

Università degli Studi di Bologna

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

DISTART

Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, dei Trasporti,
delle Acque, del Rilevamento e del Territorio

**TECNICHE NUMERICHE DI STUDIO DELLA
SICUREZZA STRADALE: IL CASO DELLA
PROVINCIA DI BOLOGNA**

**TESI DI DOTTORATO DI RICERCA IN INGEGNERIA DEI
TRASPORTI – SETTORE SCIENTIFICO-DISCIPLINARE ICAR/04
XXI CICLO**

Tesi di Dottorato di:

Dott. Ing. RAFFAELE SPILLA

I Tutor:

Chiar.mo Prof. Ing. GIULIO DONDI

Prof. Ing. ANDREA SIMONE

Il Coordinatore:

Chiar.mo Prof. Ing. MARINO LUPI

Anno Accademico 2008 – 2009

Parole Chiave:

Sicurezza stradale

Analisi del rischio

Modello Previsionale

Incidente

INDICE

<i>Prefazione</i>	1
CAPITOLO 1: <i>L'incidentalità, dimensioni del fenomeno</i>	3
1.1 INCIDENTI STRADALI: CONTESTO EUROPEO	4
1.2 DIRETTIVA EUROPEA SULLA SICUREZZA DELLE INFRASTRUTTURE STRADALI.....	9
1.3 INCIDENTI STRADALI: CONTESTO ITALIANO.....	13
1.4 INCIDENTI STRADALI: LA PROVINCIA DI BOLOGNA.....	26
1.4.1 <i>Evoluzione storica dell'incidentalità</i>	26
1.4.2 <i>Le dimensioni di base</i>	31
1.4.3 <i>Vittime e Rischio</i>	34
1.4.4 <i>Spostamenti e Vulnerabilità</i>	39
1.4.5 <i>Localizzazione dei sinistri</i>	40
CAPITOLO 2: <i>Modelli per l'analisi della sicurezza stradale</i>	43
2.1 MODELLI E DATI PER L'ANALISI DELLA SICUREZZA STRADALE.....	46
2.1.1 <i>Dati d'incidentalità e i parametri per la valutazione della sicurezza</i>	46
2.1.2 <i>Il rischio e la sua valutazione</i>	51
2.2 ANALISI DELLA SICUREZZA STRADALE: UN APPROCCIO DESCRITTIVO	54
2.2.1 <i>Parametri indicatori della sicurezza stradale</i>	58
2.2.2 <i>Problemi di interpretazione ed attendibilità dei risultati</i>	63
2.3 MODELLI ESISTENTI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO	68
2.3.1 <i>Modello matematico-statistico</i>	70
2.3.2 <i>Modello deterministico</i>	73
2.3.3 <i>Modello causa/effetto</i>	74
2.4 ESEMPIO APPLICATIVO	80
CAPITOLO 3: <i>Il modello IHSDM</i>	84
3.1 INTRODUZIONE.....	85
3.1.1 <i>Stime da dati incidentali pregressi</i>	85
3.1.2 <i>Stime da modelli basati su analisi di regressione dei dati incidentali</i>	86
3.1.3 <i>Stime da analisi Before-After</i>	88
3.1.4 <i>Stime da giudizi di esperti</i>	89
3.1.5 <i>Un nuovo approccio</i>	89

3.2	CENNI SULL'ALGORITMO DI PREVISIONE INCIDENTALE	91
3.2.1	Algoritmi di previsione incidentale	91
3.2.2	Stima della severità e della tipologia incidentale.....	93
3.2.3	Aspetti positivi e negativi dell'algoritmo.....	94
3.3	MODELLO DI BASE PER SEGMENTI STRADALI	97
3.3.1	Procedura di calibrazione	99
3.4	I FATTORI DI MODIFICA DEGLI INCIDENTI	100
3.4.1	Larghezza corsia.....	102
3.4.2	Larghezza e tipologia di banchina	103
3.4.3	Curve orizzontali (lunghezza, raggio, presenza o assenza di curve di transizione).....	105
3.4.4	Pendenza longitudinale	108
3.4.5	Densità degli accessi	109
3.4.6	Corsie di sorpasso	109
3.4.7	Corsia preferenziale per la svolta a sinistra	110
3.4.8	Caratteristiche delle condizioni ai margini.....	110
3.5	ANALISI DI SENSIBILITA'	116
3.5.1	Condizioni di base o nominali.....	116
3.5.2	Larghezza della corsia.....	117
3.5.3	Tipo e larghezza della banchina laterale	117
3.5.4	Curve orizzontali	118
3.5.5	Pendenza longitudinale	121
3.5.6	Densità degli accessi	121
3.5.7	Corsia di sorpasso.....	122
3.5.8	Condizioni al contorno.....	123
3.5.9	Combinazioni limite.....	124
3.6	SVILUPPO DELL'ALGORITMO INCIDENTALE NELL' IHSDM	126
3.6.1	Algoritmo incidentale senza dati pregressi sull'incidentalità.....	126
3.6.2	Algoritmo incidentale con dati sull'incidentalità.....	129
CAPITOLO 4: Un sistema informativo nella gestione della sicurezza stradale. Il caso della Provincia di Bologna.		132
4.1	INQUADRAMENTO NORMATIVO	135
4.1.1	Aspetti principali del DM 1/06/2001	135
4.1.2	Relazioni funzionali tra Catasto, Sistema Informativo Territoriale (SIT) e Archivio Nazionale	137

4.2	I SISTEMI INFORMATIVI TERRITORIALI (SIT)	138
4.2.1	<i>I Sistemi Informativi Stradali (SIS)</i>	140
4.3	IL SIS DELLA PROVINCIA DI BOLOGNA	143
4.3.1	<i>Architettura informatica e standard di riferimento</i>	144
4.3.2	<i>Impostazione del sistema GIS</i>	145
4.3.3	<i>Strutturazione del database</i>	149
4.3.4	<i>Il database degli incidenti</i>	162
CAPITOLO 5: <i>Il caso della SP 255 S. Matteo della Decima</i>		166
5.1	CALIBRAZIONE DEL MODELLO IHSDM.....	169
5.1.1	<i>Distribuzione degli incidenti per tipologia e gravità</i>	169
5.1.2	<i>Determinazione del fattore C_r</i>	176
5.2	PROCEDURA DI ANALISI	188
5.2.1	<i>Risultati di previsione incidentale per la SP 255</i>	193
<i>Conclusioni e spunti di ricerca</i>		201
<i>Glossario</i>		202
<i>Bibliografia</i>		206

Prefazione

La presente tesi dottorale scaturisce dall'esperienza maturata nel corso dei tre anni del Dottorato di Ricerca in "Ingegneria dei Trasporti". Il titolo, *"TECNICHE NUMERICHE DI STUDIO DELLA SICUREZZA STRADALE: IL CASO DELLA PROVINCIA DI BOLOGNA"*, illustra il tema trattato e la prospettiva seguita nella scrittura della tesi in parola.

La salute di una comunità si fonda sulla sicurezza dell'ambiente in cui vive e sulla qualità delle relazioni tra i suoi componenti. In questo ambito la mobilità rappresenta uno degli elementi di maggior criticità, sia per la sicurezza delle persone, che per la salute pubblica, che per le conseguenze sull'ambiente che ne derivano.

Negli ultimi anni la mobilità delle persone e delle merci, seguendo una tendenza che dura da molto, è aumentata in misura notevole. La domanda aggiuntiva di trasporto si è rivolta in larga parte alla strada: è aumentato il numero dei veicoli circolanti e la loro percorrenza chilometrica media.

L'aumento della circolazione stradale comporta notevoli aspetti negativi, uno dei quali è connesso agli incidenti stradali.

Ogni giorno 3.000 persone perdono la vita per incidenti stradali. Di questi, cinquecento sono bambini: uno ogni 3 minuti. Gli incidenti stradali sono la prima causa di morte al mondo tra i giovani. Sono questi i numeri con i quali ci dobbiamo confrontare se vogliamo capire appieno la gravità del fenomeno dell'incidentalità sulle strade.

Al fine di mettere in campo le necessarie azioni di prevenzione, è fondamentale analizzare il fenomeno incidentale in tutti i suoi aspetti.

L'Unione Europea ha da tempo indicato come obiettivo prioritario il miglioramento della sicurezza stradale, e nel 2001 ha fissato il traguardo di dimezzare entro il 2010 il numero delle vittime degli incidenti stradali. A tale scopo la Provincia di Bologna ha attuato un piano complessivo di azioni coordinate, tra cui l'istituzione dell'Osservatorio Provinciale sugli Incidenti Stradali e la realizzazione di un vero e proprio Sistema Informativo Stradale (SIS) che, attraverso il monitoraggio e l'analisi degli incidenti sul territorio provinciale fornisce un supporto

informativo alla pianificazione degli interventi per la sicurezza stradale e una valutazione costante della loro efficacia.

La presente tesi dottorale, si inserisce proprio in questo contesto, e si pone come obiettivo quello di fornire uno strumento di analisi quantitativo della sicurezza stradale nuovo rispetto a quelli tradizionali, utilizzando come base i dati e le informazioni contenute nel SIS della Provincia di Bologna.

La tesi in parola si articola in cinque capitoli, nei quali viene fornita nel seguito una breve descrizione.

Il capitolo 1 è una panoramica generale sul problema degli incidenti stradali in Italia ed in Europa, in termini del numero di incidenti e delle conseguenze che ne derivano in costi umani e costi sociali. Particolare attenzione viene prestata alla situazione specifica della provincia di Bologna.

Il capitolo 2 presenta una panoramica dei sistemi tradizionalmente adottati per effettuare un'analisi di sicurezza stradale, evidenziandone gli aspetti positivi e negativi.

Il capitolo 3 presenta un nuovo approccio all'analisi della sicurezza stradale, un algoritmo di calcolo in cui convergono e coesistono i metodi tradizionali di analisi.

Il capitolo 4 illustra le caratteristiche e l'organizzazione del sistema informativo stradale (SIS) della Provincia di Bologna.

Il capitolo 5 infine, descrive l'applicazione dell'algoritmo di previsione incidentale ad un caso reale, nello specifico un tratto della SP 255 S. Matteo Decima, oggetto di un futuro intervento di ingegneria della sicurezza.

CAPITOLO 1: *L'incidentalità, dimensioni del fenomeno*

In questo capitolo si vuol presentare il fenomeno dell'incidentalità, dandone una prima stima dalla quale si evince il suo continuo incremento nel tempo.

I dati sono stati desunti da indagini Istat-ACI sugli incidenti stradali. La visione del fenomeno parte dal contesto dell'Unione Europea per poi stringersi all'Italia e alla Provincia di Bologna.

L'inquadramento del fenomeno in Italia in funzione del numero di incidenti verificatisi, dei morti e dei feriti, ha come riferimento gli anni che vanno dal 1991 al 2006.

1.1 INCIDENTI STRADALI: CONTESTO EUROPEO

La mobilità in Europa comporta ogni anno 1'300'000 incidenti che causano più di 40'000 morti e 1'700'000 feriti [1].

Il costo diretto – indiretto è stato valutato a 160 miliardi di euro, cioè il 2% del PIL dell'Unione Europea. In particolare, i costi diretti misurabili dovuti agli incidenti stradali sono stimati nel Road Safety Action Plan [4] a 45 bilioni di euro all'anno. Si calcola che i costi indiretti, che includono i danni fisici e psichici subiti dalle vittime, siano 4 volte maggiori. Di fatto, ai costi monetizzabili, a carico soprattutto delle assicurazioni e dei Sistemi Sanitari dei diversi paesi, vanno sommate le spese sostenute dalle famiglie, dovute alla non autosufficienza degli infortunati più gravi, alle difficoltà che essi potranno incontrare sul lavoro e, in generale, ad una diminuzione della qualità della vita. A tutto questo deve essere naturalmente aggiunto il carico immane di sofferenza che accompagna inevitabilmente ogni singolo incidente. Tali prezzi appaiono drammaticamente esorbitanti, soprattutto se confrontati con quanto viene investito in termini di sicurezza che appare come una delle maggiori aspettative dei cittadini europei e una delle principali finalità della Unione. La Commissione ha peraltro annunciato nel Libro Bianco del 12 settembre 2001 il lancio di un programma di azione mirato, che consiste in un insieme di misure da attuare entro il 2010 che, per essere efficaci, dovranno essere coerenti e coordinate fra tutti gli Stati Membri [2]. In particolare è stato fissato l'obiettivo comune, proposto nel 2001 e aggiornato dopo l'allargamento nel 2004, di dimezzare le vittime degli incidenti stradali entro il 2010. Poiché nel 2001 si sono registrate complessivamente 50'000 vittime della strada, l'obiettivo proposto è quello di non superare le 25'000 vittime al 2010. Alla luce di ciò sono stati attuati una serie di piani volontari a favore della sicurezza stradale nella maggior parte degli Stati Membri. In Italia, ad esempio, si è assistito alla programmazione e realizzazione di numerosi interventi: sia di strategie di educazione (es. patente obbligatoria per i motociclisti), sia strategie sanzionatorie (es. patente a punti), sia di ingegneria della sicurezza (DM 19.4.2006 n°1699).

Tali iniziative hanno avuto come conseguenze tra il 2001 e il 2005 la diminuzione del 5% l'anno delle vittime della strada, e una diminuzione media del 4% l'anno del

numero di incidenti¹, mentre tra il 1994 e il 2000 la mortalità per incidenti stradali era calata soltanto del 2% l'anno ed il numero di incidenti aveva registrato un leggero aumento. Nonostante questi dati, il "Rapporto di Bilancio Intermedio della Comunità Europea" [1], che riporta una sintesi della situazione ottenuta alla fine del 2005, evidenzia come i risultati ottenuti non siano ancora sufficienti: la riduzione ottenuta, infatti, è stata solo del 17.5% in 4 anni, ritmo che, se mantenuto costante, potrebbe portare a contare sulle strade dell'Unione ancora 32'500 vittime nel 2010, ben oltre il massimo previsto di 25'000.

