio delle curve [m]	790.77	575.09	245	4000
Angolo di deflessione [gon]	34.57	20.75	4.88	109.07
Pendenza trasversale [%]	3.25	1.09	1.3	6.42
Raggio dei raccordi circolari (sacche) [m]	9000	3233	3000	20000
Raggio dei raccordi circolari (dossi) [m]	10888	5867	4000	30000
Pendenza longitudinale [%]	2.41	1.7	0	6.35
Distanza di visibilità [m]	342.87	173.53	62.27	840
Larghezza della banchina in destra [m]	2.1	0.89	0.5	3.5

4.3.2 La geometria dei siti di intervento

La Tangenziale Est-Ovest di Napoli è un'autostrada urbana (tipo A secondo il D.M. 5.11.01 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade") costituita da due carreggiate separate da spartitraffico, ciascuna con tre corsie di marcia ad eccezione del tronco tra il km 0+000 e il km 1+500 in carreggiata ovest, e tra il km 0+000 e 1+000 in carreggiata est, che presenta due corsie. In destra non è presente la corsia di emergenza, in luogo della quale esiste una banchina di dimensione variabile e in genere inferiore ai 50 cm. L'autostrada, che collega le autostrada A1 (Napoli – Milano) e A3 (Napoli – Salerno) poste ad est, con la Strada Statale 7 quater Appia, posta ad ovest, attraversando il centro abitato di Napoli ed il territorio comunale di Pozzuoli, è gestita dalla Società Tangenziale di Napoli Spa. Il collegamento con il territorio è garantito mediante 14 svincoli. La lunghezza della strada è pari a 20.2 km.

La presenza di numerosi vincoli legati all'attraversamento di un territorio fortemente urbanizzato e con una orografia non omogenea ha condizionato l'andamento plano-altimetrico del tracciato. In particolare la geometria orizzontale dell'asse è piuttosto penalizzante in relazione alla tipologia di strada e sono presenti numerose curve con raggio inferiore al valore minimo prescritto dalla normativa vigente, pari a 250 m. Il tracciato stradale presenta 4 gallerie (per una lunghezza complessiva di 3.77 km) e 8 viadotti (per una lunghezza complessiva di 3.20 km).

Gli assi stradali della Tangenziale di Napoli non sono perfettamente uguali nelle due direzioni di marcia pertanto sono stati ricostruiti due assi stradali in funzione delle caratteristiche plano-altimetriche del tracciato (Figura 46, Figura 47).

L'asse est è stato suddiviso in 22 tronchi e 82 sezioni omogenee, mentre l'asse ovest è stato suddiviso in 24 tronchi e 85 sezioni omogenee. Il tracciato stradale è costituito da una successione di elementi geometrici a curvatura costante (curve e rettifili) in assenza di clotoidi di flesso e di continuità.

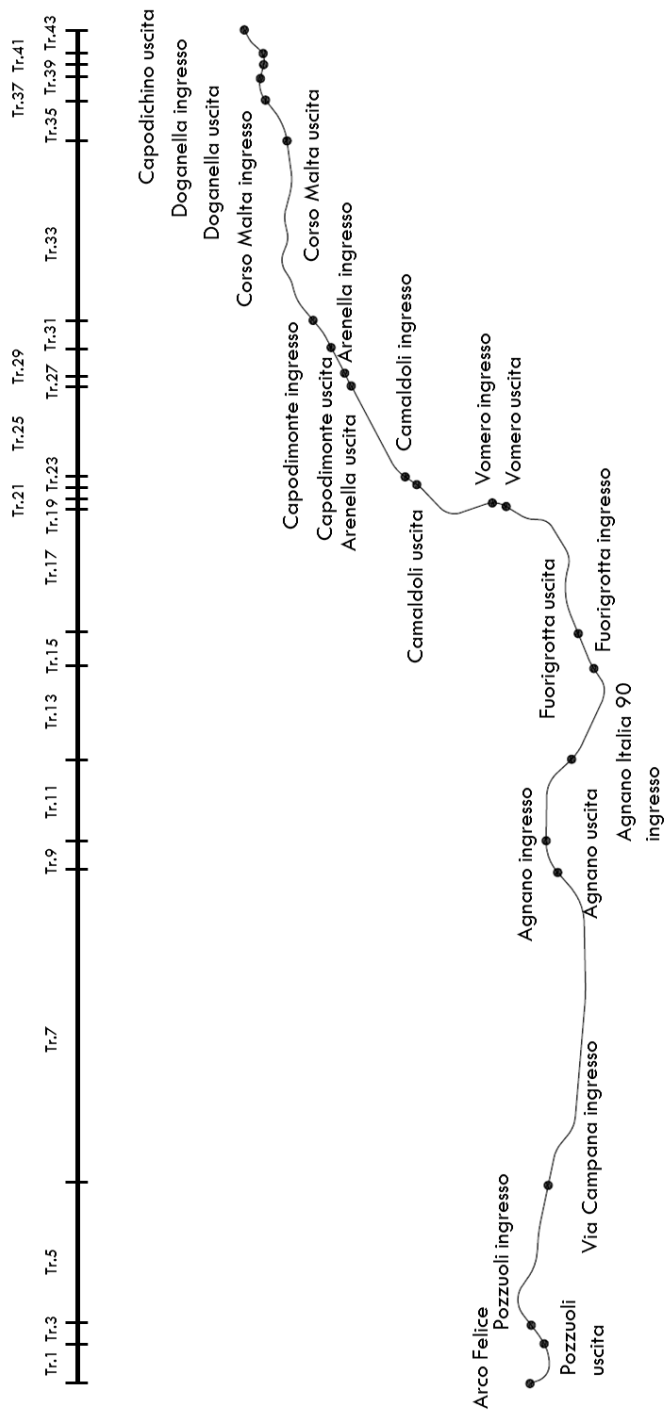


Figura 46 - Asse stradale della Tangenziale di Napoli - carreggiata Est.

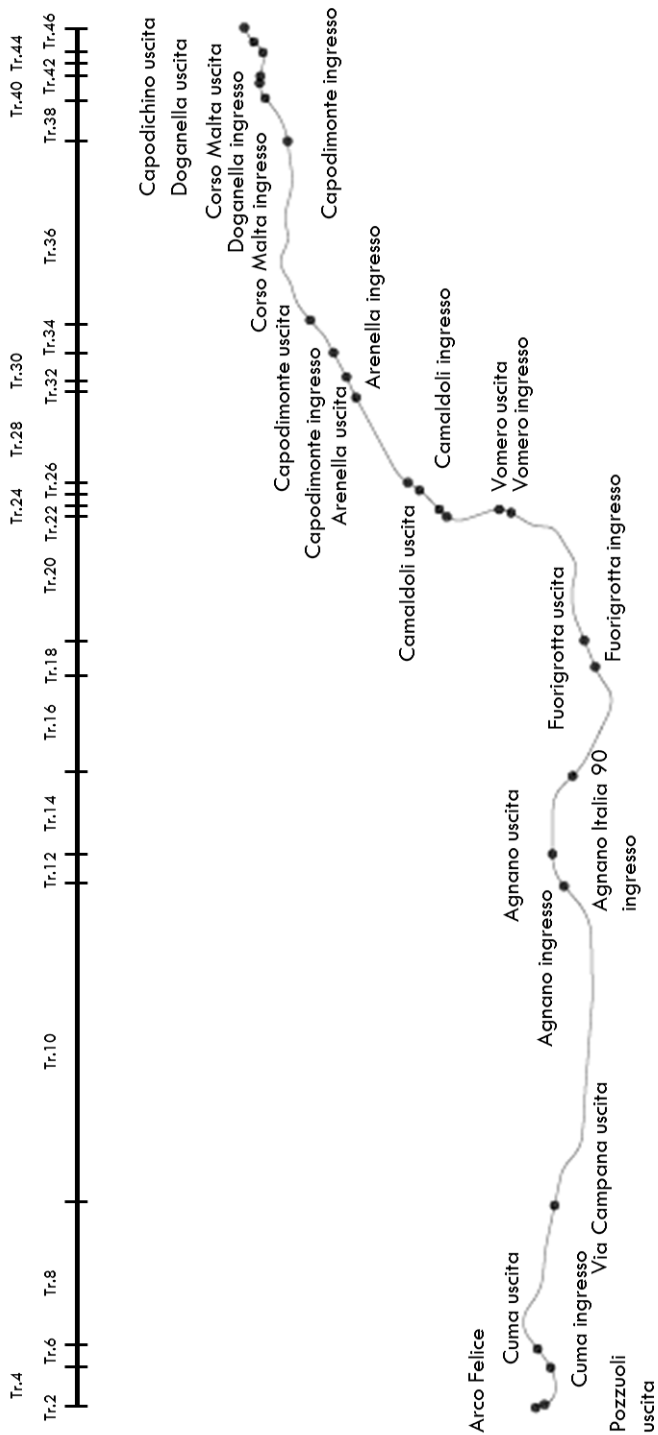


Figura 47 - Asse stradale della Tangenziale di Napoli - carreggiata Ovest.

Le sezioni hanno lunghezza variabile compresa tra 40.40 m e 1387.10 m, i raggi delle curve sono compresi tra 200 e 3000 m e gli angoli di deflessione sono compresi tra 2.22 e 81.11 gon. L'andamento altimetrico è caratterizzato da livellette con pendenza longitudinale fino al 5.22 % raccordate con raccordi circolari di raggio variabile tra 3000 e 16000 m (Figura 48, Figura 49).



Figura 48 – Profilo altimetrico della Tangenziale di Napoli - carreggiata Est.

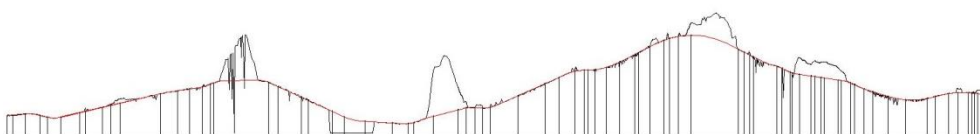


Figura 49 – Profilo altimetrico della Tangenziale di Napoli - carreggiata Ovest.

Si riportano in Tabella 27 le caratteristiche geometriche del tracciato di studio in direzione est e ovest.

Tabella 27 - Dati geometrici della Tangenziale di Napoli.

Parametri	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo
<i>Direzione est</i>				
Lunghezza della sezione [m]	253.20	208.11	40.40	1387.09
Raggio delle curve [m]	604.82	505.86	202	2980
Angolo di deflessione [gon]	36.64	21.49	2.22	81.11
Raggio dei raccordi circolari (sacche) [m]	9454.54	3830.20	4000	16000
Raggio dei raccordi circolari (dossi) [m]	8136.36	3899.51	4000	15500
Pendenza longitudinale [%]	2.79	1.74	0.10	5.22
<i>Direzione ovest</i>				
Lunghezza della sezione [m]	267.30	199.56	50.05	1020.41
Raggio delle curve [m]	697.00	575.09	615.81	3000
Angolo di deflessione [gon]	34.60	22.80	3.33	81.11
Raggio dei raccordi circolari (sacche) [m]	9333.33	3915.16	4000	16000
Raggio dei raccordi circolari (dossi) [m]	8009.09	3968.16	3000	15500
Pendenza longitudinale [%]	2.67	1.71	0.20	5.05

4.4 La banca dati di traffico

Per ciascuna autostrada oggetto di studio, è stata realizzata una banca dati con i volumi di traffico, sotto forma di traffico giornaliero medio annuo disaggregati per le diverse carreggiate. I dati di traffico dell'autostrada A16 sono stati forniti dalla società Autostrade per l'Italia per gli anni 2006 – 2011.

Per la Tangenziale di Napoli non è stato possibile reperire dati di traffico su ciascun tronco pertanto è stata eseguita un'analisi di simulazione dei traffici negli anni 2006 - 2011.

4.4.1 I traffici nei siti di controllo

I dati di traffico dell'autostrada A16, forniti dalla società Autostrade per l'Italia sono espressi sotto forma di traffico giornaliero medio annuo per ciascuna carreggiata e per ciascuna tratta autostradale negli anni 2006 – 2011 (Tabella 28).

Tabella 28 - Traffici giornalieri medi negli anni 2001 – 2011.

Tronco	Carreggiata	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Napoli - Pomigliano	Est	16'357	16'613	16'571	16'506	16'364	15'723
	Ovest	17'866	18'179	18'371	18'228	18'141	17'431
Pomigliano - Nola	Est	16'357	16'613	16'571	16'506	16'364	15'723
	Ovest	16'242	16'526	16'701	16'571	16'492	15'875
Nola - Baiano	Est	16'392	16'712	16'715	16'952	16'923	16'185
	Ovest	16'741	17'132	17'005	17'255	17'055	16'342
Baiano – Avellino Ovest	Est	16'042	16'320	16'168	16'225	16'116	15'414
	Ovest	16'199	16'543	16'305	16'350	16'242	15'563
Avellino Ovest – Avellino Est	Est	10'825	10'987	10'924	11'154	10'942	10'411
	Ovest	11'419	11'627	11'508	11'733	11'467	10'877
Avellino Est - Benevento	Est	11'901	12'005	11'999	12'193	12'045	11'522
	Ovest	12'278	12'419	12'281	12'488	12'327	11'792
Benevento - Grottaminarda	Est	11'234	11'226	11'154	11'290	11'244	10'798
	Ovest	11'640	11'624	11'455	11'600	11'527	11'077
Grottaminarda - Lacedonia	Est	8'425	8'410	8'284	8'482	8'430	8'051
	Ovest	8'834	8'797	8'588	8'773	8'697	8'310
Lacedonia - Vallata	Est	8'637	8'600	8'483	8'684	8'629	8'252
	Ovest	9'051	8'989	8'793	8'978	8'903	8'517
Vallata - Candela	Est	8'237	8'185	8'077	8'283	8'249	7'886
	Ovest	8'665	8'590	8'396	8'589	8'535	8'164

Si riportano di seguito i grafici dell'andamento del traffico giornaliero medio annuo negli anni 2006 - 2011 (da Figura 50 a Figura 61).

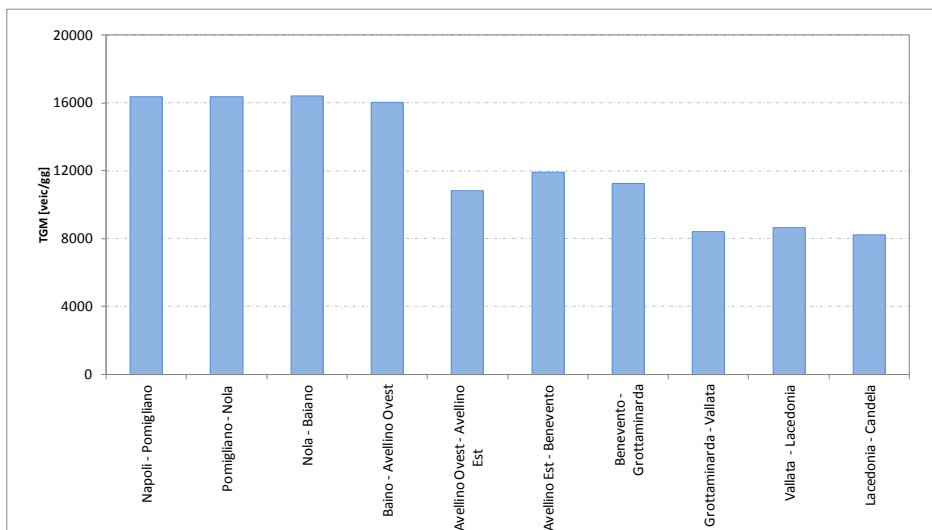


Figura 50 - TGM nei tronchi della carreggiata Est - anno 2006.

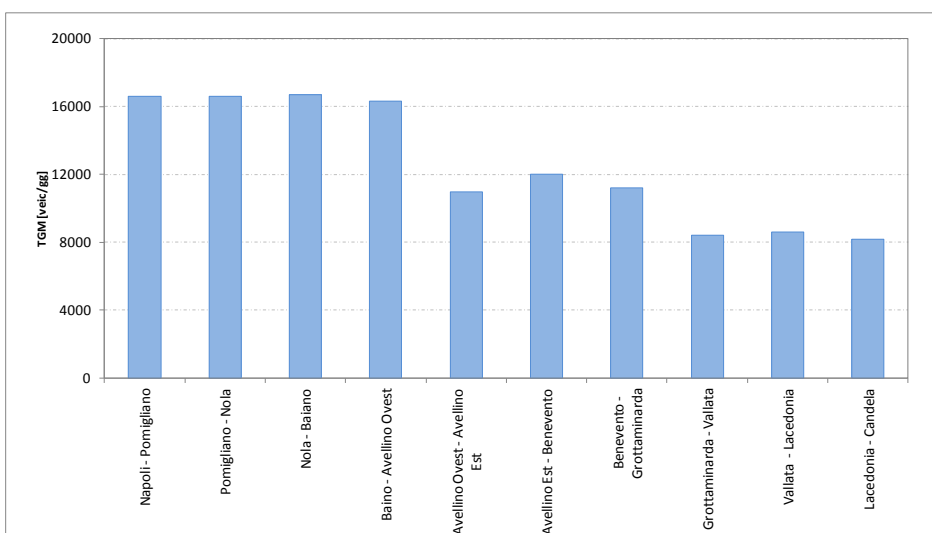


Figura 51 - TGM nei tronchi della carreggiata Est - anno 2007.

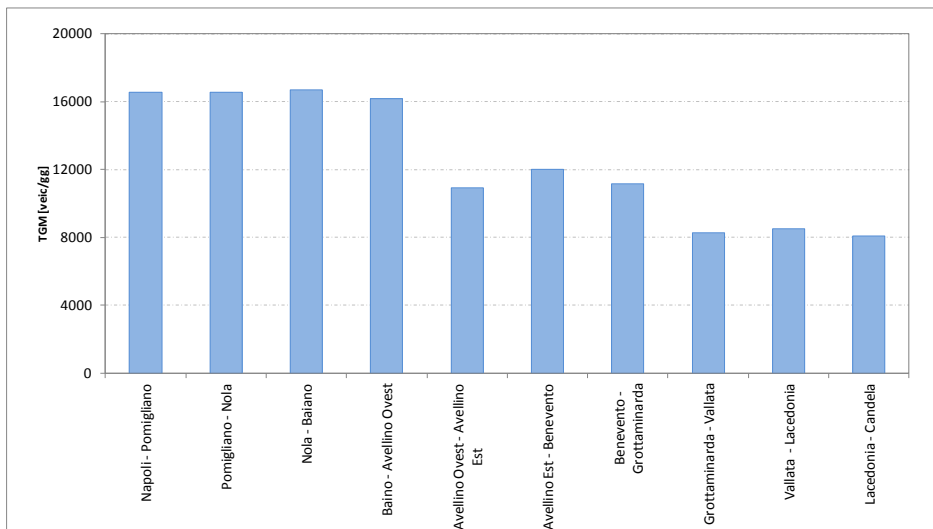


Figura 52 - TGM nei tronchi della carreggiata Est - anno 2008.

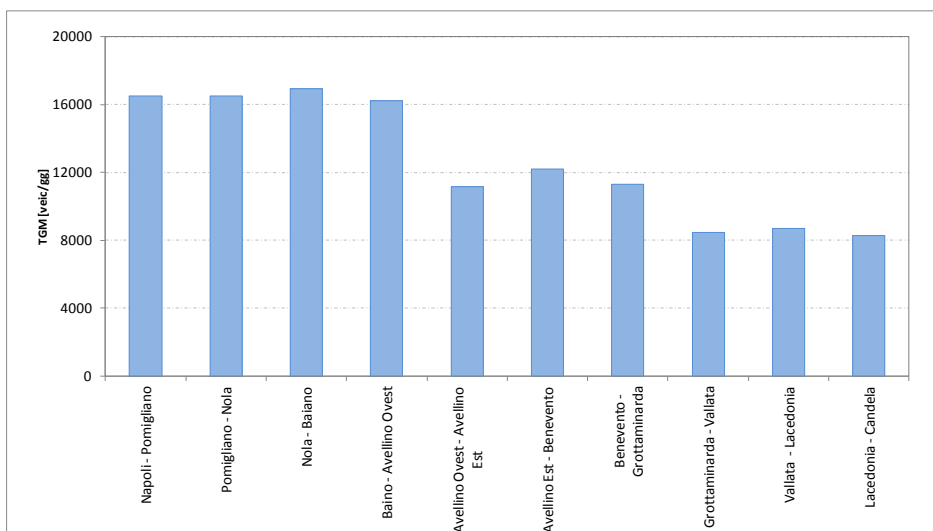


Figura 53 - TGM nei tronchi della carreggiata Est - anno 2009.

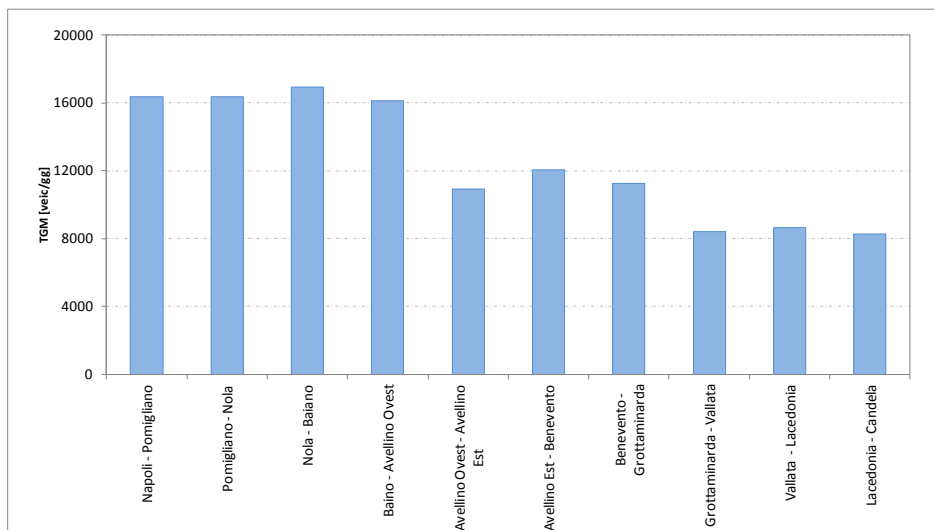


Figura 54 - TGM nei tronchi della carreggiata Est - anno 2010.

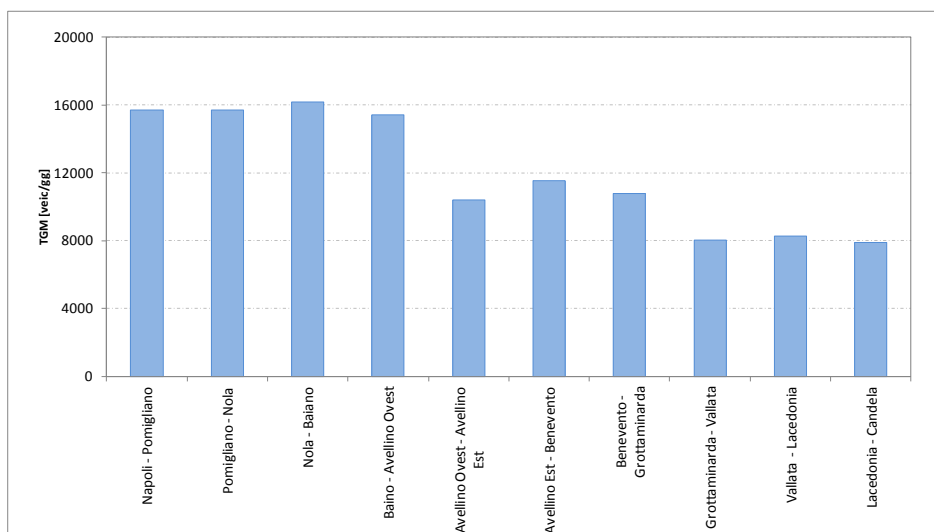


Figura 55 - TGM nei tronchi della carreggiata Est - anno 2011.

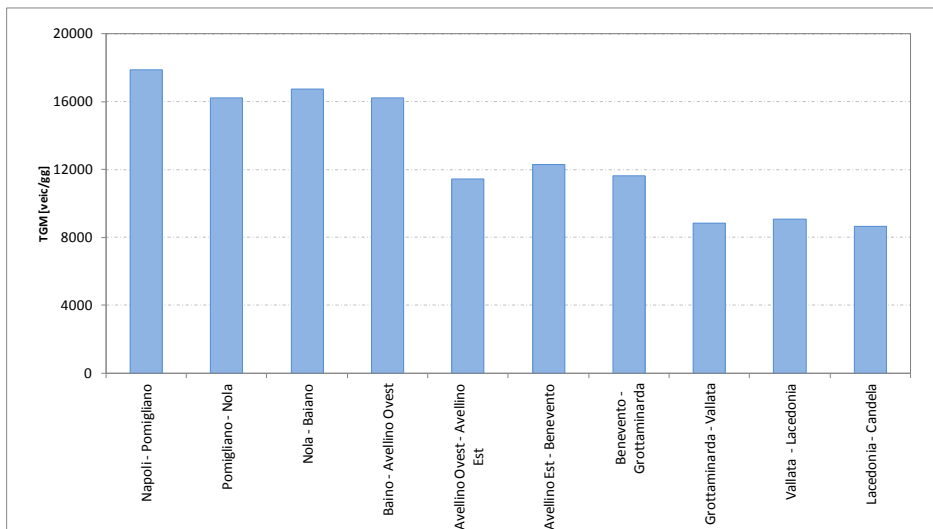


Figura 56 - TGM nei tronchi della carreggiata Ovest - anno 2006.

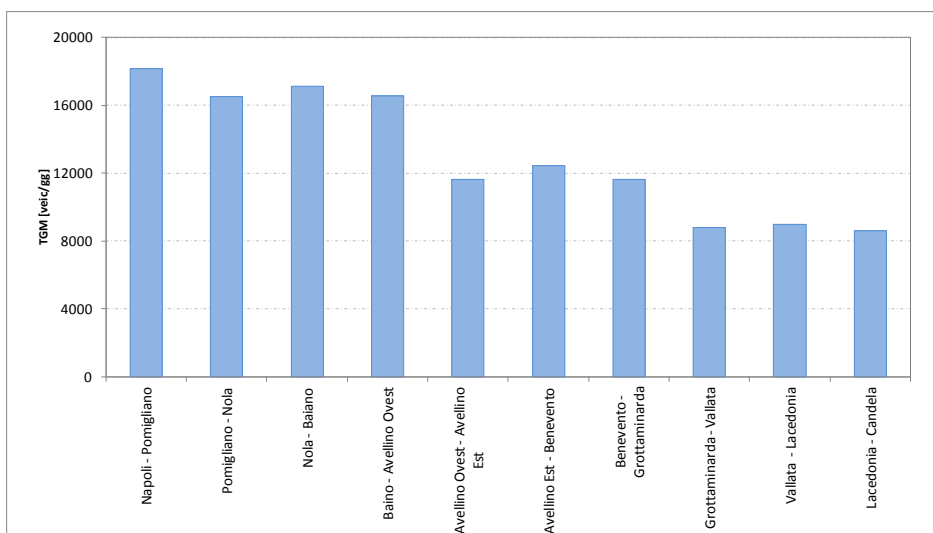


Figura 57 - TGM nei tronchi della carreggiata Ovest - anno 2007.

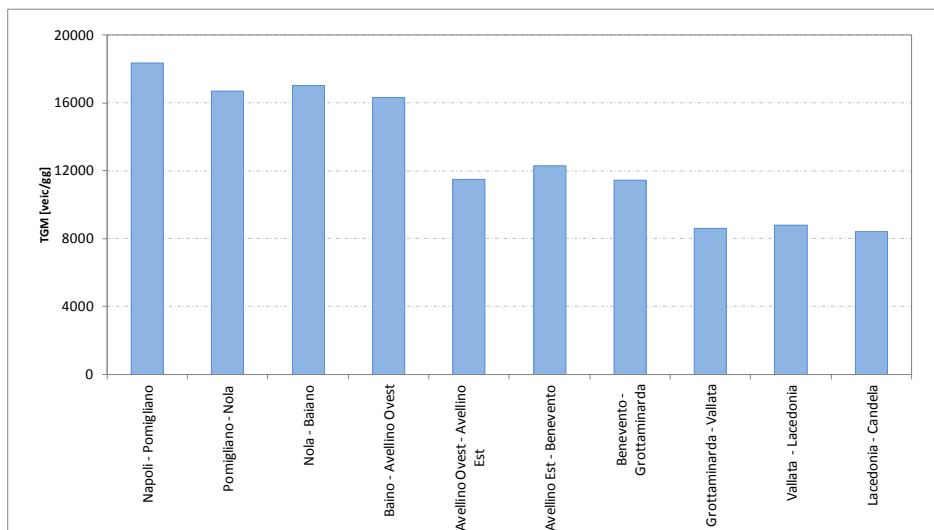


Figura 58 - TGM nei tronchi della carreggiata Ovest - anno 2008.

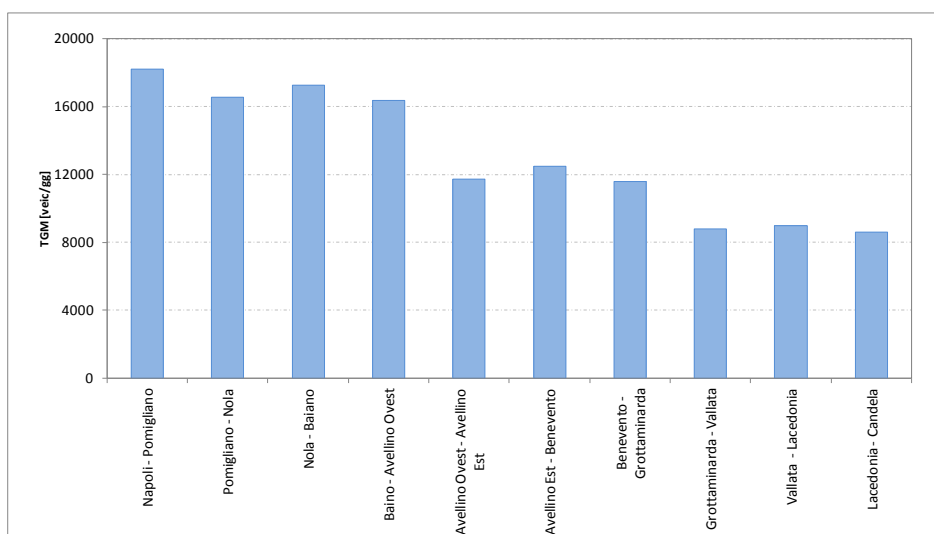


Figura 59 - TGM nei tronchi della carreggiata Ovest - anno 2009.

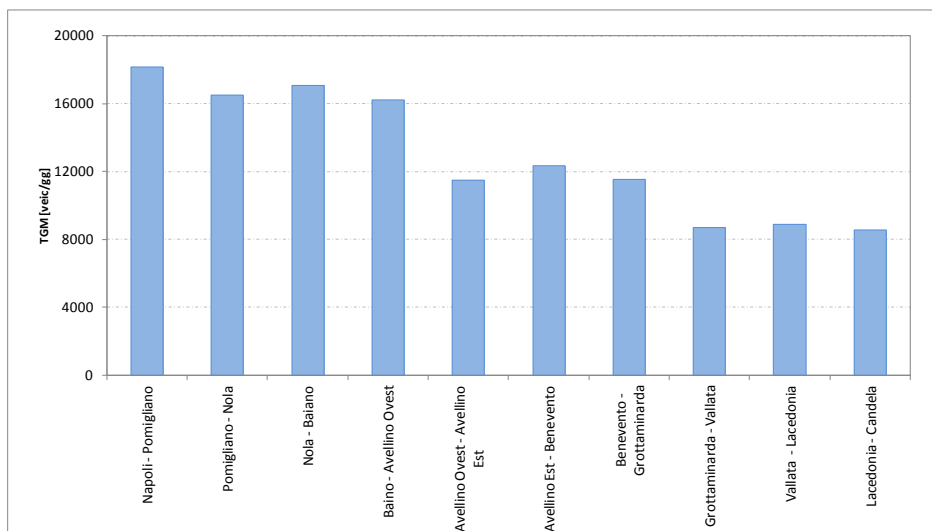


Figura 60 - TGM nei tronchi della carreggiata Ovest - anno 2010.

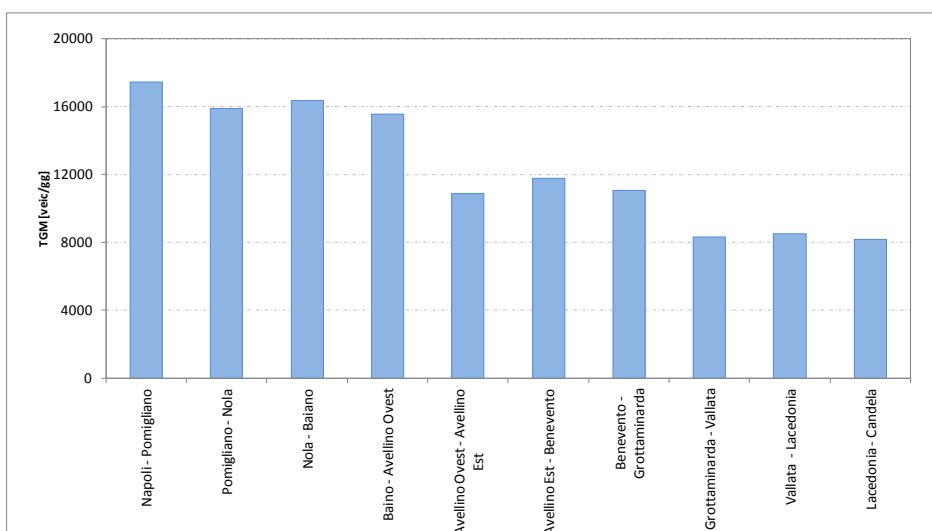


Figura 61 - TGM nei tronchi della carreggiata Ovest - anno 2011.

Dai grafici si evince che il traffico giornaliero medio annuo assume valori più o meno costanti in tre tratte: da Napoli ad Avellino Ovest il traffico è mediamente pari a 16'000 veic/gg, da Avellino Ovest a Grottaminarda il traffico è mediamente pari a 12'000 veic/gg mentre da Grottaminarda a Candela il traffico è mediamente pari a 8'000 veic/gg. Come si evince dalle medie dei traffici giornalieri medi annui nelle tratte analizzate (Tabella 29), i traffici giornalieri medi annui sono in aumento fino al 2009 mentre negli ultimi anni si è stata registrata una riduzione del 5% rispetto al picco del 2009.

Tabella 29 - Dati di traffico dell'autostrada A16, tratto Napoli - Candela.

<i>Anni</i>	<i>Direzione est</i>				<i>Direzione ovest</i>			
	<i>Media</i>	<i>Deviazione standard</i>	<i>Minimo</i>	<i>Massimo</i>	<i>Media</i>	<i>Deviazione standard</i>	<i>Minimo</i>	<i>Massimo</i>
2006	12441	3526	8237	16392	12731	3352	8665	16741
2007	12567	3664	8185	16712	12877	3522	8590	17132
2008	12494	3687	8077	16715	12773	3611	8396	17005
2009	12627	3613	8283	16952	12891	3528	8589	17255
2010	12531	3595	8249	16923	12774	3512	8535	17055
2011	11997	3459	7886	16185	12239	3393	8164	16342

4.4.2 I traffici nei siti di intervento

I dati di traffico della Tangenziale di Napoli non sono disponibili in quanto non sono disponibili i volumi di traffico nei caselli di ingresso. Pertanto, avendo a disposizione i dati di traffico dei caselli di uscita, i dati di traffico dei portali Tutor e i dati di traffico pubblicati dall'AISCAT (AISCAT, 2013) è stato possibile effettuare un'analisi di simulazione del traffico che ha consentito di ricavare i volumi di traffico per ciascun tronco (Tabella 30, Tabella 31).

Tabella 30 - Traffici giornalieri medi negli anni 2006 – 2011 – Carreggiata Est.

<i>Tronco</i>	<i>da</i>	<i>a</i>	<i>Carreggiata</i>	<i>2006</i>	<i>2007</i>	<i>2008</i>	<i>2009</i>	<i>2010</i>	<i>2011</i>
1	Arcofelice ingresso	Pozzuoli uscita	Est	42'554	42'860	42'029	41'110	41'417	39'930
3	Pozzuoli uscita	Pozzuoli ingresso	Est	31'628	31'856	31'238	30'555	30'783	29'678
5	Pozzuoli ingresso	Via Campana ingresso	Est	36'944	37'210	36'489	35'691	35'957	34'666
7	Via Campana ingresso	Agnano uscita	Est	44'521	44'842	43'972	43'011	43'332	41'776
9	Agnano uscita	Agnano ingresso	Est	41'723	42'023	41'208	40'308	40'608	39'150
11	Agnano ingresso	Agnano Italia 90 ingresso	Est	49'147	49'500	48'541	47'480	47'834	46'116
13	Agnano Italia 90 ingresso	Fuorigrotta uscita	Est	54'618	55'011	53'945	52'766	53'159	51'250
15	Fuorigrotta uscita	Fuorigrotta ingresso	Est	35'399	35'654	34'962	34'198	34'453	33'216
17	Fuorigrotta ingresso	Vomero uscita	Est	53'195	53'578	52'539	51'391	51'774	49'915
19	Vomero uscita	Vomero ingresso	Est	41'865	42'167	41'349	40'445	40'747	39'284
21	Vomero ingresso	Camaldoli uscita	Est	67'336	67'821	66'506	65'053	65'537	63'184
23	Camaldoli uscita	Camaldoli ingresso	Est	66'069	66'545	65'254	63'829	64'304	61'995
25	Camaldoli ingresso	Arenella uscita	Est	80'067	80'643	79'080	77'352	77'928	75'130
27	Arenella uscita	Arenella ingresso	Est	73'374	73'902	72'469	70'885	71'413	68'849
29	Arenella ingresso	Capodimonte uscita	Est	96'540	97'234	95'349	93'266	93'960	90'587
31	Capodimonte uscita	Capodimonte ingresso	Est	78'851	79'418	77'879	76'177	76'744	73'989
33	Capodimonte ingresso	Corso Malta uscita	Est	88'867	89'506	87'771	85'853	86'492	83'387
35	Corso Malta uscita	Corso Malta ingresso	Est	51'721	52'093	51'083	49'967	50'339	48'531
37	Corso Malta ingresso	Doganella uscita	Est	57'416	57'830	56'708	55'469	55'882	53'876
39	Doganella uscita	Doganella ingresso	Est	36'384	36'646	35'936	35'150	35'412	34'141
41	Doganella ingresso	Capodichino ingresso	Est	50'371	50'734	49'750	48'663	49'025	47'265
43	Capodichino uscita	Raccordo Autostradale	Est	41'125	41'421	40'618	39'730	40'026	38'589

Tabella 31 - Traffici giornalieri medi negli anni 2006 – 2011 – Carreggiata Ovest.