A complicare la situazione contribuisce il fatto che i nuovi dieci Stati entrati nell'Unione nel 2004, EU10, si sono mostrati inferiori alla media in materia di sicurezza stradale (tabella 1.1).

Tabella 1.1 - Abbreviazioni.

EU 25 (totalità degli Stati Membri)	EU15 Stati Membri prima del 2004	<i>AT</i>	Austria
		<i>BE</i>	Belgio
		<i>DE</i>	Germania
		<i>DK</i>	Danimarca
		<i>ES</i>	Spagna
		<i>EL</i>	Grecia
		<i>FR</i>	Francia
		<i>FI</i>	Finlandia
		<i>IT</i>	Italia
		<i>IE</i>	Irlanda
		<i>LU</i>	Lussembourg
		<i>NL</i>	Paesi Bassi
		<i>PT</i>	Portogallo
		<i>SE</i>	Svezia
		<i>UK</i>	Regno Unito
	EU10 Stati Membri entrati dopo il 2004	<i>CY</i>	Cipro
		<i>CZ</i>	Repubblica Ceca
		<i>EE</i>	Estonia
		<i>HU</i>	Ungheria
		<i>LV</i>	Lettonia
<i>LT</i>		Lituania	
<i>MT</i>		Malta	
<i>PL</i>	Polonia		
<i>SK</i>	Slovacchia		
<i>SI</i>	Slovenia		

Al fine di poter confrontare fra loro le diverse situazioni si è reso necessario considerare non solo il numero di incidenti, di feriti o di morti che sono la mera conseguenza del pericolo che caratterizza il sistema stradale, ma anche il grado di

¹ Dati desunti dalla banca dati CARE (Community database on accidents on the roads in Europe) della Unione Europea contenente le informazioni elementari relative ad ogni sinistro rilevato in n paese

esposizione, in modo da poter valutare la reale dimensione del problema. Si riportano, pertanto, nella figura 1.1 e figura 1.2 gli indici standardizzati che rapportano il numero di morti o di feriti al numero degli abitanti.

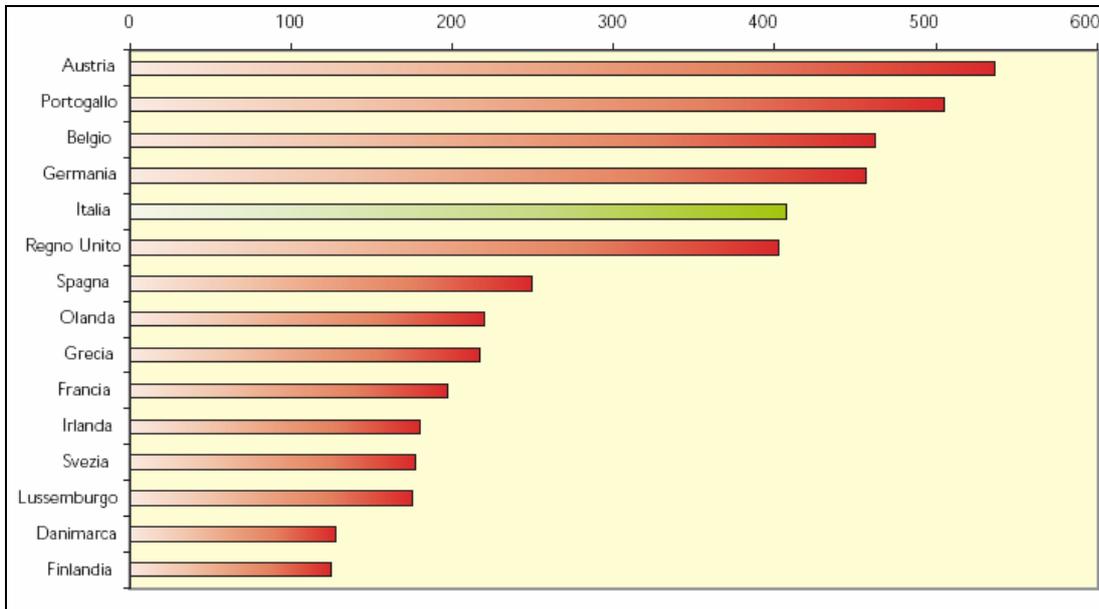


Figura 1.1 - Incidenti stradali ogni 100'000 abitanti nella EU15 (fonte Irtad-Ocse)

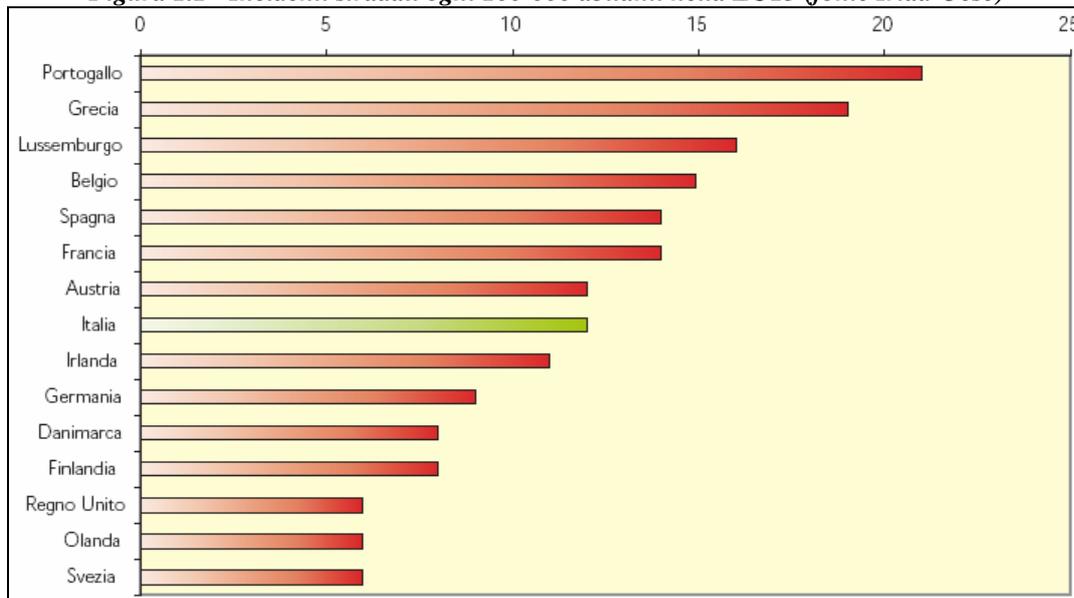


Figura 1.2 - Decessi per incidente stradale ogni 100'000 abitanti nella EU15 (fonte Irtad-Ocse)

Sulla base di tali valori nei paesi dell'Unione Europea (EU15), si possono individuare tre gruppi con differenti gradi di rischio.

- **Basso rischio:** Danimarca, Finlandia, Germania, Olanda, Svezia e Regno Unito, tutti paesi che da anni hanno intrapreso politiche di prevenzione e di riduzione dell'incidentalità;

dell'unione.

- Medio rischio: Austria, Belgio, Francia, Spagna, Irlanda e Italia;
- Alto rischio: Portogallo, Lussemburgo e Grecia, paesi che, fatta eccezione per il Lussemburgo, hanno avuto un grosso sviluppo economico negli ultimi quindici anni.

La divergenza delle tendenze dei dati di mortalità riscontrata è stata registrata anche dai dati sulla sicurezza stradale relativi l'anno 2004 per i Paesi membri della CEMT (Conferenza Europea dei ministri dei trasporti).

Tabella 1.2 – Morti per incidenti stradali in Europa occidentale: anni 2003-2004 [3].

MORTI	Valori assoluti		Variazioni percentuali
	2003	2004	2004/2003
Austria	931	878	-5,7
Danimarca	432	389	-14,6
Finlandia	379	375	-1,1
Francia	5.731	5.232	-8,7
Germania	6.613	5.842	-11,7
Grecia	1.615	1.619	0,2
Islanda	22	23	4,5
Irlanda	337	379	12,5
Liechtenstein	5	1	non applicabile
Italia	6.065	5.625	-7,3
Lussemburgo	53	49	-7,5
Malta	16	13	-18,8
Olanda	1.028	804	-21,8
Norvegia	280	257	-8,2
Portogallo	1.356	1.135	-16,3
Spagna	5.399	4.751	-12,0
Svezia	529	480	-9,3
Svizzera	546	510	-6,6
Regno Unito	3.658	3.368	-7,9
Turchia	3.966	4.428	11,6
Totale	32.896	30.513	-7,2

Tabella 1.3 - Morti per incidenti stradali in Europa centrale e orientale: anni 2003-2004 [3].

MORTI	Valori assoluti		Variazioni percentuali
	2003	2004	2004/2003
Albania	264	315	19,3
Bulgaria	960	943	-1,8
Croazia	701	608	-13,3
Repubblica Ceca	1.447	1.382	-4,5
Estonia	164	170	3,7
FYR Macedonia	118	155	31,4
Ungheria	1.326	1.296	-2,3
Lettonia	493	516	4,7
Lituania	709	752	6,1
Polonia	5.640	5.712	1,3
Romania	2.235	2.418	8,2
Serbia e Montenegro	858	953	11,1
Repubblica Slovacca	653	608	-6,9
Slovenia	242	274	13,2
Totale	15.810	16.102	1,8

Dai dati sopra riportati emerge in Europa occidentale una diminuzione media del numero dei morti sulle strade pari al 7.2% rispetto all'anno precedente (tabella 1.2), in Europa centrale ed orientale si rileva un aumento medio dell'1.8% (tabella 1.3).

1.2 DIRETTIVA EUROPEA SULLA SICUREZZA DELLE INFRASTRUTTURE STRADALI

Il Parlamento europeo e il Consiglio hanno raggiunto un accordo su un atto legislativo relativo alla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali (doc.3652/08) [5].

La Direttiva in parola non è ancora stata pubblicata sulla GU europea ma essendo stata adottata in Consiglio ed essendo stato raggiunto un accordo con il Parlamento non dovrebbe mancare molto tempo.

Lo scopo principale della direttiva è quello di assicurare l'integrazione della sicurezza in tutte le fasi della pianificazione, della progettazione e del funzionamento delle infrastrutture stradali nella rete transeuropea (RTE-T).

Insieme alle considerazioni di ordine economico e ambientale, la sicurezza è una componente di primo piano nella preparazione di nuove infrastrutture. La direttiva consentirà di fornire ai responsabili gli orientamenti, la formazione e le informazioni necessarie per garantire la sicurezza sulla rete stradale.

I requisiti minimi fissati nel progetto di direttiva si basano pertanto sulle quattro procedure seguenti:

1. valutazioni d'impatto sulla sicurezza stradale che dovrebbero dimostrare, a livello strategico, le implicazioni che, in un progetto di infrastruttura, le varie alternative di pianificazione hanno per la sicurezza stradale e quindi svolgere un ruolo importante nella scelta degli itinerari;
2. controlli della sicurezza stradale che dovrebbero individuare attentamente gli elementi pericolosi di un progetto di infrastruttura stradale;
3. gestione della sicurezza della rete;
4. ispezioni di sicurezza. Una volta affrontato il problema dei tratti stradali ad elevata concentrazione di incidenti e dopo aver adottato le opportune misure correttive, le ispezioni preventive della sicurezza dovrebbero svolgere un ruolo di maggiore rilevanza. Le ispezioni regolari sono uno strumento essenziale di prevenzione dei pericoli ai quali possono essere esposti tutti gli utenti della strada, segnatamente gli utenti vulnerabili, e anche in caso di lavori stradali.

Gli Stati membri disporranno di 2 anni dall'entrata in vigore della direttiva per conformarsi alle sue disposizioni.

Secondo le stime della Commissione l'applicazione delle misure proposte alla rete transeuropea permetterebbe annualmente di salvare la vita a circa 600 persone e di ridurre di circa 7000 il numero di feriti.

La ricerca è essenziale per aumentare la sicurezza sulle strade nell'Unione europea. Lo sviluppo e la dimostrazione di componenti, misure e metodi (compresa la telematica) e la diffusione dei risultati della ricerca svolgono un ruolo importante nel migliorare la sicurezza delle infrastrutture stradali.

Il livello di sicurezza delle strade esistenti dovrebbe essere rafforzato concentrando gli investimenti sui tratti che presentano la concentrazione più elevata di incidenti e/o il maggiore potenziale di riduzione degli incidenti. Gli automobilisti dovrebbero essere avvertiti dei tratti stradali ad elevata concentrazione di incidenti, in modo che possano adeguare il loro comportamento e rispettare con più attenzione il codice stradale, in particolare i limiti di velocità.

Gli Stati membri possono anche applicare le disposizioni della presente direttiva, come codice di buone prassi, per le infrastrutture nazionali di trasporto stradale, non comprese nella rete stradale transeuropea, che sono state costruite con il finanziamento parziale o totale della Comunità.

Nel seguito vengono sviluppati alcuni concetti indicati dall'atto legislativo:

- **“valutazione d’impatto sulla sicurezza stradale”**: un’analisi comparativa strategica dell’impatto di una nuova strada o di una modifica sostanziale della rete esistente sul livello di sicurezza della rete stradale; Componenti di una valutazione d’impatto sulla sicurezza stradale:

- a) definizione del problema;
- b) situazione attuale ed opzione dello status quo;
- c) obiettivi di sicurezza stradale;
- d) analisi dell’impatto sulla sicurezza stradale delle opzioni proposte;
- e) confronto delle opzioni, fra cui l’analisi del rapporto costi/benefici;
- f) presentazione della gamma di possibili soluzioni.

Elementi da prendere in considerazione:

- a) numero delle vittime e degli incidenti, obiettivi di riduzione paragonati all'opzione dello status quo;
- b) scelta di itinerari e strutture di traffico;
- c) possibili conseguenze sulle vie di comunicazione esistenti (ad esempio uscite, incroci, intersezioni, svincoli, passaggi a livello);
- d) utenti della strada, compresi gli utenti vulnerabili (ad esempio pedoni, ciclisti motociclisti);
- e) traffico (ad esempio volume di traffico, categorizzazione del traffico per tipo);
- f) condizioni stagionali e climatiche;
- g) presenza di un numero sufficiente di parcheggi sicuri;
- h) attività sismica.

- *“controllo della sicurezza stradale”*: controllo di sicurezza accurato indipendente, sistematico e tecnico delle caratteristiche di un progetto di costruzione di un'infrastruttura stradale, nelle diverse fasi dalla pianificazione al funzionamento iniziale;

Criteria applicabili nella fase della progettazione preliminare:

- a) situazione geografica (ad esempio, pericolo di smottamenti, inondazioni, valanghe), condizioni climatiche e stagionali e attività sismica;
- b) tipi di incroci/svincoli e distanze fra loro;
- c) numero e tipo di corsie;
- d) tipi di traffico autorizzati sulla nuova strada;
- e) funzionalità della strada all'interno della rete;
- f) condizioni meteorologiche;
- g) velocità della circolazione;
- h) sezioni trasversali (ad esempio, larghezza della carreggiata, piste ciclabili, sentieri pedonali);
- i) allineamenti orizzontali e verticali;
- j) visibilità;
- k) disposizione di incroci e svincoli;
- l) trasporto pubblico e infrastrutture;
- m) passaggi a livello.

Criteria applicabili nella fase della progettazione particolareggiata:

- a) tracciato;
- b) armonizzazione della segnaletica verticale e segnaletica orizzontale;
- c) illuminazione di strade e incroci stradali;
- d) apparecchiature lungo le strade;
- e) ambiente ai margini della strada inclusa la vegetazione;
- f) ostacoli fissi ai margini della strada;
- g) creazione di parcheggi sicuri;
- h) utenti vulnerabili (ad esempio, pedoni, ciclisti, motociclisti);
- i) adattamento ergonomico di sistemi stradali di contenimento (mezzerie stradali e guardrail di sicurezza per evitare pericoli agli utenti vulnerabili).

Criteria applicabili nella fase di ultimazione:

- a) sicurezza degli utenti della strada e visibilità in varie circostanze, quali oscurità e condizioni meteorologiche prevedibili;
- b) leggibilità della segnaletica verticale e della segnaletica orizzontale;
- c) condizioni del fondo stradale.

Criteria applicabili nella prima fase di funzionamento: valutazione della sicurezza stradale alla luce dell'effettivo comportamento degli utenti. La realizzazione di un controllo in qualsiasi fase può comportare la necessità di riesaminare i criteri applicabili a fasi precedenti.

- *“ispezione di sicurezza”*: la verifica ordinaria periodica delle caratteristiche e dei difetti che esigono un intervento di manutenzione per ragioni di sicurezza;

1.3 INCIDENTI STRADALI: CONTESTO ITALIANO

Come si visto nel paragrafo precedente nel nostro paese la percentuale d'incidenti stradali per numero d'abitanti sia, seppur di poco, al di sopra della media Europea. Tuttavia è necessario rilevare che i dati Italiani, riportati nelle banche dati europee, si fermano al 1998. Da tale anno il fenomeno dell'incidentalità ha subito notevoli cambiamenti. Per cercare di comprenderli ci si rivolge ai dati ISTAT (Istituto Nazionale di Statistica) che conduce, in collaborazione con l'ACI (Automobile Club Italiano), indagini a cadenza mensile e consuntivi annuali sugli incidenti che si verificano sulle strade italiane, e che hanno provocato lesioni alle persone. Alla raccolta dei dati contribuiscono anche il Ministero dell'Interno, la Polizia Stradale, i Carabinieri, la Polizia Municipale, gli Uffici di statistica dei Comuni capoluoghi di provincia e gli Uffici di statistica tramite la compilazione del modello ISTAT CTT/INC, denominato "Incidenti stradali".

DATA E LOCALITÀ DELL'INCIDENTE ANNO <input type="text"/> <input type="text"/> MESE <input type="text"/> <input type="text"/> PROVINCIA <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> COMUNE <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> GIORNO <input type="text"/> <input type="text"/> ORA (arrotondare all'ora) <input type="text"/> <input type="text"/>		ORGANO DI RILEVAZIONE Agente di Polizia Stradale 1 <input type="checkbox"/> Carabiniere 2 <input type="checkbox"/> Agente di Pubblica Sicurezza 3 <input type="checkbox"/> Agente di Polizia Municipale 4 <input type="checkbox"/> Altri 5 <input type="checkbox"/> Numero progressivo del modello nell'anno <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		ORGANO COORDINATORE Sezione Polizia Stradale 1 <input type="checkbox"/> Gruppo Carabiniere 2 <input type="checkbox"/> Uff. Comunale di Statistica dei Capoluoghi di Provincia: Comune con oltre 250.000 abitanti 3 <input type="checkbox"/> Altro capoluogo di Provincia 4 <input type="checkbox"/>	
Indicare il codice Istat corrispondente alla Provincia e al Comune.					
1. Localizzazione dell'incidente (denominazione della strada, numero, event. N° civico)				TRONCO DI STRADA O AUTOSTRADA	
NELL'ABITATO Strada urbana 1 <input type="checkbox"/> Provinciale entro l'abitato 2 <input type="checkbox"/> SP N° <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> Statale entro l'abitato 3 <input type="checkbox"/> SS N° <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> Regionale entro l'abitato 0 <input type="checkbox"/> SR N° <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>				diramazione; dir. A 1 <input type="checkbox"/> dir. B; radd. 2 <input type="checkbox"/> bis; dir. C 3 <input type="checkbox"/> ter; bis dir. 4 <input type="checkbox"/> quater; racc.; bis racc. 5 <input type="checkbox"/> Autostrada carreggiata sinistra 6 <input type="checkbox"/> Autostrada carreggiata destra 7 <input type="checkbox"/> Autostrada svincolo entrata 8 <input type="checkbox"/> Autostrada svincolo uscita 9 <input type="checkbox"/> Autostrada svincolo tronco d.c. 10 <input type="checkbox"/> Autostrada stazione 11 <input type="checkbox"/> Altri casi 12 <input type="checkbox"/>	
FUORI ABITATO Comunale extraurbana 4 <input type="checkbox"/> Provinciale 5 <input type="checkbox"/> SP N° <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> Statale 6 <input type="checkbox"/> SS N° <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> Autostrada 7 <input type="checkbox"/> N° <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> Altra strada 8 <input type="checkbox"/> Regionale 9 <input type="checkbox"/> SR N° <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>				Progressiva chilometrica Km. (arrotondare al chilometro) <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	
2. Luogo dell'incidente					
TIPO DI STRADA Una carr. senso unico 1 <input type="checkbox"/> Una carr. doppio senso 2 <input type="checkbox"/> Due carreggiate 3 <input type="checkbox"/> Più di 2 carreggiate 4 <input type="checkbox"/>		PAVIMENTAZIONE Strada pavimentata 1 <input type="checkbox"/> Strada pavimentata disassata 2 <input type="checkbox"/> Strada non pavimentata 3 <input type="checkbox"/>		INTERSEZIONE Incrocio 1 <input type="checkbox"/> Rotatoria 2 <input type="checkbox"/> Intersezione segnalata 3 <input type="checkbox"/> - con semafori o vigili 4 <input type="checkbox"/> - non segnalata 5 <input type="checkbox"/> Passaggio a livello 6 <input type="checkbox"/>	
		NON INTERSEZIONE Rettilineo 7 <input type="checkbox"/> Curva 8 <input type="checkbox"/> Dosso, strettoia 9 <input type="checkbox"/> Pendenza 10 <input type="checkbox"/> Gall. illuminata 11 <input type="checkbox"/> Gall. non illuminata 12 <input type="checkbox"/>		FONDO STRADALE Asciutto 1 <input type="checkbox"/> Bagnato 2 <input type="checkbox"/> Sdruciolevole 3 <input type="checkbox"/> Ghiacciato 4 <input type="checkbox"/> Innevato 5 <input type="checkbox"/>	
		SEGNALETICA Assente 1 <input type="checkbox"/> Verticale 2 <input type="checkbox"/> Orizzontale 3 <input type="checkbox"/> Verticale e orizzontale 4 <input type="checkbox"/>		CONDIZIONI METEOROLOGICHE Sereno 1 <input type="checkbox"/> Nebbia 2 <input type="checkbox"/> Pioggia 3 <input type="checkbox"/> Grandine 4 <input type="checkbox"/> Neve 5 <input type="checkbox"/> Vento forte 6 <input type="checkbox"/> Altro 7 <input type="checkbox"/>	
3. Natura dell'incidente			4. Tipo di veicoli coinvolti		
A) TRA VEICOLI IN MARCIA Scontro frontale 1 <input type="checkbox"/> Scontro frontale-laterale 2 <input type="checkbox"/> Scontro laterale 3 <input type="checkbox"/> Tamponamento 4 <input type="checkbox"/>			VEICOLO: Autovettura privata 1 <input type="checkbox"/> A 1 <input type="checkbox"/> B 1 <input type="checkbox"/> C 1 <input type="checkbox"/> Autovettura privata con rimorchio 2 <input type="checkbox"/> A 2 <input type="checkbox"/> B 2 <input type="checkbox"/> C 2 <input type="checkbox"/> Autovettura pubblica 3 <input type="checkbox"/> A 3 <input type="checkbox"/> B 3 <input type="checkbox"/> C 3 <input type="checkbox"/> Autovettura di soccorso o di polizia 4 <input type="checkbox"/> A 4 <input type="checkbox"/> B 4 <input type="checkbox"/> C 4 <input type="checkbox"/> Autobus o filibus in servizio urbano 5 <input type="checkbox"/> A 5 <input type="checkbox"/> B 5 <input type="checkbox"/> C 5 <input type="checkbox"/> Autobus di linea o non di linea in extraurbana 6 <input type="checkbox"/> A 6 <input type="checkbox"/> B 6 <input type="checkbox"/> C 6 <input type="checkbox"/> Tram 7 <input type="checkbox"/> A 7 <input type="checkbox"/> B 7 <input type="checkbox"/> C 7 <input type="checkbox"/> Autocarro 8 <input type="checkbox"/> A 8 <input type="checkbox"/> B 8 <input type="checkbox"/> C 8 <input type="checkbox"/> Autotreno con rimorchio 9 <input type="checkbox"/> A 9 <input type="checkbox"/> B 9 <input type="checkbox"/> C 9 <input type="checkbox"/> Autoarticolato 10 <input type="checkbox"/> A 10 <input type="checkbox"/> B 10 <input type="checkbox"/> C 10 <input type="checkbox"/> Veicoli speciali 11 <input type="checkbox"/> A 11 <input type="checkbox"/> B 11 <input type="checkbox"/> C 11 <input type="checkbox"/> Trattore stradale o motrice 12 <input type="checkbox"/> A 12 <input type="checkbox"/> B 12 <input type="checkbox"/> C 12 <input type="checkbox"/> Macchina agricola 13 <input type="checkbox"/> A 13 <input type="checkbox"/> B 13 <input type="checkbox"/> C 13 <input type="checkbox"/> Velocipede 14 <input type="checkbox"/> A 14 <input type="checkbox"/> B 14 <input type="checkbox"/> C 14 <input type="checkbox"/> Ciclomotore 15 <input type="checkbox"/> A 15 <input type="checkbox"/> B 15 <input type="checkbox"/> C 15 <input type="checkbox"/> Motociclo a solo 16 <input type="checkbox"/> A 16 <input type="checkbox"/> B 16 <input type="checkbox"/> C 16 <input type="checkbox"/> Motociclo con passeggero 17 <input type="checkbox"/> A 17 <input type="checkbox"/> B 17 <input type="checkbox"/> C 17 <input type="checkbox"/> Motocarro o motofurgone 18 <input type="checkbox"/> A 18 <input type="checkbox"/> B 18 <input type="checkbox"/> C 18 <input type="checkbox"/> Veicolo a trazione animale o a braccia 19 <input type="checkbox"/> A 19 <input type="checkbox"/> B 19 <input type="checkbox"/> C 19 <input type="checkbox"/> Veicolo ignoto perchè datosi alla fuga 20 <input type="checkbox"/> A 20 <input type="checkbox"/> B 20 <input type="checkbox"/> C 20 <input type="checkbox"/> Quadriciclo leggero 21 <input type="checkbox"/> A 21 <input type="checkbox"/> B 21 <input type="checkbox"/> C 21 <input type="checkbox"/>		
B) TRA VEICOLO E PEDONI Investimento di pedoni 5 <input type="checkbox"/>					
C) VEICOLO IN MARCIA CHE URTO VEICOLO FERMO O ALTRO Urto con veicolo in fermata o in arresto 6 <input type="checkbox"/> Urto con veicolo in sosta 7 <input type="checkbox"/> Urto con ostacolo 8 <input type="checkbox"/> Urto con treno 9 <input type="checkbox"/>					
D) VEICOLO IN MARCIA SENZA URTO Fuoriuscita (sbandamento,...) 10 <input type="checkbox"/> Infortunio per frenata improvvisa 11 <input type="checkbox"/> Infortunio per caduta da veicolo 12 <input type="checkbox"/>					
5. Circostanze presunte dell'incidente					
		Per inconvenienti di circolazione <input type="text"/> <input type="text"/>		Per difetti o avarie del veicolo <input type="text"/> <input type="text"/>	
		Per stato psico-fisico del conducente <input type="text"/> <input type="text"/>			
Veicolo A <input type="text"/> <input type="text"/>		Veicolo B, Pedone od ostacolo <input type="text"/> <input type="text"/>			
Indicare il codice Istat corrispondente alla circostanza presunta di incidente					
6. Veicoli coinvolti					
Targa se veicolo nazionale <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		Sigla se veicolo estero <input type="text"/> <input type="text"/>		ANNO DI PRIMA IMMATRICOLAZIONE (ultime due cifre) <input type="text"/> <input type="text"/>	
Veicolo A <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		Veicolo B <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		Veicolo C <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	
Veicolo B <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		Veicolo C <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		ANNO DI ULTIMA REVISIONE (ultime due cifre) <input type="text"/> <input type="text"/>	
Veicolo C <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		Veicolo A <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		Veicolo B <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	
		Veicolo C <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		CHILOMETRI PERCORSI (in migliaia) <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>	

Figura 1.3 – Modello Istat CTT/INC, foglio 1.