<i>Tronco</i>	<i>da</i>	<i>a</i>	<i>Carreggiata</i>	<i>2006</i>	<i>2007</i>	<i>2008</i>	<i>2009</i>	<i>2010</i>	<i>2011</i>
2	Arcofelice ingresso	Pozzuoli uscita	Ovest	19'264	19'403	19'027	18'611	18'749	18'076
4	Pozzuoli uscita	Cuma ingresso	Ovest	23'262	23'429	22'975	22'473	22'640	21'827
6	Cuma ingresso	Cuma uscita	Ovest	21'436	21'590	21'172	20'709	20'863	20'114
8	Cuma uscita	Via Campana uscita	Ovest	27'826	28'026	27'483	26'882	27'082	26'110
10	Via Campana uscita	Agnano ingresso	Ovest	38'638	38'916	38'162	37'328	37'606	36'256
12	Agnano ingresso	Agnano uscita	Ovest	34'280	34'526	33'857	33'117	33'364	32'166
14	Agnano uscita	Agnano Italia 90 ingresso	Ovest	52'294	52'670	51'649	50'521	50'897	49'069
16	Agnano Italia 90 ingresso	Fuorigrotta ingresso	Ovest	49'741	50'099	49'128	48'054	48'412	46'674
18	Fuorigrotta ingresso	Fuorigrotta uscita	Ovest	38'973	39'254	38'493	37'651	37'932	36'570
20	Fuorigrotta uscita	Vomero ingresso	Ovest	70'967	71'477	70'092	68'560	69'071	66'591
22	Vomero ingresso	Vomero uscita	Ovest	65'739	66'212	64'929	63'510	63'983	61'685
24	Vomero uscita	Camaldoli ingresso	Ovest	80'801	81'382	79'804	78'060	78'642	75'818
26	Camaldoli ingresso	Camaldoli uscita	Ovest	72'649	73'172	71'753	70'185	70'708	68'169
28	Camaldoli uscita	Arenella ingresso	Ovest	104'409	105'160	103'121	100'867	101'619	97'970
30	Arenella ingresso	Arenella uscita	Ovest	101'952	102'685	100'694	98'494	99'227	95'665
32	Arenella uscita	Capodimonte ingresso	Ovest	107'081	107'852	105'761	103'450	104'220	100'478
34	Capodimonte ingresso	Capodimonte uscita	Ovest	96'407	97'100	95'218	93'137	93'830	90'462
36	Capodimonte uscita	Corso malta ingresso	Ovest	101'769	102'501	100'514	98'317	99'049	95'493
38	Corso Malta ingresso	Doganella ingresso	Ovest	75'306	75'847	74'377	72'752	73'293	70'662
40	Doganella ingresso	Corso Malta uscita	Ovest	46'867	47'204	46'289	45'277	45'614	43'977
42	Corso malta uscita	Doganella uscita	Ovest	46'867	47'204	46'289	45'277	45'614	43'977
44	Doganella uscita	Capodichino ingresso	Ovest	64'232	64'694	63'440	62'054	62'516	60'271
46	Capodichino ingresso	Capodichino uscita	Ovest	74'642	75'179	73'721	72'110	72'647	70'039
48	Capodichino uscita	Raccordo Autostradale	Ovest	68'466	68'958	67'621	66'144	66'636	64'244

Si riportano di seguito i grafici dell'andamento del traffico giornaliero medio annuo negli anni 2006 - 2011 (da Figura 62 a Figura 73). Dai grafici si evince che il traffico giornaliero medio annuo assume valori bassi da Arco Felice a Fuorigrotta, aumenta notevolmente da Fuorigrotta a Corso Malta e poi si riduce nuovamente da Corso Malta a Capodichino.

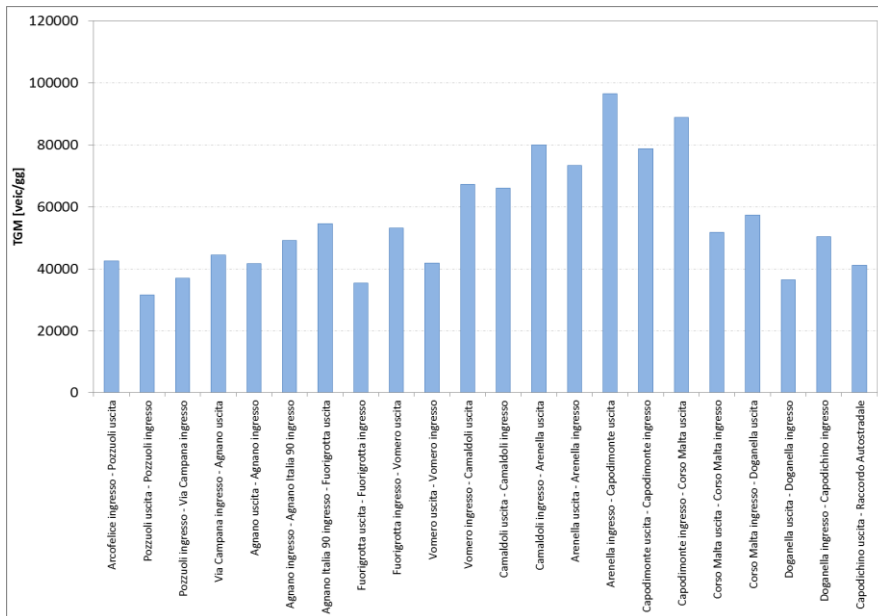


Figura 62 - TGM nei tronchi della carreggiata Est - anno 2006.

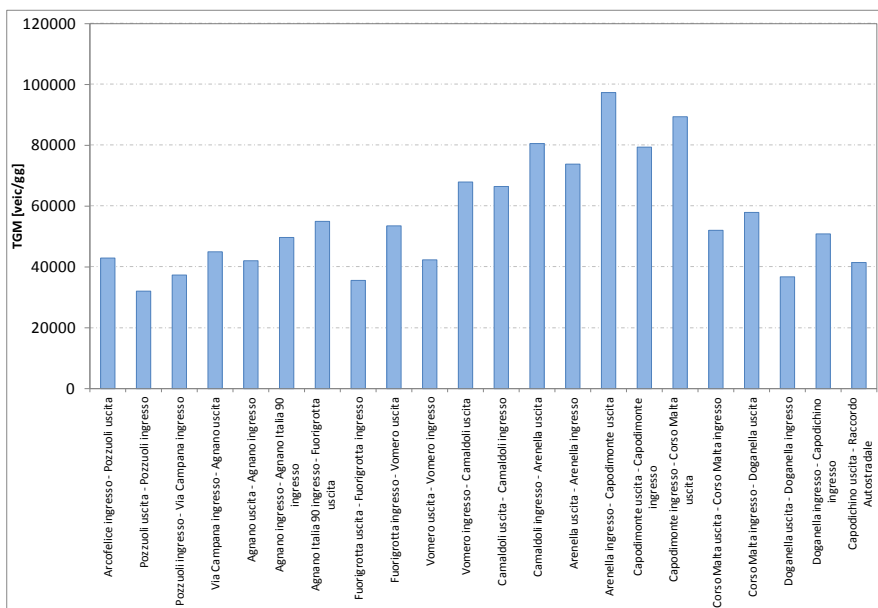


Figura 63 - TGM nei tronchi della carreggiata Est - anno 2007.

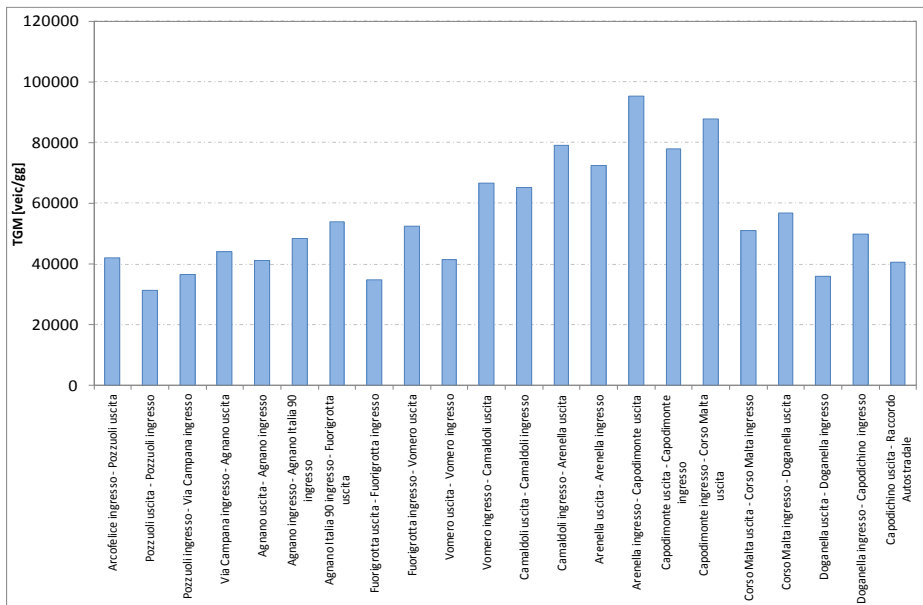


Figura 64 - TGM nei tronchi della carreggiata Est - anno 2008.

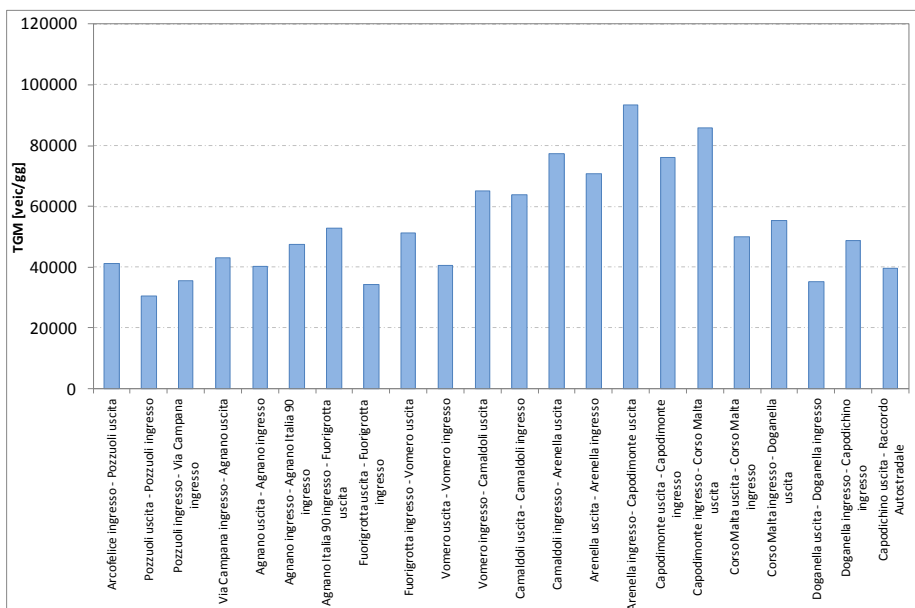


Figura 65 - TGM nei tronchi della carreggiata Est - anno 2009.

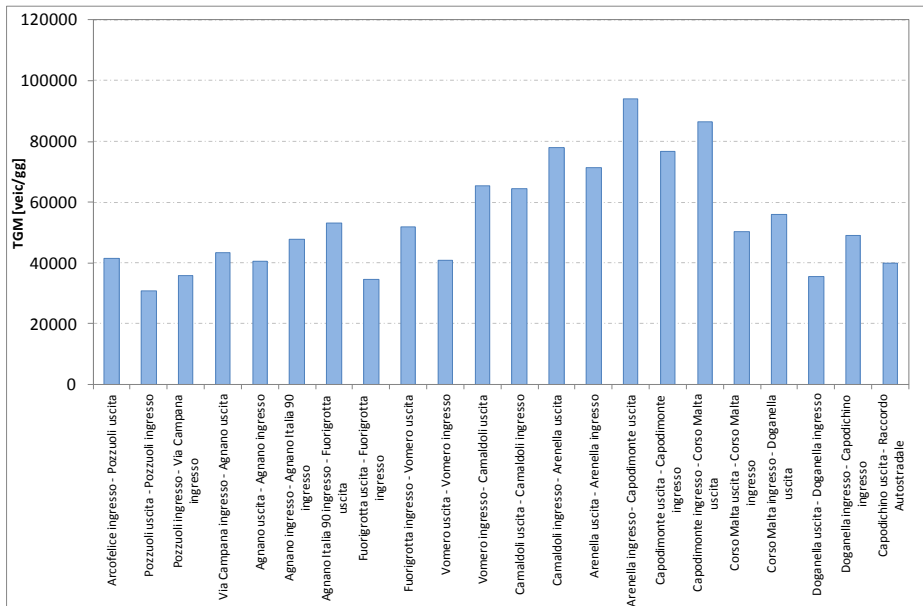


Figura 66 – TGM nei tronchi della carreggiata Est - anno 2010.

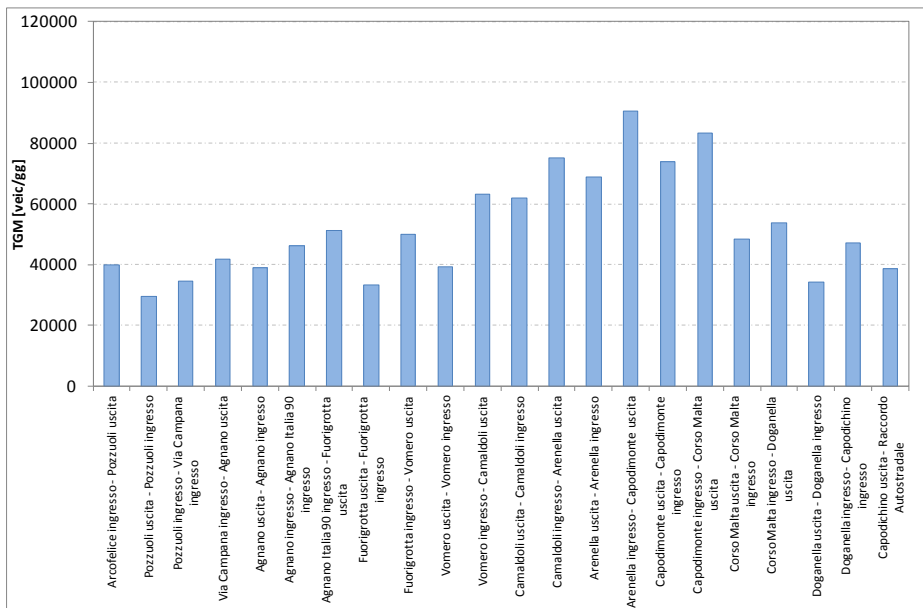


Figura 67 - TGM nei tronchi della carreggiata Est - anno 2011.

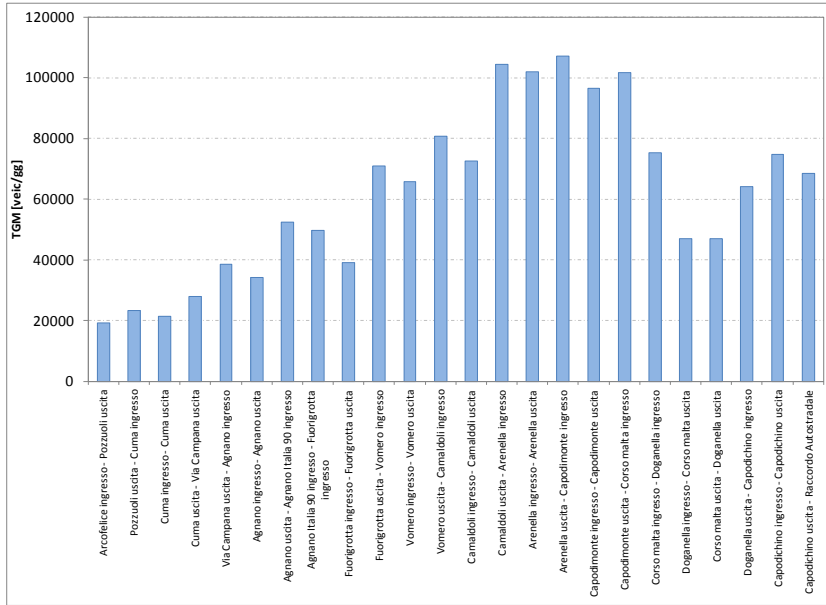


Figura 68 – TGM nei tronchi della carreggiata Ovest - anno 2006.

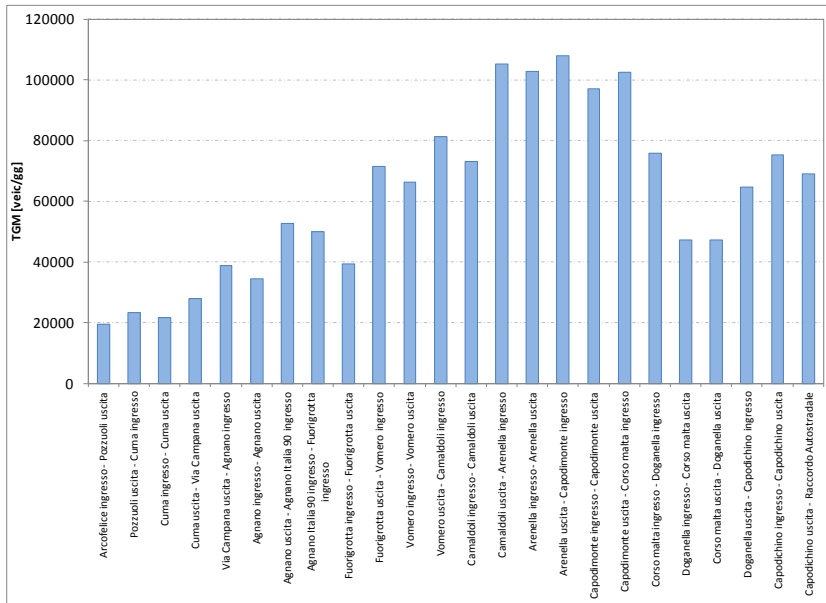


Figura 69 - TGM nei tronchi della carreggiata Ovest - anno 2007.

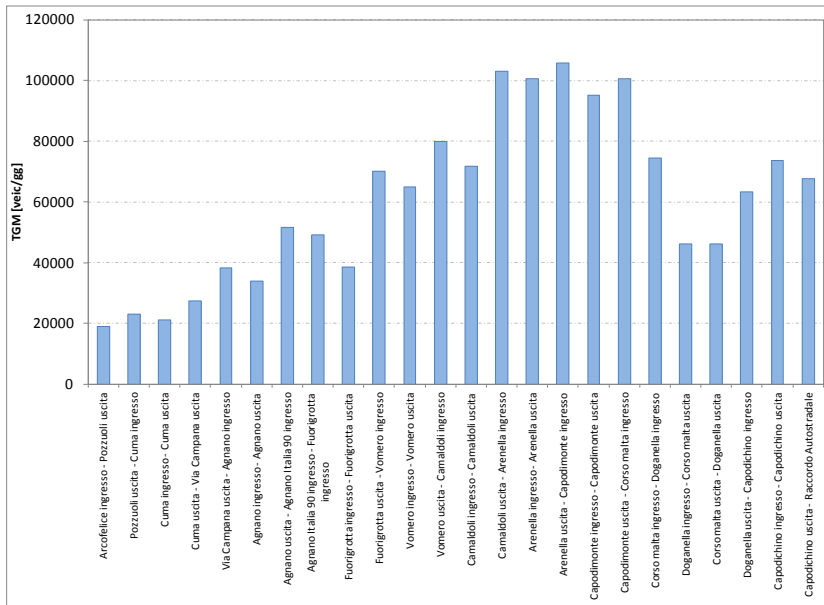


Figura 70 - TGM nei tronchi della carreggiata Ovest - anno 2008.

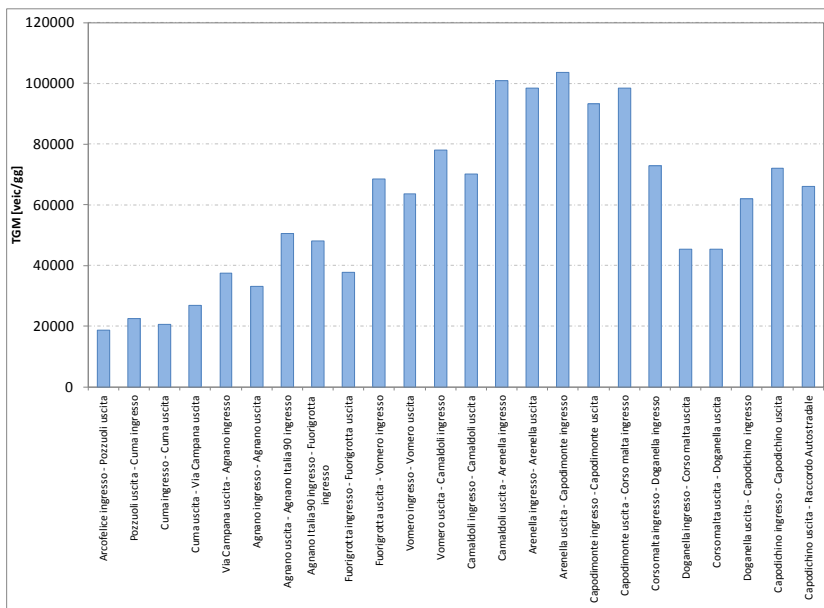


Figura 71 - TGM nei tronchi della carreggiata Ovest - anno 2009.

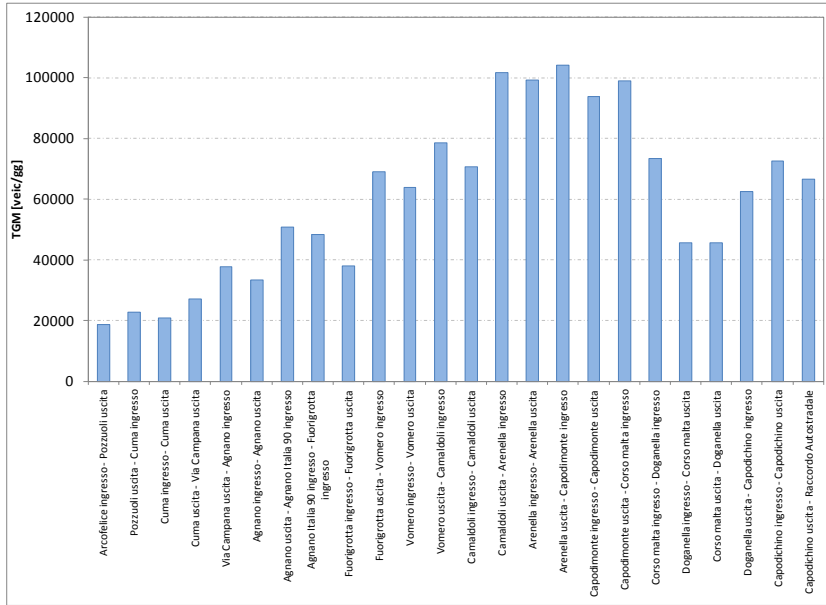


Figura 72 – TGM nei tronchi della carreggiata Ovest - anno 2010.

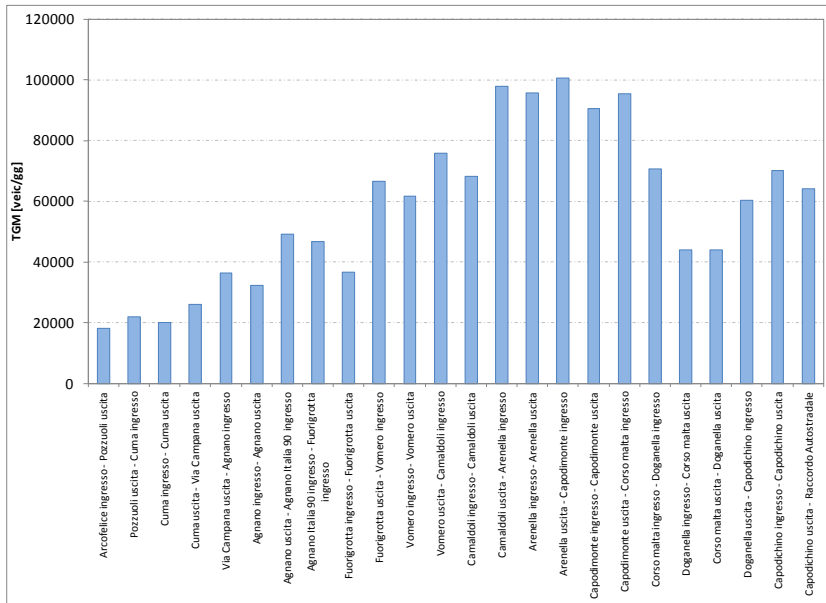


Figura 73 – TGM nei tronchi della carreggiata Ovest - anno 2011.

5. Le funzioni di prestazione della sicurezza

5.1 Le funzioni di prestazione della sicurezza nei sito di controllo

5.1.1 La scelta dei siti di controllo

Le variazioni del trend dell'incidentalità non dovute all'intervento oggetto di studio (variazione nelle condizioni atmosferiche, nella demografia, nelle pratiche di rilievo degli incidenti) nel periodo dopo l'implementazione dello stesso sono state tenute in conto analizzando il trend dell'incidentalità nei siti di controllo, ossia in siti simili a quelli di intervento non influenzati dall'intervento stesso. L'ipotesi di base del metodo è che la variazione del numero degli incidenti nei siti di intervento, in assenza dell'intervento stesso, sarebbe stata nella stessa proporzione che si è verificata nei siti di controllo. I siti di controllo scelti sono localizzati sull'autostrada A16 Napoli – Canosa sul tratto Napoli - Candela.

Il criterio adottato per la scelta del sito di confronto è che la variazione di sicurezza tra il periodo prima e il periodo dopo nei siti di confronto è indicativa della variazione di sicurezza che si sarebbe avuta nel dopo in assenza di intervento (*Hauer, 1997*). In particolare, questo criterio si basa su due assunzioni: (a) i fattori che influenzano la sicurezza hanno subito variazioni dal periodo prima al periodo dopo nello stesso modo nei siti di controllo e nei siti d' intervento; (b) le variazioni influiscono nello stesso modo nei siti di confronto e nei siti di intervento. Ovvero, in assenza di intervento il rapporto tra il numero atteso di incidenti nel periodo prima e dopo deve essere lo stesso nei siti di confronto e nei siti di intervento. Per verificare tale ipotesi è stato eseguito un test statistico sui dati di incidentalità negli anni 2006 – 2008, prima che alcun trattamento fosse realizzato. Sono state considerate due serie storiche (2006 – 2007 e 2007 – 2008). Per ciascuna serie storica è stato determinato il rapporto:

$$o = \frac{\left(\frac{K \times N}{L \times M} \right)}{\left(1 + \frac{1}{L} + \frac{1}{M} \right)} \quad (39)$$

dove

- K è il numero di incidenti nel primo periodo nel sito di trattamento
- L è il numero di incidenti nel secondo periodo nel sito di trattamento
- M è il numero di incidenti nel primo periodo nel sito di confronto
- N è il numero di incidenti nel secondo periodo nel sito di confronto.

Si riporta in Tabella 32 il numero di incidenti per il sito di trattamento e per il sito di confronto e i valori del rapporto ρ :

Tabella 32 - Numero degli incidenti nel sito di trattamento e di confronto in assenza di intervento.

Anno	Incidenti nel sito di confronto	Incidenti nel sito di trattamento	ρ
2006	634	412	
2007	622	389	1.03
2008	552	342	1.00

Il rapporto medio tra le due serie storiche considerate è pari a 1.02, pertanto è possibile affermare che la variazione del numero degli incidenti nel tempo nel sito di intervento, prima dell'implementazione dell'intervento, e nel sito di confronto è la stessa.

5.1.2 Calibrazione delle funzioni di prestazione della sicurezza nei siti di controllo

Le funzioni di prestazione della sicurezza nei siti di controllo sono state calibrate utilizzando la tecnica di regressione dei modelli lineari generalizzati (GLM) assumendo una struttura dell'errore di tipo binomiale negativo.

I parametri del modello e il parametro di dispersione della distribuzione binomiale negativa sono stati calcolati con il metodo della massima verosimiglianza con la procedura GENMOD in SAS (SAS, 2002).

Per la calibrazione dei modelli è stata utilizzata la procedura step forward aggiungendo una variabile ad ogni step. Ciascuna variabile è stata inserita nel modello se significativa al livello di significatività α pari a 5%, e se apporta un miglioramento delle misure di adattamento del modello (R_α^2 e AIC).

Sono stati calibrati modelli per gli incidenti totali e per gli incidenti disaggregati in funzione della tipologia (tamponamenti, incidenti a veicolo isolato, incidenti con più veicoli), della gravità (incidenti con soli danni materiali, incidenti con feriti e morti), delle condizioni di illuminazione (incidenti di giorno, incidenti di notte), delle condizioni atmosferiche (incidenti in presenza di pioggia, incidenti in assenza di pioggia), delle condizioni della pavimentazione (incidenti su strada asciutta, incidenti su strada bagnata), delle condizioni planimetriche (incidenti in curva e rettilineo), del tipologia di giorno (incidenti nei giorni feriali e festivi) e delle fasce orarie (incidenti nelle fasce orarie 7-21, 21-7) negli anni 2006 - 2011.

Generalmente, come suggerito dall'Highway Safety Manual (AASHTO, 2010), i volumi di traffico e le variabili geometriche sono introdotte come variabili esplicative del modello predittivo (Cafiso et al., 2013; Kim et al., 2013; Turner et al., 2012; Caliendo et al., 2007). Recentemente, in alcuni studi, sono state introdotte

come variabili esplicative anche le variabili relative alla congruenza del tracciato stradale sia su strade extraurbane a due corsie (Anderson et al., 1999; Atashafrazeh and Yadollahi, 2013; Awatta et al., 2006; Cafiso et al., 2008a; Cafiso et al., 2010; Camacho-Torregrosa et al., 2013; Ng and Sayed 2004; de Oña et al., 2013, de Oña et al., 2012) che in autostrada (Montella et al., 2008; Montella 2009). Le variabili relative alla congruenza del tracciato generalmente introdotte nei modelli predittivi sono le variabili introdotte da Lamm (Lamm et al. (1995, 1999, 2002):

- ΔV_{di} , valore assoluto della differenza tra la velocità di progetto e la velocità operative,
- ΔV_{85} , valore assoluto della differenza delle velocità operative tra due elementi geometrici successivi
- Δf_r , differenza tra coefficiente di attrito laterale di progetto (f_{RA}) e il coefficiente di attrito richiesto (f_{RD}) per il veicolo che sta percorrendo la curva alla velocità V_{85} .

Nel caso di studio, le variabili esplicative introdotte nei modelli predittivi degli incidenti sono relative al traffico, alla geometria orizzontale e verticale, alla congruenza del tracciato, alla visibilità, alla sezione trasversale e al contesto stradale (Tabella 33).

La variabile di traffico introdotta è il logaritmo naturale del traffico giornaliero medio annuo. Le variabili geometriche inserite sono il quadrato della curvatura orizzontale, la pendenza equivalente in salita e in discesa, l'interazione tra la pendenza equivalente in salita/discesa e la lunghezza del tratto in salita/discesa, l'inverso del raggio del raccordo verticale concavo, l'inverso del raggio del raccordo verticale convesso.

La pendenza equivalente in discesa è stata calcolata con la formula:

$$G_d = \frac{\sum_i G_{id} \times L_{id}}{\sum_i L_i} \quad (40)$$

dove:

- G_{id} è la pendenza in discesa del singolo sub segmento,
- L_{id} è la lunghezza del singolo sub segmento in discesa,
- L_i è la lunghezza segmento.

La pendenza equivalente in salita è stata calcolata con la formula:

$$G_u = \frac{\sum_i G_{iu} \times L_{iu}}{\sum_i L_i} \quad (41)$$

dove:

- G_{id} è la pendenza in salita del singolo sub segmento,
- L_{id} è la lunghezza del singolo sub segmento in salita,
- L_i è la lunghezza segmento.

L'influenza della congruenza del tracciato sulla sicurezza è stata studiata:

- in curva attraverso la riduzione della velocità operativa tra elementi successivi (ΔV_{85}), la congruenza dinamica (Δfr), la congruenza inerziale ($V_{85,i} - V_{85,5}$), la lunghezza del rettilo che precede la curva (L_t),
- in rettilo attraverso la curvatura della curva che precede il rettilo e la curvatura della curva che segue il rettilo.

La velocità operativa in curva e in rettilo è stata determinata attraverso la calibrazione di modelli predittivi delle velocità di seguito riportati (*Montella et al., 2014*):

$$V_{85c} = 135.490 - \frac{7.483}{R} - 1.290 \times G_u - 0.080 \times CCR_2 - 14.427 \times Galleria - 4.083 \times Viadotto \quad (42)$$

$$V_{85ret} = 139.543 + 1.751 \times L - \frac{4.983}{R_{-1}} - \frac{2.270}{R_{+1}} - 2.507 \times G_u - 0.068 \times CCR_2 \quad (43)$$

dove:

- V_{85c} è la velocità operative in curva espressa in km/h
- V_{85ret} è la velocità operative in rettilo espressa in km/h
- R è il raggio della curva espresso in km
- R_{-1} è il raggio della curva che precede il rettilo espresso in km
- R_{+1} è il raggio della curva che segue il rettilo espresso in km
- CCR_2 è la variazione del tasso di curvatura dei 2 km che precedono la sezione considerata espressa in gon/km
- L è la lunghezza del rettilo espressa in km
- G_u è la pendenza equivalente in salita
- $Galleria$ è la variabile binaria pari a 1 se la sezione è in galleria altrimenti 0
- $Viadotto$ è la variabile binaria pari a 1 se la sezione è in viadotto altrimenti 0.

I dati di velocità utilizzati per la calibrazione dei modelli predittivi delle velocità sono stati ricavati attraverso una sperimentazione condotta con il veicolo strumentato del Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Ambientale.

La sperimentazione è stata condotta tra giugno 2011 e settembre 2011 tra le 09:30 e 16:30, in giorni feriali e in condizioni di tempo asciutto, sul tratto di autostrada A16 Napoli – Avellino Est di lunghezza pari a 49.5 km (per senso di marcia). Il limite di velocità generalizzato su tale tratto autostradale è 130 km/h ma sono presenti limiti di 80 km/h in entrambe le direzioni. Nel tratto di studio sono presenti 46 rettili e 45 curve con raggio variabile da 250 a 2775 m.

39 soggetti, di cui 14 donne e 25 uomini di età compresa tra 23 e 70 anni hanno partecipato alla sperimentazione. A ciascun partecipante è stato somministrato un questionario con quesiti relativi al sesso, all'età, agli anni di esperienza, all'occupazione, alla frequenza di guida e al tipo di percorso, al tipo di veicolo guidato solitamente, al numero di incidenti. Dall'analisi dei questionari somministrati ai partecipanti è stato rilevato che il 60% dei soggetti percorre più di 10'000 km all'anno in auto e più dell'80% percorre almeno 5'000 km all'anno in auto. Il veicolo strumentato, utilizzato per la sperimentazione, è una Fiat "Multipla" JTD (Figura 74), dotata di una serie di dispositivi in grado di rilevare sia parametri legati al comportamento di guida degli automobilisti sia parametri legati al moto del veicolo in relazione ai veicoli che lo circondano.

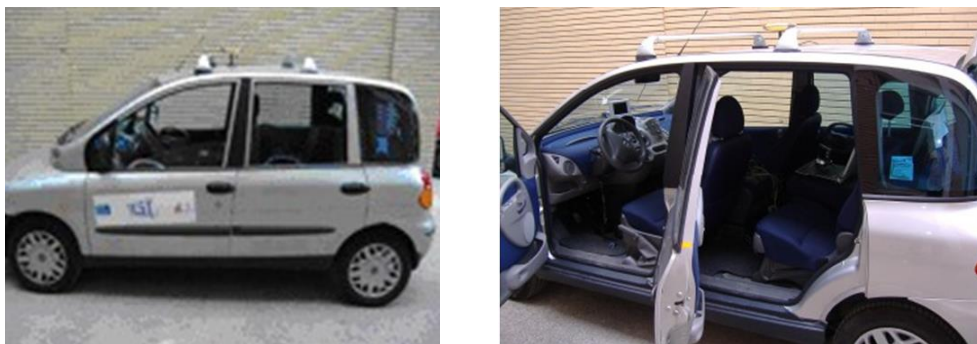


Figura 74 – Veicolo strumentato.

I dispositivi installati sul veicolo (Figura 75) sono: GPS, radar posteriore e anteriore, due encoder, giroscopio, titolatrice anteriore e posteriore e sensori di bordo, sistema di acquisizione e registrazione dati. Inoltre il veicolo, è dotato di due batterie aggiuntive ed un inverter.

In particolare, i sensori del veicolo strumentato rilevano le seguenti informazioni:

- velocità, accelerazione e distanza percorsa;
- posizione del veicolo tramite dispositivi GPS;

- movimento delle ruote sterzanti;
- posizione e pressione dei pedali;
- distanza e velocità relativa con n veicoli circostanti;
- scenari di traffico tramite riprese effettuate da videocamere puntate sia in avanti che indietro.



Figura 75 – Dispositivi del veicolo strumentato.

Tutte le misurazioni sono rilevate in continuo e registrate su un file oltre che rese disponibili sotto forma di riprese video. I dati sono aggiornati in maniera tale da descrivere tutte le componenti in frequenza dei diversi segnali, fino ad almeno 10 Hz.

Dai profili di velocità ottenuti mediante la sperimentazione è stata ricavata la velocità massima in rettilineo e la velocità minima in curva. A partire da tali dati di velocità, sono stati calibrati i modelli predittivi delle velocità operative utilizzando una tecnica di regressione lineare in funzione delle variabili geometriche.

Inoltre, sono state introdotte nei modelli le variabili, distanza di visibilità, larghezza della banchina in destra, tipo di barriera spartitraffico e tipo di sezione stradale (galleria, viadotto, trincea e rilevato).

La forma generale delle funzioni di prestazione della sicurezza è:

$$E(Y) = e^{a_0} \times L \times AADT^{a_1} \times e^{\sum_{j=1}^m b_j \times x_j} \quad (44)$$

dove:

- $E(Y)$ è la frequenza di incidenti attesa [incidenti/anno];
- L è la lunghezza del segmento omogeneo considerato [km];
- $AADT$ è il traffico giornaliero medio annuo [veic/gg];
- x_j è una delle m variabili addizionali;
- a_0, a_1, b_j sono i coefficienti del modello.

Tabella 33 - Variabili esplicative delle funzioni di prestazione della sicurezza nei siti di controllo.

Variabile	Descrizione
Volume di traffico	
$\ln(\text{TGM})$ [veic/gg]	Logaritmo naturale del traffico giornaliero medio annuo
Geometria orizzontale	
$1/R^2$ [1/km ²]	Quadrato della curvatura orizzontale
Def [gon]	Angolo di deflessione
Geometria verticale	
G_d [%]	Pendenza equivalente in discesa
G_u [%]	Pendenza equivalente in salita
$G_d \times L_d$	Interazione tra la pendenza equivalente in discesa e la lunghezza del tratto in discesa
$G_u \times L_u$	Interazione tra la pendenza equivalente in salita e la lunghezza del tratto in salita
$1/R_{\text{sag}}$ [1/km]	Inverso del raggio del raccordo verticale concavo
$1/R_{\text{crest}}$ [1/km]	Inverso del raggio del raccordo verticale convesso
Congruenza del tracciato	
ΔV_{85} [km/h]	Valore assoluto della differenza delle velocità operative tra due elementi geometrici successivi
ΔfR [-]	Differenza tra coefficiente di attrito laterale di progetto (fRA) e il coefficiente di attrito richiesto (fRD) per il veicolo che sta percorrendo la curva alla velocità V_{85}
$V_{85,i} - V_{85,5}$ [km/h]	Differenza tra la velocità operativa in curva e la media delle velocità operative nei 5 km che precedono la curva (variabile valutata solo in curva)
Lt [km]	Lunghezza del rettilineo che precede la curva
$1/R_{-1}$ [1/km]	Curvatura della curva che precede il rettilineo
$1/R_{+1}$ [1/km]	Curvatura della curva che segue il rettilineo
Visibilità	
Distanza di visibilità [m]	Distanza di visibilità
Sezione stradale	
RSW [m]	Larghezza della banchina in destra
SP	Variabile binaria, pari a 1 se la barriera spartitraffico è in calcestruzzo, 0 se in acciaio
Contesto stradale	
Galleria	Variabile binaria, pari a 1 se la sezione è in galleria altrimenti 0
Viadotto	Variabile binaria, pari a 1 se la sezione è in viadotto altrimenti 0
Trincea	Variabile binaria, pari a 1 se la sezione è in trincea altrimenti 0
Rivelato	Variabile binaria, pari a 1 se la sezione è in rilevato altrimenti 0

In Tabella 34 e Tabella 35 sono riportati la stima dei parametrici e le misure di adattamento dei modelli ai dati reali. Le variabili non significative non sono riportate. Il coefficiente di correlazione R_{α}^2 assume valori compresi tra 40% e 93%. Tutti i parametri assumono segni logici ed attesi.

Tra le variabili relative alla geometria orizzontale, risultano significative il quadrato della curvatura $(1/R)^2$ e l'angolo di deflessione (Def). Il quadrato della curvatura assume segno positivo, ovvero più piccolo è il raggio della curva e maggiore è la frequenza attesa degli incidenti. L'angolo di deflessione assume valore negativo,

ovvero all'aumentare dell'angolo di deflessione la frequenza attesa degli incidenti diminuisce. Relativamente alle variabili geometriche verticali risultano significative la pendenza equivalente in salita (G_u) e in discesa (G_d). Entrambe assumono valori positivi quindi all'aumentare della pendenza equivalente aumenta la frequenza attesa di incidenti, ma i parametri relativi alla pendenza in discesa assumono valori maggiori rispetto ai parametri relativi alla pendenza in salita, quindi la pendenza equivalente in discesa influenza la frequenza attesa degli incidenti più della pendenza equivalente in salita.

Un risultato molto importante è la presenza delle variabili relative alla congruenza del tracciato all'interno delle funzioni di prestazione della sicurezza. Le variabili rappresentative della congruenza del tracciato, legate alla frequenza attesa degli incidenti, sono la riduzione della velocità operativa tra elementi successivi (ΔV_{85}), la congruenza dinamica (Δfr), la congruenza inerziale ($V_{85,i} - V_{85,5}$), la curvatura della curva che precede e quella che segue il rettifilo.

I parametri relativi alla riduzione della velocità operativa tra elementi successivi (ΔV_{85}) assumono valori positivi e ciò dimostra che all'aumentare della differenza di velocità operativa tra elementi successivi aumenta la frequenza attesa degli incidenti. Questo risultato è un chiaro indicatore di incongruenza del tracciato stradale (Camacho-Torregrosa et al., 2013; de Oña et al., 2013). Al contrario la frequenza degli incidenti aumenta al diminuire della congruenza dinamica (Δfr). I parametri dei modelli relativi alla congruenza inerziale ($V_{85,i} - V_{85,5}$) assumono valori negative e ciò dimostra che se la velocità operative media nei 5 km precedenti l'elemento geometrico considerato è maggiore della velocità operativa nell'elemento stesso, la frequenza attesa degli incidenti aumenta. Ciò indica che aspettativa di guida a lungo termine ha un effetto significativo sulla sicurezza.

Anche la curvature orizzontale delle curve che precedono e seguono i rettifili risultano statisticamente significative per alcune tipologie di incidenti. I valori positive di tali coefficienti stanno ad indicare che più piccolo è il raggio che precede e/o segue il rettifilo e maggiore è la frequenza attesa degli incidenti. Dai risultati è possibile notare che la curvatura della curva che precede il rettifilo influenza la frequenza degli incidenti più della curvatura del raggio che segue il rettifilo.

Il risultato è coerente con il concetto di aspettativa di guida che afferma che una strada che viola le aspettative del conducente probabilmente avrà più incidenti rispetto a una strada che non violi quelle aspettative (Findley et al., 2012). Anche la sezione trasversale e il contesto stradale influenzano la frequenza degli incidenti. Quest'ultima aumenta all'aumentare della larghezza della banchina in destra e in presenza di galleria.

Tabella 34 – SPFs nei siti di controllo: stima dei parametri e misure di adattamento per incidenti totali e incidenti disaggregati per gravità, tipologia, giorno e geometria orizzontale.

	Incidenti totali	Tamponamenti	Veicolo isolato	Multi-veicolo	Danni materiali	Mortali e incidenti con feriti	Feriali	Festivi	Rettilineo	Curva
Variabile										
Dispersione	0.859 (0.054)	0.177 (0.099)	1.019 (0.067)	0.839 (0.160)	0.830 (0.059)	0.992 (0.122)	0.881 (0.063)	1.444 (0.133)	0.460 (0.056)	1.034 (0.087)
Costante	-16.032 (0.835)	-28.166 (1.238)	-14.038 (0.893)	-24.956 (1.209)	-14.069 (0.860)	-24.503 (1.106)	-15.900 (0.877)	-18.074 (1.075)	-17.860 (1.062)	-14.604 (1.221)
Volume di traffico										
ln(TGM)	0.996 (0.089)	1.930 (0.131)	0.762 (0.096)	1.715 (0.128)	0.764 (0.092)	1.735 (0.117)	0.948 (0.094)	1.106 (0.114)	1.176 (0.112)	0.840 (0.130)
Geometria orizzontale										
1/R ²		0.022 (0.011)	0.069 (0.011)	0.088 (0.009)	0.095 (0.011)	0.137 (0.007)	0.070 (0.008)	0.099 (0.017)		0.108 (0.010)
Def					-0.005 (0.002)			-0.005 (0.002)		
Geometria verticale										
G _d	0.121 (0.016)	0.202 (0.022)	0.090 (0.018)	0.180 (0.022)	0.118 (0.017)	0.107 (0.016)	0.117 (0.017)	0.076 (0.017)	0.070 (0.017)	0.062 (0.019)
G _u	0.080 (0.017)	0.191 (0.029)	0.049 (0.019)	0.122 (0.023)	0.082 (0.018)		0.070 (0.018)			
Congruenza del tracciato										
DV ₈₅	0.053 (0.005)	0.033 (0.009)	0.030 (0.006)		0.034 (0.006)		0.032 (0.006)			0.026 (0.080)
Dfr			-2.177 (1.148)					-5.397 (1.457)		
V _{85,i} -V _{85,5}	-0.010 (0.002)						-0.006 (0.002)			
1/R ₋₁									0.234 (0.037)	
1/R ₊₁									0.099 (0.038)	
Sezione trasversale										
RSW		0.328 (0.057)								
Contesto stradale										
Galleria		0.903 (0.172)								
R ² _a	0.46	0.93	0.43	0.63	0.49	0.66	0.50	0.51	0.69	0.40
AIC	9121	3269	8000	3186	8088	3356	7672	4175	4371	4582

Tabella 35 – SPFs nei siti di controllo: stima dei parametri e misure di adattamento per incidenti disaggregati per condizioni di illuminazione, atmosferiche, della pavimentazione e per fasce orarie.

	Giorno	Notte	Non pioviggia	Pioviggia	Asciutto	Bagnato	7-21	21-7
Variabile								
Dispersione	0.931 (0.069)	1.361 (0.114)	0.667 (0.053)	3.510 (0.253)	0.716 (0.060)	2.580 (0.167)	0.935 (0.064)	1.655 (0.155)
Costante	-18.906 (0.911)	-12.493 (1.014)	-15.581 (0.822)	-20.074 (1.259)	-15.397 (0.853)	-19.490 (1.159)	-16.366 (0.884)	-17.139 (1.083)
Volume di traffico								
ln(TGM)	1.224 (0.097)	0.547 (0.108)	0.936 (0.088)	1.160 (0.134)	0.910 (0.091)	1.189 (0.124)	0.995 (0.094)	0.999 (0.115)
Geometria orizzontale								
1/R ²	0.118 (0.009)	0.046 (0.014)	0.076 (0.009)	0.147 (0.009)		0.142 (0.009)	0.082 (0.007)	0.041 (0.014)
Def								
Geometria verticale								
G _d	0.126 (0.018)		0.077 (0.017)	0.244 (0.023)	0.086 (0.017)	0.176 (0.022)	0.135 (0.017)	
G _v	0.066 (0.019)		0.041 (0.017)	0.131 (0.026)	0.069 (0.018)	0.095 (0.024)	0.076 (0.018)	
Congruenza del tracciato								
DV ₈₅	0.025 (0.007)	0.019 (0.007)	0.016 (0.006)	0.060 (0.008)	0.023 (0.006)	0.048 (0.008)	0.033 (0.006)	
Dfr		-4.597 (1.342)			-3.710 (0.777)			-6.283 (1.465)
V _{85,i} -V _{85,5}			-0.006 (0.002)					
1/R ₋₁	0.224 (0.029)		0.126 (0.029)					
R ² _a	0.56	0.41	0.57	0.49	0.57	0.44	0.49	0.48
AIC	6955	5164	8135	2982	7397	4414	7930	3663

Per valutare la forma del modello è stata effettuata l'analisi dei residui cumulati (da Figura 76 a Figura 91).

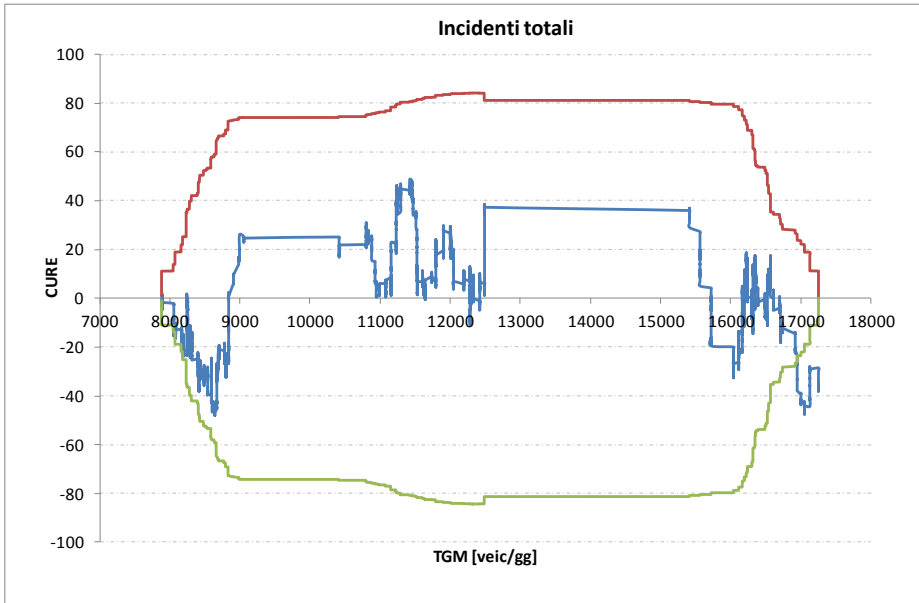


Figura 76 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di controllo (incidenti totali).

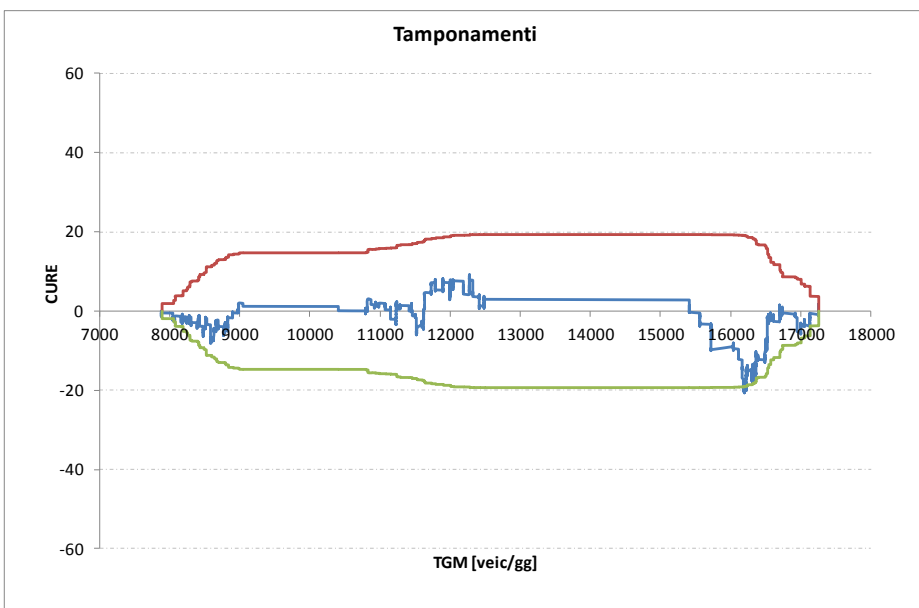


Figura 77 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di controllo (tamponamenti).

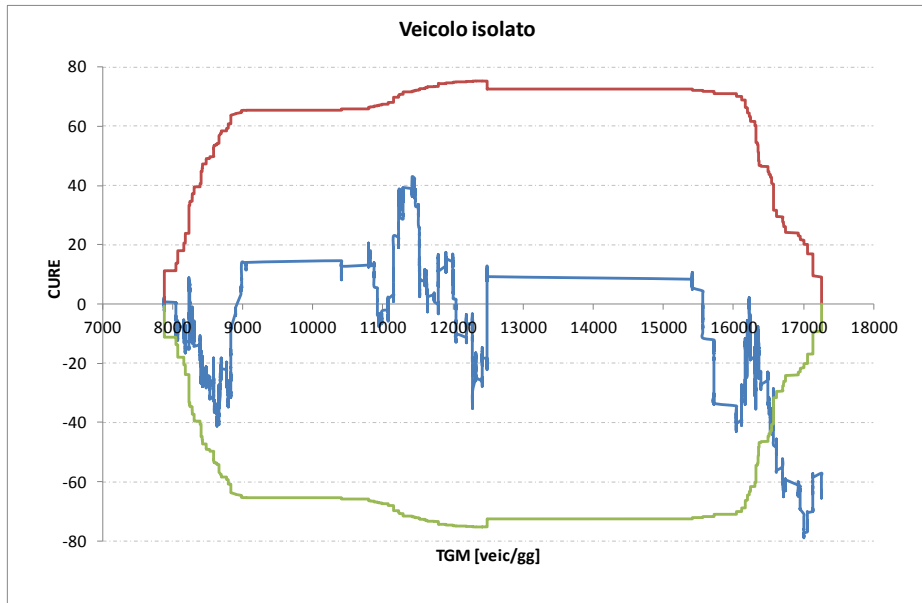


Figura 78 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di controllo (incidenti a veicolo isolato).

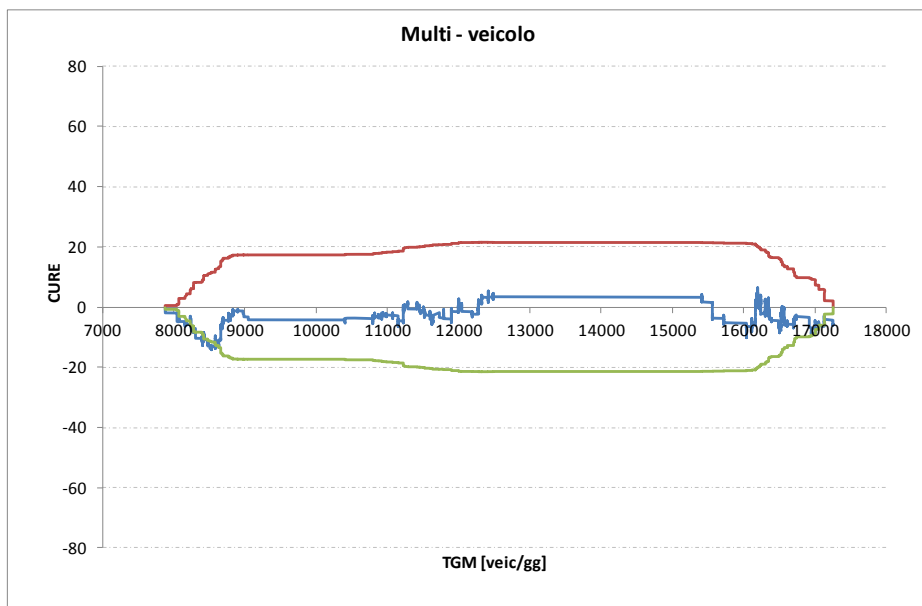


Figura 79 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di controllo (multi - veicolo).

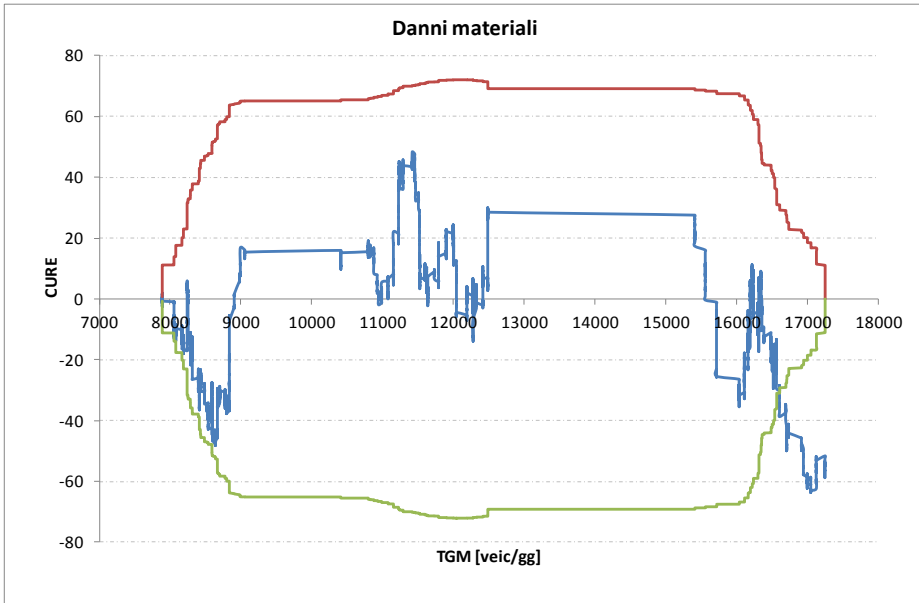


Figura 80 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di controllo (incidenti con soli danni materiali).

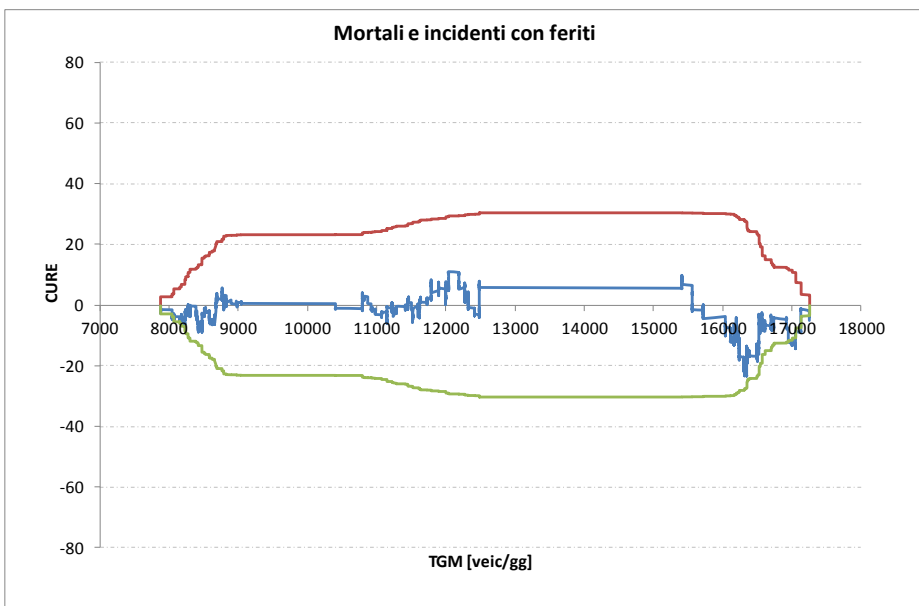


Figura 81 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di controllo (incidenti mortali e con feriti).

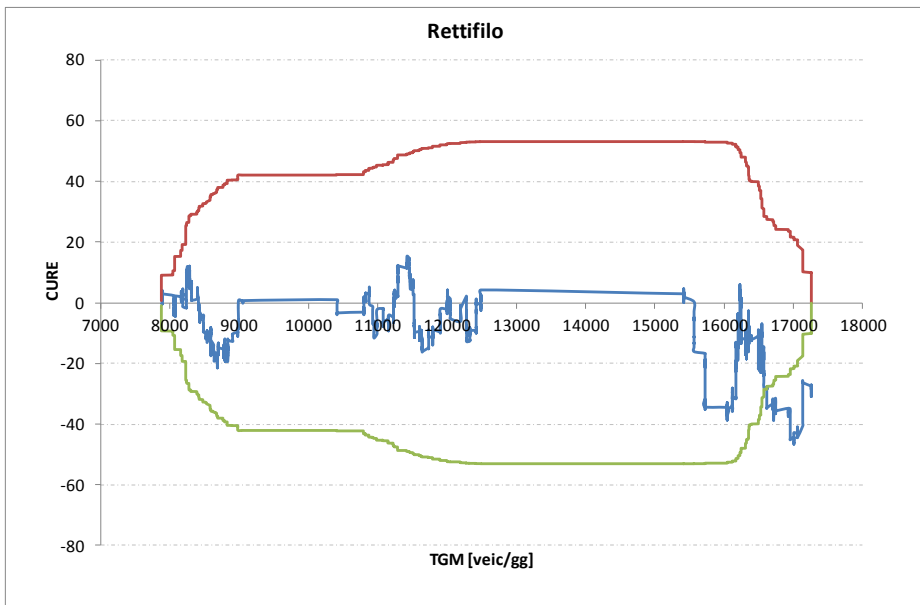


Figura 82 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di controllo (incidenti in rettifilo).

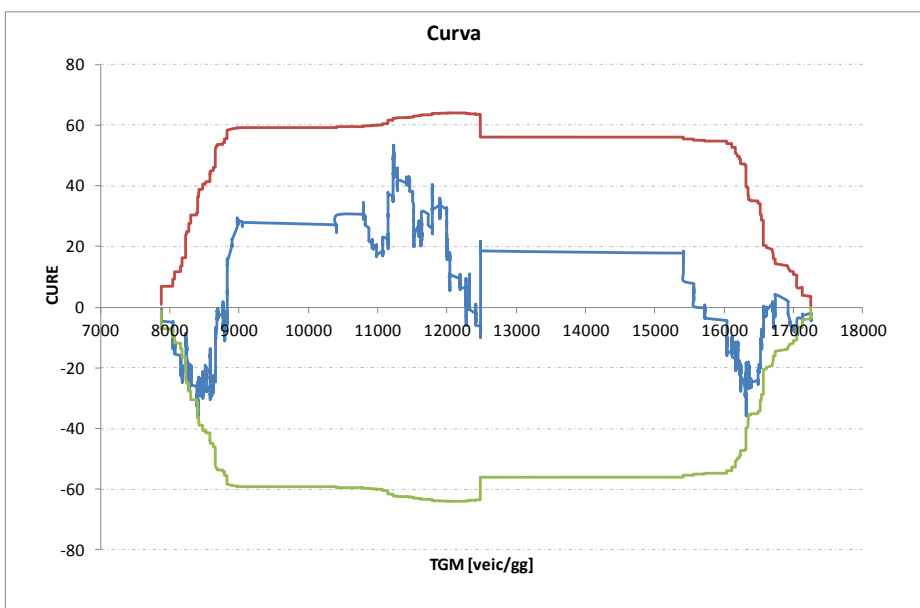


Figura 83 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di controllo (incidenti in curva).

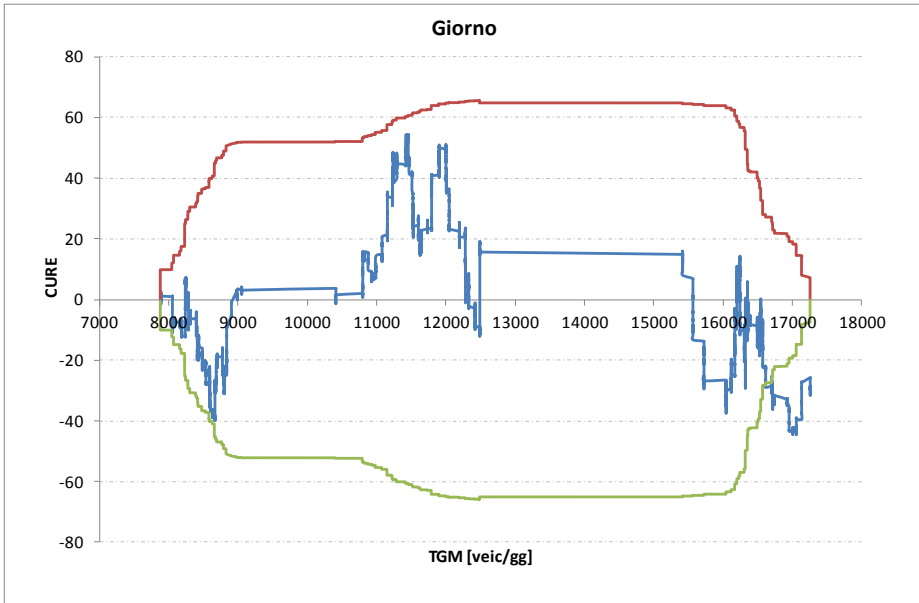


Figura 84 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di controllo (incidenti di giorno).

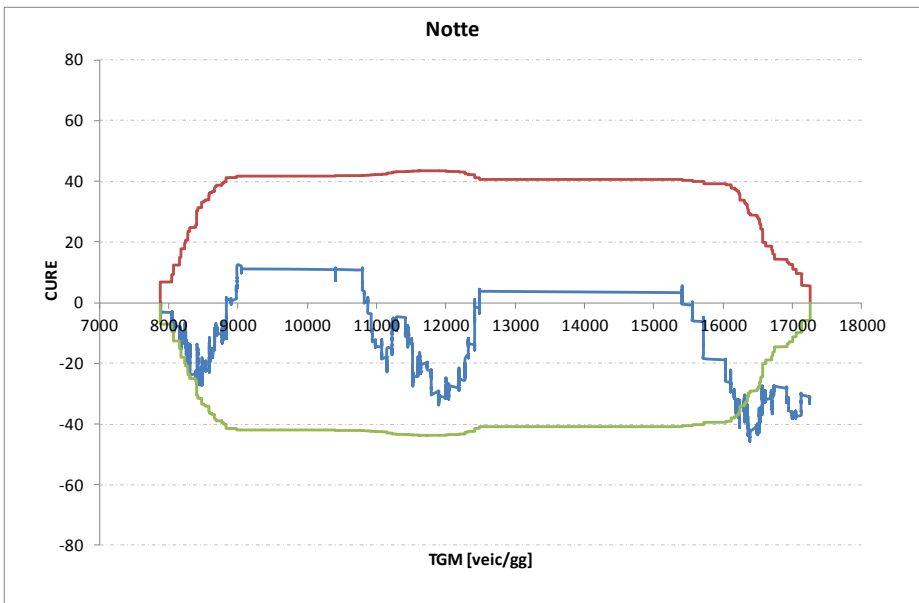


Figura 85 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di controllo (incidenti di notte).

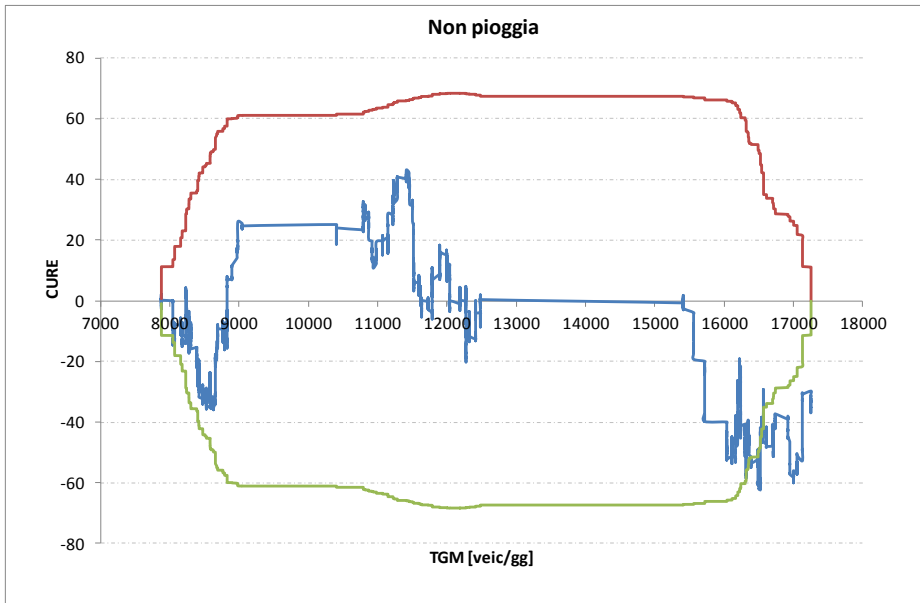


Figura 86 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di controllo (incidenti in assenza di pioggia).

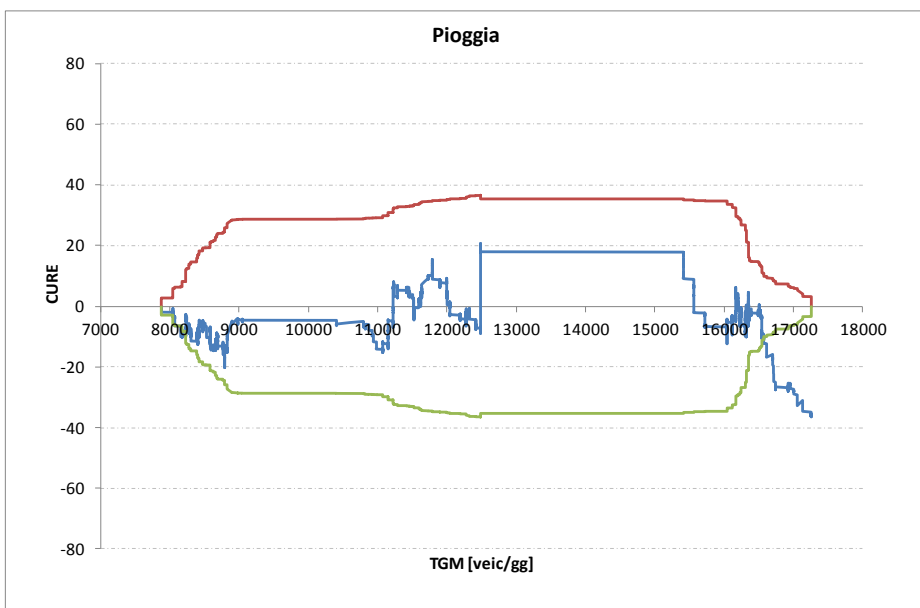


Figura 87 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di controllo (incidenti in presenza di pioggia).

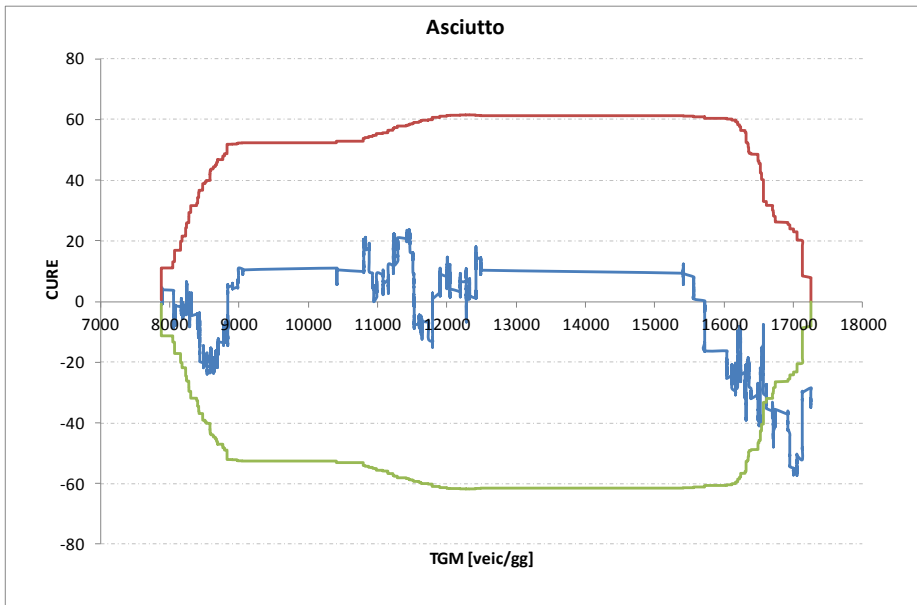


Figura 88 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di controllo (incidenti su strada asciutta).

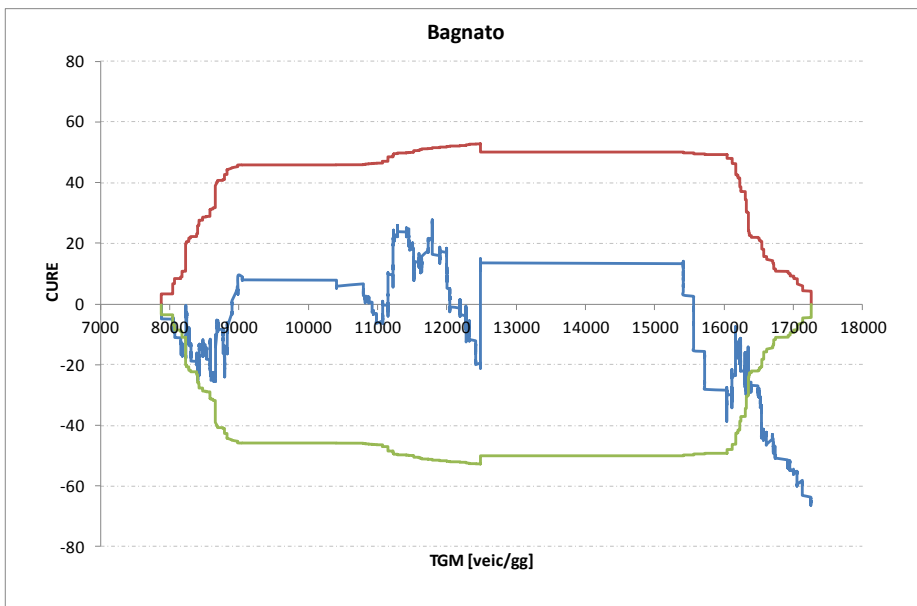


Figura 89 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di controllo (incidenti su strada bagnata).

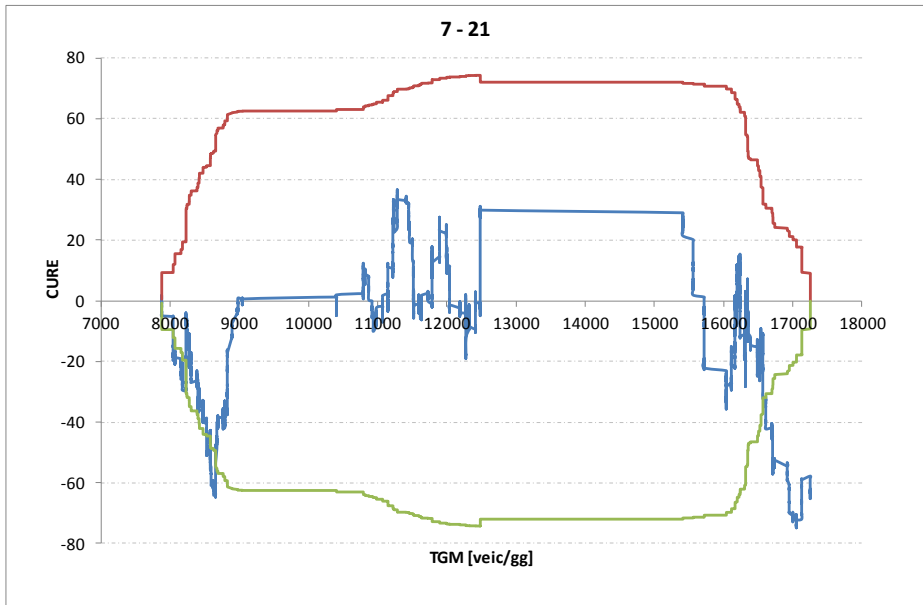


Figura 90 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di controllo (incidenti nella fascia oraria 7 - 21).

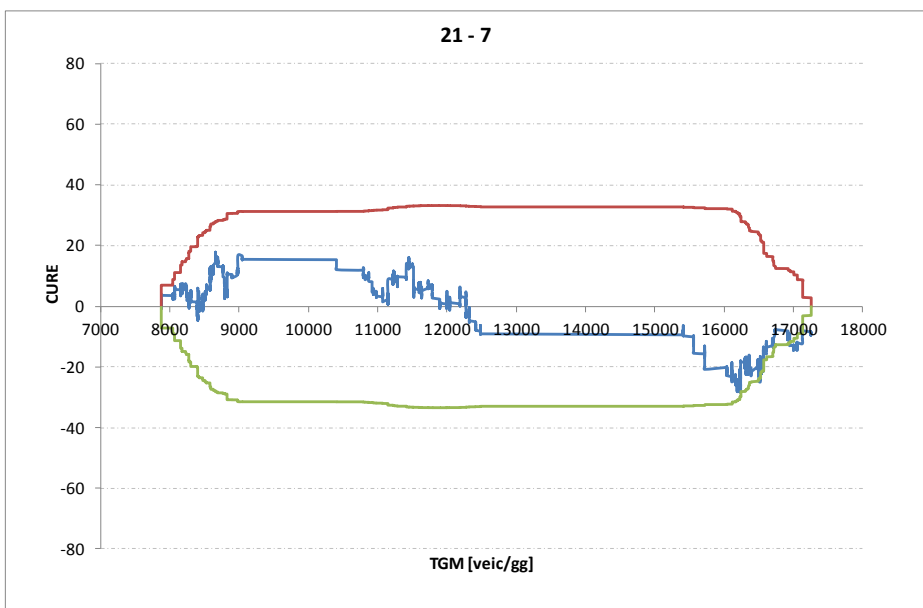


Figura 91 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di controllo (incidenti nella fascia oraria 21 - 7).

I grafici dei residui cumulati mostrano l'adeguatezza dei modelli per la rappresentazione della variabile esplicativa.

5.1.3 Calcolo dei fattori di calibrazione annuali

I fattori di calibrazione annuali, determinati per gli incidenti totali e per tutte le tipologie di incidenti analizzate sono stati calcolati come rapporto tra il conteggio degli incidenti e la frequenza attesa degli incidenti in ciascun anno:

$$Yr_i = \frac{Y_i}{E(\hat{Y})_i} \quad (45)$$

Per tener conto delle variazioni del trend dell'incidentalità non dovute all'intervento (variazione nelle condizioni atmosferiche, nella demografia, nelle pratiche di rilievo degli incidenti) nel periodo dopo l'implementazione della misura di miglioramento della sicurezza nei siti di intervento è stato determinato un moltiplicatore annuale calcolato per ciascuna tipologia di incidente come rapporto tra il fattore di calibrazione annuale Yr_i e la media dei fattori annuali Yr_i negli anni prima dell'intervento:

$$Yr_i^* = \frac{Yr_i}{Yr_{i_medio_2006_2008}} \quad (46)$$

In Tabella 36 sono riportati i fattori di calibrazione annuali per ciascuna tipologia di incidente analizzata.

Tabella 36 – Fattori annuali.