7. Conseguenze dell'incidente alle persone											
CONDUCENTI COINVOLTI						PASSEGGERI INFORTUNATI ESCLUSO IL CONDUCENTE					
V E I C O L O A	Età conducente	<input type="checkbox"/>	Patente ciclomotori	0 <input type="checkbox"/>	Anno di rilascio della patente (ultime due cifre)	<input type="checkbox"/>	Morti	Feriti	Età	Sesso	
	Maschio Femmina		Tipo A	1 <input type="checkbox"/>	Conducente professionale	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>	Sedile anteriore		Sedile anteriore	M F	
	Sesso 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>		Tipo B	2 <input type="checkbox"/>	Obbligatori (casco o cintura)	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>			3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
	Incolume	1 <input type="checkbox"/>	Tipo C	3 <input type="checkbox"/>	Indossava il casco:		Sedile posteriore		Sedile posteriore		
	Ferito	2 <input type="checkbox"/>	Tipo D	4 <input type="checkbox"/>	Conducente	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>			3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
	Morto entro 24 ore	3 <input type="checkbox"/>	Tipo E	5 <input type="checkbox"/>	Passeggero	3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>			3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
	entro 30 giorni	4 <input type="checkbox"/>	ABC speciale	6 <input type="checkbox"/>	Aveva la cintura allacciata:		1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>			3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
			Non richiesta	7 <input type="checkbox"/>	Conducente	5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>			3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
			Foglio rosa	8 <input type="checkbox"/>	Passeggero anteriore	7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>			3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
			Sprovisto	9 <input type="checkbox"/>							
V E I C O L O B	Età conducente	<input type="checkbox"/>	Patente ciclomotori	0 <input type="checkbox"/>	Anno di rilascio della patente (ultime due cifre)	<input type="checkbox"/>	Morti	Feriti	Età	Sesso	
	Maschio Femmina		Tipo A	1 <input type="checkbox"/>	Conducente professionale	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>	Sedile anteriore		Sedile anteriore	M F	
	Sesso 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>		Tipo B	2 <input type="checkbox"/>	Obbligatori (casco o cintura)	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>			3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
	Incolume	1 <input type="checkbox"/>	Tipo C	3 <input type="checkbox"/>	Indossava il casco:		Sedile posteriore		Sedile posteriore		
	Ferito	2 <input type="checkbox"/>	Tipo D	4 <input type="checkbox"/>	Conducente	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>			3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
	Morto entro 24 ore	3 <input type="checkbox"/>	Tipo E	5 <input type="checkbox"/>	Passeggero	3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>			3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
	entro 30 giorni	4 <input type="checkbox"/>	ABC speciale	6 <input type="checkbox"/>	Aveva la cintura allacciata:		1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>			3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
			Non richiesta	7 <input type="checkbox"/>	Conducente	5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>			3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
			Foglio rosa	8 <input type="checkbox"/>	Passeggero anteriore	7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>			3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
			Sprovisto	9 <input type="checkbox"/>							
V E I C O L O C	Età conducente	<input type="checkbox"/>	Patente ciclomotori	0 <input type="checkbox"/>	Anno di rilascio della patente (ultime due cifre)	<input type="checkbox"/>	Morti	Feriti	Età	Sesso	
	Maschio Femmina		Tipo A	1 <input type="checkbox"/>	Conducente professionale	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>	Sedile anteriore		Sedile anteriore	M F	
	Sesso 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>		Tipo B	2 <input type="checkbox"/>	Obbligatori (casco o cintura)	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>			3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
	Incolume	1 <input type="checkbox"/>	Tipo C	3 <input type="checkbox"/>	Indossava il casco:		Sedile posteriore		Sedile posteriore		
	Ferito	2 <input type="checkbox"/>	Tipo D	4 <input type="checkbox"/>	Conducente	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>			3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
	Morto entro 24 ore	3 <input type="checkbox"/>	Tipo E	5 <input type="checkbox"/>	Passeggero	3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>			3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
	entro 30 giorni	4 <input type="checkbox"/>	ABC speciale	6 <input type="checkbox"/>	Aveva la cintura allacciata:		1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>			3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
			Non richiesta	7 <input type="checkbox"/>	Conducente	5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>			3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
			Foglio rosa	8 <input type="checkbox"/>	Passeggero anteriore	7 <input type="checkbox"/> 8 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>			3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	
			Sprovisto	9 <input type="checkbox"/>							
PEDONI COINVOLTI						NUMERO DI VEICOLI COINVOLTI OLTRE AI VEICOLI A,B,C					
Morti	Età	Feriti	Età			PERSONE COINVOLTE SU ALTRI VEICOLI OLTRE AI VEICOLI A-B-C					
Maschio Femmina		Maschio Femmina				Morti	Maschio	Femmina	RIEPILOGO INFORTUNATI		
1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						Morti entro le 24 ore	<input type="checkbox"/>	
1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						Morti dal 2° al 30° giorno	<input type="checkbox"/>	
1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						Feriti	<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 RISPOSTA, TUTELA DELLA RISERVATEZZA E DIRITTI DEGLI INTERESSATI

- Decreto legislativo 6 settembre 1989, n. 322 e successive modificazioni ed integrazioni "Norme sul Sistema statistico nazionale e sull'organizzazione dell'Istituto nazionale di statistica" - art. 6 bis, comma 1 (presupposti del trattamento), comma 2 (trattamento dei dati sensibili) comma 4 (comunicazione dei dati personali a soggetti del Sistema statistico nazionale) commi 5,6 e 7 (conservazione dei dati) comma 8 (esercizio dei diritti dell'interessato), art.7 (obbligo di fornire dati statistici), art.8 (segreto d'ufficio degli addetti agli uffici di statistica), art. 9 (disposizioni per la tutela del segreto statistico), 13 (programma statistico nazionale);
- Decreto legislativo 30 giugno 2003, n. 198 - "Codice in materia di protezione dei dati personali" - art. 2 (finalità), 4 (definizioni), 7-10 (diritti dell'interessato) 13 (informativa), 28-30 (soggetti che effettuano il trattamento), 104-110 (trattamento per scopi statistici o scientifici);
- Codice di deontologia e buona condotta per i trattamenti di dati personali a scopi statistici e di ricerca scientifica effettuati nell'ambito del Sistema statistico nazionale" (all. A3 al Codice in materia di protezione dei dati personali - d.lgs. 30 giugno 2003, n. 198);
- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 23 aprile 2004 - Programma Statistico Nazionale per il triennio 2004-2006 (Suppl. ord. n. 134 alla Gazzetta.Ufficiale. del 30 luglio 2004 - serie generale - n. 177);
- Decreto del Presidente della Repubblica del 14 luglio 2004 - Approvazione delle rilevazioni statistiche rientranti nel Programma Statistico Nazionale per il triennio 2004-2006 che comportano l'obbligo di risposta ai sensi dell'art. 7 del decreto legislativo 6 settembre 1989 n. 322 (G.U. n. 186 del 12 agosto 2004).

Il presente modello deve essere compilato in ogni sua parte per ogni singolo incidente stradale con lesioni a persone (morti o feriti) e trasmesso all'Istat (Servizio Giustizia - GIU/C - incidentalità stradale, Viale Liegi n. 13 - 00198 Roma) con periodicità mensile.

Figura 1.4 – Modello Istat CTT/INC, foglio 2.

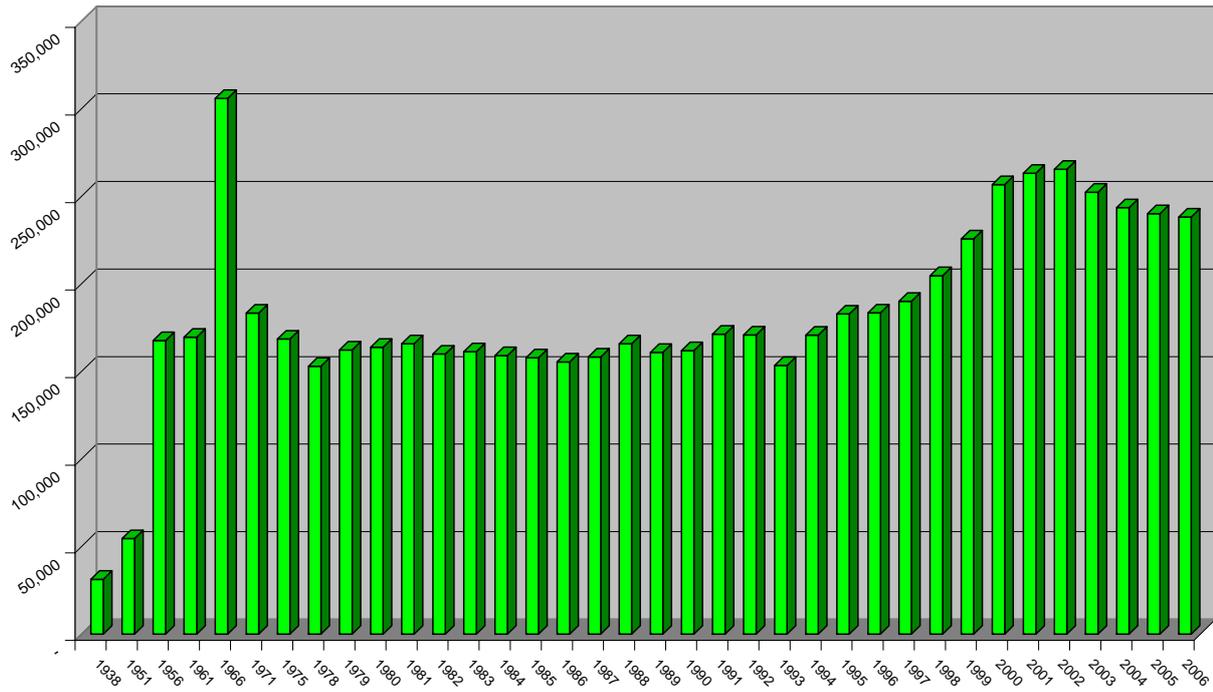


Figura 1.5– Incidenti stradali in Italia 1938-2006, ISTAT [7].

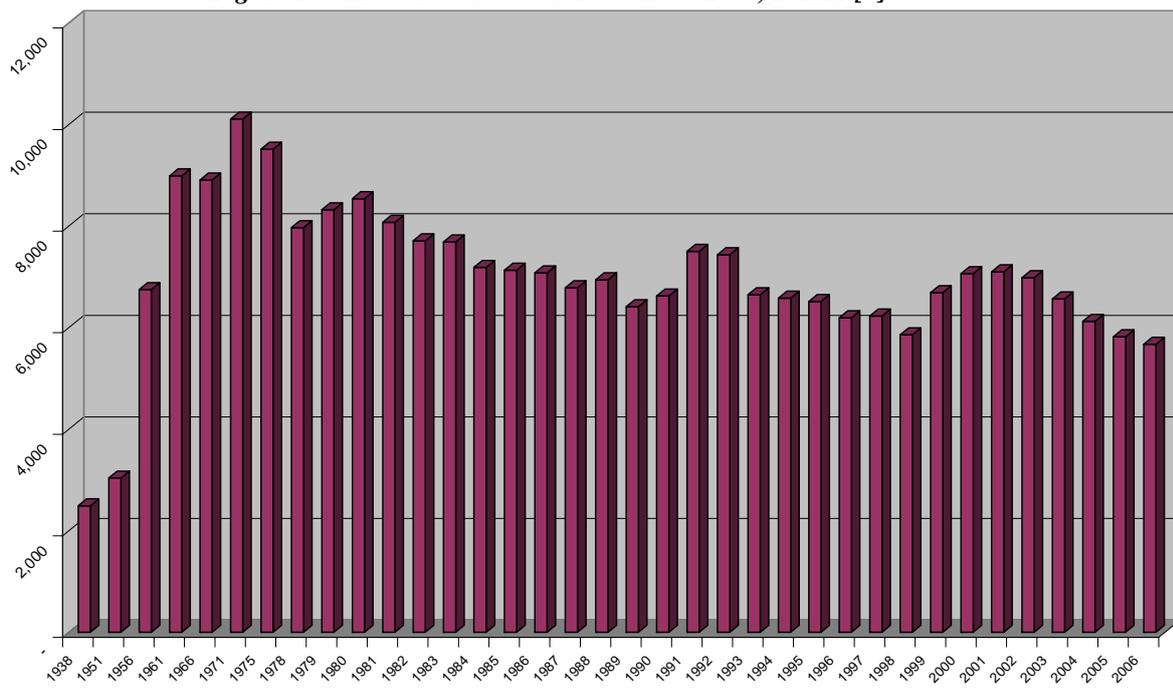


Figura 1.6 – Decessi per incidenti stradali – Italia 1938-2006, ISTAT [7].