	2009	2010	2011
<i>Incidenti totali</i>	0.95	0.76	0.75
Gravità			
<i>Danni materiali</i>	0.97	0.76	0.74
<i>Mortali e incidenti con feriti</i>	1.08	0.92	0.96
Condizioni di illuminazione			
<i>Giorno</i>	0.96	0.81	0.92
<i>Notte</i>	1.03	0.77	0.55
Condizioni atmosferiche			
<i>Pioggia</i>	1.30	0.94	0.52
<i>Non pioggia</i>	0.93	0.76	0.83
Condizioni della pavimentazione			
<i>Asciutto</i>	0.88	0.69	0.89
<i>Bagnato</i>	1.24	1.04	0.50
Tipologia di incidenti			
<i>Tamponamenti</i>	0.82	0.69	0.46
<i>Veicolo isolato</i>	1.08	0.84	0.86
<i>Multi - veicolo</i>	0.63	0.62	0.59
Geometria orizzontale			
<i>Rettifilo</i>	1.00	0.79	0.74
<i>Curva</i>	0.98	0.79	0.82
Tipo di giorno			
<i>Feriali</i>	1.01	0.84	0.77
<i>Festivi</i>	0.92	0.67	0.81
Fasce orarie			
<i>7-21</i>	0.96	0.75	0.76
<i>21-7</i>	0.90	0.78	0.71

5.2 Le funzioni di prestazione della sicurezza nei siti di intervento

5.2.1 Calibrazione delle funzioni di prestazione della sicurezza nei siti di intervento

Le funzioni di prestazione della sicurezza nei siti di intervento sono state calibrate utilizzando la tecnica di regressione dei modelli lineari generalizzati (GLM) assumendo una struttura dell'errore di tipo binomiale negativo.

I parametri del modello e il parametro di dispersione della distribuzione binomiale negativa sono stati calcolati con il metodo della massima verosimiglianza con la procedura GENMOD in SAS (SAS, 2002).

Per la calibrazione dei modelli è stata utilizzata la procedura step forward aggiungendo una variabile ad ogni step. Ciascuna variabile è stata inserita nel modello se significativa al livello di significatività α pari a 5%, e se apporta un miglioramento delle misure di adattamento del modello (R_{α}^2 e AIC).

Sono stati calibrati modelli per gli incidenti totali e per gli incidenti disaggregati in funzione della tipologia (tamponamenti, incidenti a veicolo isolato, incidenti con più veicoli), della gravità (incidenti con soli danni materiali, incidenti con feriti e morti), delle condizioni di illuminazione (incidenti di giorno, incidenti di notte), delle condizioni atmosferiche (incidenti in presenza di pioggia, incidenti in assenza di pioggia), delle condizioni della pavimentazione (incidenti su strada bagnata, incidenti su strada non bagnata), delle condizioni planimetriche (incidenti in curva e rettilineo), del tipo di giorno (incidenti nei giorni feriali e festivi) e delle fasce orarie (incidenti nelle fasce orarie 7-21, 21-7) negli anni 2006 – 2008, ovvero prima dell'installazione del sistema Safety Tutor.

Le variabili esplicative introdotte nei modelli predittivi degli incidenti sono relative al traffico, alla geometria orizzontale e verticale, alla congruenza del tracciato, alla sezione trasversale e al contesto stradale (Tabella 37).

Tabella 37 - Variabili esplicative delle funzioni di prestazione della sicurezza nei siti di intervento.

Variabile	Descrizione
Volume di traffico	
$\ln(\text{TGM})$ [veic/gg]	Logaritmo naturale del traffico giornaliero medio annuo
$\ln(\text{TGM}_{7-21})$ [veic/gg]	Logaritmo naturale del traffico giornaliero medio annuo nella fascia oraria 7-21
$\ln(\text{TGM}_{21-7})$ [veic/gg]	Logaritmo naturale del traffico giornaliero medio annuo nella fascia oraria 21 -7
Geometria orizzontale	
$1/R^2$ [1/km ²]	Quadrato della curvatura orizzontale
Def [gon]	Angolo di deflessione
Geometria verticale	
G_d [%]	Pendenza equivalente in discesa
G_u [%]	Pendenza equivalente in salita
$1/R_{\text{sag}}$ [1/km]	Inverso del raggio del raccordo verticale concavo
$1/R_{\text{crest}}$ [1/km]	Inverso del raggio del raccordo verticale convesso
Congruenza del tracciato	
L_t [km]	Lunghezza del rettilineo che precede la curva
$1/R_{-1}$ [1/km]	Curvatura della curva che precede il rettilineo
$1/R_{+1}$ [1/km]	Curvatura della curva che segue il rettilineo
Sezione stradale	
RSW [m]	Larghezza della banchina in destra
SP	Variabile binaria, pari a 1 se la barriera spartitraffico è in calcestruzzo, 0 se in acciaio
Contesto stradale	
Galleria	Variabile binaria, pari a 1 se la sezione è in galleria altrimenti 0
Viadotto	Variabile binaria, pari a 1 se la sezione è in viadotto altrimenti 0
Trincea	Variabile binaria, pari a 1 se la sezione è in trincea altrimenti 0
Rivelato	Variabile binaria, pari a 1 se la sezione è in rilevato altrimenti 0

In Tabella 38 e Tabella 39 sono riportati la stima dei parametri e le misure di adattamento dei modelli ai dati reali. Le variabili non significative non sono riportate. Il coefficiente di correlazione R_{α}^2 assume valori compresi tra 31% e 84%. Tutti i parametri assumono segni logici ed attesi. Tra le variabili relative alla geometria orizzontale, risulta significativa il quadrato della curvatura $(1/R)^2$, che assume segno positivo, ovvero più piccolo è il raggio della curva e maggiore è la frequenza attesa degli incidenti. Relativamente alle variabili geometriche verticali risultano significative la pendenza equivalente in salita (G_u) e in discesa (G_d). La pendenza equivalente in salita (G_u) assume segno negativo mentre la pendenza equivalente in discesa (G_d) assume valori positivi. La congruenza del tracciato entra nelle funzioni di prestazione della sicurezza attraverso la lunghezza del rettilineo che precede la curva (L_t), che assume valore positivo ovvero all'aumentare della lunghezza del rettilineo precedente aumenta la frequenza attesa degli incidenti nella curva considerata.

Il valore positivo della lunghezza del rettilineo che precede la curva (L_t) dimostra che le curve vicine hanno pochi incidenti prevedibili rispetto alle curve più distanti le une dalle altre, come riportato in letteratura (Montella et al, 2008.; Brenac, 1996). La lunghezza del rettilineo che precede la curva indica che l'aspettativa conducente a breve termine ha un effetto significativo della sicurezza. Una curva che è una parte di una serie di curve risulta essere più sicura di una curva che è isolata da altre curve. Inoltre in presenza di galleria la frequenza attesa degli incidenti aumenta.

Tabella 38 – SPFs nei siti di intervento: stima dei parametri e misure di adattamento per incidenti totali e incidenti disaggregati per gravità, tipologia, giorno e geometria orizzontale.

	Incidenti totali	Tamponamenti	Veicolo isolato	Multi-veicolo	Danni materiali	Mortali e incidenti con feriti	Feriali	Festivi	Rettilineo	Curva
Variabile										
Dispersione	0.348 (0.062)	0.469 (0.107)	0.520 (0.123)	0.133 (0.117)	0.491 (0.118)	0.290 (0.072)	0.390 (0.079)	0.286 (0.111)	0.202 (0.089)	0.349 (0.079)
Costante	-16.071 (1.446)	-26.677 (2.022)	-10.024 (1.682)	-15.879 (1.830)	-15.717 (1.647)	-18.715 (1.617)	-18.274 (1.632)	-14.072 (1.772)	-14.405 (1.976)	-16.137 (1.846)
Volume di traffico										
ln(TGM)	0.990 (0.134)	1.867 (0.186)	0.357 (0.153)	0.857 (0.166)	0.894 (0.149)	1.184 (0.149)	1.158 (0.151)	0.720 (0.162)	0.830 (0.182)	1.038 (0.169)
Geometria orizzontale										
$1/R^2$	0.050 (0.008)	0.044 (0.010)	0.054 (0.009)	0.052 (0.009)	0.045 (0.009)	0.052 (0.008)	0.048 (0.008)	0.050 (0.009)		0.024 (0.009)
Geometria verticale										
G_d	6.928 (2.938)	11.837 (3.714)		7.072 (3.235)		7.369 (3.145)			10.773 (3.581)	
G_u								-7.400 (3.316)		
Congruenza del tracciato										
L_t	0.465 (0.174)		0.668 (0.212)			0.480 (0.193)	0.570 (0.192)			
Contesto stradale										
Galleria	0.398 (0.120)	0.389 (0.148)				0.410 (0.128)	0.386 (0.132)	0.361 (0.153)		0.548 (0.159)
R_a^2	0.66	0.75	0.52	0.76	0.58	0.71	0.65	0.71	0.84	0.54
AIC	1801	1191	1135	856	1162	1467	1568	1001	763	1017

Tabella 39 – SPFs nei siti di intervento: stima dei parametri e misure di adattamento per incidenti disaggregati per condizioni di illuminazione, atmosferiche, della pavimentazione e per fasce orarie.

	Giorno	Notte	Non pioggia	Pioggia	Asciutto	Bagnato	7-21	21-7
Variabile								
Dispersione	0.340 (0.076)	0.519 (0.124)	0.319 (0.062)	2.150 (0.498)	0.285 (0.059)	2.460 (0.452)	0.379 (0.075)	0.635 (0.147)
Costante	-19.779 (1.662)	-12.921 (1.673)	-18.144 (1.362)	-12.890 (2.400)	-17.020 (1.444)	-11.361 (2.373)	-19.106 (1.608)	-10.052 (1.431)
Volume di traffico								
ln(TGM)	1.285 (0.153)	0.630 (0.152)	1.185 (0.124)	0.472 (0.219)	1.065 (0.133)	0.359 (0.216)	1.253 (0.150)	0.421 (0.162)
Geometria orizzontale								
1/R ²	0.048 (0.008)	0.051 (0.009)	0.041 (0.007)	0.081 (0.013)	0.045 (0.007)	0.091 (0.013)	0.045 (0.008)	0.060 (0.009)
Geometria verticale								
G _d	7.251 (3.246)				8.124 (2.877)		6.638 (3.204)	
G _u								
Congruenza del tracciato								
Lt	0.512 (0.195)		0.470 (0.175)		0.441 (0.172)		0.468 (0.194)	
Contesto stradale								
Galleria	0.455 (0.130)		0.326 (0.117)		0.439 (0.117)		0.409 (0.130)	
R ² _a	0.68	0.59	0.67	0.36	0.71	0.31	0.65	0.53
AIC	1506	1103	1742	444	1705	548	1591	956

Per valutare la forma dei modelli è stata effettuata l'analisi dei residui cumulati (da Figura 92 a Figura 107).



Figura 92 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di intervento (incidenti totali).

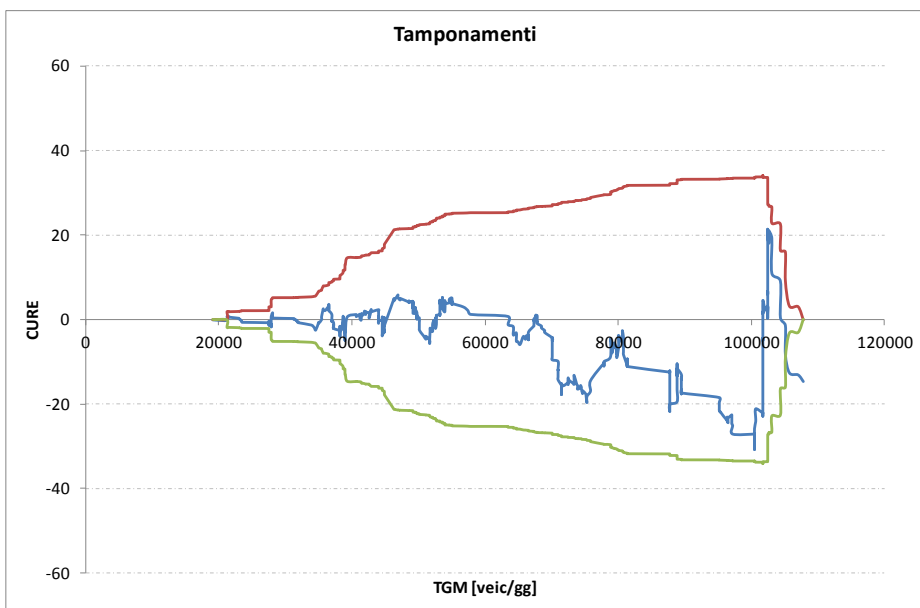


Figura 93 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di intervento (tamponamenti).

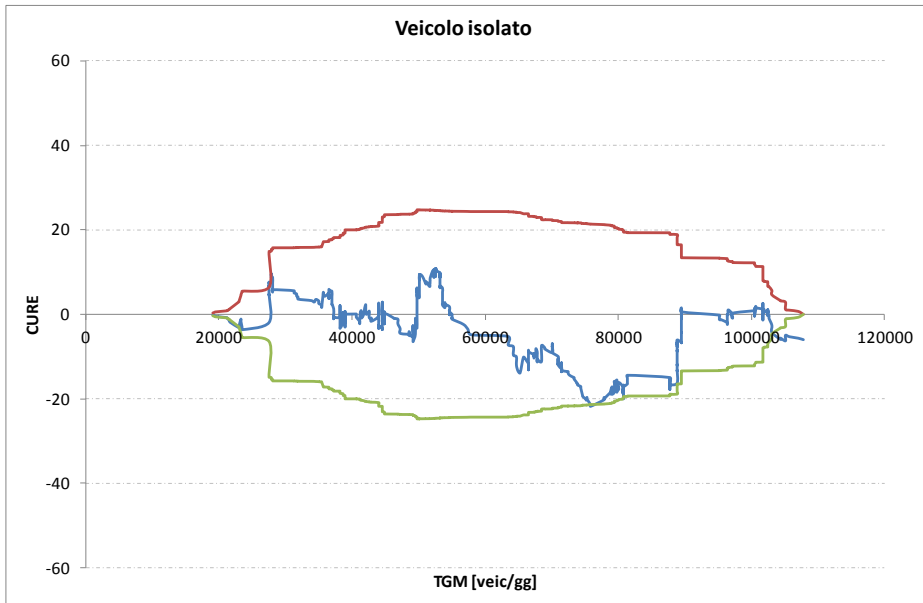


Figura 94 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di intervento (incidenti a veicolo isolato).

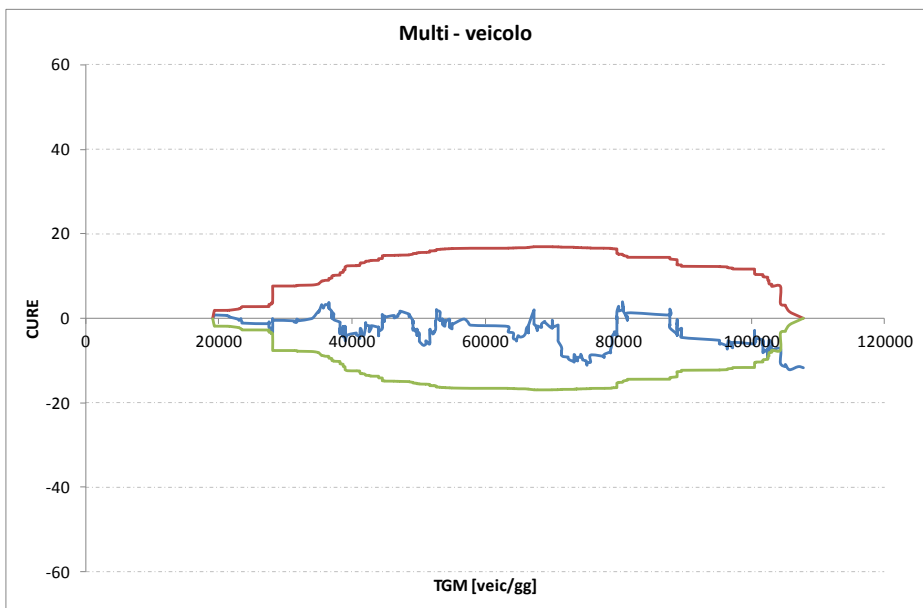


Figura 95 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di intervento (multi - veicolo).

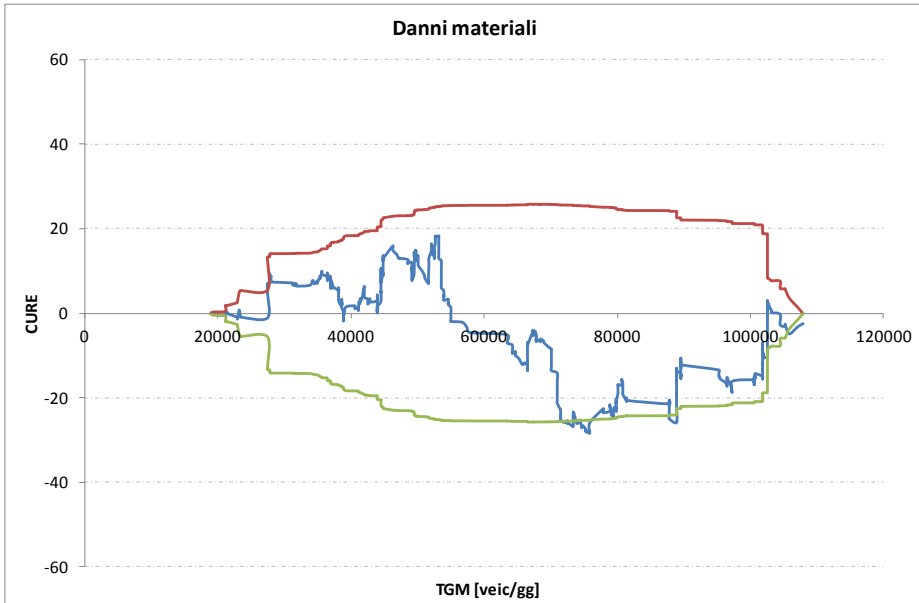


Figura 96 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di intervento (incidenti con soli danni materiali).

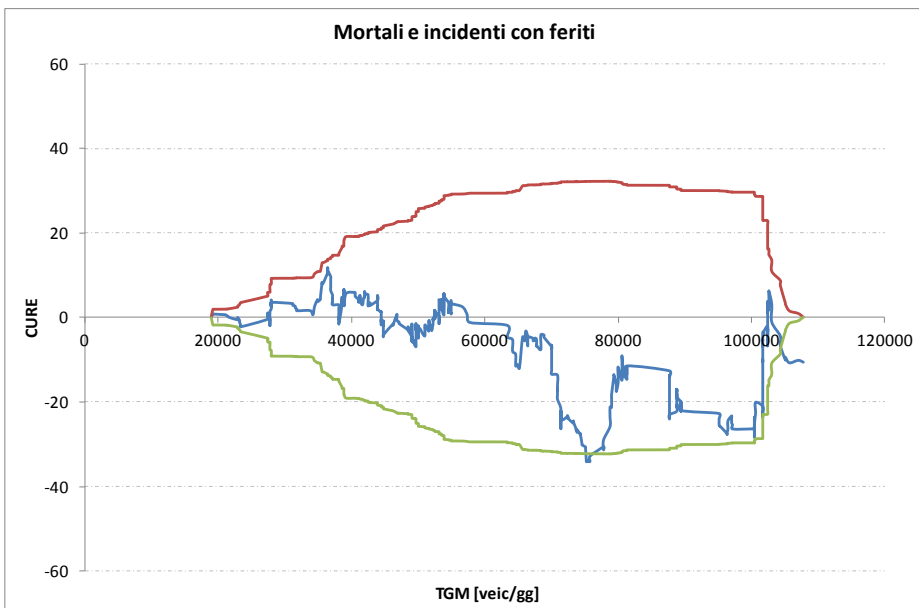


Figura 97 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di intervento (incidenti mortali e con feriti).

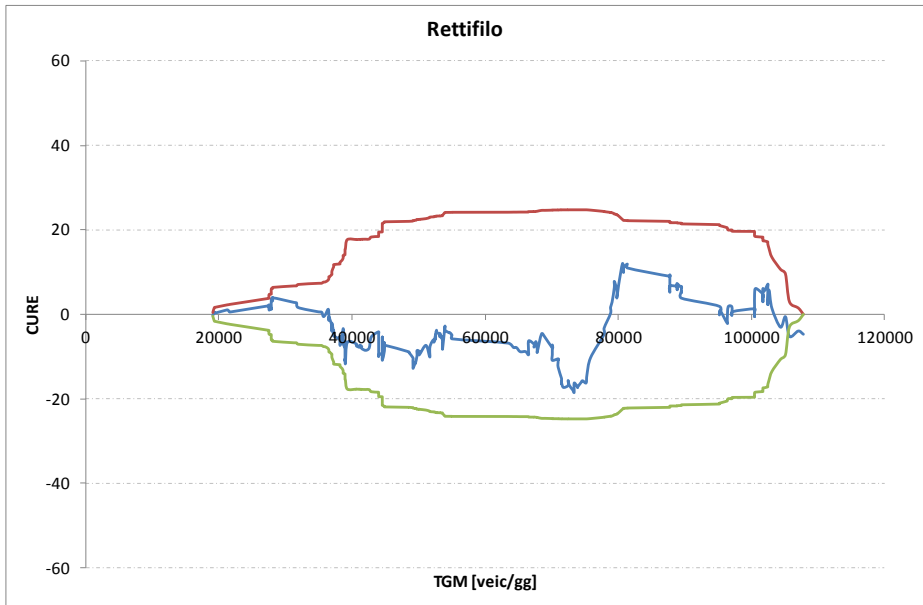


Figura 98 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di intervento (incidenti in rettifilo).

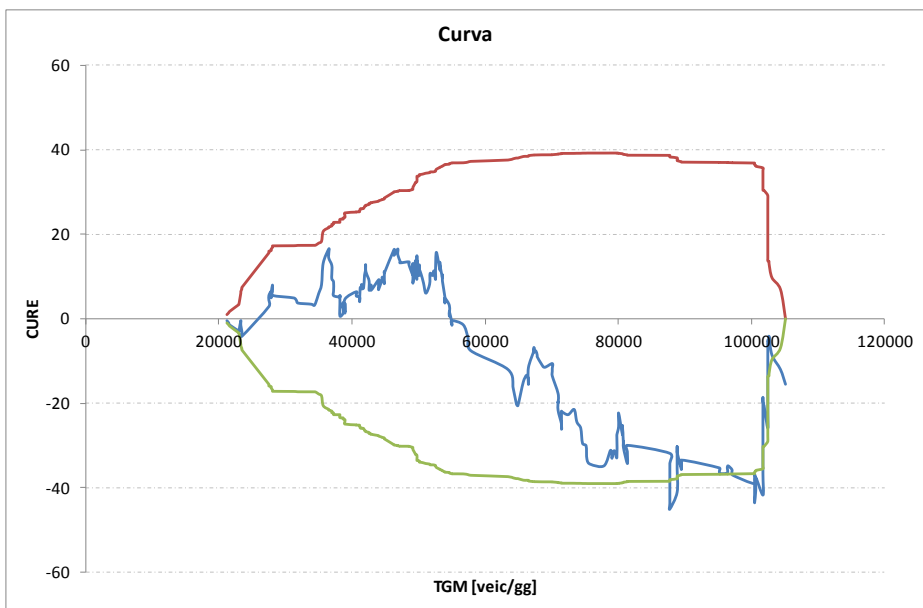


Figura 99 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di intervento (incidenti in curva).

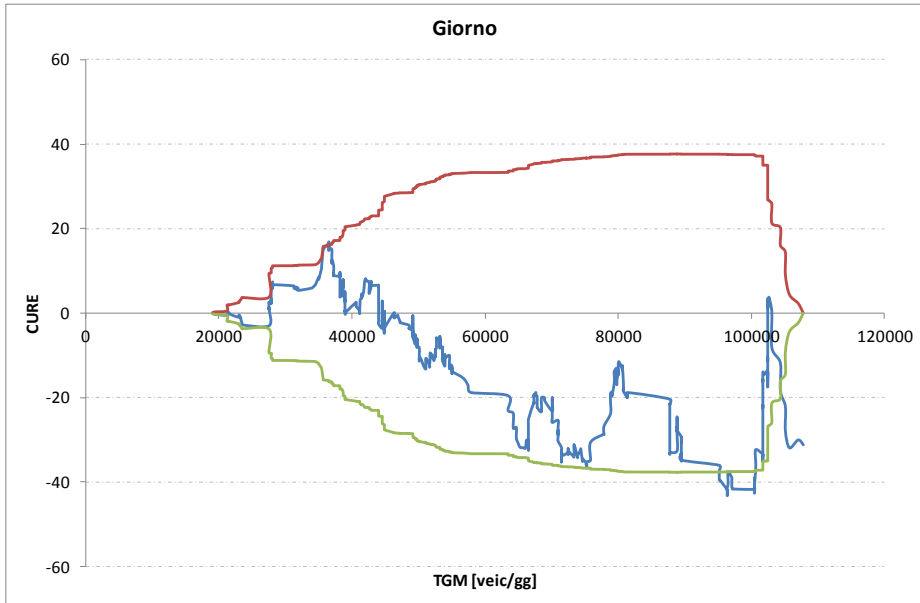


Figura 100 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di intervento (incidenti di giorno).

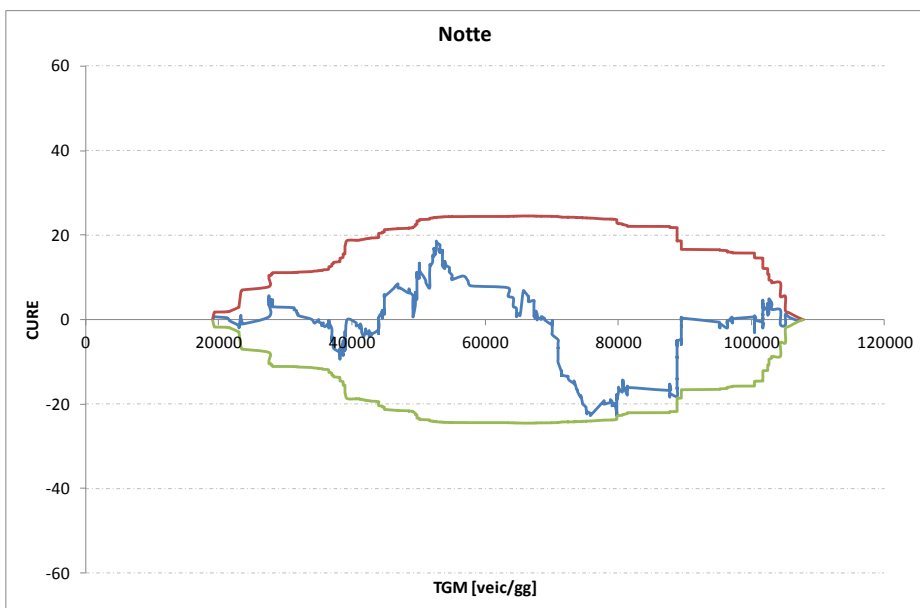


Figura 101 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di intervento (incidenti di notte).

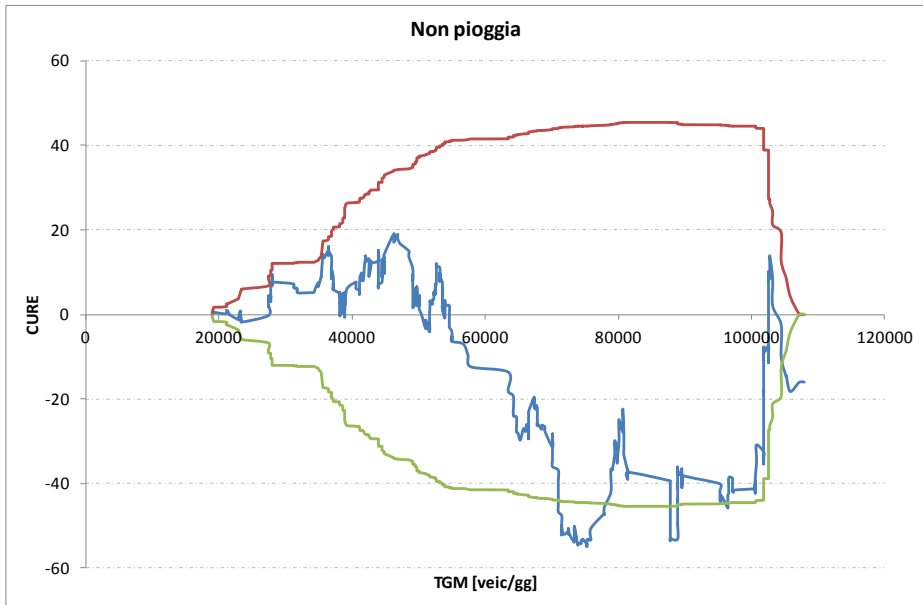


Figura 102 – Residui cumulati delle SPF_s nei siti di intervento (incidenti in assenza di pioggia).

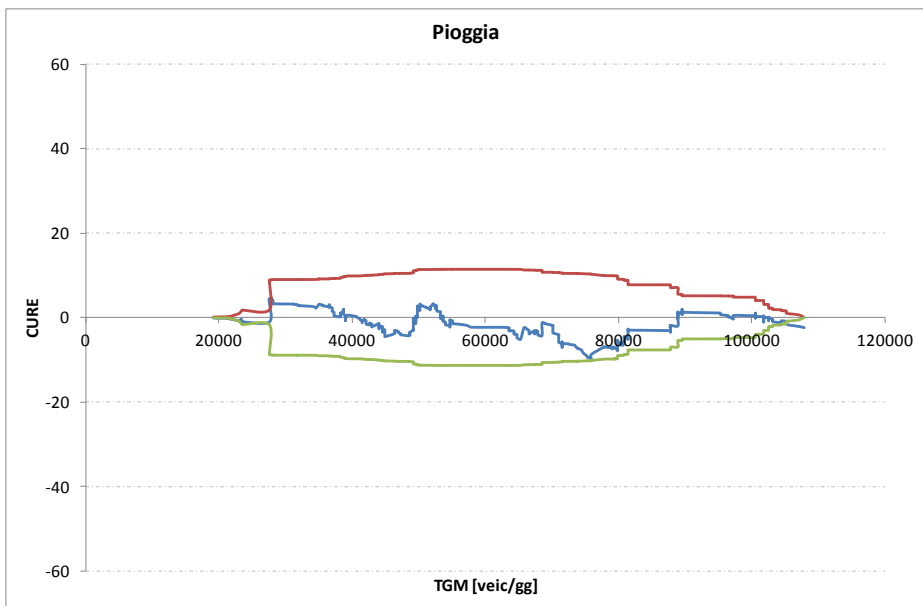


Figura 103 – Residui cumulati delle SPF_s nei siti di intervento (incidenti in presenza di pioggia).

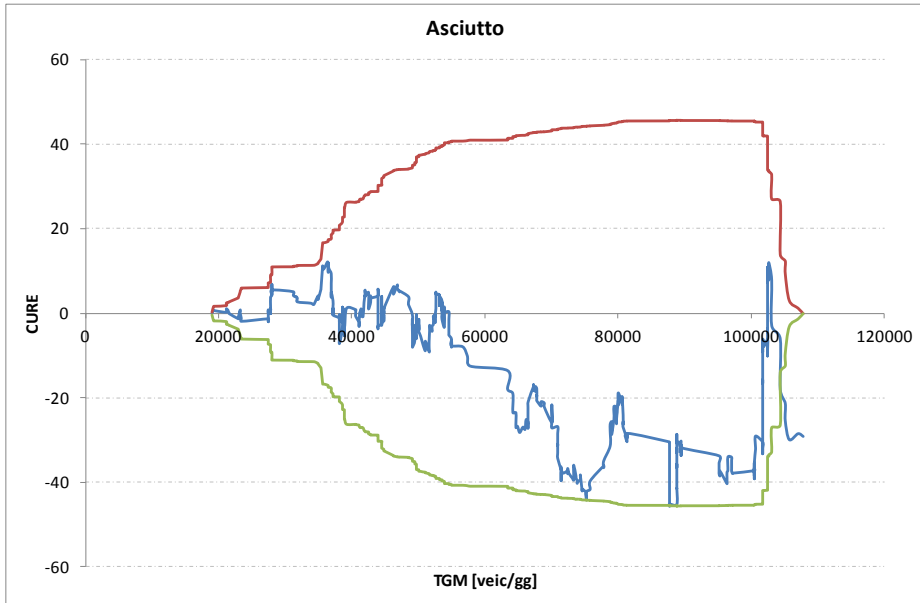


Figura 104 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di intervento (incidenti su strada asciutta).

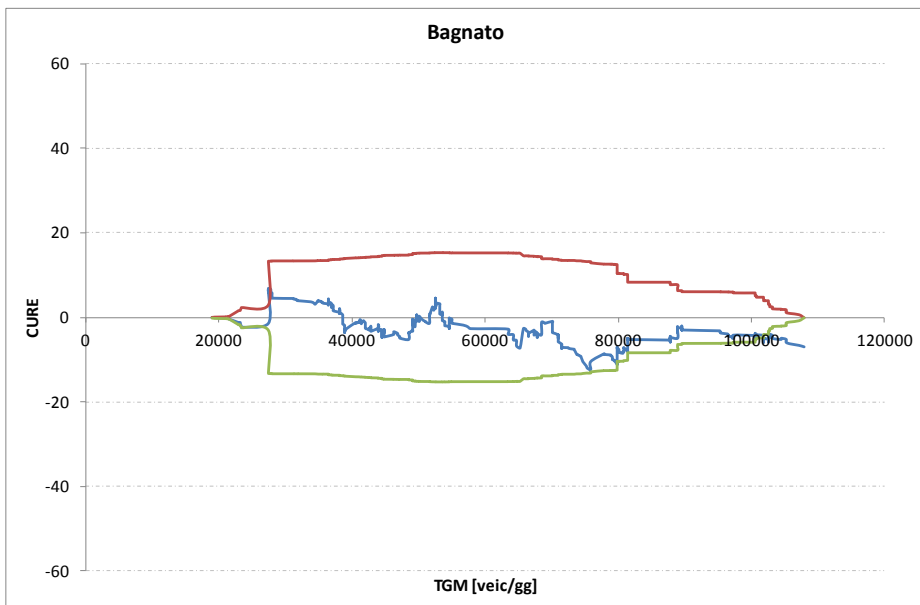


Figura 105 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di intervento (incidenti su strada bagnata).

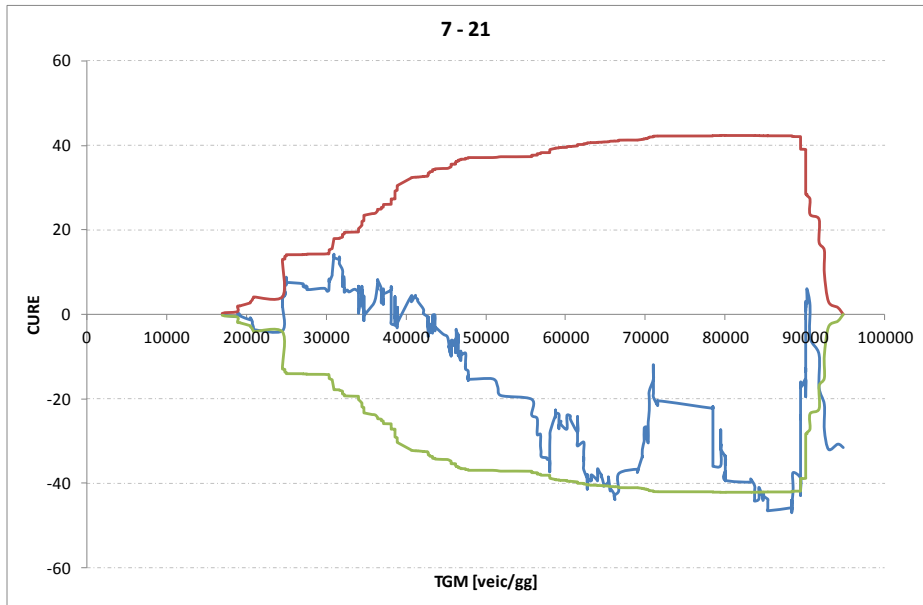


Figura 106 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di intervento (incidenti nella fascia oraria 7 - 21).

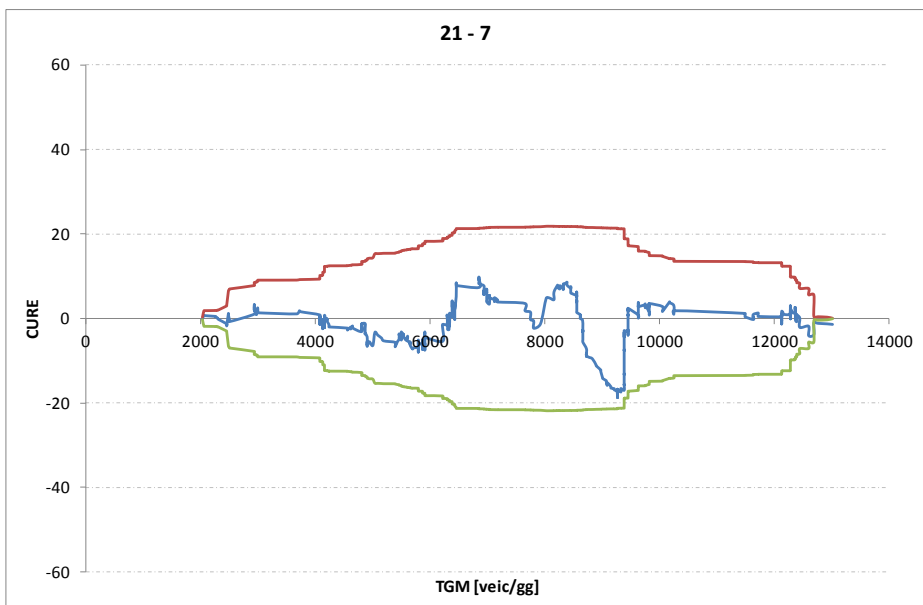


Figura 107 – Residui cumulati delle SPFs nei siti di intervento (incidenti nella fascia oraria 21 - 7).

I grafici dei residui cumulati mostrano l'adeguatezza dei modelli per la rappresentazione della variabile esplicativa.

6. Efficacia del sistema Safety Tutor

6.1 *La percezione da parte degli utenti*

Al fine di analizzare la percezione del sistema Safety Tutor da parte degli utenti sono state effettuate, con l'ausilio di alcuni tesisti, interviste dirette ai guidatori, presso le aree di servizio situate sulla Tangenziale di Napoli (Area di servizio di Agnano e di Capodimonte) e sull'autostrada Napoli – Salerno (Area di servizio di Pompei e di Nocera).

Le interviste, condotte mediante l'utilizzo di un questionario in cui per ciascuna domanda sono riportate le possibili risposte, sono state effettuate su un campione di 1100 guidatori su ciascuna autostrada nel periodo tra novembre 2011 e marzo 2012 (Tabella 40).

Tabella 40 - Numero e localizzazione delle indagini.

Area di servizio	Carreggiata	Numero di rilievi
Tangenziale di Napoli		
Agnano (A56)	Est	181
Agnano (A56)	Ovest	134
	Totale	315
Capodimonte (A56)	Est	344
Capodimonte (A56)	Ovest	441
	Totale	785
Napoli - Salerno		
Pompei (A3)	Sud	377
Pompei (A3)	Nord	413
	Totale	790
Nocera (A3)	Sud	344
Nocera (A3)	Nord	441
	Totale	310

Il questionario somministrato ai guidatori si articola in 5 sezioni riguardanti (Figura 108, Figura 109):

- le caratteristiche del guidatore (genere, età, grado di istruzione conseguito, tipo di occupazione, anni di guida, rampa di entrata in autostrada, rampa di uscita, motivo dello spostamento, km percorsi in un anno, frequenza di guida sulla Tangenziale di Napoli/Napoli - Salerno negli ultimi tre mesi del guidatore, numero di multe avute sulla Tangenziale di Napoli/Napoli - Salerno negli ultimi due anni);
- le caratteristiche del veicolo utilizzato (tipo di veicolo, cilindrata, tipo di alimentazione, presenza di navigatore installato sul veicolo, presenza di cruise control installato sul veicolo);

- la velocità percepita dal guidatore (velocità abituale percepita in assenza di traffico);
- la percezione del controllo delle velocità (limite di velocità per autovetture, limite di velocità per veicoli pesanti, tipo di sistema di controllo delle velocità installato in Tangenziale di Napoli/Napoli - Salerno, misura del sistema Safety Tutor in base alla quale vengono effettuate le contravvenzioni);
- la percezione del rischio di multa (rischio di essere multati se si eccede il limite di velocità di meno di 10 km/h, rischio di essere multati se si eccede il limite di velocità di 10 - 20 km/h, rischio di essere multati se si eccede il limite di velocità di oltre 20 km/h, probabilità di essere multati se si eccede il limite di velocità in Tangenziale rispetto all'autostrada A3 Napoli – Salerno/ in A3 rispetto alla Tangenziale, probabilità di essere multati se si eccede il limite di velocità in Tangenziale/ Napoli – Salerno rispetto ad una strada statale).

Indagine sulla Tangenziale di Napoli

La informiamo che ai sensi dell'art. 10 della legge 675/96, recante disposizione a tutela delle persone e di altri soggetti rispetto al trattamento dei dati personali, che i dati da voi forniti, ovvero altrimenti acquisiti nell'ambito della nostra attività, saranno oggetto di trattamento nel rispetto della richiamata normativa.

Genere: F M

Età: _____ Residente in: _____

Grado d'istruzione conseguito: Istruzione primaria Diploma Laurea Post-Laurea

Occupazione:

Dirigente/Libero professionista/Imprenditore 1
 Insegnante 2
 Impiegato/Quadro 3
 Operaio/Bracciante 4
 Rappresentante/Commerciante/Negoziante 5
 Artigiano/Lavoratore autonomo 6
 Casalinga 7
 Studente/ssa 8
 In cerca di prima occupazione/Disoccupato/a 9
 Pensionato/a 10

Da quanti anni guida? _____

Dove si è immesso: _____

Dove esce: _____

Perché si sta' spostando? Torno dal lavoro Vado al lavoro Shopping /svago Altro

Come guidatore, quanti chilometri percorre in un anno? _____

Quante volte ha percorso la Tangenziale negli ultimi 3 mesi?

Almeno 5 volte la settimana 3-4 volte la settimana 1-2 volte la settimana meno di 1 volta la settimana

Che tipo di veicolo sta guidando in questo momento per percorrere la Tangenziale ?

Berlina 1
 Cabrio/spider 2
 Coupé 3
 Fuoristrada/SUV 4
 Crossover 5
 Monovolume 6
 Station wagon 7
 City car 8
 Microcar (senza patente) 9
 Furgone/veicolo pesante 10
 2 ruote 11
 Altro, specificare: _____ 12

Che cilindrata ha il veicolo che sta utilizzando in Tangenziale ?

Fino 1.000 CC 1
 Da 1.001 a 1.200 CC 2
 Da 1.201 a 1.600 CC 3
 Da 1.601 a 2.000 CC 4
 Da 2.001 a 2.500 CC 5
 Oltre 2.500 CC 6

Si tratta di un'auto alimentata a:

Benzina 1
 Diesel 2
 GPL 3
 Metano 4
 Ibrida 5

Il suo veicolo è dotato dei seguenti dispositivi? (in caso contrario, lasciare in bianco)

Navigatore Cruise control

In assenza di traffico, qual è la sua velocità abituale in Tangenziale? _____

Secondo lei, qual è il limite di velocità per le autovetture sulla Tangenziale? _____ (non corretto/corretto)

Secondo lei, qual è il limite di velocità per i veicoli pesanti sulla Tangenziale? _____ (non corretto/corretto)

Che sistema di controllo delle velocità è presente in Tangenziale?

Non lo so Nessuno Autovelo Safety Tutor Entrambi

In base a quale misura del sistema Safety Tutor vengono effettuate le contravvenzioni?

Non lo so La velocità in corrispondenza delle telecamere La velocità media sulla tratta Entrambe

Se eccede il limite di velocità sulla Tangenziale di meno di 10 km/h, qual è il rischio di essere multato?

Basso Medio Elevato Elevatissimo

Se eccede il limite di velocità sulla Tangenziale tra i 10 e i 20 km/h, qual è il rischio di essere multato?

Basso Medio Elevato Elevatissimo

Se eccede il limite di velocità sulla Tangenziale di oltre 20 km/h, qual è il rischio di essere multato?

Basso Medio Elevato Elevatissimo

Quante multe ha preso per eccesso di velocità in Tangenziale negli ultimi 2 anni?

Nessuna 1 2 Più di 2

Secondo lei, se eccede il limite di velocità, è più probabile essere multato in Tangenziale o sulla A3 Napoli -Salerno?

Tangenziale A3 Napoli-Salerno Indifferente

Secondo lei, se eccede il limite di velocità, è più probabile essere multato in Tangenziale o su una strada statale?

Tangenziale Strada statale Indifferente

Figura 108 – Questionario somministrato ai guidatori in A56 - Tangenziale di Napoli.

Indagine sulla Autostrada A3 Napoli - Salerno

La informiamo che ai sensi dell'art. 10 della legge 675/96, recante disposizione a tutela delle persone e di altre soggetti rispetto al trattamento dei dati personali, che i dati da voi forniti, ovvero altrimenti acquisiti nell'ambito nella nostra attività, saranno oggetto di trattamento nel rispetto della richiamata normativa.

Genere: F M

Età: _____ Residente in: _____

Grado d'istruzione conseguito: Istruzione primaria Diploma Laurea Post-Laurea

Occupazione:

Dirigente/Libero professionista/Imprenditore1
 Insegnante2
 Impiegato/Quadro3
 Operaio/Bracciante4
 Rappresentante/Commerciante/Negoziante5
 Artigiano/Lavoratore autonomo6
 Casalinga7
 Studente/ssa8
 In cerca di prima occupazione/Disoccupato/a9
 Pensionato/a10

Da quanti anni guida? _____

Dove si è immesso: _____

Dove esce: _____

Perché si sta' spostando? Torno dal lavoro Vado al lavoro Shopping /svago Altro

Come guidatore, quanti chilometri percorre in un anno? _____

Quante volte ha percorso la A3 negli ultimi 3 mesi?

Almeno 5 volte la settimana 3-4 volte la settimana 1-2 volte la settimana meno di 1 volta la settimana

Che tipo di veicolo sta guidando in questo momento per percorrere l'autostrada A3?

Berlina 1
 Cabrio/spider 2
 Coupé 3
 Fuoristrada/SUV 4
 Crossover 5
 Monovolume 6
 Station wagon 7
 City car 8
 Microcar (senza patente) 9
 Furgone/veicolo pesante10
 2 ruote11
 Altro, specificare: _____ 12

Che cilindrata ha il veicolo che sta utilizzando in A3?

Fino 1.000 CC 1
 Da 1.001 a 1.200 CC 2
 Da 1.201 a 1.600 CC 3
 Da 1.601 a 2.000 CC 4
 Da 2.001 a 2.500 CC 5
 Oltre 2.500 CC 6

Si tratta di un'auto alimentata a:

Benzina 1
 Diesel 2
 GPL 3
 Metano 4
 Ibrida 5

Il suo veicolo è dotato dei seguenti dispositivi? (in caso contrario, lasciare in bianco)

Navigatore Cruise control

In assenza di traffico e lavori, qual è la sua velocità abituale sulla A3 (tratto Pompei-Salerno)? _____

Secondo lei, qual è il limite di velocità per le autovetture sulla A3 (tratto Pompei-Salerno)? _____ (non corretto/corretto)

Secondo lei, qual è il limite di velocità per i veicoli pesanti sulla A3 (tratto Pompei-Salerno)? _____ (non corretto/corretto)

Che sistema di controllo delle velocità è presente sulla A3 (tratto Pompei-Salerno)?

Non lo so Nessuno AutoveloX Safety Tutor Entrambi

In base a quale misura del sistema Safety Tutor vengono effettuate le contravvenzioni?

Non lo so La velocità in corrispondenza delle telecamere La velocità media sulla tratta Entrambe

Se eccede il limite di velocità sulla A3 (tratto Pompei-Salerno) di meno di 10 km/h, qual è il rischio di essere multato?

Basso Medio Elevato Elevatissimo

Se eccede il limite di velocità sulla A3 (tratto Pompei-Salerno) tra i 10 e i 20 km/h, qual è il rischio di essere multato?

Basso Medio Elevato Elevatissimo

Se eccede il limite di velocità sulla A3 (tratto Pompei-Salerno) di oltre 20 km/h, qual è il rischio di essere multato?

Basso Medio Elevato Elevatissimo

Quante multe ha preso per eccesso di velocità sulla A3 (tratto Pompei-Salerno) negli ultimi 2 anni?

Nessuna 1 2 Più di 2

Secondo lei, se eccede il limite di velocità, è più probabile essere multato in Tangenziale o sulla A3 Pompei -Salerno?

Tangenziale A3 Napoli-Salerno Indifferente

Secondo lei, se eccede il limite di velocità, è più probabile essere multato sulla A3 Pompei -Salerno o su una strada statale?

Tangenziale Strada statale Indifferente

Figura 109 – Questionario somministrato ai guidatori in A3 - Napoli - Salerno.

I risultati delle indagini relative alle caratteristiche del guidatore sono riportati in Tabella 41.

Tabella 41 – Risultati delle indagini – sezione: caratteristiche del guidatore.

		Tangenziale di Napoli (A56)		Napoli – Salerno (A3)		
Genere	Maschio	925	84%	935	85%	
	Femmina	175	16 %	165	15%	
Età	≤ 25	178	16%	104	9%	
	> 25 - ≤ 45	495	45%	533	48%	
	>45 - ≤ 65	356	32%	411	37%	
	>65	71	6%	52	5%	
Grado di istruzione conseguito	Istruzione primaria	201	18%	182	17%	
	Diploma	646	59%	633	58%	
	Laurea	241	22%	269	24%	
	Post - laurea	12	1%	16	1%	
Occupazione	Artigiano/lavoratore autonomo	53	5%	76	7%	
	Casalinga	28	3%	22	2%	
	Dirigente/libero professionista/imprenditore	185	17%	171	16%	
	Impiegato/quadro	213	19%	220	20%	
	In cerca prima occupazione/disoccupato/a	93	8%	85	8%	
	Insegnante	33	3%	33	3%	
	Operaio/bracciante	143	13%	124	11%	
	Pensionato/a	100	9%	104	9%	
Esperienza di guida	Rappresentante/commerciante/negoziante	90	8%	124	11%	
	Studente/ssa	162	15%	141	13%	
	≤15 anni	366	33%	393	36%	
	15< anni ≤30	401	36%	430	39%	
	<30 anni ≤45	253	23%	223	20%	
	>45 anni	79	7%	54	5%	
	Motivo dello spostamento	Vado a lavoro	457	42%	385	35%
		Torno da lavoro	113	10%	185	17%
Shopping/svago		89	8%	120	11%	
Altro		441	40%	410	37%	
Km percorsi all'anno	≤5.000 km	78	7%	77	7%	
	>5.000 km; ≤15.000 km	345	31%	369	34%	
	>15.000 km; ≤30.000 km	403	37%	458	42%	
	>30.000 km; ≤45.000 km	122	11%	150	14%	
	>45.000 km	151	14%	47	4%	
Frequenza di guida in A56/A3	Meno di 1 volta a settimana	123	11%	373	34%	
	1-2 volte a settimana	215	20%	262	24%	
	3-4 volte a settimana	292	27%	260	24%	
	Almeno 5 volte a settimana	471	43%	206	19%	
N. multe per eccesso di velocità in A56/A3	Nessuna	975	89%	986	90%	
	1	99	9%	100	8%	
	2	17	2%	6	1%	
	Più di 2	9	1%	8	1%	

Come si evince dai dati il 52% dei guidatori intervistati si sposta sulla Tangenziale di Napoli per motivi di lavoro. Il 43% dei guidatori intervistati, invece, percorre la Tangenziale di Napoli almeno 5 volte a settimana. Tale dato è coerente con

l'elevato volume di traffico registrato sulla Tangenziale, circa 270.000 transiti al giorno, e con la funzione dell'autostrada urbana di connessione del centro cittadino con le aree più periferiche. Sulla Napoli – Salerno, invece, la maggior parte dei guidatori intervistati percorre l'autostrada meno di una volta a settimana. I risultati delle indagini relative alle caratteristiche del veicolo utilizzato sono riportati in Tabella 42.

Tabella 42 – Risultati delle indagini – sezione: caratteristiche del veicolo.

		Tangenziale di Napoli (A56)		Napoli – Salerno (A3)	
Tipo di veicolo	2 ruote	68	6%	11	1%
	City car	332	30%	281	26%
	Berlina	380	35%	455	41%
	Monovolume	92	8%	87	8%
	Fuoristrada/suv	45	4%	44	4%
	Furgone/mezzo pesante	79	7%	71	6%
	Station wagon	89	8%	138	13%
	Coupè	8	1%	8	1%
	Crossover	5	0%	4	0%
	Cabrio-spider	2	0%	0	0%
Cilindrata dei veicoli	<1.000	104	9%	39	4%
	1.000-1.200	205	19%	212	19%
	1.201-1.600	416	38%	477	43%
	1.601-2.000	272	25%	264	24%
	2.001-2.500	67	6%	69	6%
>2.500	36	3%	39	4%	
Tipo di alimentazione	Benzina	432	39%	336	31%
	Diesel	554	50%	649	59%
	Gpl	70	6%	74	7%
	Ibrida	17	2%	20	2%
	Metano	26	2%	22	2%
Navigatore	Si	388	35%	351	32%
	No	712	65%	749	68%
Cruise control	Si	154	14%	163	15%
	No	946	86%	937	85%

Relativamente alla velocità percepita in assenza di traffico in Tangenziale il 73% dei guidatori percepisce una velocità compresa tra 60 e 80 km/h (Figura 110) mentre sulla Napoli – Salerno la maggior parte dei guidatori percepisce una velocità di percorrenza in assenza di traffico compresa tra 90 e 100 km/h (Figura 111).

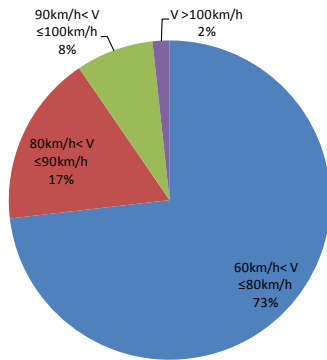


Figura 110 – Velocità percepita in A56.

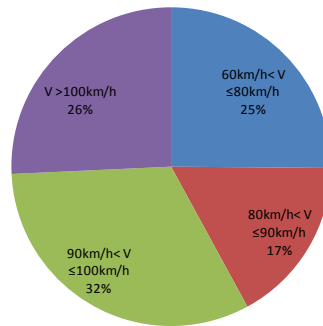


Figura 111 – Velocità percepita in A3.

Relativamente alla sottosezione percezione del controllo delle velocità i risultati delle indagini mostrano che in Tangenziale l'80% dei guidatori conosce il limite di velocità per le autovetture mentre solo il 34 % dei guidatori conosce il limite di velocità per i veicoli pesanti. Sull'autostrada Napoli – Salerno, invece, solo il 29 % dei guidatori conosce il limite di velocità per le autovetture mentre solo il 21 % conosce il limite di velocità per i veicoli pesanti. Non tutti i guidatori intervistati sono a conoscenza della presenza del sistema Safety Tutor. In Tangenziale il 74 % è a conoscenza del sistema di controllo delle velocità installato e in A3 il 65% dei guidatori (Figura 112, Figura 113).

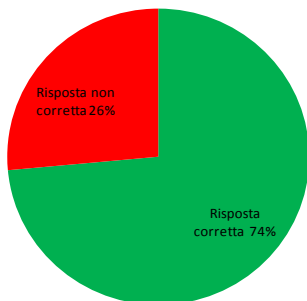


Figura 112 – Conoscenza del sistema di controllo delle velocità presente in A56.

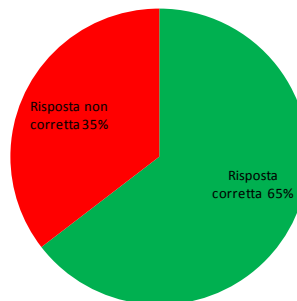


Figura 113 – Conoscenza del sistema di controllo delle velocità presente in A3.

SAFETY TUTOR
 AUTOVELOX
 ENTRAMBI
 NESSUNO
 NON LO SO

Inoltre il 78% dei guidatori intervistati in Tangenziale e il 75 % dei guidatori intervistati in A3 sono a conoscenza della misura del sistema Safety Tutor in base alla quale vengono effettuate le contravvenzioni (Figura 114, Figura 115).

I risultati delle indagini relativamente alla percezione del rischio di multa sono riportati in Tabella 43.

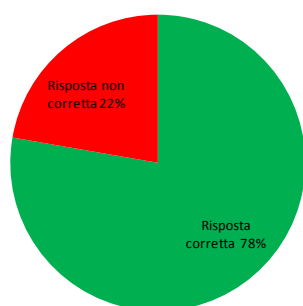


Figura 114 – Conoscenza della misura del sistema in base alla quale vengono effettuate le contravvenzioni in A56.

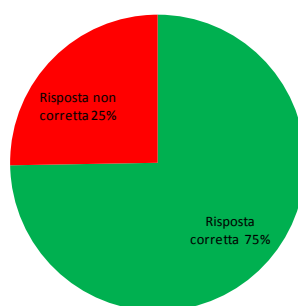


Figura 115 – Conoscenza della misura del sistema in base alla quale vengono effettuate le contravvenzioni in A3.

VELOCITA' MEDIA
SULLA TRATTA

VELOCITA' IN
CORRISPONDENZA
DELLE TELECAMERE

ENTRAMBE

NON LO SO

Con riferimento alla percezione del rischio di multa i guidatori intervistati ritengono che il rischio di essere multati se si eccede il limite di velocità di meno di 10 km/h nella maggior parte dei casi è medio – basso (68% dei casi in A56 e 79% dei casi in A3). Il rischio di essere multati se si eccede il limite di velocità di 10 - 20 km/h è ritenuto elevato nel 48% dei casi in A56 e nel 44% dei casi in A3. Il rischio di essere multati se si eccede il limite di velocità di oltre 20 km/h è ritenuto nella maggior parte dei casi elevatissimo (57% dei casi in A56 e 56% dei casi in A3).

Tabella 43 – Risultati delle indagini – sezione: percezione del rischio di multa.

		Tangenziale di Napoli (A56)		Napoli – Salerno (A3)	
Rischio di essere multati se si eccede il limite di velocità di meno di 10 km/h	Basso	377	34%	477	43%
	Medio	374	34%	396	36%
	Elevato	274	25%	178	16%
	Elevatissimo	75	7%	49	4%
Rischio di essere multati se si eccede il limite di velocità di 10 – 20 km/h	Basso	41	4%	78	7%
	Medio	317	29%	369	34%
	Elevato	533	48%	488	44%
	Elevatissimo	209	19%	165	15%
Rischio di essere multati se si eccede il limite di velocità di oltre 20 km/h	Basso	23	2%	25	2%
	Medio	39	4%	54	5%
	Elevato	408	37%	406	37%
	Elevatissimo	630	57%	615	56%
Probabilità di essere multati se si eccede il limite di velocità in A56 rispetto alla A3 / (in A3 rispetto alla A56)	A56	427	39%	426	39%
	A3	250	23%	271	25%
	Indifferente sulle due autostrade	423	38%	403	37%
Probabilità di essere multati se si eccede il limite di velocità in A5/ A3 rispetto ad una strada statale	A56/A3	503	46%	472	43%
	Strada statale	333	30%	401	36%
	Indifferente sulle due strade	264	24%	227	21%

Il 39% dei guidatori intervistati in Tangenziale ritengono che la probabilità di essere multati in A56 è maggiore rispetto alla probabilità di essere multati in A3, il 23 % ritiene che la probabilità di essere multati è maggiore in A3 mentre il 38% dei guidatori ritiene che la probabilità di essere multati sulle due autostrade è la stessa. Risultati simili sono stati ottenuti relativamente al rischio di essere multato in Tangenziale rispetto ad una strada statale.

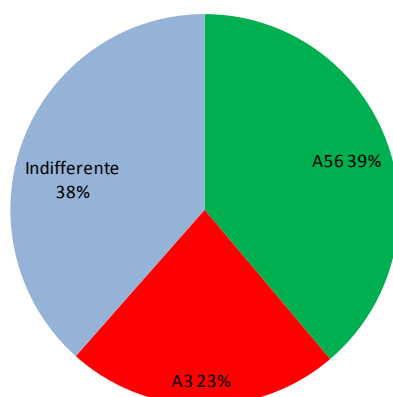


Figura 116 – Percezione della probabilità di essere multati in A56 vs. A3 in A56.

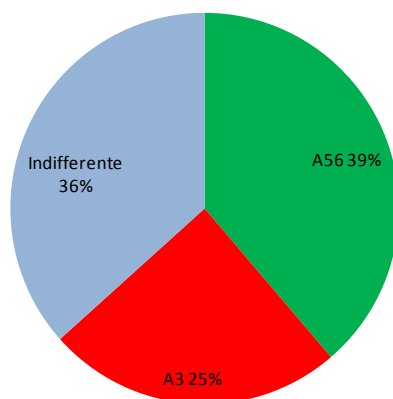


Figura 117 – Percezione della probabilità di essere multati in A56 vs. A3 in A3.

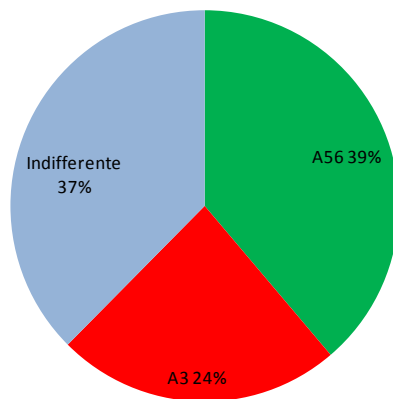


Figura 118 – Percezione della probabilità di essere multati in A56 vs. A3 in A56 e in A3.

6.2 L'effetto sulle velocità

L'effetto prodotto dall'installazione del sistema Safety Tutor in Tangenziale di Napoli sulle velocità di percorrenza è stato studiato attraverso i dati di velocità registrati prima e dopo l'installazione. I dati di velocità registrati sono le velocità medie di tratta di 22'293'193 veicoli di cui il 2% sono veicoli pesanti. La velocità media di percorrenza è 81.6 km/h prima dell'installazione del Tutor, 71.8 Km/h nel primo anno dopo l'installazione, 74.7 km/h nel secondo anno dopo l'installazione del Tutor e 75.1 km/h nell'ultimo anno analizzato. In particolare la velocità media dei veicoli leggeri è 83.4 km/h prima dell'installazione del Tutor, 72.1 km/h nel primo anno dopo l'installazione del Tutor, 74.8 km/h nel secondo anno dopo l'installazione del Tutor e 75.2 km/h nell'ultimo anno analizzato. Per i veicoli pesanti la velocità media è 72.1 km/h prima dell'installazione del Tutor, 72.1 km/h nel primo anno dopo l'installazione del Tutor, 68.5 km/h nel secondo anno dopo l'installazione del Tutor e 68.7 km/h nell'ultimo anno analizzato (Tabella 44; Figura 119).

Tabella 44 – Riduzione della velocità dopo l'installazione del Tutor.

Periodo	V _m [km/h]	dev.st. [km/h]	V ₈₅ [km/h]	V _{m_after} / V _{m_before}	dev.st V _{after} / dev.st V _{before}	V _{85_after} / V _{85_before}
Veicoli totali						
2009_before	81.56	17.14	99.00	1.00	1.00	1.00
2009_after	71.79	11.60	82.00	0.88	0.68	0.83
2010_after	74.70	11.72	85.04	0.92	0.68	0.86
2011_after	75.13	12.20	85.92	0.92	0.71	0.87
Veicoli leggeri						
2009_before	83.37	16.55	100.00	1.00	1.00	1.00
2009_after	72.14	11.51	82.00	0.87	0.70	0.82
2010_after	74.78	11.72	85.33	0.90	0.71	0.85
2011_after	75.21	12.18	85.92	0.90	0.74	0.86
Veicoli pesanti						
2009_before	72.16	13.07	85.00	1.00	1.00	1.00
2009_after	72.13	12.37	82.00	1.00	0.95	0.96
2010_after	68.54	10.01	77.58	0.95	0.77	0.91
2011_after	68.71	10.50	77.92	0.95	0.80	0.92

Anche la deviazione standard della velocità si riduce nel tempo (17.1 vs. 12.2 per i veicoli totali; 16.5 vs. 12.1 per i veicoli leggeri; 13.1 vs. 10.5 per i veicoli pesanti). L'analisi è stata condotta anche con riferimento alla velocità operativa (V_{85}). In questo caso è stata registrata, negli anni analizzati, una riduzione della velocità del 14.7 % per i veicoli totali, 15.7 % per i veicoli leggeri e 7% per i veicoli pesanti.

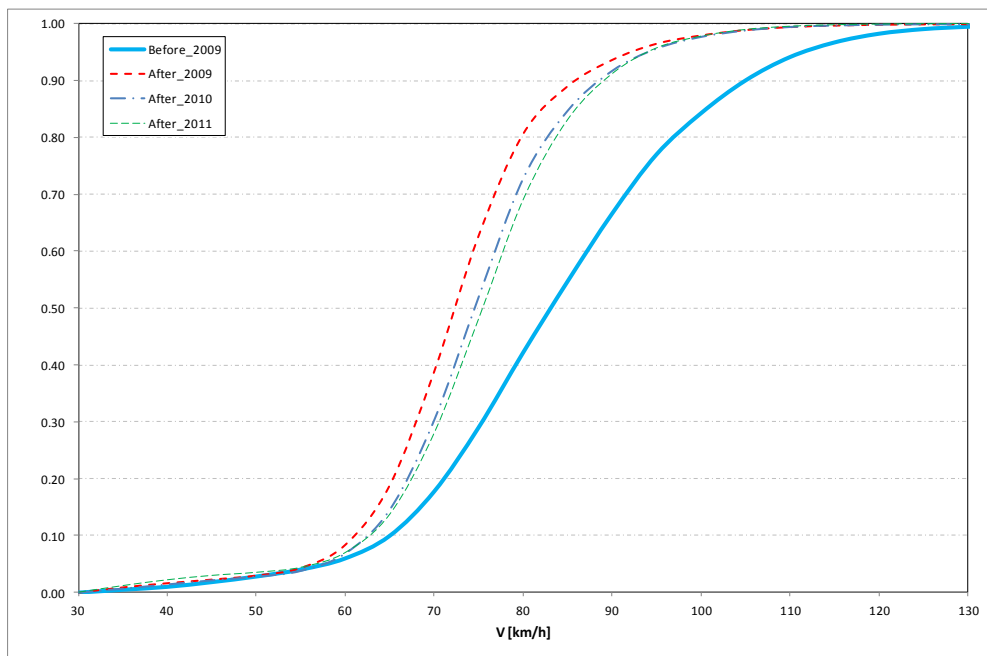


Figura 119 – Cumulata delle velocità (veicoli leggeri e pesanti).

Dai dati di velocità analizzati emerge che il sistema Tutor è efficace nella riduzione della velocità. In particolare, la maggiore riduzione si registra per la deviazione standard della velocità. Il sistema Tutor determina anche una riduzione della velocità operativa e della velocità media ma risulta più efficace nella riduzione della operativa (17% vs. 12%). Relativamente ai veicoli leggeri l'efficacia del Tutor in termini di riduzione della velocità si riduce nel tempo, mentre per i veicoli pesanti aumenta nel tempo. Ciò significa che i veicoli leggeri hanno risentito subito della presenza del Tutor e poi si sono adattati al sistema, mentre i veicoli pesanti hanno percepito dopo la presenza del sistema di controllo delle velocità.

Il limite di velocità imposto sulla Tangenziale di Napoli è 80 km/h per i veicoli leggeri e 70 Km/h per i veicoli pesanti. I veicoli leggeri che superano il limite di velocità sono pari al 56.4% prima dell'installazione del Tutor. Negli anni dopo l'installazione del sistema la percentuale dei veicoli che superano il limite si abbassa mediamente al 26%. Nel caso dei veicoli pesanti prima dell'installazione del Tutor la

percentuale di veicoli che superano il limite è del 57.7% mentre negli anni successivi tale percentuale si abbassa al 49.5% (Tabella 45).

Tabella 45 – Veicoli che non rispettano il limite di velocità.

Periodo	N. veicoli	V>V _{limite} [%]	V>V _{limite} +10 km/h [%]	V>V _{limite} +20 km/h [%]
Veicoli leggeri				
before 2009	2'023'834	56.36	31.09	14.05
after_2009	12'379'461	19.38	6.30	1.99
after_2010	3'672'345	27.48	8.36	2.32
after_2011	3'928'972	31.09	8.88	2.25
Veicoli pesanti				
before 2009	30'789	57.67	26.45	8.76
after_2009	155'601	57.53	19.34	7.80
after_2010	48'021	44.98	9.44	1.69
after_2011	54'170	45.96	10.82	1.90

La misura di efficacia del sistema Tutor in termini di riduzione del superamento dei limiti di velocità è espressa dalla relazione:

$$O_s = 1 - \left(\frac{P_{s_after}}{P_{s_before}} \right) \quad (47)$$

dove:

- O_s è l'indice di efficacia del sistema in termini di riduzione delle velocità;
- P_{s_before} è la percentuale di veicoli che superano il limite di velocità prima dell'istallazione del Tutor;
- P_{s_after} è la percentuale di veicoli che superano il limite di velocità dopo dell'istallazione del Tutor.

In Tabella 46 si riportano i valori dell'indice di efficacia relativamente alla riduzione del superamento dei limiti di velocità negli anni analizzati per i veicoli leggeri e pesanti:

Tabella 46 – Indici di efficacia del Tutor in termini di riduzione del superamento dei limiti di velocità.

Periodo	$O_s (V > V_{\text{limite}})$	$O_s (V > V_{\text{limite}} + 10 \text{ km/h})$	$O_s (V > V_{\text{limite}} + 20 \text{ km/h})$
Veicoli leggeri			
after_2009	0.656	0.797	0.858
after_2010	0.512	0.731	0.835
after_2011	0.448	0.715	0.840
Veicoli pesanti			
after_2009	0.002	0.269	0.110
after_2010	0.220	0.643	0.807
after_2011	0.203	0.591	0.784

Tabella 47 – Indici di efficacia nel tempo.

O_s / O_{s2009}	$V > V_{\text{limite}}$	$V > V_{\text{limite}} + 10 \text{ km/h}$	$V > V_{\text{limite}} + 20 \text{ km/h}$
Veicoli leggeri			
after_2009	1.00	1.00	1.00
after_2010	0.78	0.92	0.97
after_2011	0.68	0.90	0.98
Veicoli pesanti			
after_2009	1.00	1.00	1.00
after_2010	>1.00	>1.00	>1.00
after_2011	>1.00	>1.00	>1.00

Dai risultati si evince che primo anno di analisi l'efficacia del sistema è del 65.6% mentre nell'ultimo anno analizzato l'efficacia è del 44.8%. L'efficacia del sistema aumenta nel caso dei veicoli che superano di più di 20 km/h il limite di velocità (85.8% vs. 65.6% nel 2009; 83.5% vs. 51.2% nel 2010; 84.0% vs. 44.8% nel 2011). Per i veicoli pesanti, l'efficacia del sistema è minore ed aumenta nel tempo (Tabella 47).

6.3 L'effetto sugli incidenti: fattori di modificazione degli incidenti

Le analisi before – after eseguite con il metodo Empirico Bayesiano hanno consentito la valutazione dell'effetto del sistema Safety Tutor sull'incidentalità. L'efficacia del sistema è stata valutata separatamente per le tratte Tutor, per le tratte Spillover e per l'intero tracciato.

6.3.1 Tratte Tutor

La riduzione degli incidenti totali nelle tratte Tutor è stata stimata pari al 32% (Tabella 48, Figura 120). Nella due carreggiate l'efficacia del sistema è leggermente differente e tale risultato potrebbe essere dovuto al fatto che la lunghezza delle tratte Tutor nelle due carreggiate è differente.

Tabella 48 – Efficacia del Tutor relativamente agli incidenti totali e agli incidenti per carreggiata.

	Totali	Est	Ovest	
Incidenti osservati nel periodo prima (Count b_i)	559	400	159	
Incidenti attesi (λ)	409	292	117	
Incidenti osservati (π)	279	206	73	
Indice di efficacia (θ)	0.68	0.70	0.62	
Deviazione standard (σ)	0.05	0.06	0.09	
Riduzione degli incidenti	limite inferiore dell'intervallo di confidenza (%)	22.3	18.0	21.0
	Stima (%)	32.0	29.7	38.0
	limite superiore dell'intervallo di confidenza (%)	41.6	41.4	55.0

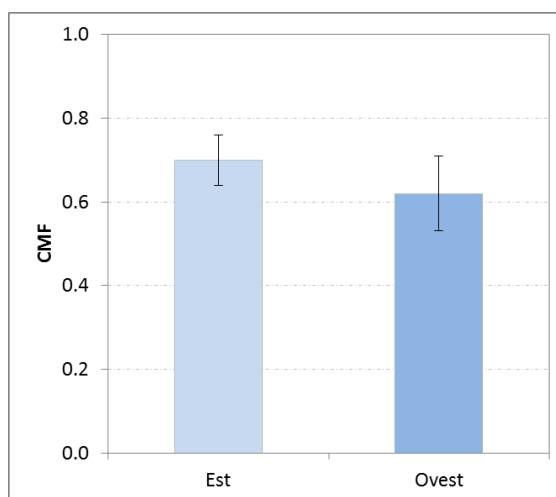


Figura 120 – CMF disaggregati per carreggiata.

Dall'analisi disaggregata per anni è risultato che l'efficacia del sistema diminuisce nel tempo. Ciò fa pensare ad un effetto di adattamento del comportamento di guida al sistema; infatti la riduzione degli incidenti totali è del 37% nel primo anno dopo l'attivazione del sistema e del 28% nell'ultimo anno analizzato (Tabella 49, Figura 121). Tale fenomeno di adattamento è stato riscontrato anche su altre autostrade italiane, ovvero in A3 Napoli-Salerno dove un anno dopo l'attivazione del sistema Safety Tutor è stato osservato un aumento di velocità significativo (Montella et al., 2012c) e in A1 Milano – Napoli (tratto Caianello – Caserta Sud) dove la riduzione degli incidenti totali è passata dal 39.4% nel primo semestre dopo l'attivazione del sistema al 18.7% nell'ultimo anno analizzato (Montella et al., 2012b).

Tabella 49 – Efficacia del Tutor nel tempo.

	Totali	2009	2010	2011	
Incidenti osservati nel periodo prima (Count b_i)	559	559	559	559	
Incidenti attesi (λ)	409	148	134	127	
Incidenti osservati (π)	279	93	94	92	
Indice di efficacia (θ)	0.68	0.63	0.70	0.72	
Deviazione standard (σ)	0.05	0.07	0.08	0.08	
Riduzione degli incidenti	limite inferiore dell'intervallo di confidenza (%)	22.3	23.6	14.7	12.0
	Stima (%)	32.0	37.3	29.9	27.9
	limite superiore dell'intervallo di confidenza (%)	41.6	51.0	45.2	43.7

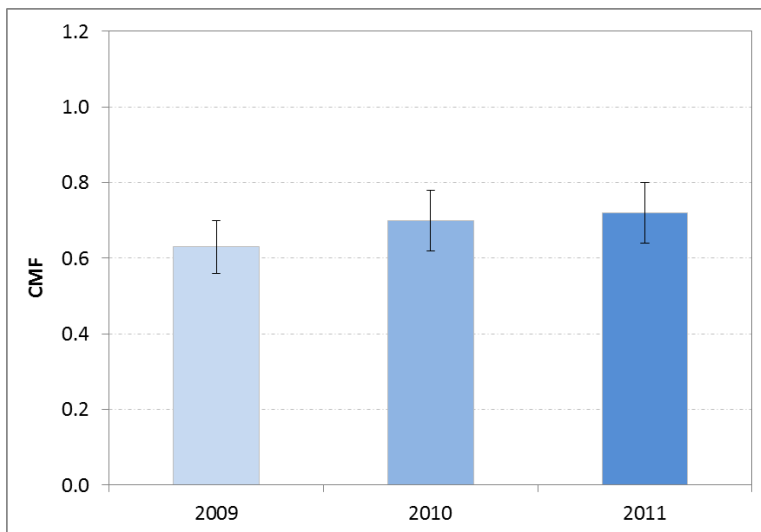


Figura 121 – CMF negli anni 2009-2011.

Coerentemente con gli studi precedenti (Hauer, 2009; Stefan, 2006; Aarts et al., 2006; Elvik, 2005), la variazione di velocità associata all'attivazione del sistema di controllo delle velocità medie produce effetti maggiori sugli incidenti più gravi.

I risultati delle analisi evidenziano che la variazione delle velocità di percorrenza associata all'attivazione del sistema Tutor produce una significativa riduzione degli incidenti e delle conseguenze sulle persone (Figura 122, Tabella 50). Infatti, la riduzione del numero di incidenti è maggiore per gli incidenti mortali e con feriti (-37 %) che per gli incidenti con soli danni materiali (-22%).

Tabella 50 – Efficacia del Tutor in relazione alla gravità.

	Totali	Danni materiali	Mortali e incidenti con feriti
Incidenti osservati nel periodo prima (Count ω)	559	196	363
Incidenti attesi (λ)	409	128	281
Incidenti osservati (π)	279	101	178
Indice di efficacia (θ)	0.68	0.78	0.63
Deviazione standard (σ)	0.05	0.09	0.06
limite inferiore dell'intervallo di confidenza (%)	22.3	3.3	25.6
Riduzione degli incidenti Stima (%)	32.0	21.6	36.8
limite superiore dell'intervallo di confidenza (%)	41.6	39.9	48.0

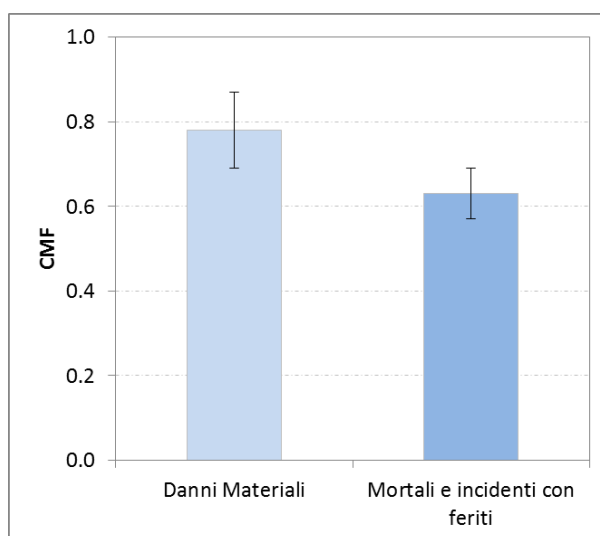


Figura 122 – CMF in relazione alla gravità.

Relativamente alla tipologia di incidente (Tabella 51, Figura 123), il sistema Safety Tutor risulta efficace nella riduzione degli incidenti a veicolo isolato (-44%) e nella riduzione degli incidenti per tamponamento con una riduzione significativa circa pari al 21%.

Tabella 51 – Efficacia del Tutor in relazione alla tipologia di incidente.