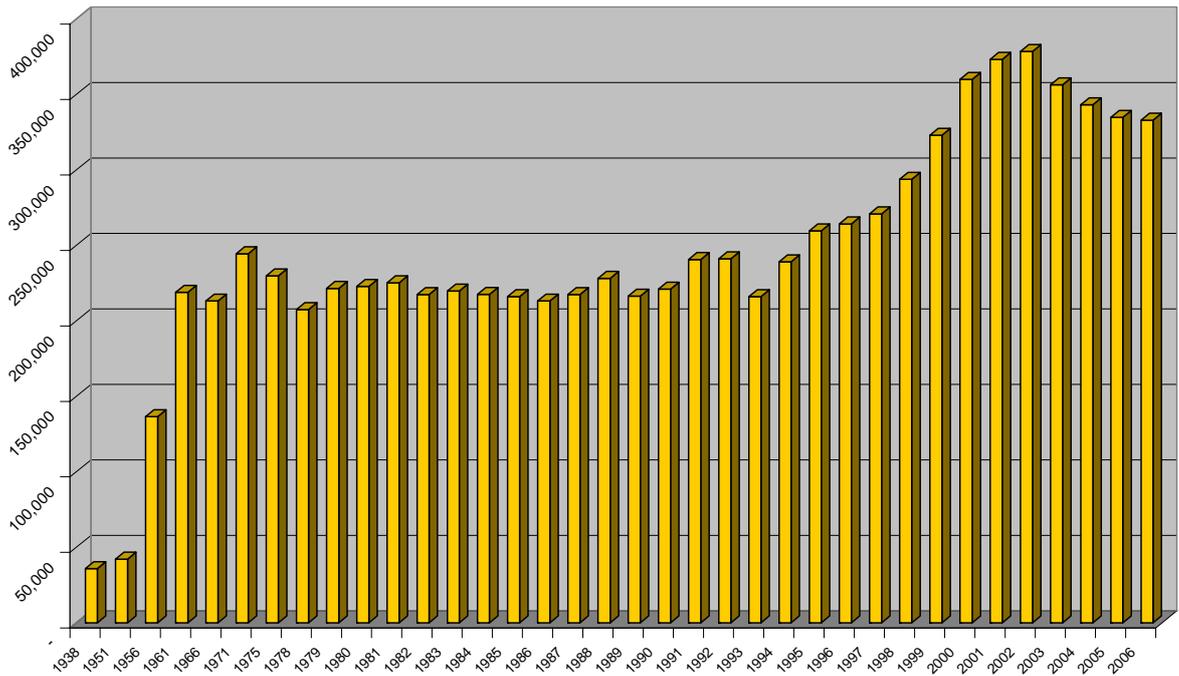


Figura 1.7 – Feriti da incidenti stradali – Italia 1938-2006, ISTAT [7].

Inoltre si fa presente che la lettura dei dati assoluti relativi al numero d'incidenti verificatisi sull'intera rete stradale italiana, o su un particolare tratto di questa fornisce un'informazione parziale che occorre valorizzare per meglio interpretare il fenomeno incidentalità. Infatti, appare evidente come il numero assoluto d'incidenti stradali tenda a crescere con l'aumentare del volume di circolazione in termini di veicoli, ossia con la quantità di chilometri percorsi complessivamente dai veicoli in Italia. Purtroppo salvo che per le autostrade, non si dispone di un indicatore di frequenza dei sinistri calcolato come rapporto tra il numero di incidenti ed il volume di circolazione (prodotto dei veicoli circolanti per la percorrenza media chilometrica nell'anno), in quanto tale dato richiederebbe la costruzione di sistemi di monitoraggio del volume di traffico nei tratti di strada più significativi, giornalmente e nelle diverse ore della giornata. In mancanza di rilevazioni sistematiche sul volume di circolazione si ricorre a stime basate sul numero di veicoli circolanti e sul consumo di carburante che in ogni modo sono approssimativi e comportano una non corretta identificazione dei black spot (punti dove si è verificato un numero particolarmente elevato di sinistri).

In ogni caso dai dati ISTAT disponibili, che indicano, con riferimento alle diverse forme di sinistrosità, il numero d'incidenti, morti e feriti, è possibile ottenere utili indicatori della pericolosità media riguardo il sinistro.

- L'indice di mortalità stradale esprime il numero medio di decessi verificatisi in un determinato anno, ogni 100 incidenti, essendo il rapporto fra il numero dei decessi dovuti a incidenti e al denominatore il numero dei sinistri. Tale parametro, riferito ad un certo anno, poiché misura il numero medio di morti per incidente, può essere considerato come un indicatore di gravità (o di pericolosità) dei sinistri, tanto maggiore quanto più esso è elevato.
- L'indice di lesività stradale esprime il rapporto di lesività stradale ogni 100 incidenti ed il numero dei feriti. Anche in questo caso può essere considerato un indicatore di gravità (o di pericolosità) di incidenti seppure limitato ai soggetti che, coinvolti in incidenti, non ne sono stati vittime.

Oltre a tali indici può essere definito anche l'indice di pericolosità, riferito alla persona in quanto soggetto passivo ed attivo dell'incidentalità.

- L'indice di pericolosità definisce il rapporto tra il numero dei morti e il numero degli infortunati ed è un indicatore più fine rispetto all'indice di mortalità, in quanto, a parità di soggetti coinvolti in sinistri, cresce al crescere del numero di morti e dunque dell'esito letale della forma di sinistro considerata.

Con tali premesse si analizza il fenomeno incidentale in Italia.

In tabella 1.4 si riportano i dati sugli incidenti stradali, i feriti ed i morti in Italia dal 1991 al 2006.

Tabella 1.4- Incidenti stradali, morti e feriti – Italia, 1991-2006 (valori assoluti)² [7].

ANNI	Incidenti	Morti	Feriti	Indice di mortalità ³	Indice di gravità ⁴
1991	170.702	7.498	240.688	4.4	3.0
1995	182.761	6.512	259.571	3.6	2.4

² L'Istat ha proceduto ad effettuare una ricostruzione dei dati della serie storica degli incidenti stradali a partire dall'anno 2000.

³ L'indice di mortalità si calcola come rapporto tra il numero dei morti ed il numero degli incidenti, moltiplicato 100.

⁴ L'indice di gravità si calcola come rapporto tra il numero dei morti ed il numero totale dei morti e dei feriti, moltiplicato 100.

ANNI	Incidenti	Morti	Feriti	Indice di mortalità ³	Indice di gravità ⁴
2000	256.546	7.061	360.013	2,8	1,9
2001	263.100	7.096	373.286	2,7	1,9
2002	265.402	6.980	378.495	2,6	1,8
2003	252.271	6.563	356.475	2,6	1,8
2004	243.490	6.122	343.179	2,5	1,8
2005	240.011	5.818	334.858	2,4	1,7
2006	238.124	5.669	332.955	2,4	1,7

Osservando l'andamento del fenomeno, si rileva fondamentalmente un trend in crescita dell'incidentalità nel periodo 1991- 2002. Dall'anno 2003 inizia, di contro, un trend discendente, attribuibile anche all'entrata in vigore d'importanti modifiche al codice della strada ed all'introduzione della patente a punti (DL 151 del 27 giugno 2003). Inoltre il numero d'incidenti si riduce, mentre aumenta quello dei feriti.

Molto interessante è anche analizzare l'andamento degli ultimi due anni (2005-2006), tabella 1.5.

Tabella 1.5 - Incidenti stradali, morti e feriti, anni 2004 - 2005, valori assoluti e percentuali [7].

	Valori assoluti		Valori percentuali
	2005	2006	2005/2006
Incidenti	240.011	238.124	-0,8
Morti	5.818	5.669	-2,6
Feriti	334.858	332.955	-0,6

Nel complesso, nell'anno 2006 sono stati rilevati 238.124 incidenti stradali, che hanno causato il decesso di 5.669 persone, mentre altre 332.955 hanno subito lesioni di diversa gravità (tabella 1.5). Rispetto al 2005 si riscontra una lieve diminuzione del numero degli incidenti (-0,8%), dei morti (-2,6%) e dei feriti (-0,6%).

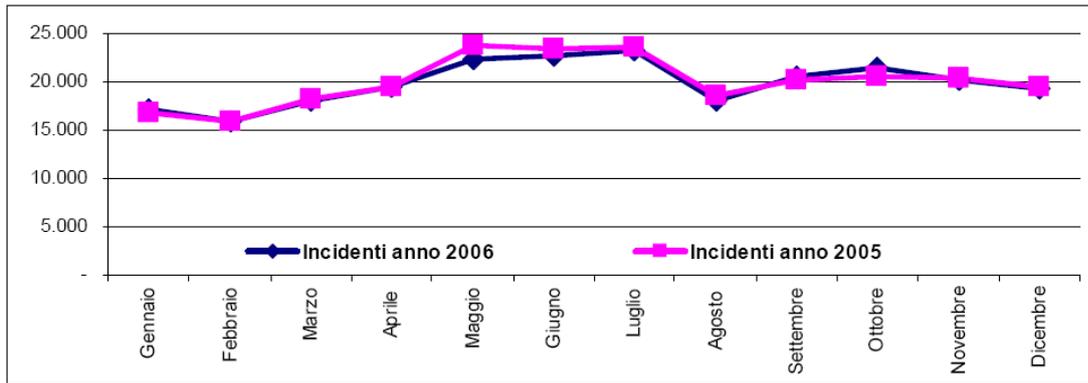


Figura 1.8 – Incidenti stradali, dati mensili. Anni 2005-2006 (valori assoluti) [7].

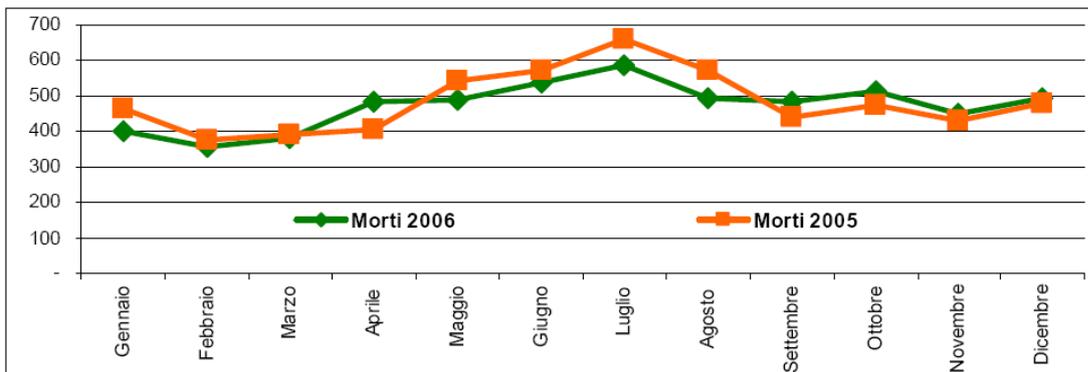


Figura 1.9 – Morti in incidenti stradali, dati mensili. Anni 2005-2006 (valori assoluti) [7].

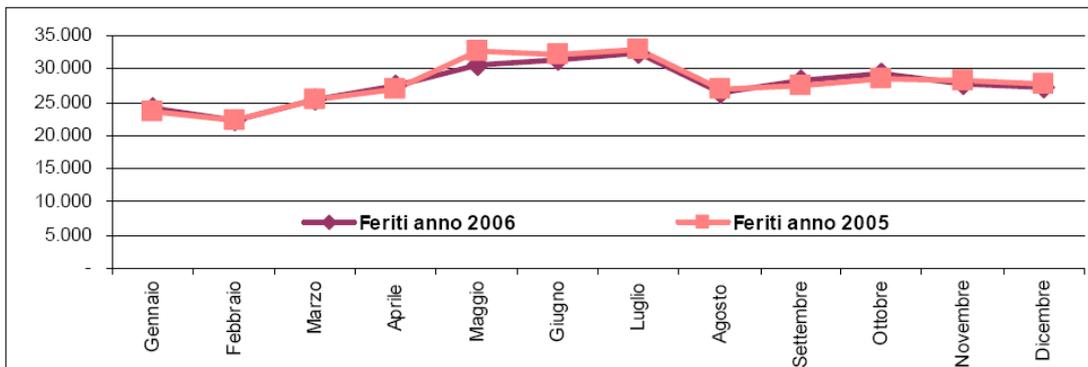


Figura 1.10 – Feriti in incidenti stradali, dati mensili. Anni 2005-2006 (valori assoluti) [7].

L'indice di mortalità, riportato in figura 1.11 che considera il numero dei decessi rispetto al numero degli incidenti, è in costante diminuzione, ad indicare una continua riduzione della gravità degli incidenti, come conseguenza dei miglioramenti tecnologici introdotti nella sicurezza attiva e passiva dei veicoli, e alle normative introdotte in materia di sicurezza stradale.

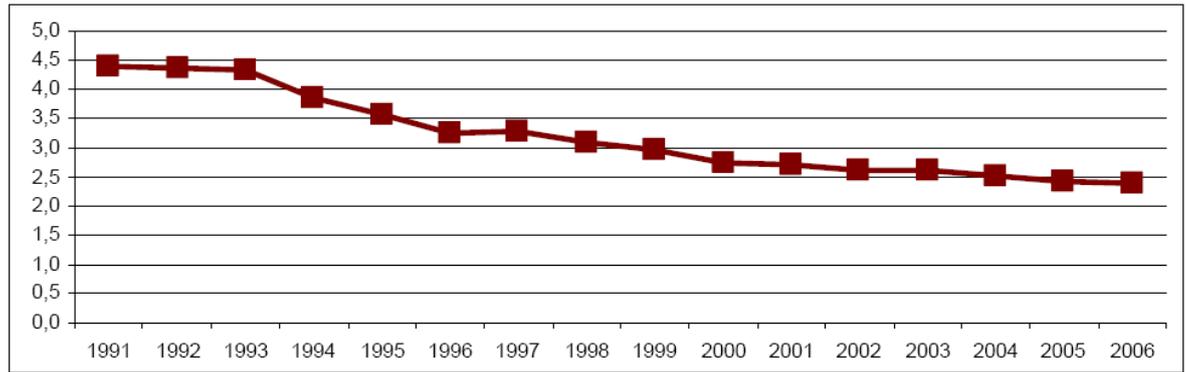


Figura 1.11 – Indice di mortalità, Italia 1991-2006 [7].