	Totali	Tamponamenti	Veicolo isolato	Multi - veicolo	
Incidenti osservati nel periodo prima (Count b)	559	217	213	129	
Incidenti attesi (λ)	409	135	196	78	
Incidenti osservati (π)	279	107	111	61	
Indice di efficacia (θ)	0.68	0.79	0.56	0.78	
Deviazione standard (σ)	0.05	0.09	0.06	0.12	
Riduzione degli incidenti	limite inferiore dell'intervallo di confidenza (%)	22.3	3.0	31.2	-0.7
	Stima (%)	32.0	20.9	43.7	22.5
	limite superiore dell'intervallo di confidenza (%)	41.6	38.8	56.3	45.7

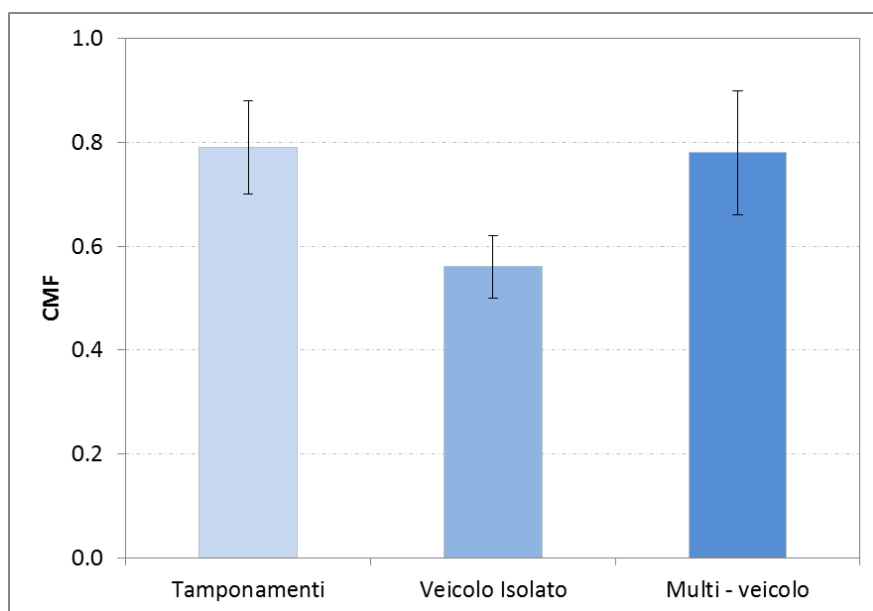


Figura 123 – CMF in relazione alla tipologia di incidente.

Nei giorni feriali il sistema Safety Tutor è più efficace che nei giorni festivi. Infatti nei giorni feriali la riduzione del numero di incidenti è del 38%, mentre nei giorni festivi la riduzione degli incidenti è del 17% e tale riduzione non è significativa (Tabella 52, Figura 124).

Tabella 52 – Efficacia del Tutor in relazione alla tipologia di giorno.

	Totali	Festivi	Feriali	
Incidenti osservati nel periodo prima (Count b)	559	157	402	
Incidenti attesi (λ)	409	109	300	
Incidenti osservati (π)	279	91	188	
Indice di efficacia (θ)	0.68	0.83	0.62	
Deviazione standard (σ)	0.05	0.11	0.05	
Riduzione degli incidenti	limite inferiore dell'intervallo di confidenza (%)	22.3	-4.0	26.9
	Stima (%)	32.0	16.9	37.6
	limite superiore dell'intervallo di confidenza (%)	41.6	37.8	48.2

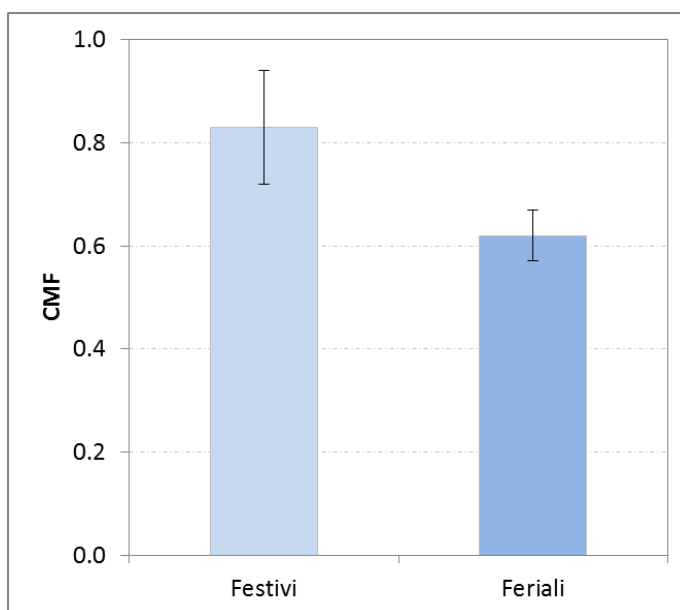


Figura 124 – CMF in relazione alla tipologia di giorno.

Relativamente alle condizioni geometriche della strada (Tabella 53, Figura 125), i risultati delle analisi mostrano che il sistema Safety Tutor è più efficace in curva che in rettilineo (0.51 vs. 0.95). Inoltre la riduzione degli incidenti in rettilineo non è statisticamente significativa in quanto il limite inferiore dell'intervallo di confidenza al 95% è negativo. Tale risultato è coerente con i risultati ottenuti in un altri studi su autostrade italiane, ad esempio sull'A1 Milano – Napoli (tratto Caianello – Caserta Sud) è stata stimata una riduzione degli incidenti in curva pari a 43% e in rettilineo pari a 28% (Montella et al., 2012b). Anche il Piano di Sicurezza Stradale AASHTO raccomanda il controllo della velocità come una strategia particolarmente applicabile a ridurre gli incidenti sulle curve orizzontali (Torbic et al., 2004).

Tabella 53 – Efficacia del Tutor in relazione alla geometria.

	Totali	Rettilineo	Curva
Incidenti osservati nel periodo prima (Count b)	559	214	345
Incidenti attesi (λ)	409	156	253
Incidenti osservati (π)	279	149	130
Indice di efficacia (θ)	0.68	0.95	0.51
Deviazione standard (σ)	0.05	0.10	0.05
Riduzione degli incidenti			
limite inferiore dell'intervallo di confidenza (%)	22.3	-14.8	38.6
Stima (%)	32.0	4.9	48.8
limite superiore dell'intervallo di confidenza (%)	41.6	24.5	59.1

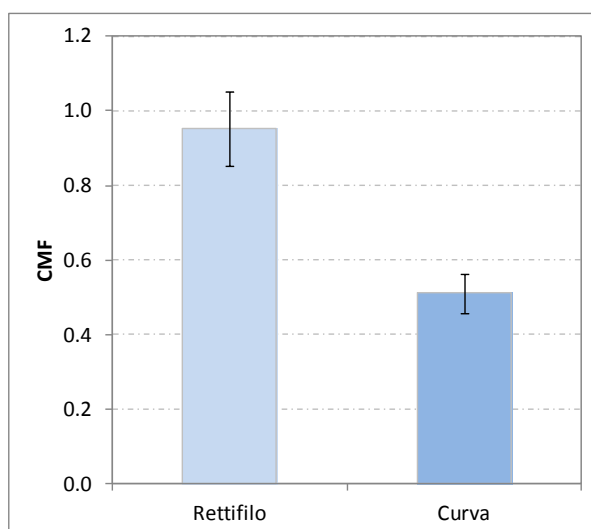


Figura 125 – CMF in relazione alla geometria.

Le condizioni di illuminazione non influenzano significativamente l'efficacia del sistema (Tabella 54, Figura 126) infatti l'efficacia del sistema è pressoché uguale di giorno e di notte (0.68 vs. 0.69). Questo risultato potrebbe dipendere dal fatto che di notte le velocità di percorrenza sono maggiori anche se i volumi di traffico sono minori.

Tabella 54 – Efficacia del Tutor in relazione alle condizioni di illuminazione.

	Totali	Giorno	Notte
Incidenti osservati nel periodo prima (Count b)	559	362	197
Incidenti attesi (λ)	409	275	135
Incidenti osservati (π)	279	186	93
Indice di efficacia (θ)	0.68	0.68	0.69
Deviazione standard (σ)	0.05	0.06	0.08
Riduzione degli incidenti			
limite inferiore dell'intervallo di confidenza (%)	22.3	20.6	14.8
Stima (%)	32.0	32.4	31.3
limite superiore dell'intervallo di confidenza (%)	41.6	44.2	47.7

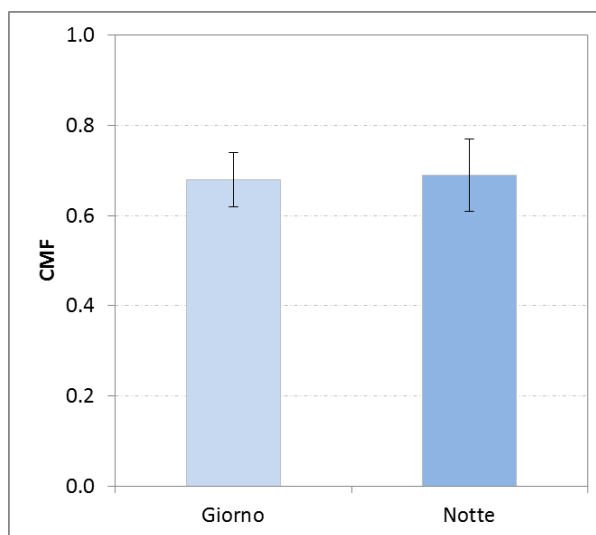


Figura 126 – CMF in relazione alle condizioni di illuminazione.

Le condizioni atmosferiche influenzano significativamente l'efficacia del sistema (Tabella 55, Figura 127). La riduzione degli incidenti in presenza di pioggia è del 57% mentre in assenza di pioggia del 30%. Tale risultato si riscontra anche con riferimento allo stato della pavimentazione (Tabella 56, Figura 128). Infatti la riduzione degli incidenti su strada bagnata (-51%) è maggiore della riduzione degli incidenti stimata su strada asciutta (-29%).

Tabella 55 – Efficacia del Tutor in relazione alle condizioni atmosferiche.

	Totali	Non pioggia	Pioggia	
Incidenti osservati nel periodo prima (Count b)	559	509	50	
Incidenti attesi (λ)	409	374	35	
Incidenti osservati (π)	279	264	15	
Indice di efficacia (θ)	0.68	0.70	0.43	
Deviazione standard (σ)	0.05	0.05	0.11	
Riduzione degli incidenti	limite inferiore dell'intervallo di confidenza (%)	22.3	19.3	34.8
	Stima (%)	32.0	29.6	57.3
	limite superiore dell'intervallo di confidenza (%)	41.6	40.0	79.8

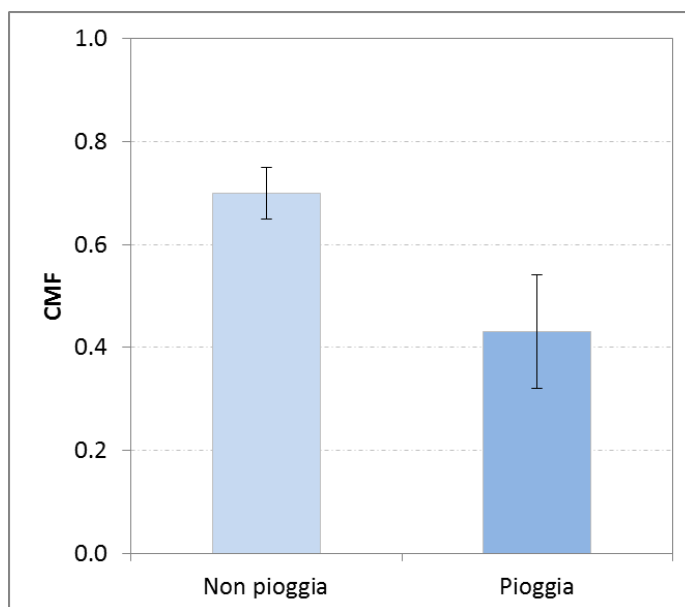
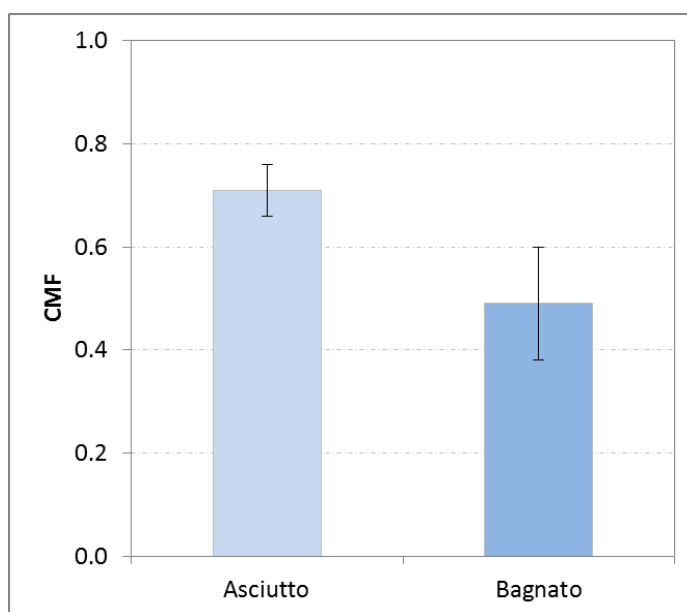


Figura 127 – CMF in relazione alle condizioni atmosferiche.

Tabella 56 – Efficacia del Tutor in relazione alle condizioni della pavimentazione.

	Totali	Asciutto	Bagnato
Incidenti osservati nel periodo prima (Count ρ)	559	496	63
Incidenti attesi (λ)	409	361	49
Incidenti osservati (π)	279	255	24
Indice di efficacia (θ)	0.68	0.71	0.49
Deviazione standard (σ)	0.05	0.05	0.11
Riduzione degli incidenti	limite inferiore dell'intervallo di confidenza (%)	22.3	18.9
	Stima (%)	32.0	29.4
	limite superiore dell'intervallo di confidenza (%)	41.6	40.0

**Figura 128 – CMF in relazione alle condizioni della pavimentazione.**

Infine, dall'analisi disaggregata in fasce orarie (Tabella 57, Figura 129) è emerso che il sistema è più efficace nelle ore di punta (21 –7), infatti la riduzione degli incidenti è del 33% contro il 29% nelle ore di morbida (21 – 7).

Tabella 57 – Efficacia del Tutor in relazione alle fasce orarie.

	Totali	7 - 21	21 - 7
Incidenti osservati nel periodo prima (Count b)	559	401	158
Incidenti attesi (λ)	409	294	116
Incidenti osservati (π)	279	196	83
Indice di efficacia (θ)	0.68	0.67	0.71
Deviazione standard (σ)	0.05	0.06	0.09
Riduzione degli incidenti			
limite inferiore dell'intervallo di confidenza (%)	22.3	22.2	10.3
Stima (%)	32.0	33.4	28.5
limite superiore dell'intervallo di confidenza (%)	41.6	44.7	46.7

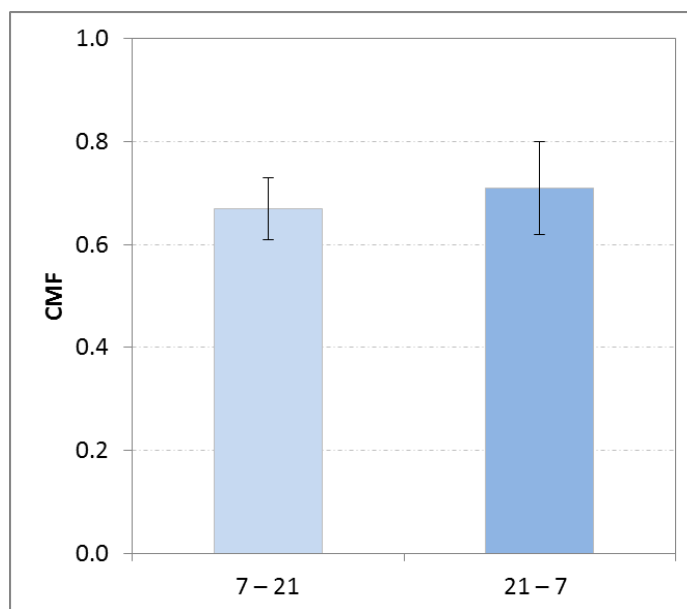


Figura 129 – CMF in relazione alle fasce orarie.

6.3.2 *Tratte Spillover*

L'effetto del sistema Safety Tutor si risente anche sulle tratte non coperte da Tutor. La riduzione degli incidenti totali nelle Tratte Spillover è stata stimata pari al 21% mentre nelle tratte Tutor è risultata pari al 32%. Nella due carreggiata l'efficacia del sistema è differente e ciò potrebbe essere dovuto al fatto che la lunghezza delle tratte Spillover nelle due carreggiate è differente (Tabella 58, Figura 130).

Tabella 58 – Efficacia del Tutor in relazione agli incidenti totali e agli incidenti per carreggiata.

	Totali	Est	Ovest	
Incidenti osservati nel periodo prima (Count b)	616	147	469	
Incidenti attesi (λ)	453	109	344	
Incidenti osservati (π)	359	78	281	
Indice di efficacia (θ)	0.79	0.71	0.82	
Deviazione standard (σ)	0.05	0.10	0.06	
Riduzione degli incidenti	limite inferiore dell'intervallo di confidenza (%)	10.6	9.7	6.5
	Stima (%)	20.8	28.9	18.4
	limite superiore dell'intervallo di confidenza (%)	31.0	48.1	30.4

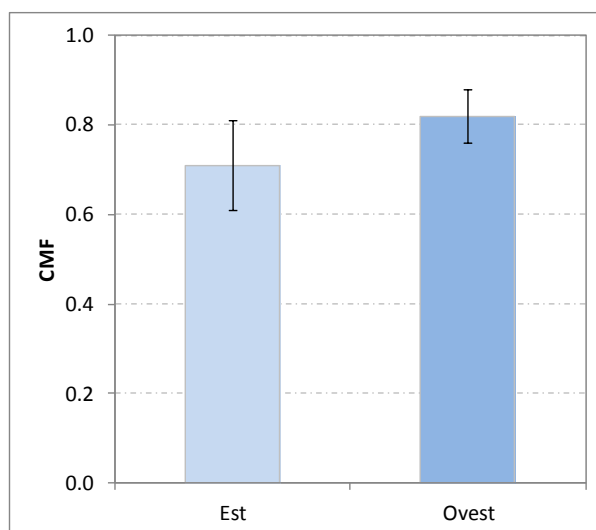


Figura 130 – CMF disaggregati per carreggiata.

Nonostante l'effetto di adattamento del comportamento di guida al sistema Safety Tutor, la riduzione degli incidenti totali nelle tratte Tutor decresce lievemente nel tempo passando dal 37% del primo anno dopo l'attivazione del sistema al 28% nell'ultimo anno analizzato, invece, nelle tratte Spillover l'effetto di adattamento è più sentito passando da una riduzione degli incidenti totali del 25% nel primo anno dopo l'attivazione del sistema all'8% nell'ultimo anno analizzato (Tabella 59, Figura 131).

Tabella 59 – Efficacia del Tutor negli anni 2009 - 2011.

	Totali	2009	2010	2011	
Incidenti osservati nel periodo prima (Count ν)	616	616	616	616	
Incidenti attesi (λ)	453	164	148	141	
Incidenti osservati (π)	359	123	106	130	
Indice di efficacia (θ)	0.79	0.75	0.71	0.92	
Deviazione standard (σ)	0.05	0.07	0.07	0.09	
Riduzione degli incidenti	limite inferiore dell'intervallo di confidenza (%)	10.6	10.6	13.9	-9.5
	Stima (%)	20.8	25.0	28.6	7.8
	limite superiore dell'intervallo di confidenza (%)	31.0	39.5	43.2	25.2

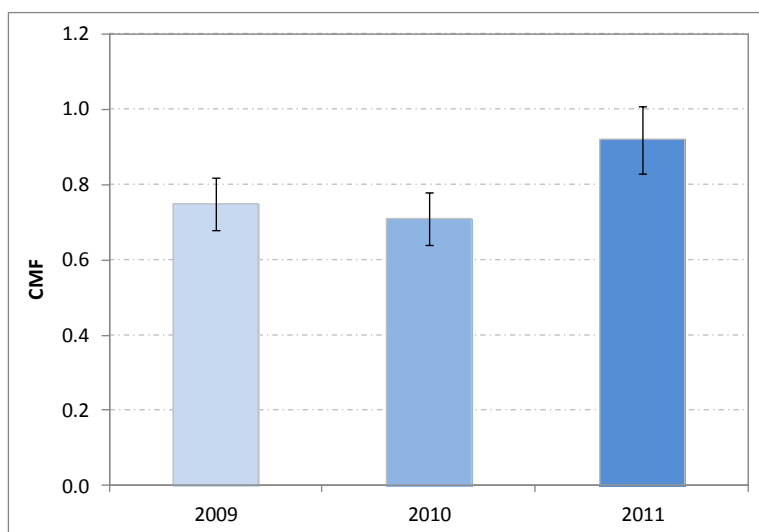


Figura 131 – CMF negli anni 2009 - 2011.

Con riferimento alla gravità degli incidenti il sistema è più efficace nella riduzione degli incidenti più gravi sia sulle tratte Tutor che sulle tratte Spillover. La riduzione degli incidenti mortali e con feriti è del 26 % nelle tratte Spillover rispetto al 37% nelle tratte Tutor (Tabella 60, Figura 132).

Tabella 60 – Efficacia del Tutor in relazione alla gravità.

	Totali	Danni materiali	Mortali e con feriti
Incidenti osservati nel periodo prima (Count b)	616	239	377
Incidenti attesi (λ)	453	157	295
Incidenti osservati (π)	359	139	220
Indice di efficacia (θ)	0.79	0.88	0.74
Deviazione standard (σ)	0.05	0.09	0.06
Riduzione degli incidenti	limite inferiore dell'intervallo di confidenza (%)	10.6	13.5
	Stima (%)	20.8	25.7
	limite superiore dell'intervallo di confidenza (%)	31.0	37.9

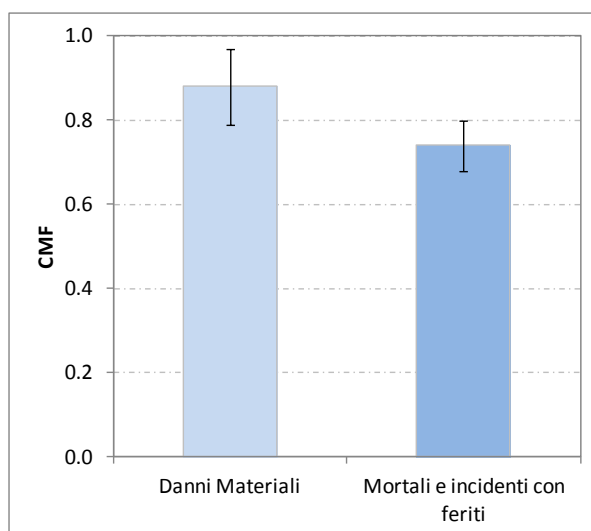


Figura 132 – CMF disaggregati per gravità.

Relativamente alla tipologia di incidente (Tabella 61, Figura 133), il sistema Safety Tutor anche nelle tratte Spillover risulta più efficace per gli incidenti a veicolo isolato (0.47 vs. 0.56 nelle tratte Tutor).

Tabella 61 – Efficacia del Tutor in relazione alla tipologia di incidenti.

		Totali	Tamponamenti	Veicolo isolato	Multi - veicolo	
	Incidenti osservati nel periodo prima (Count _b)	616	298	200	118	
	Incidenti attesi (λ)	453	188	191	73	
	Incidenti osservati (π)	359	187	91	81	
	Indice di efficacia (θ)	0.79	0.99	0.47	1.10	
	Deviazione standard (σ)	0.05	0.09	0.06	0.15	
	limite inferiore dell'intervallo di confidenza (%)		10.6	-16.8	41.3	-39.9
Riduzione degli incidenti	Stima (%)	20.8	0.9	52.7	-9.7	
	limite superiore dell'intervallo di confidenza (%)		31.0	18.6	64.0	20.5

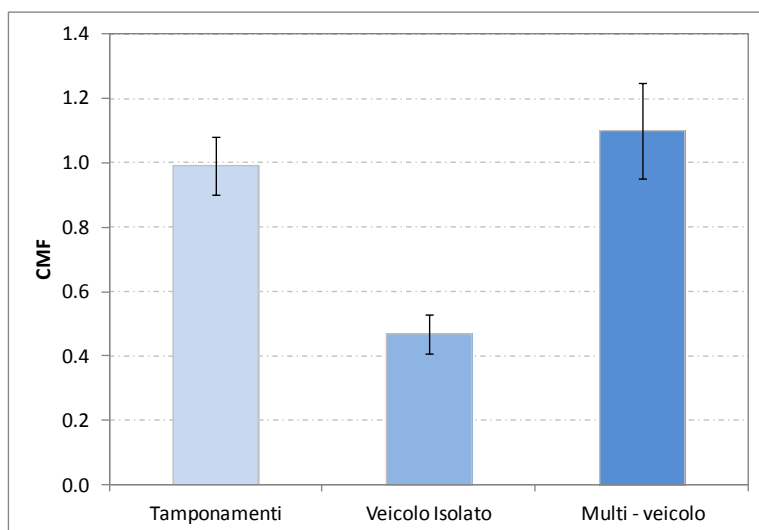


Figura 133 – CMF disaggregati per tipologia di incidenti.

Nei giorni festivi il sistema Safety Tutor è più efficace che nei giorni feriali (0.74 vs. 0.62 nelle tratte Tutor) (Tabella 62, Figura 134).

Tabella 62 – Efficacia del Tutor in relazione alla tipologia di giorno.

	Totali	Feriali	Festivi	
Incidenti osservati nel periodo prima (Count b)	616	438	178	
Incidenti attesi (λ)	453	328	125	
Incidenti osservati (π)	359	266	93	
Indice di efficacia (θ)	0.79	0.81	0.74	
Deviazione standard (σ)	0.05	0.06	0.09	
<hr/>				
	limite inferiore dell'intervallo di confidenza (%)	10.6	6.9	7.9
Riduzione degli incidenti	Stima (%)	20.8	19.0	26.0
	limite superiore dell'intervallo di confidenza (%)	31.0	31.2	44.1

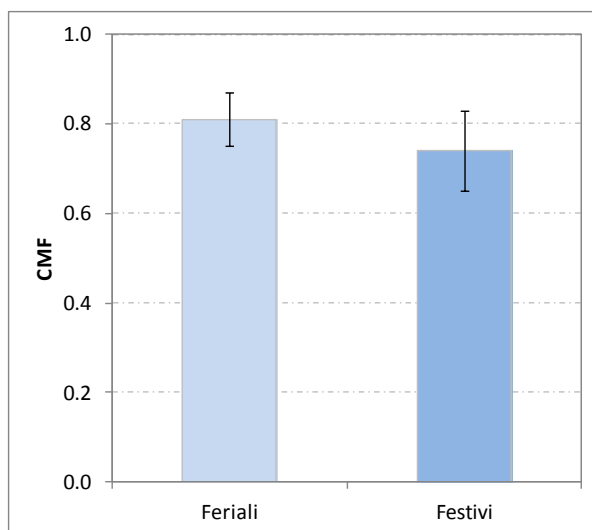


Figura 134 – CMF disaggregati per tipologia di giorno.

Relativamente alle condizioni geometriche della strada (Tabella 63, Figura 135), i risultati delle analisi mostrano, anche nelle tratte Spillover, che il sistema Safety Tutor è più efficace in curva.

Tabella 63 – Efficacia del Tutor in relazione alla geometria.

	Totali	Rettifilo	Curva
Incidenti osservati nel periodo prima (Count b_i)	616	239	377
Incidenti attesi (λ)	453	173	280
Incidenti osservati (π)	359	159	200
Indice di efficacia (θ)	0.79	0.91	0.71
Deviazione standard (σ)	0.05	0.09	0.06
limite inferiore dell'intervallo di confidenza (%)	10.6	-9.4	16.5
Riduzione degli incidenti			
Stima (%)	20.8	8.7	28.6
limite superiore dell'intervallo di confidenza (%)	31.0	26.8	40.7

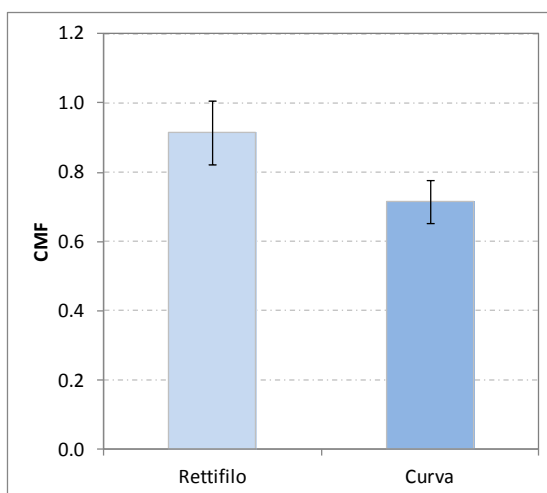


Figura 135 – CMF disaggregati per geometria.

Le condizioni di illuminazione non influenzano significativamente l'efficacia del sistema sia nelle tratte Tutor che nelle tratte Spillover (Tabella 64, Figura 136).

Tabella 64 – Efficacia del Tutor in relazione alle condizioni di illuminazione.

	Totali	Giorno	Notte	
Incidenti osservati nel periodo prima (Count b_i)	616	409	207	
Incidenti attesi (λ)	453	312	141	
Incidenti osservati (π)	359	251	108	
Indice di efficacia (θ)	0.79	0.80	0.76	
Deviazione standard (σ)	0.05	0.06	0.09	
Riduzione degli incidenti	limite inferiore dell'intervallo di confidenza (%)	10.6	7.1	6.9
	Stima (%)	20.8	19.6	24.0
	limite superiore dell'intervallo di confidenza (%)	31.0	32.0	41.0

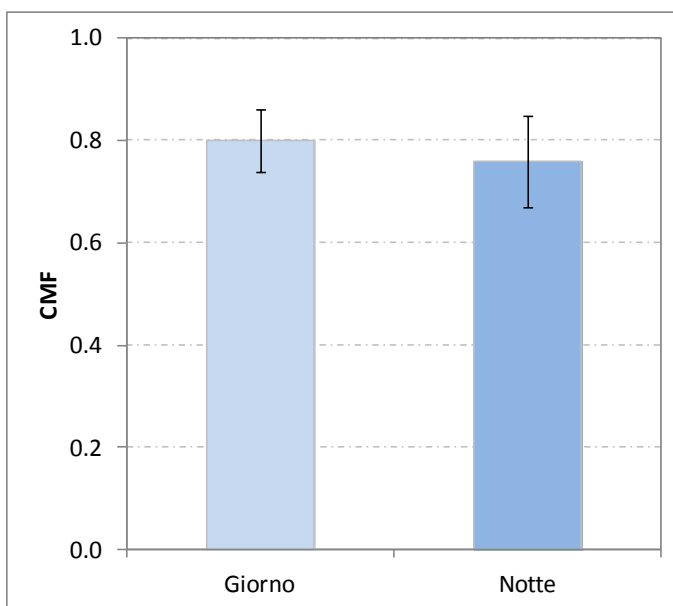


Figura 136 – CMF disaggregati per condizioni di illuminazione.

Relativamente alle condizioni atmosferiche e alle condizioni della pavimentazione (Tabella 65, Figura 137, Figura 138) si riscontrano risultati simili nelle tratte Tutor e nelle tratte Spillover. Il sistema è più efficace in presenza di pioggia (0.49 vs. 0.43 nelle tratte Tutor) e su strada bagnata (0.45 vs. 0.49 nelle tratte Tutor).

Tabella 65 – Efficacia del Tutor in relazione alle condizioni atmosferiche e della pavimentazione.

	Totali	Non pioggia	Pioggia	Asciutto	Bagnato	
Incidenti osservati nel periodo prima (Count b_i)	616	573	43	552	64	
Incidenti attesi (λ)	453	416	37	399	54	
Incidenti osservati (π)	359	341	18	335	24	
Indice di efficacia (θ)	0.79	0.82	0.49	0.84	0.45	
Deviazione standard (σ)	0.05	0.06	0.12	0.06	0.12	
Riduzione degli incidenti	limite inferiore dell'intervallo di confidenza (%)	10.6	7.4	27.5	5.0	36.8
	Stima (%)	20.8	18.2	51.1	16.2	55.5
	limite superiore dell'intervallo di confidenza (%)	31.0	29.1	74.6	27.5	74.1

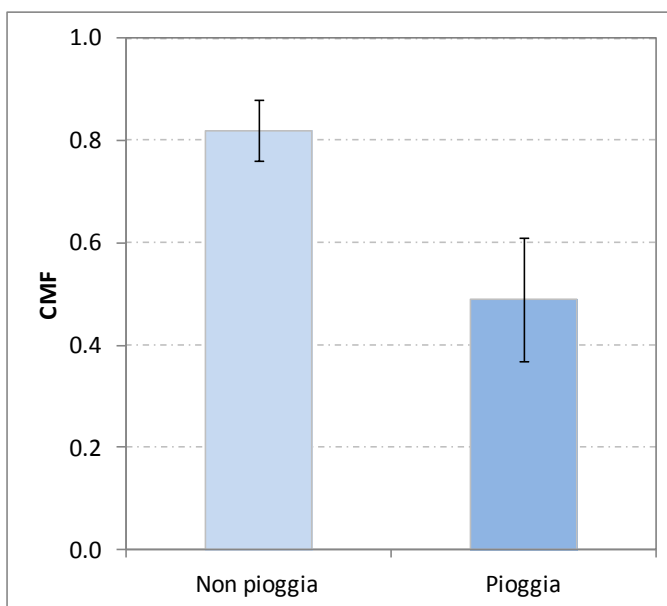


Figura 137 – CMF disaggregati per condizioni atmosferiche.

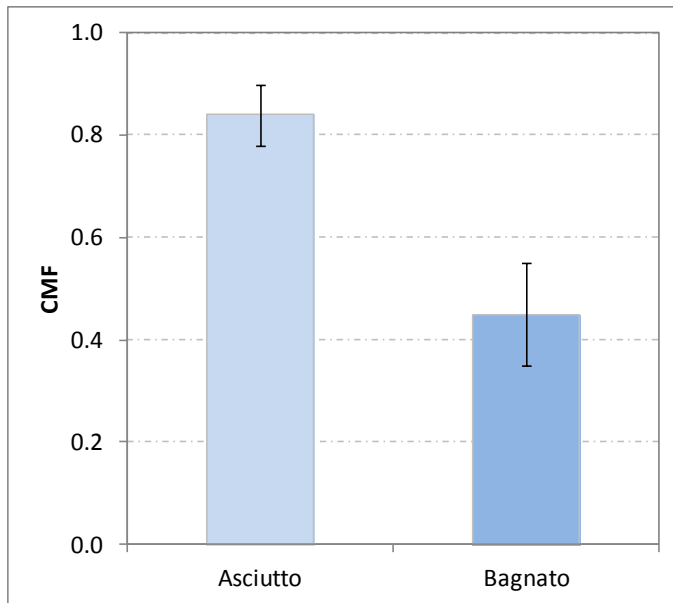


Figura 138 – CMF disaggregati per condizioni della pavimentazione.

Infine, dall'analisi disaggregata in fasce orarie (Tabella 66, Figura 139) è emerso che nelle tratte Spillover l'effetto del sistema si risente maggiormente nelle ore di morbida (21 – 7), a differenza delle tratte Tutor.

Tabella 66 – Efficacia del Tutor in relazione alle fasce orarie.

	Totali	7- 21	21 - 7	
Incidenti osservati nel periodo prima (Count b_i)	616	469	147	
Incidenti attesi (λ)	453	342	111	
Incidenti osservati (π)	359	290	69	
Indice di efficacia (θ)	0.79	0.85	0.62	
Deviazione standard (σ)	0.05	0.06	0.09	
Riduzione degli incidenti	limite inferiore dell'intervallo di confidenza (%)	10.6	3.0	21.5
	Stima (%)	20.8	15.3	38.3
	limite superiore dell'intervallo di confidenza (%)	31.0	27.5	55.1

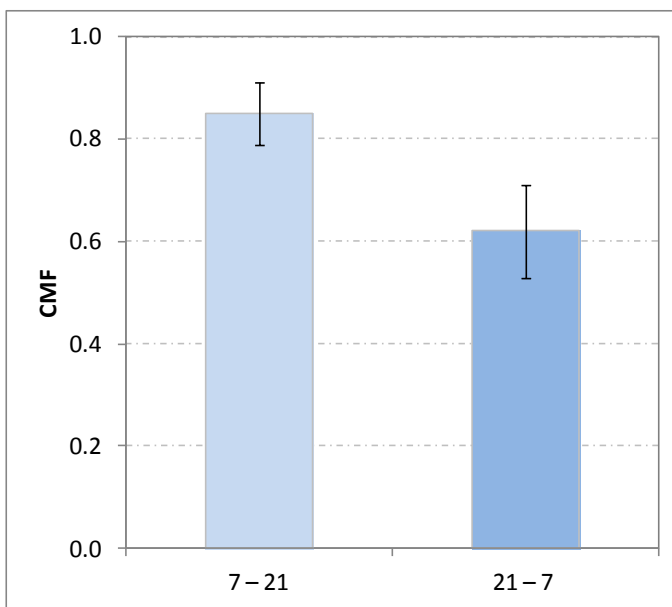


Figura 139 – CMF disaggregati per fasce orarie.

6.3.3 Intero tracciato

L'indice di efficacia del sistema, valutato in riferimento agli incidenti totali sull'intero tracciato della Tangenziale di Napoli è risultato pari al 74 % (Tabella 67). Tale risultato evidenzia che la presenza del Tutor influenza positivamente i comportamenti di guida, determinando una riduzione statisticamente significativa del 26% degli incidenti totali con un limite inferiore di confidenza al 95% del 19%. Tale risultato è congruente con i risultati ottenuti in un altri studi.

Tabella 67 – Efficacia del Tutor in relazione alla carreggiata, alla tipologia di incidente e alla gravità.

	Carreggiata			Tipologia d'incidente			Gravità	
	Totali	Est	Ovest	Tamponamenti	Veicolo Isolato	Multi - veicolo	Danni Materiali	Mortali e incidenti con feriti
Incidenti osservati nel periodo prima (Count b)	1175	547	628	515	413	247	435	740
Incidenti attesi (λ)	862	401	461	323	388	151	286	576
Incidenti osservati (π)	638	284	354	294	202	142	240	398
Indice di efficacia (θ)	0.74	0.71	0.77	0.91	0.52	0.93	0.84	0.69
Deviazione standard (σ)	0.04	0.05	0.05	0.06	0.04	0.1	0.07	0.04
Riduzione degli incidenti								
limite inferiore dell'intervallo di confidenza (%)	19.0	19.3	13.4	-3.7	39.5	-12.4	3.4	22.7
Stima (%)	26.1	29.3	23.3	9.1	48.0	6.6	16.2	31.0
limite superiore dell'intervallo di confidenza (%)	33.1	39.4	33.2	21.8	56.5	25.5	29.0	39.3

Tabella 68 – Efficacia del Tutor in relazione alla tipologia di giorno, alla geometria, alle condizioni di illuminazione e alle condizioni atmosferiche.

	<i>Tipologia di giorno</i>		<i>Geometria</i>		<i>Condizione di illuminazione</i>		<i>Condizioni atmosferiche</i>	
	Feriali	Festivi	Rettilineo	Curva	Giorno	Notte	Non pioggia	Pioggia
Incidenti osservati nel periodo prima (Count b)	840	335	453	722	771	404	1082	93
Incidenti attesi (λ)	628	234	329	533	586	276	791	71
Incidenti osservati (π)	454	184	308	330	437	201	605	33
Indice di efficacia (θ)	0.72	0.78	0.93	0.62	0.74	0.73	0.76	0.46
Deviazione standard (σ)	0.04	0.07	0.07	0.04	0.04	0.06	0.04	0.08
limite inferiore dell'intervallo di confidenza (%)	7.8	19.7	-6.7	30.1	16.9	15.4	16.0	37.5
Riduzione degli incidenti								
Stima (%)	21.6	27.8	6.7	38.1	25.5	27.4	23.5	54.0
limite superiore dell'intervallo di confidenza (%)	35.3	35.9	20.1	46.1	34.1	39.3	31.1	70.4

Tabella 69 – Efficacia del Tutor in relazione alle condizioni della pavimentazione, alle fasce orarie e all'effetto temporale.

	<i>Condizioni della pavimentazione</i>		<i>Fasce orarie</i>		<i>Effetto temporale – incidenti totali</i>		
	Asciutto	Bagnato	7-21	21-7	2009	2010	2011
Incidenti osservati nel periodo prima (Count b)	1048	127	870	305	1175	1175	1175
Incidenti attesi (λ)	760	102	635	227	312	282	268
Incidenti osservati (π)	590	48	486	152	216	200	222
Indice di efficacia (θ)	0.78	0.47	0.76	0.67	0.69	0.71	0.83
Deviazione standard (σ)	0.04	0.07	0.04	0.06	0.05	0.05	0.06
limite inferiore dell'intervallo di confidenza (%)	14.7	39.2	15.2	20.6	20.8	18.6	5.5
Riduzione degli incidenti							
Stima (%)	22.4	53.2	23.6	33.1	30.8	29.1	17.3
limite superiore dell'intervallo di confidenza (%)	30.2	67.2	32.0	45.6	40.8	39.7	29.1

Nelle figure che seguono si riportano i confronti tra i fattori di modificazione degli incidenti nelle tratte Tutor, nelle tratte Spillover e sull'intero tracciato (da Figura 140 a Figura 148).

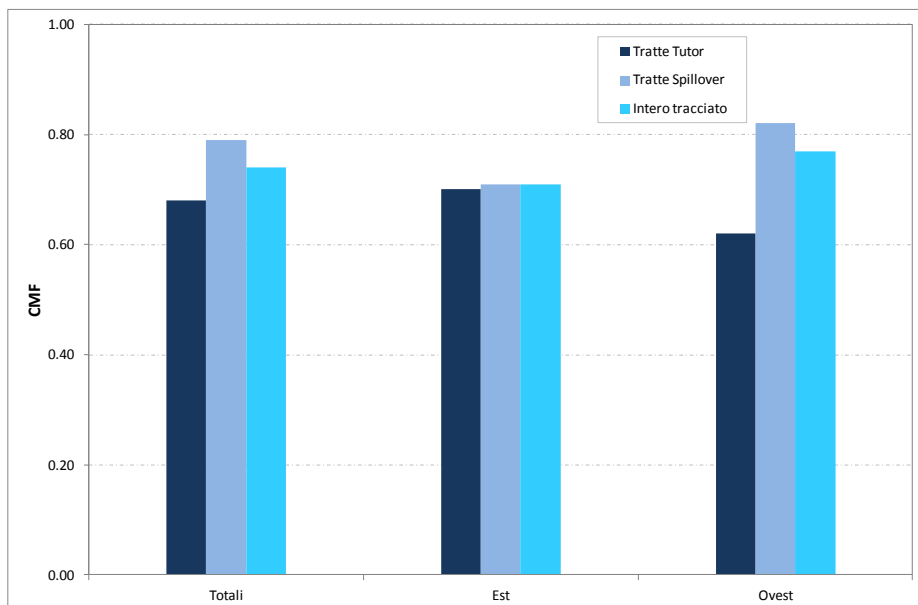


Figura 140 – Confronto dei CMF (incidenti totali e incidenti per carreggiata).

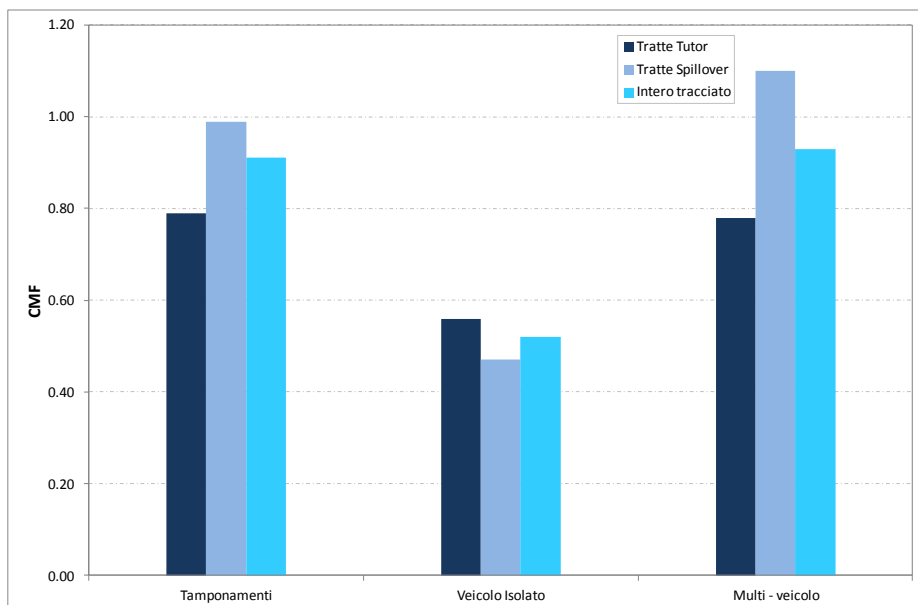


Figura 141 – Confronto dei CMF (tipologia di incidenti).

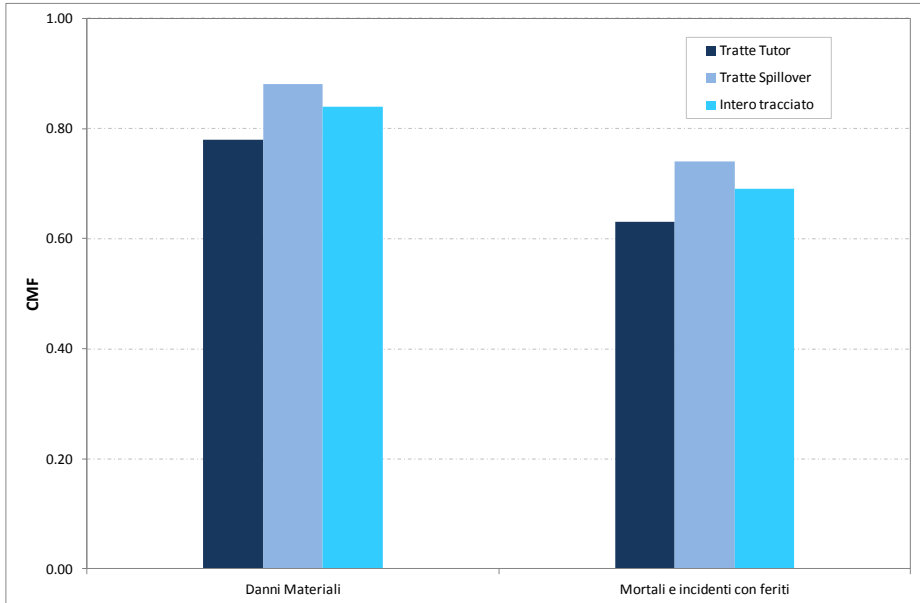


Figura 142 – Confronto dei CMF (gravità degli incidenti).

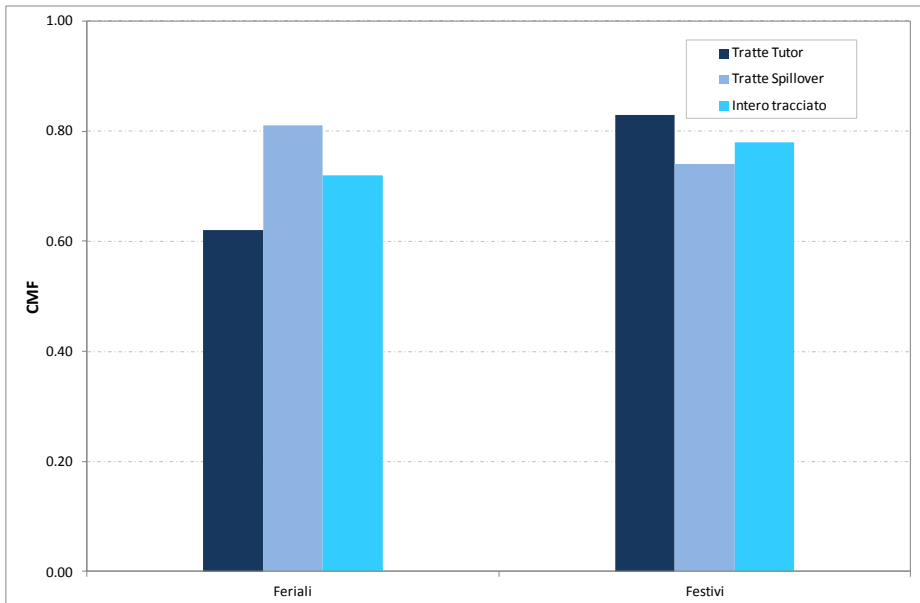


Figura 143 – Confronto dei CMF (tipologia di giorno).

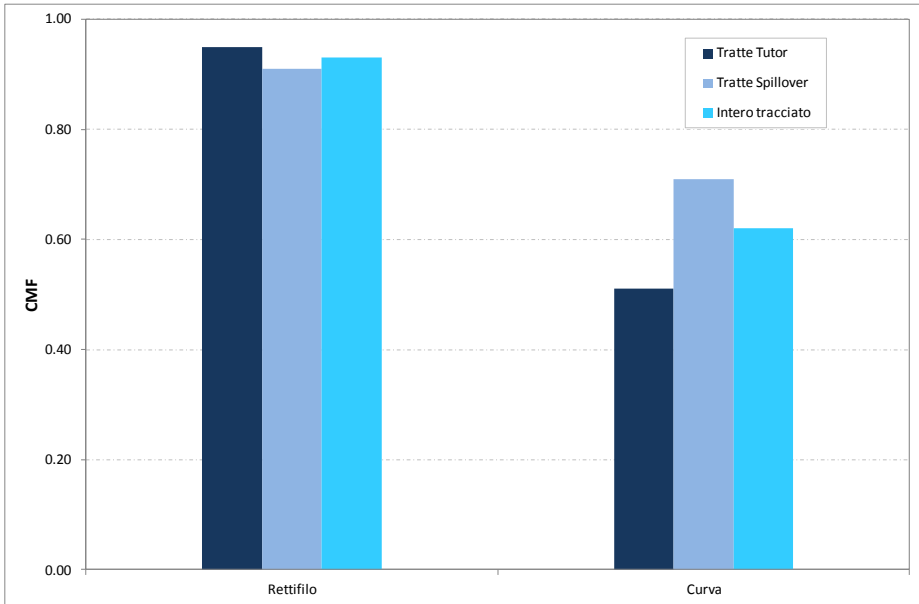


Figura 144 – Confronto dei CMF (geometria).

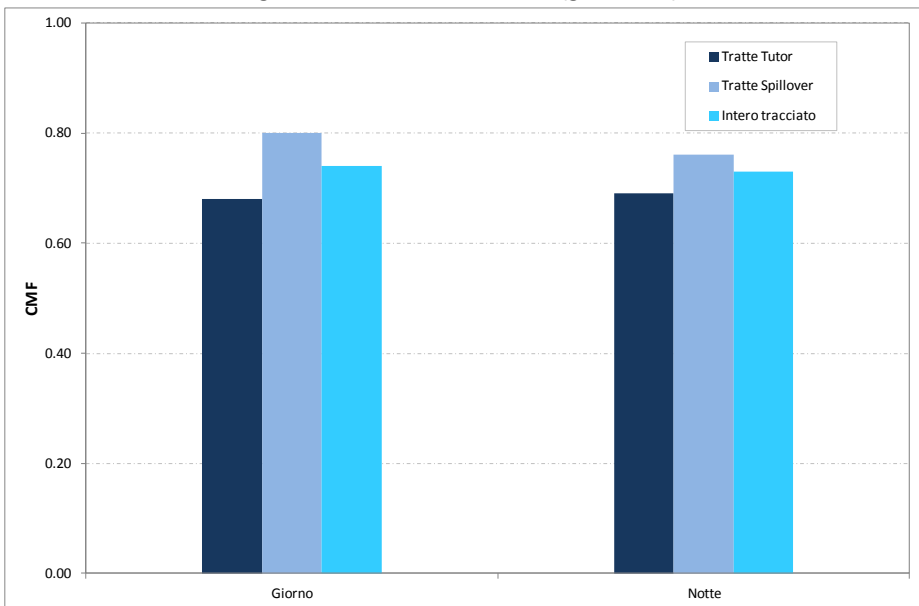


Figura 145 – Confronto dei CMF (condizioni di illuminazione).

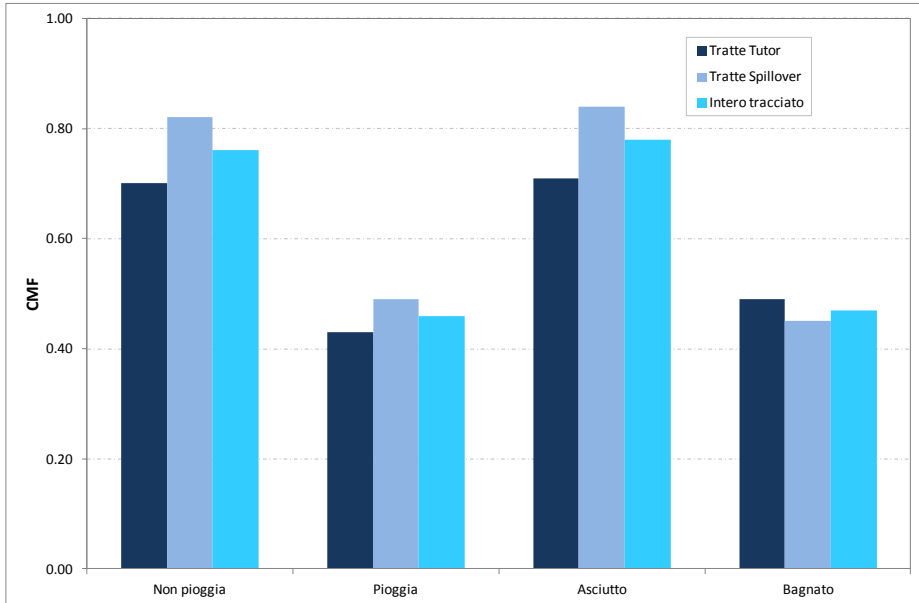


Figura 146 – Confronto dei CMF (condizioni atmosferiche e della pavimentazione).

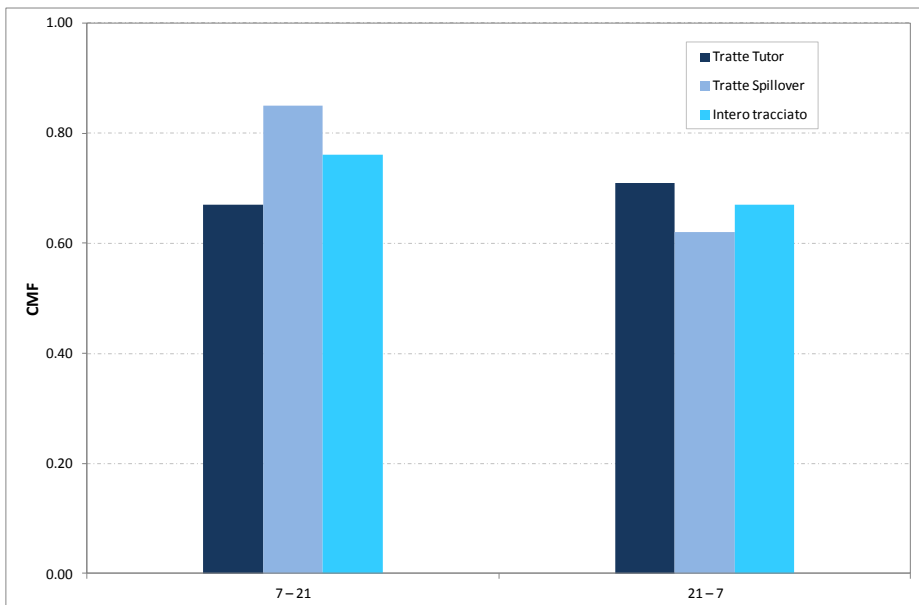


Figura 147 – Confronto dei CMF (fasce orarie).

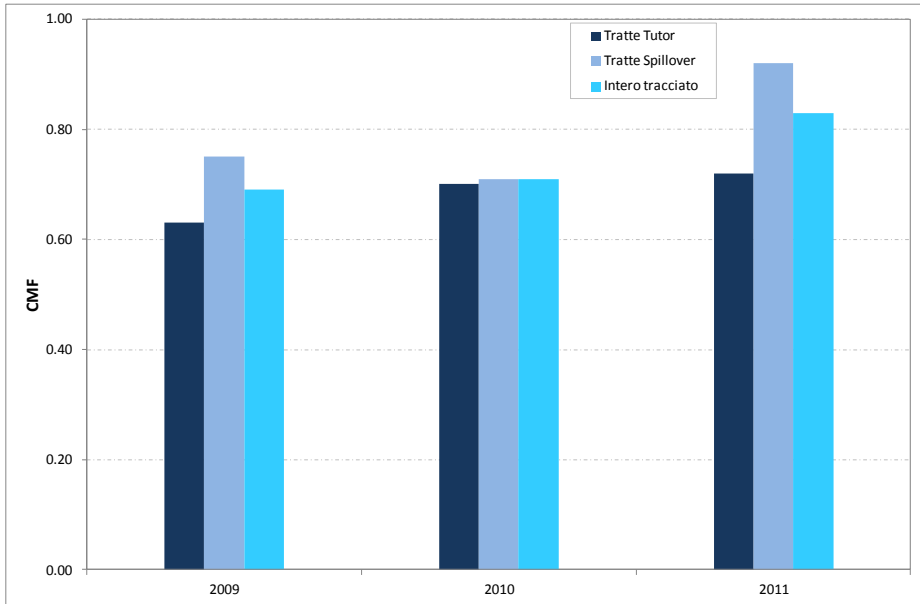


Figura 148 – Confronto dei CMF (effetto temporale).

6.4 L'effetto sugli incidenti: funzioni di modificazione degli incidenti

Le analisi condotte fin ora, in accordo con gli studi precedenti (Soole et al., 2013; AASHTO, 2010), hanno evidenziato che il sistema Safety Tutor è efficace nella riduzione delle velocità e nella riduzione degli incidenti. Pertanto è stato indagato il legame tra le velocità ed i fattori di modificazione degli incidenti relativamente agli incidenti totali, agli incidenti con soli danni materiali e agli incidenti mortali e con feriti.

6.4.1 CMF – velocità media

L'effetto della variazione della velocità media sulla variazione del numero di incidenti è espressa dalla relazione:

$$CMF = \left(\frac{V_{m_after}}{V_{m_before}} \right)^\alpha \quad (48)$$

dove:

- CMF è il fattore di modificazione degli incidenti;
- V_{m_before} è la velocità media prima dell'installazione del Tutor;
- V_{m_after} è la velocità media dopo l'installazione del Tutor;
- α è l'esponente della funzione potenza.

Nel caso degli incidenti totali, la relazione tra i fattori di modificazione degli incidenti totali e il rapporto tra la velocità media dopo e prima dell'implementazione del sistema Safety Tutor è (Figura 149):

$$CMF_{inc_totali} = \left(\frac{V_{m_after}}{V_{m_before}} \right)^{3.84} \quad (49)$$

dove:

- CMF_{inc_totali} è il fattore di modificazione degli incidenti totali;
- V_{m_before} è la velocità media prima dell'istallazione del Tutor;
- V_{m_after} è la velocità media dopo l'istallazione del Tutor.

Il coefficiente di correlazione R^2 è pari a 0.98.

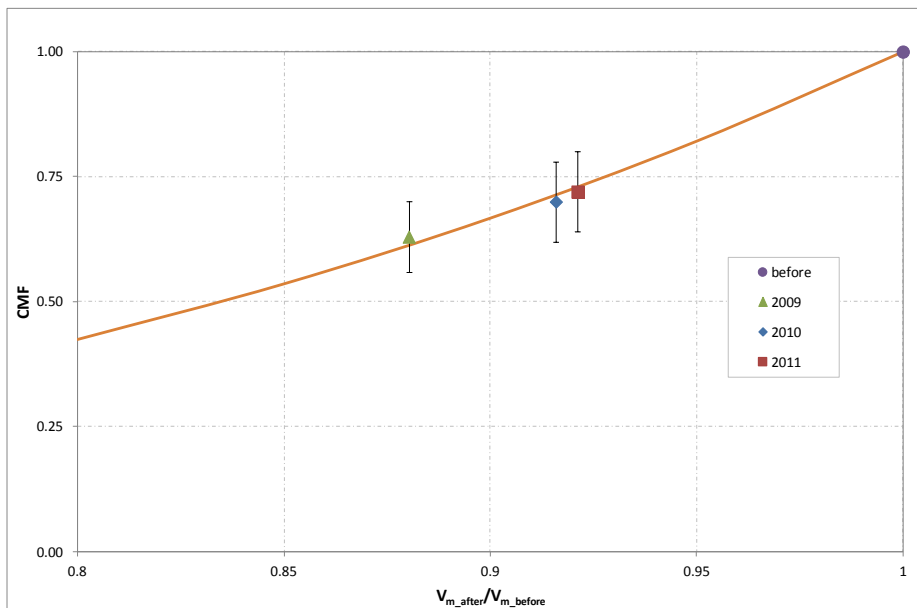


Figura 149 – CMF incidenti totali - velocità media.

Nel caso di incidenti con danni materiali, la relazione è (Figura 150):

$$CMF_{danni_materiali} = \left(\frac{V_{m_after}}{V_{m_before}} \right)^{2.30} \quad (50)$$

dove:

- $CMF_{danni_materiali}$ è il fattore di modificazione degli incidenti con danni materiali;
- V_{m_before} è la velocità media prima dell'installazione del Tutor;
- V_{m_after} è la velocità media dopo l'installazione del Tutor.

Il coefficiente di correlazione R^2 è pari a 0.19.

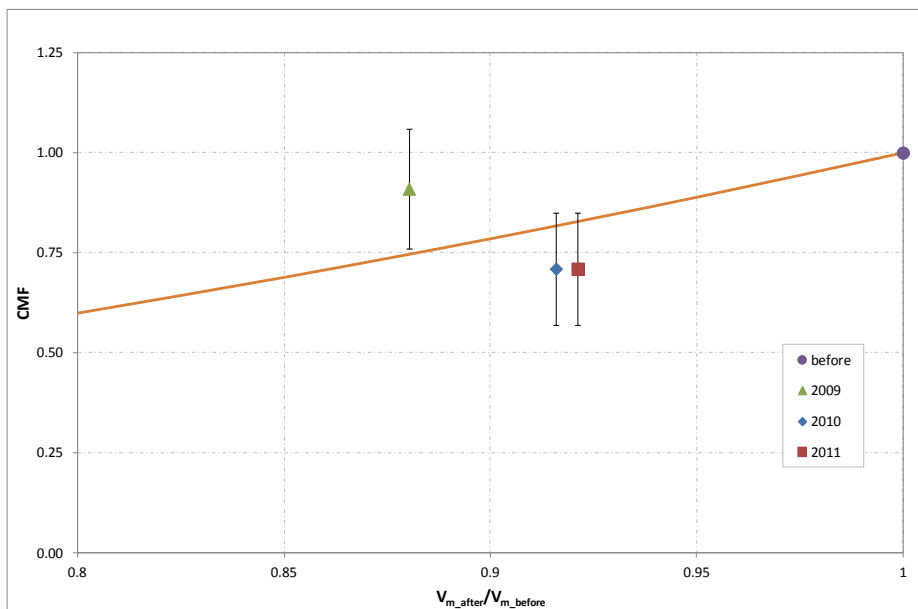


Figura 150 – CMF incidenti con danni materiali - velocità media.

Nel caso di incidenti mortali e con feriti, la relazione è (Figura 151):

$$CMF_{mor_fer} = \left(\frac{V_{m_after}}{V_{m_before}} \right)^{4.68} \quad (51)$$

dove:

- CMF_{mor_fer} è il fattore di modificazione degli incidenti mortali e con feriti;
- V_{m_before} è la velocità media prima dell'istallazione del Tutor;
- V_{m_after} è la velocità media dopo l'istallazione del Tutor.

Il coefficiente di correlazione R^2 è pari a 0.97.

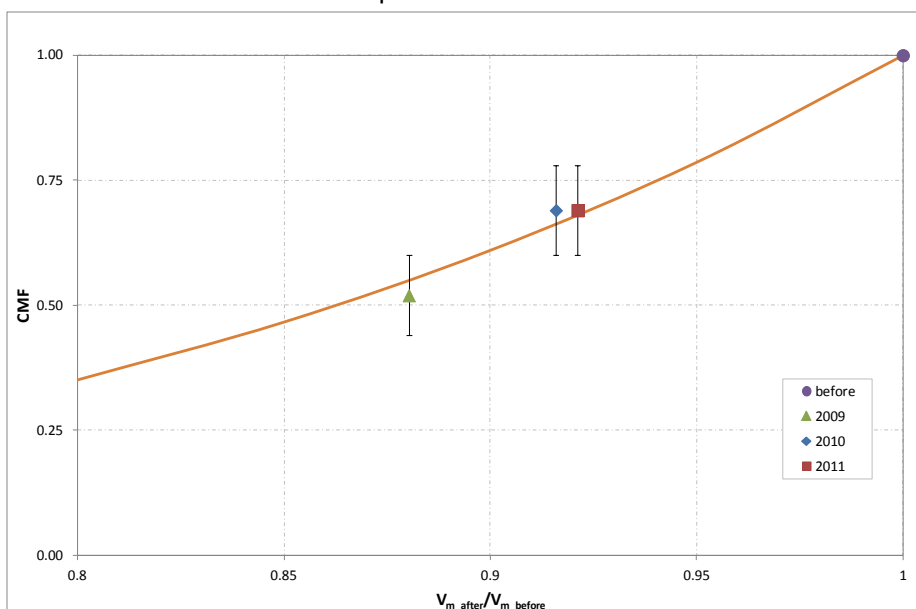


Figura 151 – CMF incidenti mortali e con feriti - velocità media.

Dai grafici si evince che la velocità influenza la sicurezza stradale ed il verificarsi degli incidenti. Al diminuire della velocità, si riduce il fattore di modificazione degli incidenti ed aumenta l'efficacia del sistema in termini di riduzione dell'incidentalità. Nel caso degli incidenti totali, ad una riduzione delle velocità del 15% corrisponde una riduzione dell'incidentalità del 45%. Inoltre al diminuire della velocità di percorrenza aumenta la riduzione degli incidenti più gravi. Per gli incidenti con soli danni materiali, ad una riduzione della velocità media del 15% corrisponde una riduzione del 35% degli incidenti mentre per gli incidenti mortali e con feriti ad una riduzione della velocità media del 15% corrisponde una riduzione

del 55% dell'incidentalità. Infatti, l'esponente della funzione potenza è 3.8 nel caso degli incidenti totali, 2.3 nel caso di incidenti con danni materiali e 4.7 nel caso di incidenti mortali e con feriti.

Risultati simili sono stati ottenuti in altri studi (Tabella 70). Nell'Highway Safety Manual (AASHTO, 2010), l'esponente della funzione che lega i fattori di modificazione degli incidenti al rapporto tra la velocità dopo e prima dell'implementazione della contromisura è 1.50 nel caso di incidenti mortali e con feriti e 1.00 nel caso di incidenti con soli danni materiali. Elvik et al. (2004) hanno trovato un esponente pari a 2.98 nel caso di incidenti mortali e con feriti.

Tabella 70 - Confronto con gli studi precedenti dell'esponente α (Eq. 48).

	Imbriani, 2014	AASHTO, 2010	Elvik et al., 2004	Hauer, 2009
Incidenti totali	3.84	-	-	-
Danni materiali	2.30	1.00	-	-
Mortali e con feriti	4.68	1.50	2.98	-
Mortali	-	3.60	3.79	3.60
Feriti gravi	-	2.00	2.22	-
Feriti lievi	-	1.10	1.66	-

6.4.2 CMF – deviazione standard della velocità

Relativamente alla deviazione standard della velocità, nel caso di incidenti totali, la relazione è data dalla formula (Figura 152):

$$CMF_{inc_totali} = \left(\frac{dev.stV_{after}}{dev.stV_{before}} \right)^{1.03} \quad (52)$$

dove:

- CMF_{inc_totali} è il fattore di modificazione degli incidenti totali;
- $dev.stV_{before}$ è la deviazione standard delle velocità prima dell'installazione del Tutor;
- $dev.stV_{after}$ è la deviazione standard delle velocità dopo dell'installazione del Tutor.

Il coefficiente di correlazione R^2 è pari a 0.95.

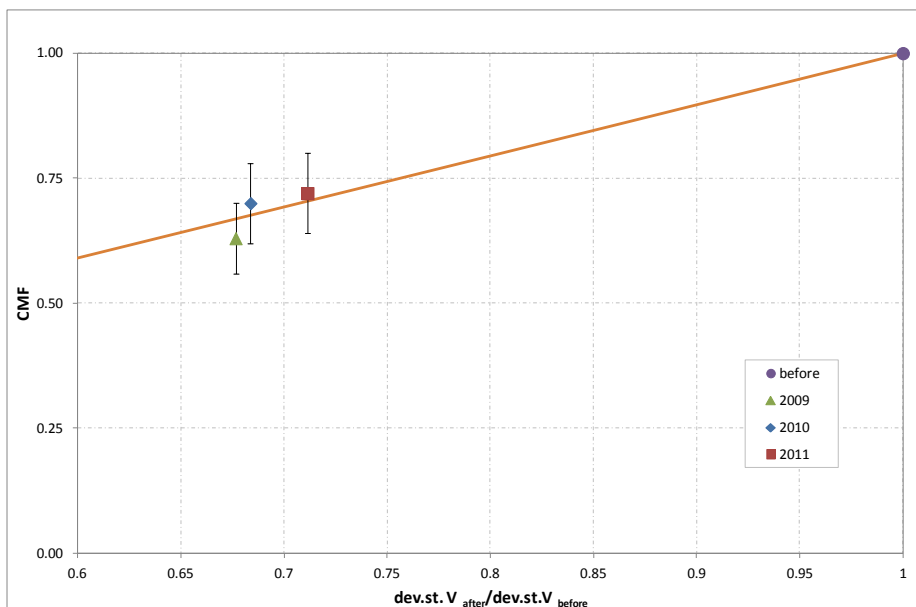


Figura 152 – CMF incidenti totali - dev.st. velocità.

Nel caso di incidenti con danni materiali, la relazione è (Figura 153):

$$CMF_{danni_materiali} = \left(\frac{dev.stV_{after}}{dev.stV_{before}} \right)^{0.67} \quad (53)$$

dove:

- $CMF_{danni_materiali}$ è il fattore di modificazione degli incidenti con danni materiali;
- $dev.stV_{before}$ è la deviazione standard delle velocità prima dell'istallazione del Tutor;
- $dev.stV_{after}$ è la deviazione standard delle velocità dopo dell'istallazione del Tutor.

Il coefficiente di correlazione R^2 è pari a 0.47.

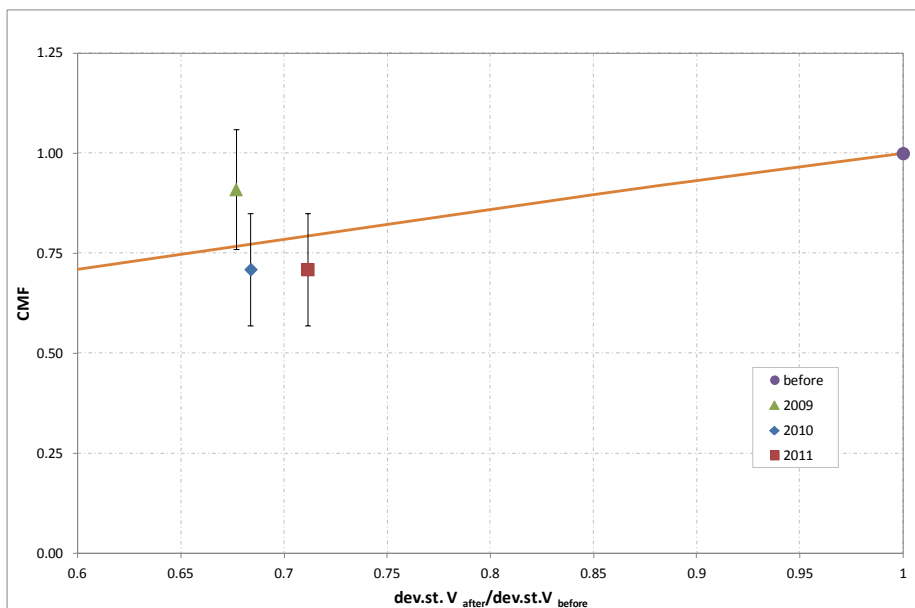


Figura 153 – CMF incidenti con danni materiali - dev.st. velocità.

Nel caso di incidenti mortali e con feriti, la relazione è (Figura 154):

$$CMF_{mor_fer} = \left(\frac{dev.stV_{after}}{dev.stV_{before}} \right)^{1.24} \quad (54)$$

dove:

- CMF_{mor_fer} è il fattore di modificazione degli incidenti mortali e con feriti;
- $dev.stV_{before}$ è la deviazione standard delle velocità prima dell'installazione del Tutor;
- $dev.stV_{after}$ è la deviazione standard delle velocità dopo dell'installazione del Tutor.

Il coefficiente di correlazione R^2 è pari a 0.81.

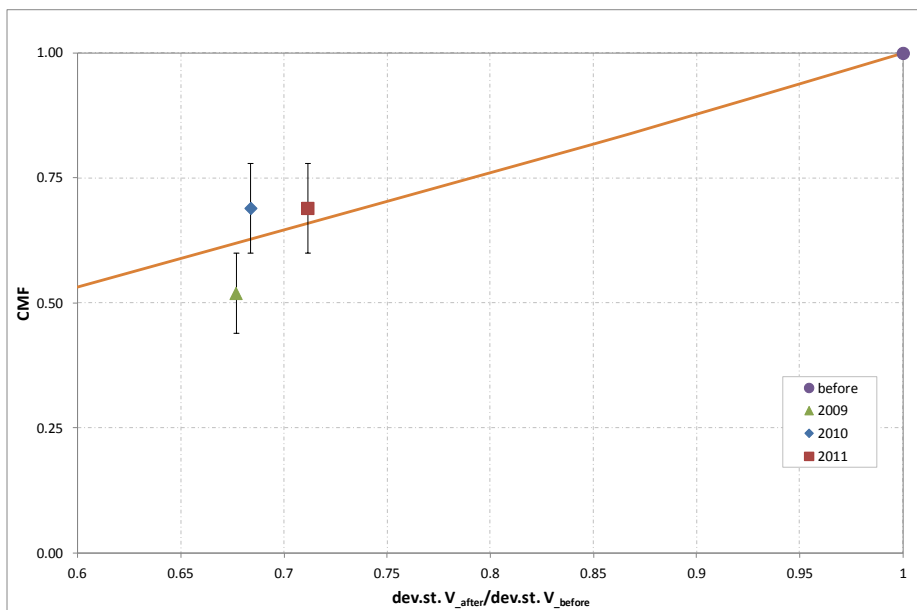


Figura 154 – CMF incidenti mortali e con feriti - dev.st. velocità.

Dalle relazioni precedenti si evince che al diminuire della deviazione standard della velocità si riduce l'incidentalità, ovvero quanto più omogenea è la velocità di percorrenza, minore è la probabilità di incidente.

6.4.3 CMF – velocità operativa

Il legame tra i fattori di modificazioni degli incidenti totali e la velocità operativa è dato dalla relazione (Figura 155):

$$CMF_{inc_totali} = \left(\frac{V_{85_after}}{V_{85_before}} \right)^{2.43} \quad (55)$$

dove:

- CMF_{inc_totali} è il fattore di modificazione degli incidenti totali;
- V_{85_before} è la velocità operativa prima dell'installazione del Tutor;
- V_{85_after} è la velocità operativa dopo l'installazione del Tutor.

Il coefficiente di correlazione R^2 è pari a 0.99.

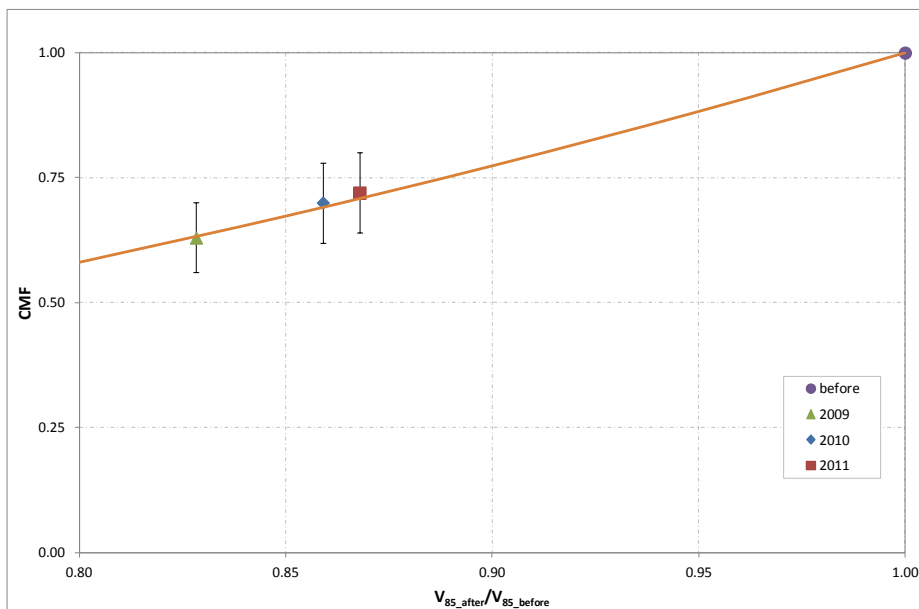


Figura 155 – CMF incidenti totali - velocità operativa.

Nel caso di incidenti con danni materiali, la relazione è data dalla formula (Figura 156):

$$CMF_{danni_materiali} = \left(\frac{V_{85_after}}{V_{85_before}} \right)^{1.19} \quad (56)$$

dove:

- $CMF_{danni_materiali}$ è il fattore di modificazione degli incidenti con danni materiali;
- V_{85_before} è la velocità operativa prima dell'installazione del Tutor;
- V_{85_after} è la velocità operativa dopo l'installazione del Tutor.

Il coefficiente di correlazione R^2 è pari a 0.31.

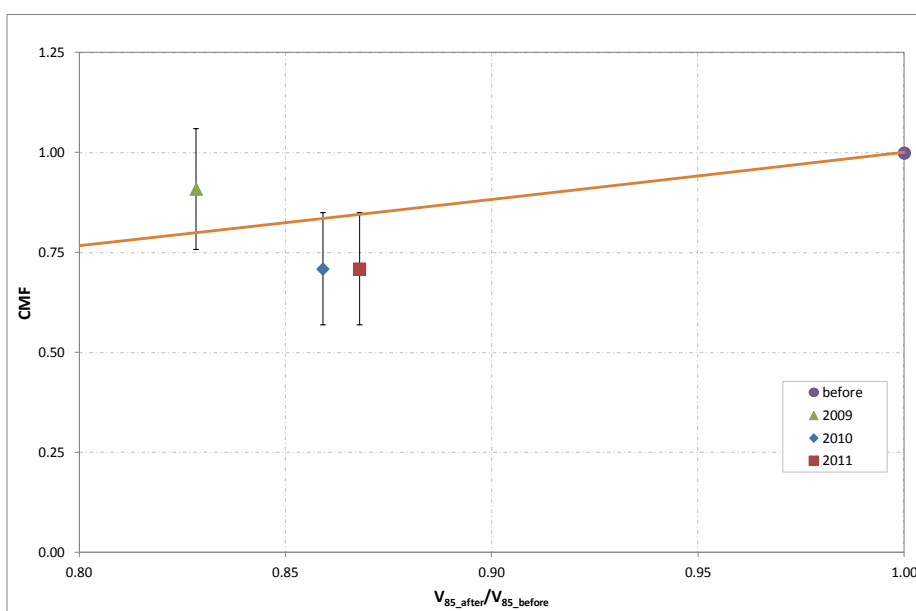


Figura 156 – CMF incidenti con danni materiali - velocità operativa.