Infatti, l'analisi dell'incidentalità nel lungo termine mostra una costante riduzione della gravità degli incidenti, evidenziata dall'indice di mortalità (numero di morti ogni 100 incidenti) che si attesta al 2,4% nel 2006 contro il 2,8% del 2000 e dall'indice di gravità, che passa da 1,9 a 1,7 decessi ogni 100 infortunati.

In Italia, nel periodo 2000–2006, gli incidenti sono passati da 256.546 a 238.124, i morti da 7.061 a 5.669, i feriti da 360.013 a 332.955. Si è pertanto registrato un decremento del 7,2% per quanto riguarda il numero d'incidenti, del 7,5% per i feriti e del 19,7% per quanto riguarda il numero di morti in incidente.

Come già osservato, per analizzare in modo oggettivo il fenomeno della sicurezza stradale è fondamentale considerare il grado di esposizione.

Va sottolineato che, nello stesso periodo, il parco veicolare è cresciuto del 13,7% mentre il volume di circolazione, valutato sulle percorrenze autostradali, è aumentato del 19,9 %.

Innanzitutto risulta interessante analizzare la consistenza della rete stradale italiana, riferendosi ai dati rilevati dall'Aiscat, Associazione Italiana Società Concessionarie Autostrade e Trafori.

Nel 2003 la rete stradale italiana era costituita da 6'487 km di autostrade, 419 km di raccordi autostradali, 21'977 km di strade statali, 23'901 km di strade di interesse regionale e di 19'644 km di strade provinciali, per un totale di i 72'428 km (tabella 1.6).

Oltre a questa rete, definita principale, si deve considerare quella della viabilità minore dei comuni, che nelle stime del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ammontava nel 1999 a 668'669 km, di cui 171'779 di strade urbane, 312'149 di strade extracomunali e 184'745 di strade vicinali.

Da un punto di vista della qualità della rete stradale a livello territoriale, si passa da una presenza nulla d'autostrade in Sardegna ad un'incidenza di queste sul complesso della rete viaria dei 42.9% in Valle d'Aosta.

Tabella 1.6 – Rete stradale per tipo di strada e regione, anno 2003 [49].

Regioni	Tipo di strada (dati in chilometri)					Totale
	Autostrade	Statali	Regionali	Provinciali	Raccordi	
Piemonte	807	710	2.240	18.862	11	22.630
Valle d'Aosta	110	148	-	499	-	757
Lombardia	576	931	2.458	7.788	10	11.763
Trentino Alto Adige	187	1.690	-	2.677	-	4.554
Veneto	475	731	1.763	7.038	-	10.007
Friuli Venezia Giulia	210	1.136	-	2.171	44	3.561
Liguria	375	125	946	2.639	-	4.085
Emilia Romagna	568	1.131	1.910	7.213	73	10.895
Toscana	424	900	2.632	7.270	75	11.301
Umbria	59	425	1.100	2.729	39	4.352
Marche	168	443	844	5.312	26	6.793
Lazio	470	506	2.028	6.896	-	9.900
Abruzzo	352	605	1.614	4.809	15	7.395
Molise	36	563	414	1.859	-	2.872
Campania	442	1.227	1.552	6.906	43	10.170
Puglia	313	1.562	1.413	8.240	-	11.528
Basilicata	29	1.078	893	2.856	52	4.908
Calabria	295	1.377	2.094	6.370	6	10.142
Sicilia	591	3.648	-	12.093	25	16.357
Sardegna	-	3.041	-	5.417	-	8.458
ITALIA	6.487	21.977	23.901	119.644	419	172.428
Nord	3.308	6.602	9.317	48.887	138	68.252
Centro	1.121	2.274	6.604	22.207	140	32.346
Mezzogiorno	2.058	13.101	7.980	48.550	141	71.830

La diffusione territoriale della rete presenta notevoli scostamenti dal valore medio nazionale.

Il rapporto tra veicoli circolanti e l'estesa stradale è particolarmente elevato in Lombardia (598.9 veicoli/km), nel Lazio (444.4), in Campania (381.8) e nel Veneto (354.4). mentre presenta valori minimi in Basilicata e nel Molise (entrambi 78.8). Interessante è anche considerare come la densità della rete, cioè il rapporto tra estensione della rete e popolazione residente, vari da 44.6 km per 100'000 abitanti della Lombardia ai valori massimi della Basilicata con 335.8, e del Molise con 302.3. Per quanto riguarda il tasso di motorizzazione l'Italia ha un tasso di motorizzazione, inteso come numero di autovetture per 1'000 abitanti, fra i più alti del mondo, pari a 590.3, peraltro in costante crescita. Infatti, risulta dalla tabella 1.7, il parco di veicoli circolanti in Italia è in continua crescita con aumenti rispetto al 1995 del 19.2%.

Tabella 1.7 - Veicoli circolanti in Italia

	ITALIA	
	Autovetture	Totale
1995	30'301'424	36'875'894
1996	29'910'932	36'693'365
1997	30'154'914	37'048'777
1998	31'056'004	38'221'545
1999	32'038'291	39'627'179
2000	32'583'815	40'743'777
2001	33'239'029	41'936'627
2002	33'706'153	42'950'326
2003	34'310'446	44'078'935
2004	33'973'147	43'950'907

Nel 2003 il parco veicolare delle automobili ha raggiunto il numero massimo e ciò rende ancora più indicativa la riduzione dell'incidentalità avvenuta nello stesso anno e, conseguentemente, l'aumento della sicurezza stradale.

Tuttavia, dalla tabella 1.7, si nota che, la crescita del parco veicolare aumenta dal 1997 al 2003, mentre nel 2004 si registra una diminuzione del 0.3% rispetto al 2003.

I veicoli a quattro ruote che costituiscono nel 2004 il 77% dei veicoli circolanti, subiscono un calo di tendenza negli ultimi anni. Ciò significa che esistono altri tipi di veicoli che aumentano in maniera più consistente delle automobili.

Infatti, come illustrato dalla tabella 1.8, contro un aumento del 18.2% delle autovetture si riscontra un aumento dei motocicli del 58.8%.

Tabella 1.8 - Parco veicolare per tipo di veicolo, anno 2004 [49].

Regioni	Autoveicoli	Autobus	Autocarri, motrici e rimorchi	Motocicli	Motocarri	Totale
Piemonte	2.678.037	6.030	431.618	304.274	15.811	3.435.770
Valle D'Aosta	125.867	337	29.577	11.574	4.415	171.770
Lombardia	5.473.673	10.829	816.720	723.005	20.681	7.044.908
Bolzano - Bozen	244.851	848	44.049	32.102	1.418	323.268
Trento	279.108	1.341	54.047	37.213	4.567	376.276
Trentino Alto Adige	523.959	2.189	98.096	69.315	5.985	699.544
Veneto	2.747.214	7.172	461.563	322.379	8.532	3.546.860
Friuli Venezia Giulia	726.895	1.676	106.339	96.237	3.625	934.772
Liguria	815.733	2.526	114.802	284.207	17.799	1.235.067
Emilia Romagna	2.534.506	6.433	456.018	372.664	11.163	3.380.784
Toscana	2.229.425	5.698	361.793	387.783	31.406	3.016.105
Umbria	560.810	1.913	88.982	66.590	7.368	725.663
Marche	934.988	2.836	153.823	143.464	8.527	1.243.638
Lazio	3.479.420	10.217	426.913	465.060	18.309	4.399.919
Abruzzo	763.964	3.115	112.548	94.003	7.101	980.731
Molise	177.122	906	29.332	16.678	2.238	226.276
Campania	3.075.248	9.464	353.201	399.428	45.970	3.883.311
Puglia	2.060.164	5.330	250.140	202.824	42.229	2.560.687
Basilicata	310.997	1.602	46.823	22.686	4.579	386.687
Calabria	1.047.414	4.191	142.958	96.512	26.726	1.317.801
Sicilia	2.788.666	7.302	341.772	412.877	45.447	3.596.064
Sardegna	891.835	2.964	138.564	80.972	14.242	1.128.577
Non identificato	27.210	144	5.479	2.112	586	35.531
ITALIA	39.973.147	92.874	4.967.061	4.574.644	342.739	49.950.465
Nord	15.653.094	37.336	2.520.212	2.185.767	88.597	20.485.006
Centro	7.204.643	20.664	1.031.511	1.062.897	65.610	9.385.325
Mezzogiorno	11.115.410	34.874	1.415.338	1.325.980	188.532	14.080.134

Tabella 1.9 – Suddivisione degli incidenti stradali per tipologia di strada, 2007 [8].

TIPO DI STRADA	Autostrade e raccordi	Strade Statali	Strade Regionali	Strade Provinciali	Strade Comunali Extraurbane	Strade Urbane	Totale
INCIDENTI							
Una carreggiata a senso unico	3,729	1,278	72	688	469	32,201	38,437
Una carreggiata a doppio senso	791	10,754	1,131	16,147	5,771	119,704	154,298
Doppia carreggiata	9,078	2,819	71	720	256	18,969	31,913
Più di due carreggiate	37	54	2	27	80	6,023	6,223
Totale	13,635	14,905	1,276	17,582	6,576	176,897	230,871

TIPO DI STRADA	Autostrade e raccordi	Strade Statali	Strade Regionali	Strade Provinciali	Strade Comunali Extraurbane	Strade Urbane	Totale
MORTI							
Una carreggiata a senso unico	130	32	3	14	10	209	398
Una carreggiata a doppio senso	18	740	68	1,030	280	1,783	3,919
Doppia carreggiata	377	105	4	36	7	200	729
Più di due carreggiate	1	5	1	1	-	77	85
Totale	526	882	76	1,081	297	2,269	5,131

TIPO DI STRADA	Autostrade e raccordi	Strade Statali	Strade Regionali	Strade Provinciali	Strade Comunali Extraurbane	Strade Urbane	Totale
FERITI							
Una carreggiata a senso unico	6,062	1,914	100	998	631	41,490	51,195
Una carreggiata a doppio senso	1,329	18,475	1,776	25,278	8,280	162,689	217,827
Doppia carreggiata	15,674	4,706			362	25,983	47,948

Più di due carreggiate	70	82	118	1,105						
Totale	23,135	25,177	1,997	27,426	3	45	9,403	130	8,550	8,880

1.4 INCIDENTI STRADALI: LA PROVINCIA DI BOLOGNA

1.4.1 Evoluzione storica dell'incidentalità

L'elevato numero di vittime d'incidenti stradali non costituisce, per la provincia di Bologna, una caratteristica recente o limitata ad alcuni periodi ma un fattore strutturale che, con contenute oscillazioni, ha marcato la mobilità provinciale da quando sono disponibili dati sistematici sull'incidentalità stradale [9]. Negli ultimi 53 anni la provincia è stata caratterizzata:

1. per quanto riguarda i **tassi di mortalità**,
 - da valori nettamente superiori rispetto a quelli nazionali, con un incremento che varia da +100% dei primi anni '50, per ridursi progressivamente fino alla metà degli anni '70 (+15%) e tornare a crescere nel periodo successivo, fino a +30% degli ultimi anni;
 - da valori sempre inferiori a quelli regionali (tra -10% e -30%) a meno di un breve periodo compreso tra il 1953 e il 1958;
2. per quanto riguarda i **tassi di ferimento**, siamo di fronte ad un sentiero evolutivo con analoghe caratteristiche,
 - il dato provinciale è sempre notevolmente più alto di quello nazionale con un divario estremamente ampio all'inizio degli anni '50 (+200%), che si riduce progressivamente fino a toccare il minimo storico alla fine degli anni '70 (+22%), per tornare a crescere nel periodo più recente fino a +40%;
 - rispetto ai valori regionali i tassi di ferimento provinciali risultano maggiori dal 1953 (+125%) fino al 1971, quando i tassi di ferimento provinciali, dopo una lunga fase di riduzione, raggiungono quelli regionali, da questo anno il dato provinciale risulta sempre inferiore a quello regionale (tra -15% e -7%).

Tale condizione è determinata da un complesso di fattori che riguardano la collocazione geografica della provincia rispetto al grande sistema infrastrutturale, la struttura produttiva e la sua forte diffusione territoriale, l'assetto territoriale, etc. ma è essenziale chiarire un punto: **quali che siano le cause, la provincia di Bologna presenta un livello d'incidentalità stradale molto alto, stabile nel tempo e con un**

divario rispetto ai valori nazionali che ben lungi dal ridursi tende invece a crescere.

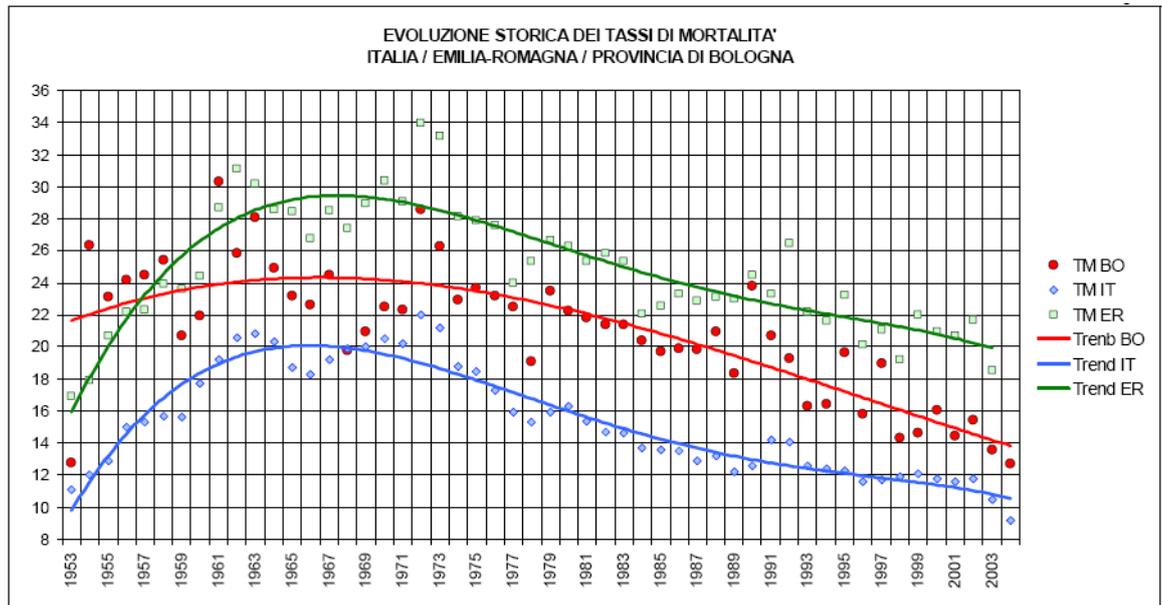


Figura 1.12 – Evoluzione storica dei tassi di mortalità, 1953-2003 [9].

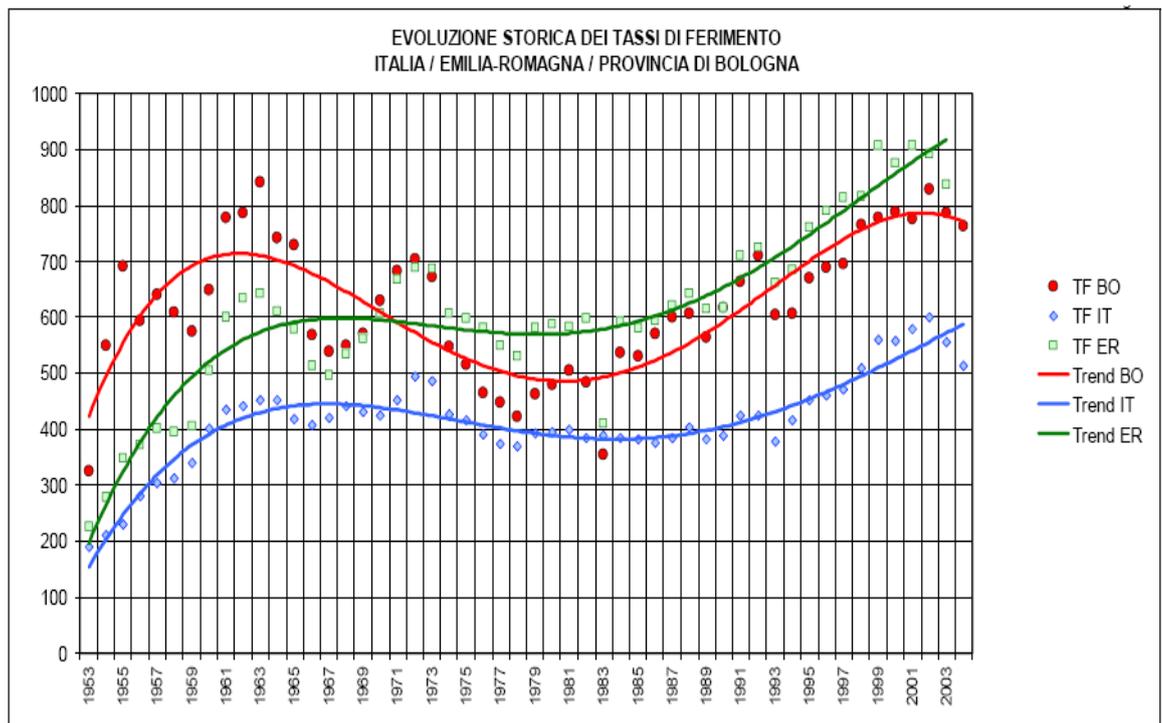


Figura 1.13 – Evoluzione storica dei tassi di ferimento, 1953-2003 [9].

Il “ritardo di sicurezza” è evidenziato anche dall’evoluzione della graduatoria di sicurezza stradale delle province italiane. Infatti, in venti anni, tra il 1983 e il 2003, la provincia di Bologna, per quanto riguarda il costo sociale procapite (e cioè la

misura complessiva del danno economico determinato dagli incidenti stradali) passa dalla 22^A posizione del 1983, alla 21^A del 1993 e alla 13^A del 2003. Questi tre dati sono probabilmente quelli che meglio degli altri esprimono in modo sintetico l'evoluzione storica della sicurezza stradale della provincia di Bologna rispetto a tutte le altre province italiane.

Tabella 1.10 - Graduatoria di sicurezza stradale delle province italiane, 1983-2003 [9].

ORDINAMENTO PER COSTO SOCIALE PROCAPITE (€/POP)								
ANNO 1983			ANNO 1993			ANNO 2003		
1	RAVENNA	1.277	1	RAVENNA	1.007	1	RIMINI	1.234
2	REGGIO EMILIA	917	2	FORLI'	892	2	REGGIO EMILIA	972
3	FORLI'	911	3	PIACENZA	884	3	FORLI'	926
4	PIACENZA	864	4	TRIESTE	832	4	RAVENNA	917
5	ROMA	862	5	LIVORNO	797	5	LATINA	897
6	LIVORNO	852	6	FERRARA	771	6	PIACENZA	879
7	PESARO	821	7	FIRENZE	737	7	TERNI	870
8	ORISTANO	800	8	AOSTA	737	8	MILANO	851
9	AREZZO	794	9	GORIZIA	734	9	FIRENZE	827
10	ANCONA	793	10	REGGIO EMILIA	728	10	MODENA	808
11	GROSSETO	775	11	PARMA	722	11	SAVONA	797
12	ROVIGO	774	12	ANCONA	722	12	ROVIGO	773
13	AOSTA	764	13	MODENA	714	13	BOLOGNA	768
14	GORIZIA	760	14	ALESSANDRIA	713	14	FERRARA	765
15	BOLZANO	755	15	BELLUNO	712	15	TRIESTE	757
16	MACERATA	738	16	IMPERIA	710	16	ANCONA	749
17	SIENA	736	17	SIENA	670	17	MASSA CARRARA	747
18	TRIESTE	714	18	PESARO	669	18	GROSSETO	740
19	PARMA	712	19	TREVISO	663	19	CREMONA	739
20	RIETI	677	20	LATINA	661	20	PISA	737
21	CUNEO	665	21	BOLOGNA	656	21	PESCARA	733
22	BOLOGNA	664	22	SONDRIO	655	22	PRATO	727
23	UDINE	658	23	BOLZANO	642	23	SIENA	724
24	CREMONA	658	24	ORISTANO	641	24	MACERATA	722
25	PORDENONE	657	25	MACERATA	629	25	VERONA	719
26	ALESSANDRIA	641	26	CUNEO	629	26	GORIZIA	711
27	VICENZA	627	27	SAVONA	619	27	GENOVA	707
28	ASCOLI PICENO	627	28	ASTI	614	28	TERAMO	702
29	FIRENZE	623	29	NOVARA	611	29	ALESSANDRIA	698
30	TERNI	619	30	GROSSETO	598	30	NOVARA	691
31	NOVARA	613	31	TERNI	595	31	SONDRIO	678
32	BELLUNO	610	32	VICENZA	589	32	PESARO	675
33	PISA	605	33	UDINE	574	33	PARMA	672
34	PERUGIA	591	34	VITERBO	572	34	ROMA	672
35	MODENA	582	35	ROMA	570	35	PAVIA	671
36	BRESCIA	582	36	PISTOIA	559	36	RIETI	670
37	TRENTO	579	37	LA SPEZIA	554	37	PORDENONE	669
38	TREVISO	569	38	BRESCIA	553	38	MANTOVA	666
39	MANTOVA	567	39	PORDENONE	550	39	CUNEO	655
40	PADOVA	567	40	ASCOLI PICENO	544	40	VERCELLI	649
	
93	SALERNO	184	93	POTENZA	155	101	NAPOLI	222
94	AGRIGENTO	151	94	NAPOLI	129	102	AGRIGENTO	173
95	AVELLINO	150	95	AGRIGENTO	115	103	POTENZA	153
	ITALIA	472		ITALIA	440		ITALIA	550

Nel 1983 Ferrara risulta 49[^]; nel 1993 e nel 2003 tutte le province emiliane si collocano entro la 40[^] posizione

Tabella 1.11 - Graduatoria di sicurezza stradale delle province italiane, 2003-2005 [9].

ORDINAMENTO PER COSTO SOCIALE PROCAPITE (€/POP)					
ANNO 2003			ANNO 2005		
1	RIMINI	1.234	1	RIMINI	1.049
2	REGGIO EMILIA	972	2	LATINA	845
3	FORLI'	926	3	ROMA	815
4	RAVENNA	917	4	LUCCA	806
5	LATINA	897	5	FIRENZE	790
6	PIACENZA	879	6	SAVONA	766
7	TERNI	870	7	REGGIO EMILIA	754
8	MILANO	851	8	PIACENZA	747
9	FIRENZE	827	9	FERRARA	735
10	MODENA	808	10	FORLI'	715
11	SAVONA	797	11	MODENA	706
12	ROVIGO	773	12	TRENTO	697
13	BOLOGNA	768	13	GORIZIA	689
14	FERRARA	765	14	TRIESTE	689
15	TRIESTE	757	15	MILANO	674
16	ANCONA	749	16	BOLOGNA	671
17	MASSA CARRARA	747	17	ANCONA	668
18	GROSSETO	740	18	ORISTANO	656
19	CREMONA	739	19	PRATO	655
20	PISA	737	20	GROSSETO	653
21	PESCARA	733	21	CREMONA	650
22	PRATO	727	22	PARMA	641
23	SIENA	724	23	MACERATA	634
24	MACERATA	722	24	TERAMO	634
25	VERONA	719	25	GENOVA	631
26	GORIZIA	711	26	PISA	624
27	GENOVA	707	27	LA SPEZIA	622
28	TERAMO	702	28	IMPERIA	621
29	ALESSANDRIA	698	29	PESARO	615
30	NOVARA	691	30	MANTOVA	612
31	SONDRIO	678	31	TERNI	608
32	PESARO	675	32	PORDENONE	602
33	PARMA	672	33	PAVIA	598
34	ROMA	672	34	TREVISO	597
35	PAVIA	671	35	PADOVA	596
36	RIETI	670	36	PISTOIA	596
37	PORDENONE	669	37	NOVARA	589
38	MANTOVA	666	38	ROVIGO	588
39	CUNEO	655	39	VERCELLI	585
40	VERCELLI	649	40	MASSA CARRARA	584
	...				
101	NAPOLI	222	101	AVELLINO	200
102	AGRIGENTO	173	102	ISERNIA	183
103	POTENZA	153	103	POTENZA	145
	ITALIA	550		ITALIA	522

NB La provincia di Ravenna nel periodo 2003-2005, scende dal 4° al 45° posto nella graduatoria del rischio delle province italiane, con un costo sociale procapite pari a 568. Nel 2003 l'indice generale di rischio di Ravenna era più elevato di quello nazionale del 67%, nel 2005 è più alto del 9%. In sostanza, Ravenna ha recuperato tutto il "ritardo" rispetto al livello nazionale e, mantenendo le attuali (straordinarie) prestazioni di sicurezza, sarebbe in grado di eguagliare i più elevati standard europei entro il 2010.

1.4.2 Le dimensioni di base

Nella provincia di Bologna gli incidenti stradali degli ultimi trenta anni hanno determinato 5.251 morti e 168.340 feriti. Ciò significa che, nel corso dell'ultima generazione, più della metà delle famiglie della provincia (per la precisione 5,7 famiglie su 10) ha avuto una vittima di incidenti stradale tra i propri componenti. Il dato è leggermente più basso di quello regionale (6,3 famiglie su 10) ma è nettamente superiore a quello nazionale (4,1 famiglie su 10) e mostra, in modo schematico ma evidente, la diffusione e la gravità sociale del fenomeno.

Questa collocazione "intermedia" tra i valori nazionali e quelli regionali caratterizza anche la situazione d'incidentalità provinciale più recente. Nel 2004 gli incidenti stradali hanno determinato 121 morti e 7.303 feriti⁵, con un costo sociale di 706 milioni di Euro, pari a 11 volte la spesa annua dell'Amministrazione provinciale nel settore viabilità (63,6 milioni di Euro) o 2,7 volte la spesa complessiva della Provincia prevista per il 2005 (261,1 milioni di Euro)⁶.

Rapportati alla popolazione, tali valori determinano:

- un tasso di **12,8 morti per 100.000 abitanti**, inferiore del -12,3% a quello regionale (14,6 morti per 100.000 abitanti) ma superiore del 31,9% a quello nazionale (9,7 morti per 100.000 abitanti);
- un tasso di **773,4 feriti per 100.000 abitanti**, leggermente inferiore (-2,6%) al dato regionale (794,4) ma notevolmente superiore (+41,4%) rispetto a quello nazionale (547,0);

⁵ I dati del 2005 indicano 94 morti (-27 morti, pari a -22%) e 6.993 feriti (-310 feriti, pari a -4%). Si tratta di una riduzione di vittime di straordinaria entità (per quel che riguarda la mortalità). Nel 2006 il numero delle vittime subisce un sensibile incremento: i morti risultano essere 107 (+14% rispetto al 2005) e i feriti 7.239 (+3% rispetto al 2005); il costo sociale passa da 646,6 a 681,9 milioni di Euro (+5%).