Nel caso di incidenti mortali e con feriti, la relazione è (Figura 157):

$$CMF_{mor_fer} = \left(\frac{V_{85_after}}{V_{85_before}} \right)^{3.10} \quad (57)$$

dove:

- CMF_{mor_fer} è il fattore di modificazione degli incidenti mortali e con feriti;
- V_{85_before} è la velocità operativa prima dell'installazione del Tutor;
- V_{85_after} è la velocità operativa dopo l'installazione del Tutor.

Il coefficiente di correlazione R^2 è pari a 0.98.

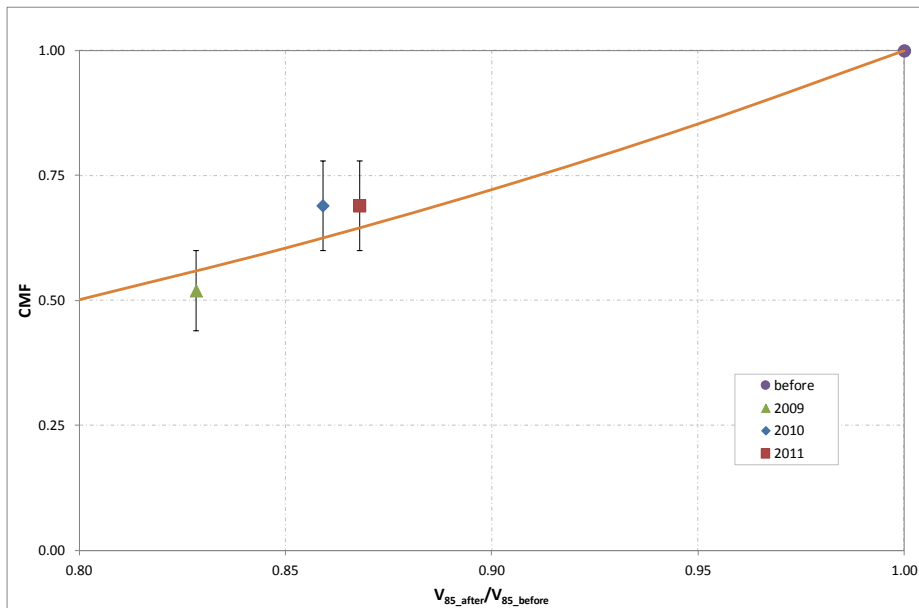


Figura 157 – CMF incidenti mortali e con feriti - velocità operativa.

In conclusione, l'esponente della funzione che lega i fattori di modificazione degli incidenti al rapporto tra la velocità dopo e prima dell'implementazione della contromisura sono:

Tabella 71 - Esponente α (Eq. 48).

	V_{m_after}/V_{m_before}	$Dev.st(V_{after})/Dev.st(V_{before})$	$V_{85_after}/V_{85_before}$
Incidenti totali	3.84 ($R^2=0.98$)	1.03 ($R^2=0.95$)	2.43 ($R^2=0.99$)
Danni materiali	2.30 ($R^2=0.19$)	0.67 ($R^2=0.47$)	1.19 ($R^2=0.31$)
Mortali e con feriti	4.68 ($R^2=0.97$)	1.24 ($R^2=0.81$)	3.10 ($R^2=0.98$)

6.4.4 CMF – curvatura

È stato indagato, inoltre, il legame tra i fattori di modificazione degli incidenti e la curvatura degli elementi geometrici nelle tratte Tutor e Spillover (Figura 158, Figura 159).

Nelle tratte Tutor la relazione è:

$$CMF_{inc_totali} = 0.75 \times e^{\frac{0.14}{R}} \quad (58)$$

dove:

- CMF_{inc_totali} è il fattore di modificazione degli incidenti totali;
- R è il raggio medio della classe di curvatura considerata [1/km].

Il coefficiente di correlazione R^2 è pari a 0.52.

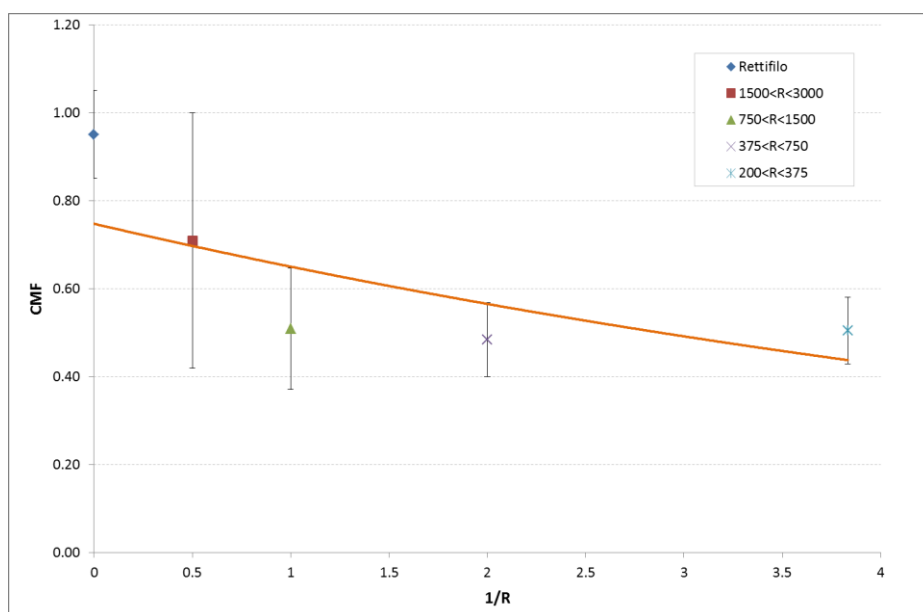


Figura 158 – CMF incidenti totali nelle tratte Tutor - curvatura.

Dal grafico si evince che all'aumentare del raggio di curvatura, il fattore di modificazione degli incidenti aumenta, quindi il sistema Safety Tutor risulta meno efficace nella riduzione degli incidenti. Inoltre nel caso di rettifili e curve con ampio raggio ($1500 < R < 3000$) la riduzione di incidenti stimata non è significativa.

Nelle tratte Spillover la relazione è:

$$CMF_{inc_totali} = 0.89 \times e^{\frac{-0.10}{R}} \quad (59)$$

dove:

- CMF_{inc_totali} è il fattore di modificazione degli incidenti totali;
- R è il raggio medio della classe di curvatura considerata[1/km].

Il coefficiente di correlazione R^2 è pari a 0.82.

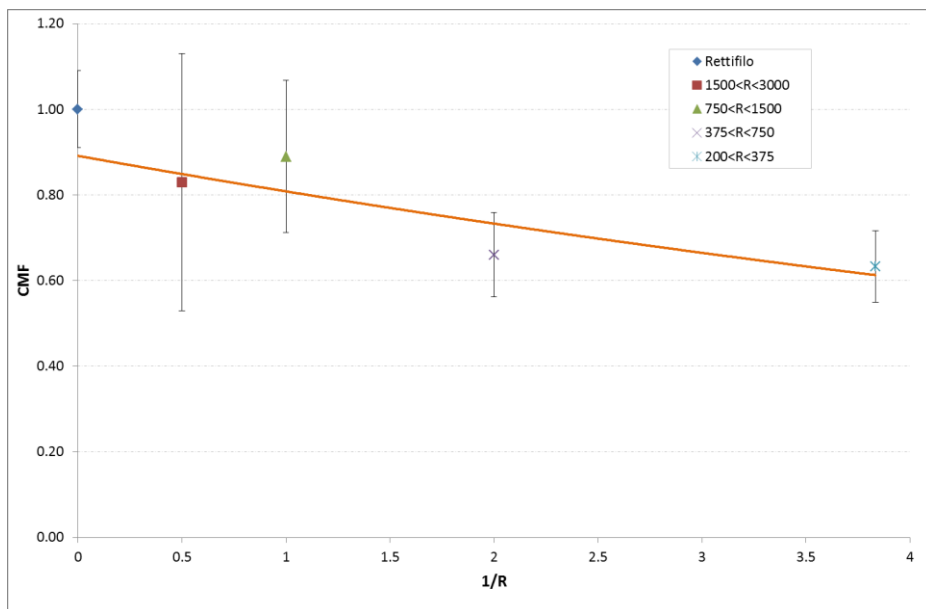


Figura 159 – CMF incidenti totali nelle tratte Spillover - curvatura.

7 Conclusioni

La gestione dei dati di incidente è fondamentale per una corretta gestione della sicurezza stradale in quanto la disponibilità e la qualità dei dati influenzano le decisioni per l'allocazione delle risorse per la messa in sicurezza delle infrastrutture. A tal proposito è necessaria la disponibilità di una banca dati degli incidenti stradali completa, accurata, affidabile e aggiornata, così come previsto dalla Direttiva 2008/96/CE del Parlamento Europeo sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali. Tuttavia l'Italia è ancora lontana dalle migliori pratiche internazionali ed è indietro rispetto alle procedure comuni dei Paesi Europei. La banca dati nazionale gestita dall'ISTAT, nonostante abbia subito continui aggiornamenti nel tempo, non consente di attuare una corretta politica di gestione della sicurezza. Nell'ambito dell'attività di ricerca, è stata progettata e realizzata una nuova banca dati, contenente circa 5'350 incidenti. A differenza della banca dati ISTAT, la banca dati realizzata contiene tutti gli incidenti verificatisi sulle autostrade A16 (Napoli – Canosa) ed A56 (Tangenziale di Napoli), anche quelli con soli danni materiali, e presenta un maggior numero di informazioni relative alle caratteristiche dell'incidente, della strada, dei veicoli e delle persone coinvolte. Tutti i dati d'incidente registrati sono collegati anche alla banca dati geometrici ed ai volumi di traffico. La banca dati così realizzata ha consentito valutazioni di sicurezza più affidabili e allo stesso tempo fornisce numerose proposte di miglioramento per la banca dati nazionale.

Altro aspetto importante per il miglioramento della gestione della sicurezza stradale è la disponibilità di metodi che forniscono stime affidabili del livello di sicurezza associato con le strade esistenti o i progetti di miglioramento proposti. Solo una corretta stima degli effetti degli interventi può consentire procedure di ottimizzazione per la migliore allocazione delle risorse per la messa in sicurezza delle infrastrutture esistenti e per effettuare scelte razionali in fase di progettazione. Le analisi before – after eseguite con il semplice confronto tra i dati d'incidente prima e dopo l'intervento producono stime errate in quanto parte dei cambiamenti osservati possono essere dovuti a modifiche dei volumi di traffico, modifiche del trend dell'incidentalità ed alla regressione alla media.

Per superare queste limitazioni sono state eseguite analisi before – after con l'applicazione del metodo empirico Bayesiano, riconosciuto a livello internazionale come il più efficace per la valutazione degli interventi. Il metodo empirico Bayesiano consente di rimuovere gli errori dovuti alla regressione alla media, di tener conto dei cambiamenti nel tempo non dovuti all'intervento oggetto di

valutazione, di ridurre il livello di incertezza nella stima di efficacia degli interventi e di valutare l'intervallo di confidenza delle stime.

Le analisi di sicurezza eseguite sulla Tangenziale di Napoli hanno mostrato che: (a) il sistema Safety Tutor è efficace in termini di riduzione della velocità; (b) il sistema Safety Tutor è efficace in termini di riduzione dell'incidentalità; (c) la riduzione dell'incidentalità è legata alla riduzione della velocità; (d) la riduzione dell'incidentalità è legata alla geometria del tracciato.

Relativamente alla velocità di percorrenza, la maggiore riduzione si registra per la deviazione standard della velocità (31% vs. 14% per V_{85} e 9% per V_m). Relativamente ai veicoli leggeri l'efficacia del Tutor in termini di riduzione della velocità si riduce nel tempo, mentre per i veicoli pesanti aumenta nel tempo. Ciò significa che i veicoli leggeri hanno risentito subito della presenza del Tutor e poi si sono adattati al sistema, mentre i veicoli pesanti hanno percepito dopo la presenza del sistema di controllo delle velocità.

Il sistema Tutor è efficace anche in termini di riduzione del superamento dei limiti di velocità. Per i veicoli leggeri, tale efficacia aumenta nel caso dei veicoli che superano di più di 20 km/h il limite di velocità (85.8% vs. 65.6% nel 2009; 83.5% vs. 51.2% nel 2010; 84.0% vs. 44.8% nel 2011). Per i veicoli pesanti, l'efficacia è minore ed aumenta nel tempo.

Relativamente all'incidentalità, la riduzione del numero di incidenti totali nelle tratte Tutor è statisticamente significativa ed è stata stimata pari al 32%. Il sistema Tutor è più efficace nella riduzione degli incidenti più gravi (-37% per incidenti con morti e feriti vs. -22% per incidenti con soli danni materiali) e nella riduzione degli incidenti a veicolo isolato (-44%). Il sistema Safety Tutor è più efficace in curva che in rettilineo (-48% vs. -5%). Le condizioni di illuminazione non influenzano significativamente l'efficacia del sistema. Le condizioni atmosferiche influenzano significativamente l'efficacia del sistema; infatti la riduzione degli incidenti in presenza di pioggia è del 57% mentre in assenza di pioggia del 30%. Tale risultato si riscontra anche con riferimento allo stato della pavimentazione (-51% su strada bagnata vs. -29% su strada asciutta). L'effetto del sistema Safety Tutor si risente anche nelle tratte non coperte da Tutor, dove la riduzione degli incidenti totali è pari al 21% contro il 32% delle tratte Tutor. L'efficacia del sistema, diminuisce nel tempo passando da una riduzione degli incidenti totali del 37% nel primo anno dopo l'attivazione del sistema al 28% nell'ultimo anno analizzato. Ciò fa pensare ad un effetto di adattamento del comportamento di guida al sistema. Nelle tratte Spillover, l'effetto di adattamento è più sentito passando da una riduzione degli incidenti totali del 25% nel primo anno dopo l'attivazione del sistema all'8% nell'ultimo anno analizzato.

La riduzione dell'incidentalità prodotta dall'installazione del sistema Safety Tutor è strettamente legata alla riduzione della velocità di percorrenza dei veicoli. Il legame tra i fattori di modificazione degli incidenti e la riduzione della velocità media è espresso da una funzione potenza con esponente pari a 3.84 per gli incidenti totali, 2.30 per gli incidenti con soli danni materiali e 4.68 per gli incidenti mortali e con feriti. Il legame tra i fattori di modificazione degli incidenti e la riduzione della deviazione standard della velocità è espresso da una funzione potenza con esponente pari a 1.03 per gli incidenti totali, 0.67 per gli incidenti con soli danni materiali e 1.24 per gli incidenti mortali e con feriti. Nel caso della velocità operativa l'esponente della funzione potenza assume i valori 2.43 per gli incidenti totali, 1.19 per gli incidenti con soli danni materiali e 3.10 per gli incidenti mortali e con feriti.

Le funzioni di modificazione degli incidenti calibrate mostrano che al diminuire della velocità aumenta l'efficacia del sistema. In particolare, per una riduzione della velocità media del 15% si ha una riduzione degli incidenti totali del 45%. Tale riduzione aumenta al 55% nel caso di incidenti mortali e con feriti.

La riduzione dell'incidentalità è legata anche alla curvatura degli elementi geometrici. All'aumentare del raggio di curvatura, la riduzione degli incidenti diminuisce e tale riduzione non è statisticamente significativa.

L'attività di ricerca svolta ha contribuito, pertanto, alla calibrazione di fattori e funzioni di modificazione degli incidenti riferiti alle condizioni locali italiane, che possono essere utilizzati dagli Enti gestori di strade come strumenti di supporto alle decisioni per la gestione della sicurezza stradale e per la scelta degli interventi più convenienti.

I risultati ottenuti sono risultati importanti e congruenti con lo stato dell'arte ma vanno integrati per ottenere nuove informazioni.

Altri aspetti importanti da studiare saranno le velocità di percorrenza nelle tratte Spillover e l'efficacia del sistema Tutor su autostrade extraurbane e strade statali, perché molti Enti gestori di strade sono interessati all'applicazione del sistema Tutor fuori dall'ambito autostradale.

Dal punto di vista metodologico è possibile testare nuovi metodi che si stanno affermando come le analisi before – after con il metodo Bayesiano completo per la valutazione di efficacia degli interventi di miglioramento della sicurezza.

Bibliografia

- Aarts L., Schagen I.(2006). Driving speed and the risk of road crashes: A review. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 38, pp. 215–224.
- AASHTO (2010). Highway Safety Manual.
- Abuzwidah M., Abdel-Aty M.A., Ahmed M.M. (2014). Safety Evaluation of Hybrid Mainline Toll Plazas. 93rd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- AIPCR, Associazione Mondiale Della Strada. (2010). Infrastrutture stradali più sicure fase 1: i criteri. XXVI Convegno Nazionale Stradale.
- AISCAT, Associazione Italiana Società Concessionarie Autostrade e Trafori. (2013). <http://www.aiscat.it>
- Akaike H. (1987). Factor Analysis and AIC. *Psychometrika*, Vol. 52, pp. 317–332.
- ANCI-UPI. (2010). La Sicurezza Stradale: Dal Quadro Europeo E Nazionale Alle Buone Pratiche Locali. Osservatorio Nazionale delle Autonomie Locali sulla Sicurezza Stradale ANCI-UPI.
- Anderson I.B., Bauer K.M., Harwood D.W., Fritzpatrick L. (1999). Relationship to Safety of Geometric Design Consistency Measures for Rural Two-Lane Highways. *Journal of the Transportation Research Board* No.1658, pp.43-51.
- Andreassen D. (2001). DCA 2000 Defining Crash Attributes – A system for categorization of traffic crashes. *Data Capture and Analysis*.
- Andreassen D. (1994). Model guidelines for road accident data and accident-types, version 2.1. ARRB Technical Manual ATM29, Sydney, New South Wales, Australia.
- Andreassen D. (1991). Model guidelines for road accident data and accident-types, version 1.1. ARRB Technical Manual ATM29, Sydney, New South Wales, Australia.
- Angelastro M., McFadden J., Mehta Y., Smith S. (2012). Evaluation of Sight Distance and Crash Frequency at Roundabouts in the United States. 91st Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Atashafrazeh M., Yadollahi M.M. (2013). Geometric design consistency model based on speed and safety in rural highways in some European countries: a review. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research* Vol. 2 (2).
- Austrroads (2010). Road Safety Engineering Risk Assessment Part 3: Review of Best Practice in Road Crash Database and Analysis System Design. Austrroads Report AP-T148/10, Sydney, New South Wales, Australia.
- Austrroads (2009). Guide to Road Safety PART 8: Treatment of Crash Locations.

- Austrroads (2004). Guide to Road Safety PART 8: Treatment of Crash Locations.
- Austrroads (1997). A minimum common dataset for the reporting of crashes on Australian roads. Austrroads Report AP-126/97, Sydney, New South Wales, Australia.
- Awatta M., Hassan Y., Sayed T. (2006). Quantitative evaluation of highway safety performance based on design consistency. *Advances in Transportation Studies: an international Journal* A9, pp.29-44.
- Bjørnskau T. (2011). The car is monitoring your behaviour. *Nordic Road and Transport Research*, Vol. 1/2011, p. 8.
- Bornheimer C., Schrock S., Wang M., Lubliner H. (2012). Developing a regional safety performance function for rural two-lane highways. 91st Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Brenac R. (1996). Safety at Curves and Road Geometry Standards in Some European Countries. *Journal of the Transportation Research Board* No. 1523, pp. 99–106.
- Cafiso S., D'Agostino C. (2014). Investigating Influence on Safety of Retrofitting Italian Motorways with Barriers Meeting New European Union Standard. 93rd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Cafiso S., D'Agostino C., Persaud B. (2013). Investigating the influence of segmentation in estimating safety performance functions for roadway sections. 92nd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Cafiso S., Di Graziano A., Di Silvestro G., La Cava G., Persaud B. (2010). Development of comprehensive accident models for two-lane rural highways using exposure, geometry, consistency and context variables. *Accident Analysis and Prevention* No. 42, pp.1072-1079.
- Cafiso S., Di Graziano A., Di Silvestro G., La Cava G. (2008). Safety Performance Indicators for Local Rural Roads: A Comprehensive Procedure from Low Cost Data Survey to Accident Prediction Model. 87rd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Caliendo C., Guida M., Parisi A. (2007). A crash-prediction model for multilane roads. *Accident Analysis and Prevention* No. 39, pp. 657-670.
- Camacho-Torregrosa F.J., Pérez-Zuriaga A.M., Campoy-Ungría J.M., García-García A. (2013). New geometric design consistency model based on operating speed profiles for road safety evaluation. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 61, pp. 33 - 42.

- Carter D., Srinivasan R., Gross F., Brustlin V.H. (2012). NCHRP 20-7(314) Final Report - Recommended Protocols for Developing Crash Modification Factors.
- Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n.3699 dell' 8 giugno 2001. Linee guida per le analisi di sicurezza delle strade.
- Chen E., Qi Y., Lu Y. (2014). Safety Impacts of Using Short Left-Turn Lanes at Unsignalized Median Openings. 93rd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Chen E., Tarko A. (2014). Modeling Safety of Highway Work Zones with Random Parameter and Random Effect Models. 93rd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Chen H. (2014). Comprehensive Safety Performance Evaluations of Widely Spaced Diverging Areas, Closely Spaced Diverging Areas, Left-Side Diverging Areas, and Freeway Exit Ramps. 93rd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Chngye P., Ranjitkar P. (2103). Modeling traffic accidents on Auckland motorway. 92nd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Decreto Legislativo n. 55 del 15 marzo 2011. Attuazione della direttiva 2008/96/EC sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture. Gazzetta ufficiale n.8 del 8/04/2011.
- Decreto Legislativo n. 285 del 30 aprile 1992. Nuovo codice della strada. Gazzetta ufficiale n.114 del 18-5-1992 - Suppl. Ordinario n. 74
- De Meester D. (2011). Recommendation for a Common Accident Data Set, Reference Guide, Version 3.11.
- de Oña J., Garach L. (2012). Accidents Prediction Model based on Speed Reduction on Spanish Two-Lane Rural Highway. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 53, pp. 1011 – 1019.
- de Oña J., Garach L., Calvo F., García-Muñoz T. (2013). Relationship of predicted speed reduction on horizontal curves and safety in two-lane rural roads in Spain. *Journal of Transportation Engineering. (ASCE)*TE.1943-5436.0000624
- De Pauw E., Thierie M., Daniels S., Brijs T., Wets G. (2012). Safety Effects of Restricting the Speed Limit from 90 to 70 km/h. 91st Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- DfT, Department for Transport (2012). Road safety statistics: notes and definitions. www.dft.gov.uk/statistics/series/road-accidents-and-safety/
- Direttiva 2008/96/EC del Parlamento Europeo del Consiglio del 19 novembre 2008 sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea del 29/11/2008.

- Dixon K., Zheng J.(2014). Safety Performance for Roundabout Applications in Oregon. 93rd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- El-Basyouny K., Barua S., Islam T., Li R. (2014). Assessing the Effect of Weather States on Crash Severity and Types Using Full Bayesian Multivariate Safety Models. 93rd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Elvik R. (2005). Speed and Road Safety: Synthesis of Evidence from Evaluation Studies. Journal of Transportation Research Board, No. 1908, pp. 59–69.
- Elvik R., Christensen P., Amundsen A. (2004). Speed and road accidents: an evaluation of the Power Model. TØI report 740/2004.
- ETSC, European Transport Safety Council (2011). 2010 Road Safety Target Outcome: 100,000 fewer deaths since 2001. 5th Road Safety PIN Report.
- Falconetti N. (2012). Sviluppo di un modello di previsione dell'incidentalità stradale nel contesto italiano. Tesi di dottorato in Ingegneria delle infrastrutture, strutture e sistemi di trasporto – Ciclo XXIV – Università di Trieste.
- Fawaz A., Savolainen P.T., Gates T.J. (2014). Comparison of Safety Performance of Single- and Multilane Roundabouts. 93rd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- FHWA (2013). Introduction to Crash Modification Factors. Publication FHWA-SA-13-015; <http://safety.fhwa.dot.gov/tools/crf/resources/cmfs/index.cfm>.
- FHWA (2012). HSIS Highway Safety Information System. <http://www.hsisinfo.org/>
- Findley D.J., Hummer J.E., Rasdorf W., Zegeer C.V., Fowler T.J. (2012). Modeling the impact of spatial relationships on horizontal curve safety. Accident Analysis and Prevention Vol.45, pp. 296-304.
- Gross F. (2013). Case – Control Analysis in Highway Safety: Accounting for Sites with Multiple Crashes. Accident Analysis and Prevention Vol.61, pp. 87-96.
- Gross F., Donnell, E.T. (2011). Case – control and cross – sectional methods for estimating crash modification factors: Comparisons from roadway lighting and lane and shoulder width safety effects study. Journal of Safety Research, Vol. 42 pp. 117-129.
- Gross F., Persaud B., Lyon C. (2010). A Guide to Developing Quality Crash Modification Factors. Report FHWA-SA-10-032, Washington, D.C.
- Harkey D., Srinivasan R., Baek J., Hill C., Council F., Eccles K., Lefler N., Gross F., Persaud B., Lyon C., Hauer E., Bonneson A.A. (2008). NCHRP REPORT 617 - Accident Modification Factors for Traffic Engineering and ITS Improvements.

- Hauer E., Bonneson J., Council F.M., Srinivasan R., Zegee C.V. (2012). Crash Modification Factors: Foundational Issues. - Journal of the Transportation Research Board No.2279, pp. 67-74.
- Hauer E. (2009). Speed and safety. Journal of Transportation Research Board No. 2103, pp. 10-17.
- Hauer E. (2004). Statistical Road Safety Modeling. Journal of Transportation Research Board No. 1897, pp.81–87.
- Hauer E., Harwood D. W., Council F. M., Griffith M. S. (2002). Estimating Safety by the Empirical Bayes Method: A Tutorial. Journal of Transportation Research Board No. 1784, pp.126–131.
- Hauer E. (1997). Observational Before-After Studies in Road Safety: Estimating the Effect of Highway and Traffic Engineering Measures on Road Safety. Pergamon Press, Elsevier Science Ltd., Oxford.
- Hauer E., Bamfo J. (1997). Two Tools for Finding What Function Links the Dependent Variable to Explanatory Variables. Proc., ICTCT 97, Lund, Sweden, pp. 1–7.
- Hawkins H.G., Kuo P., Lord D. (2014). Statistical Analysis of the Traffic Safety Impacts of On-Premise Digital Signs. 93rd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- IRTAD, International Traffic Safety Data and Analysis Group (2012). Road Safety Annual Report 2011. Paris, France.
- IRTAD, International Traffic Safety Data and Analysis Group (2012). Reporting on Serious Road Traffic Casualties: combining and using different data sources to improve understanding of non-fatal road traffic crashes. Paris, France.
- ISTAT. (2013). <http://www.istat.it/it/>
- Kim D., Kim D.K., Lee C. (2013). Safety Performance Functions Reflecting Categorical Impact of Exposure Variables for Freeways. 92nd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Lamm R., Psarianos B., Cafiso S. (2002). Safety Evaluation Process of Two-Lane Roads. A 10-Year Review. Journal of the Transportation Research Board No.1796, pp. 51-59.
- Lamm R., Psarianos B., Mailaender T., Choueiri E.M., Heger R., Steyer R. (1999). Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook. McGraw-Hill, New York.
- Lamm R., Guenther A.K., Choueiri E. (1995). Safety module for highway geometric design. Journal of Transportation Research Board, No. 1512, pp. 7-15.
- Li H., Graham D.J., Majumdar A. (2014). Effects of Changes in Road Network Characteristics on Road Casualties: Application of Full Bayes Models Using

- Panel Data. 93rd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Li Z., Kepaptsoglou K., Lee Y., Patel H., Liu Y., Kim H. (2013). Safety Effects of Shoulder Paving for Rural and Urban Interstate, Multilane, and Two-Lane Highways. *Journal of Transportation Engineering* Vol.139(10), pp. 1010–1019.
- Liu C., Chen C.L. (2009). An Analysis of Speeding-Related Crashes: Definitions and the Effects of Road Environments. Report No. DOT HS 811 090.
- Lord D., Mannering, F. (2010). The statistical analysis of crash frequency data: A review and assessment of methodological alternatives. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* Vol. 44 pp. 291–305.
- Lynch M., White M., Napier R. (2011). Investigation into the use of point-to-point speed cameras. NZ Transport Agency Research Report No. 465.
- Lyon C., Persaud B., Lefler N., Carter D., Eccles K. (2008). Safety evaluation of installing center two-way left-turn lane on two-lane roads. 87th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Lyon C., Persaud B. (2008). Safety effects of a targeted skid resistance improvement program. 87th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Mannering F.L., Bhat C.R. (2013). Analytic methods in accident research: Methodological frontier and future directions. *Analytic Methods in Accident Research*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.amar.2013.09.001>
- Mauriello F. (2010). Misure percettive per il miglioramento della sicurezza stradale: sperimentazione con il simulatore di guida VERA. Tesi di dottorato in Ingegneria dei sistemi idraulici, di trasporto e territoriali – Ciclo XXIII – Università di Napoli.
- Mehta G., Lou Y. (2013). Safety performance function calibration and development for the state of Alabama: two – lane two way rural roads and four – lane divided highway. 92nd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Miaou S.P., Lu A., Lum H.S. (1996). Pitfalls of Using R^2 to Evaluate Goodness of Fit of Accident Prediction Models. *Journal of Transportation Research Board*, No. 1542, pp. 6–13.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. (2012). Linee Guida per la gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali. Allegato al D.M. previsto dall'articolo 8 del D.L. n.35/2011.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Piano Nazionale della Sicurezza Stradale – Secondo programma di attuazione 2003.

- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Piano Nazionale della Sicurezza Stradale – Programma di attuazione 2002.
- Mohammadi M., Samaranayake V. A., Bham G.H. (2014). Safety Effect of Missouri's Strategic Highway Safety Plan: Missouri's Blueprint for Safer Roadways. 93rd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Montella A., Pariota L., Galante F., Imbriani L.L., Mauriello F. (2014). Prediction of Drivers' Speed Behaviour on Rural Motorways Based on an Instrumented Vehicle Study. *Journal of Transportation Research Board* (in press).
- Montella A., Andreassen D., Tarko A., Turner S., Mauriello F., Imbriani L. L., Romero M. (2013). Crash Databases in Australasia, European Union, and United States: Review and Prospects for Improvement. *Journal of Transportation Research Board*, No. 2386, pp. 128-136.
- Montella A., Andreassen D., Tarko A., Turner S., Mauriello F., Imbriani L. L., Singh R. (2012). Critical Review of the International Crash Databases and Proposals for Improvement of the Italian National Database. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 53, pp. 49-61.
- Montella A., Persaud B., D'Apuzzo M., Imbriani L.L. (2012). Safety Evaluation of an Automated Section Speed Enforcement System. *Journal of Transportation Research Board*, No. 2281, pp. 16-25.
- Montella A., Punzo V., Montanino M. (2012). Analysis of Drivers' Compliance to Speed Limits Enforced with an Automated Section Speed Enforcement System. 91st Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Montella A. (2009). Safety Evaluation of Curve Delineation Improvements: Empirical Bayes Observational Before-and-After Study. *Journal of Transportation Research Board*, No. 2103, pp. 69-79.
- Montella A., Colantuoni L., Lamberti, R. (2008). Crash Prediction Models for Rural Motorways. *Transportation Research Record*, No. 2083, pp. 180-189.
- NHTSA (2012). MMUCC Guideline, Model Minimum Uniform Crash Criteria, Fourth Edition. Report DOT HS 811 631, US Department of Transportation, Washington, D.C.
- NHTSA (2011). Traffic Safety Facts 2009: Speeding. Report DOT HS 811 397, U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, Washington, D.C.
- NHTSA (2010). Fatality Analysis Reporting System (FARS) - Coding and Validation Manual. National Highway Traffic Safety Administration, US Department of Transportation, DOT HS 811 530, <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/Pubs/811530.pdf>

- Ng J.C.W., Sayed T. (2004). Effect of geometric design consistency on road safety. Canadian Journal of Civil Engineering Vol. 31(2), pp. 218 - 227.
- Olde Karter M.J.T., van Beek P., Stemerding M. P., Havermans P.F. (2005). Reducing speed limits on highways: Dutch experiences and impact on air pollution, noise-level, traffic safety and traffic flow. Proceedings of the ETC Conference Strassbourg, Strassbourg.
- Park B.J., Fitzpatrick K., Brewer M. (2012). Safety Effectiveness of Super 2 Highways in Texas. Journal of Transportation Research Board, No. 2280, pp. 38 – 50.
- Patel R. B., Council L., Griffith F.M. (2007). Estimating the Safety Benefits Of Shoulder Rumble Strips on Two Lane Rural Highways in Minnesota: An Empirical Bayes Observational Before-After Study. – 86th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Peng Y., Geedipally, S.R., Lord D. (2012). Investigating Effect of Roadside Features on Single-Vehicle Roadway Departure Crashes on Rural Two-Lane Roads. 91st Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Persaud B., Gross F., Srinivasan R. (2012). Evaluation of two treatments for reducing crashes related to traffic signal change intervals. Journal of Transportation Research Board, No. 2298, pp. 38 – 45.
- Persaud B., Lyon C. (2007). Empirical Bayes Before–After Safety Studies: Lessons Learned from Two Decades of Experience and Future Directions. Accident Analysis and Prevention Vol. 39, pp. 546–555.
- Potts I., Bauer K.M., Torbic D.J., and Ringert J. F.(2013). Safety of Channelized Right-Turn Lanes for Motor Vehicles and Pedestrians. 92nd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Pulugurtha S.S., Nujjetty A.P. (2012). Assessment of Models to Estimate Crashes at Intersections: With and Without Using Traffic Volume. 91st Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Qin X., Zhi C., Vachal K. (2013). Calibration of Highway Safety Manual Predictive Methods for Rural Local Roads. 93rd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Qin X., Bill A., Chitturei M., Noyce D.A. (2013). Evaluation of Roundabout Safety. 92nd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Richard K.R., Srinivasan R. (2011). Separating Safety Effects of Multiple Improvements By Alternate Empirical Bayes Methods. 90th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.

- Russo F., Biancardo. S.A. (2013). Gender Gaps in Crash Data: Statistical Look at Gender and Age Differences as Related to Crash Frequencies. 92nd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Sacchi E., Bassani M. Persaud B. (2011). Comparison Of Safety Performance Models For Urban Roundabouts In Italy And Other Countries. 90th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Saha P., Young R.K. (2014). Weather-Based Safety Analysis for Effectiveness of Rural Variable Speed Limit Corridors. 93rd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- SAS Institute (2002). Version 9 of the SAS System for Windows. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Savolainen P.T., Lord D., Quddus M.A., Mannering F. (2011). The statistical analysis of highway crash – injury severities: A review and assessment of methodological alternatives. *Accident Analysis and Prevention* Vol. 43, pp. 1666-1676.
- Sayed T., deLeur P., Pump J. (2010). Impact of Rumble Strips on Collision Reduction on Highways in British Columbia, Canada Comprehensive Before-and-After Safety Study. *Journal of Transportation Research Record*, No. 2148, pp. 9 – 15.
- Schultz G. G., Dowell A., Roundy R., Saito M., Reese C.S. (2014). Evaluating Safety Effects of Signal Improvements. 93rd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Schwarz G. (1978). Estimating the dimension of a model. *Annals of Statistics*, Vol. 6, pp. 461–464.
- Shen J., Rodriguez A., Gan A. (2004). Development and Application of Crash Reduction Factors: State-of-the-Practice Review of State Departments of Transportation. 83th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Soole D.W., Watson B.C., Fleiter J.J. (2013). Effects of average speed enforcement on speed compliance and crashes: A review of the literature. *Accident Analysis and Prevention* Vol. 54, pp. 46-56.
- Srinivasan R., Carter D., Persaud B., Eccles K., Lyon C. (2008). Safety Evaluation Of Flashing Beacons At Stop-Controlled Intersections. 87th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Srinivasan R., Lyon C., Persaud B., Baek J., Gross F., Smith S., Sundstrom C. (2012). Crash Modification Factors For Changing Left Turn Phasing. 91st Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.

- Stefan C. (2006). Section control - automatic speed enforcement in the Kaisermühlen tunnel (Vienna, A22 Motorway). Austrian Road Safety Board (KvF), Vienna.
- Sun X., Das S., Zhang Z., Wang F., Leboeuf C., Rasel S. (2014). Investigating Safety Impact of Edge Line on Narrow Rural Two-Lane Highways by Empirical Bayes Method. 93rd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Tarko A. P., Azam S. M., Thomaz J., Romero M. (2012). Identifying Traffic Safety Needs – A Systematic Approach: Research Report and User Manual. Publication FHWA-IN-JTRP-2012-02. Joint Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation and Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- Torbic D. J., Harwood D. W., Gilmore D. K., Pferer R., Neuman T. R., Slack K. L., Hardy K. K. (2004). NCHRP Report 500: Guidance for Implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan. Volume 7: A Guide for Reducing Collisions on Horizontal Curves. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.
- Turner S., Singh R., Nates G. (2012). The next generation of rural road crash prediction models: final report. NZ Transport Agency Research Report 509.
- Uhm T. (2012). Comparing Statistical Methods for Analyzing Crash Frequencies. 91st Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Wang J., Abdel – Aty M.A. (2014). Comparison of Safety Evaluation Approaches for Intersection Signalization in Florida. 93rd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Washington S., Persaud, B., Lyon C., Oh H. (2005). Validation of Accident Models for Intersections, Federal Highway Administration.
- Weller G., Schlag B., Gatti G., Jorna R., van de Leur M. (2006). Human Factors in Road Design. State of the art and empirical evidence. RIPCORDEREST web <http://www.cmfclearinghouse.org/> Crash Modification Factors Clearinghouse.
- WHO, World Health Organization, (2010). Data systems: a road safety manual for decision-makers and practitioners. Paris.
- WHO, World Health Organization, (2004). World report on road traffic injury prevention. Ginevra
- Wilkie S., Tate F. (2003). Safety Audit of Existing Roads: Developing a Less Subjective Assessment. Transfund New Zealand Report n. OG/0306/24S. New Zealand.
- Xu J., Kockelman K.M., Wang Y. (2014). Modeling crash and fatality counts along mainlanes and frontage roads across Texas: the roles of design, the built

- environment, and weather. 93rd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Zhang X., Liu P., Wang W., Bai Lu., Chen Y. (2013). Modeling the Frequency of Traffic Conflicts at Signalized Intersections using Generalized Linear Regression Models. 92nd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Zeng H., Fontaine M.D., Smith B.L. (2014). Estimation of Safety Effect of Pavement Condition on Rural Two-Lane Highways. 93rd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Zeng H., Schrock S.D. (2013). Safety effectiveness of various type of shoulders on rural two – lane roads in winter and non – winter periods. 92nd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
- Zeng H., Schrock S.D. (2012). Estimation of Safety Effectiveness of Composite Shoulders on Rural Two-Lane Highways. Journal of Transportation Research Board, No. 22279, pp. 99-107.