⁶ Il costo sociale degli incidenti stradali è determinato dai costi diretti (spesa sanitaria pubblica e spesa sanitaria privata generata dalla cura delle lesioni provocate dagli incidenti e dall'eventuale riabilitazione, oneri da assistenza ai disabili, oneri previdenziali, danno determinato dalla distruzione di beni, danni determinati dalla distruzione di professionalità, danni biologici, etc.) che questi determinano in capo allo Stato, alle imprese e alle famiglie. I parametri italiani, definiti nell'ambito del Piano Nazionale della Sicurezza Stradale, sono del tutto analoghi a quelli usati nella maggior parte dei Paesi europei e significativamente inferiori ai nuovi parametri recentemente adottati nel Regno Unito. In molti Paesi sviluppati, non solo europei, il costo sociale viene utilizzato quale parametro base per individuare le priorità e valutare l'efficacia delle misure poste in essere.

- un **costo sociale procapite di 748 Euro** che risulta inferiore del - 5,1% rispetto al dato medio regionale (788 Euro procapite), ma nettamente superiore (+39,0%) rispetto al dato nazionale (538 Euro procapite).

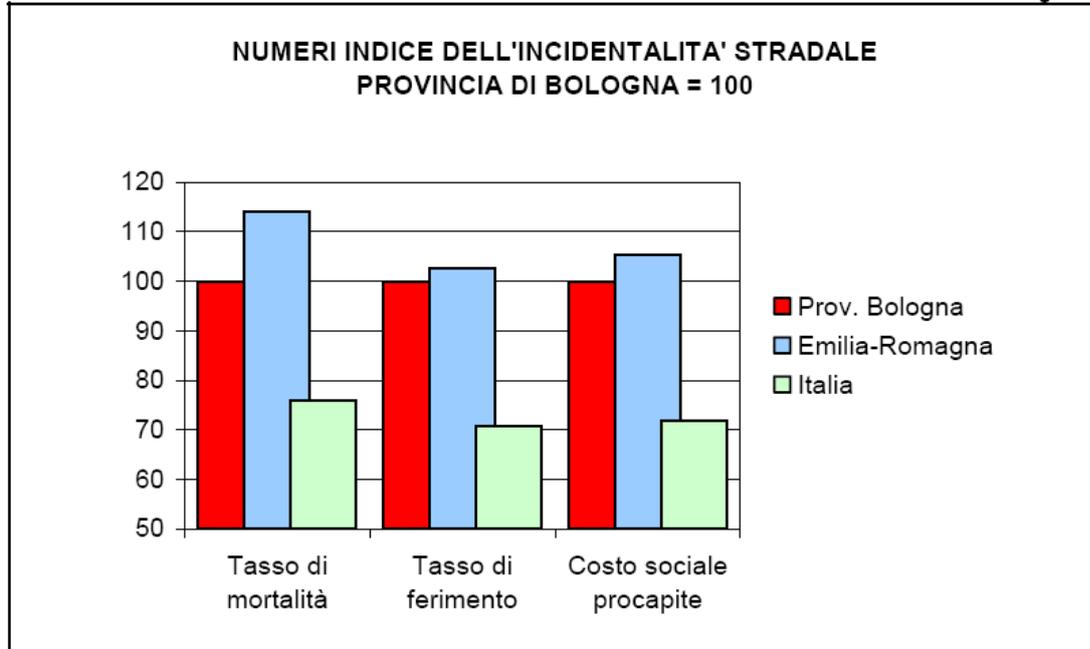


Figura 1.14 – Numeri indice dell'incidentalità stradale nella Provincia di Bologna, 2004[10].

Tabella 1.12 – Dimensioni di riferimento dell'incidentalità stradale nella Provincia di Bologna, 2004 [10].

Voci	Pro BO	Reg ER	Italia
Numero di morti	121	596	5.625
Numero di feriti	7.303	32.414	316.630
Costo sociale (milioni di Euro): ¹	706	3.217	31.145
Tasso di mortalità, TM: _{100.000}	12,8	14,6	9,7
Tasso di ferimento, TF: _{100.000}	773,4	794,4	547,0
Costo sociale procapite (Euro): Cs ²	748	788	536
		Prov BO / Regione	Prov. BO / Italia
		- 12,3%	+ 31,9%
		- 2,6%	- 41,4%
		- 5,1%	+ 39,0%

(1) Oneri economici direttamente determinati dagli incidenti stradali e dalle vittime da questi determinate su famiglie, imprese e Stato. I parametri di determinazione dei costi sociali sono indicati nel Piano Nazionale della Sicurezza Stradale.

(2) Morti per 100.000 abitanti.

(3) Feriti per 100.000 abitanti.

Tabella 1.13 – I numeri della sicurezza stradale nella Provincia di Bologna, 2004 [10].

		Provincia		Italia		
1	Superficie territoriale	Kmq	3.703		301.309	
2	Numero di comuni		60		8.100	
3	Popolazione (migliaia)		944		57.888	
4	Estesa stradale nazionale e provinciale	Km	1.652	100,0%	167.381	100,0%
4a	- rete autostradale	Km	161	9,7%	6.928	4,1%
4b	- rete delle strade statali	Km	111	6,7%	15.204	9,1%
4c	- rete delle strade provinciali	Km	1.380	83,5%	145.249	86,8%
	Estesa stradale nazionale e provinciale procapite (Kmx1.000 ab.)		1,8		2,9	
5	Veicoli in circolazione (migliaia)		744		44.079	
5a	Per 100 abitanti		78,8		76,1	
5b	Per chilometro di rete stradale		100,5		70,1	
6	Numero di sinistri in totale (migliaia)		105.000*		4.500.000	
7	Incidenti stradali con vittime		5.342		224.553	
8	Incidenti con vittime/sinistri in totale		5,1%*		4,9%	
9	Vittime e costo sociale					
9a	Morti		121		5.625	
9b	Feriti		7.303		316.630	
9c	Costo sociale	M€	706		31.145	
10	Variazione nell'ultimo anno:					
10a	- del numero di morti			-4,7%		-7,3%
10b	- del numero di feriti			-0,7%		-3,3%
10c	- del costo sociale			-1,7%		-4,3%
11	Indici di rischio					
11a	- morti per 100.000 abitanti			12,8		9,7
11b	- feriti per 100.000 abitanti			773		547
11c	- costo sociale procapite			748		538

* Dato stimato

1.4.3 Vittime e Rischio

La maggior parte delle vittime degli incidenti stradali si localizza nel territorio del comune di Bologna (qui nel 2004 si sono localizzati 33 morti, il 27,5% del totale provinciale e 3.554 feriti, il 49,4% del totale provinciale)⁷ e in quello degli altri grandi comuni della provincia (Imola, Casalecchio sul Reno, San Lazzaro di Savena, San Giovanni in Persiceto, Castel San Pietro Terme).⁸ Nel complesso i sei comuni “maggiori” raccolgono il 58% della popolazione, il 52% dei morti, il 69% dei feriti e il 65% del costo sociale provinciale. In altri termini, **2/3 delle vittime e del costo sociale determinati dagli incidenti stradali si localizza nei sei comuni maggiori.**

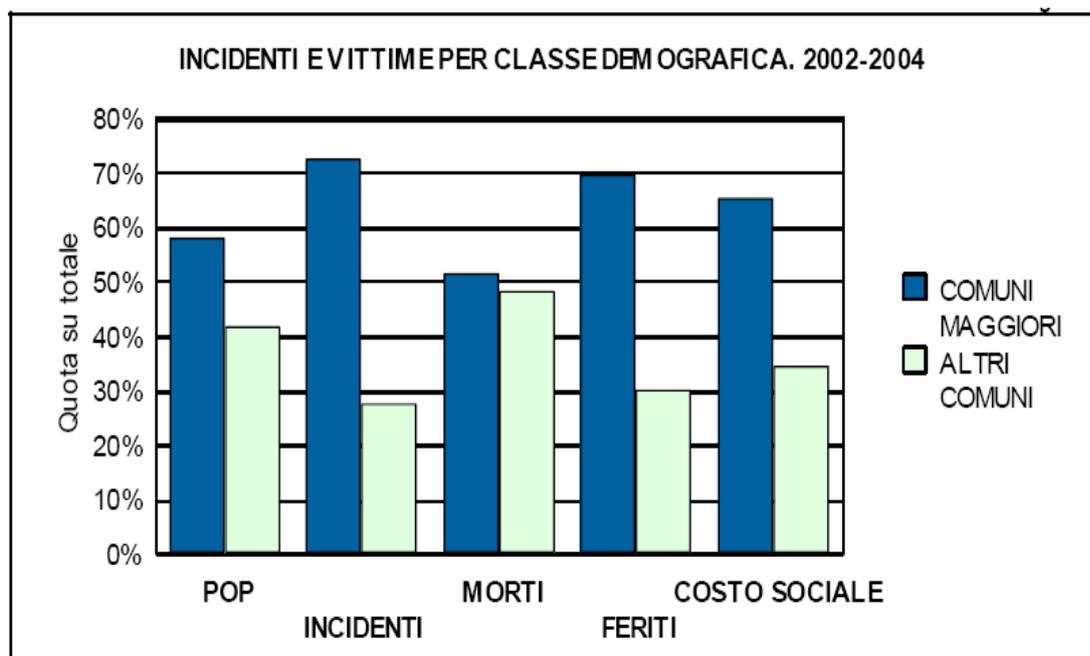


Figura 1.15 – Incidenti e vittime per classe demografica, 2002-2004 [10].

⁷ Una concentrazione di feriti maggiore di quella dei morti è tipica delle grandi aree urbane.

⁸ Sono qui indicati i cinque comuni con oltre 20.000 abitanti e il Comune di Castel S. Pietro Terme che, con una popolazione di 19.700 abitanti, viene a questi assimilato.

Tabella 1.14 – Incidenti, vittime e costo sociale per classe demografica, medie 2002-2004 [10].

INCIDENTI, VITTIME E COSTO SOCIALE PER CLASSE DEMOGRAFICA. MEDIE ANNUALI 2002- 2004					
	POP	INCIDENTI	MORTI	FERITI	COSTO SOCIALE
COMUNI MAGGIORI	549.175	3.846	67	5.175	474
ALTRI COMUNI	394.870	1.463	63	2.233	252
PROVINCIA	944.045	5.309	130	7.408	726
COMUNI MAGGIORI	58,2%	72,4%	51,5%	69,9%	65,3%
ALTRI COMUNI	41,8%	27,6%	48,5%	30,1%	34,7%
PROVINCIA	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Meno intuitiva è, invece, la distribuzione territoriale del **rischio** inteso come rapporto tra vittime e popolazione residente. Sotto questo profilo la provincia di Bologna, come la maggior parte delle province italiane, fa registrare divari territoriali molto elevati. Ad un estremo infatti si possono collocare sei comuni (Castello di Serravalle, Grizzana Morandi, Camugnano, Baricella, Porretta Terme e Mordano). In questi comuni, nell'ultimo triennio, non ci sono mai stati incidenti mortali e solo pochi incidenti con feriti, con tassi inferiori a 240 feriti per 100.000 abitanti e tassi di mortalità, ovviamente, pari a 0. Il costo sociale procapite non supera mai i 180 Euro. Altri sei comuni (Bazzano, Minerbio, Castel d'Aiano, Savigno, Crevalcore e San Pietro in Casale) mostrano tassi di mortalità contenuti (tra 3 e 8 morti per 100.000 abitanti) e tassi di ferimento poco superiori a quelli del precedente raggruppamento (tra 130 e 420 feriti per 100.000 abitanti), con un costo sociale procapite compreso tra 180 e 300 Euro. Si tratta prevalentemente di comuni di dimensioni decisamente contenute (meno di 5.000 abitanti) ma nella fascia dei comuni con i più bassi tassi di mortalità e ferimento non mancano anche comuni di dimensione intermedia come Crevalcore e San Pietro in Casale. (Tabella 1.15) All'estremo opposto si possono collocare quindici comuni (Bentivoglio, San Benedetto Val di Sambro, Crespellano, Zola Pedrosa, Castel San Pietro Terme, Casalfiumanese, Imola, Budrio, Sasso Marconi, Monzuno, Castenaso, San Giovanni in Persiceto, Marzabotto, Bologna e Vergato) dove gli incidenti stradali hanno determinato, in relazione al numero di popolazione o al volume di spostamenti, le più elevate quantità di morti e feriti. In tali comuni si rilevano, a meno di rare eccezioni, tassi superiori a 700 feriti e a 15 morti per 100.000 abitanti con un costo sociale procapite sempre superiore a 800 Euro (valori che sono oltre il 50% più alti della media nazionale). Occorre tuttavia

evidenziare che in almeno sette comuni il livello di rischio è determinato in misura prevalente dalla incidentalità autostradale che ha ben poco a che vedere con la mobilità e la rete infrastrutturale locale. Se depuriamo il numero di vittime da quelle determinate da incidenti avvenuti in autostrada, i comuni che presentano i più elevati indici di rischio sono: Crespellano, Casalfiumanese, Imola, Budrio, Castenaso, San Giovanni in Persiceto, Bologna e Vergato, (Tabella 1.15).

Tabella 1.15 – Divario provinciale di Rischio, 2002-2004 [10].

IL DIVARIO PROVINCIALE DI RISCHIO I COMUNI CON IL MAGGIORE / MINORE INDICE DI RISCHIO VALORI MEDI ANNUI DEL TRIENNIO 2002-2004					
	Comune	POP	TM	TF	CsP
1	BENTIVOGLIO	4.613	72,3	2.146,1	2.587
2	SAN BENEDETTO VAL DI SAMBRO	4.448	15,0	2.046,0	1.715
3	CRESPELLANO	8.340	36,0	1.510,8	1.613
4	ZOLA PREDOSA	16.377	34,6	930,2	1.167
5	CASTEL SAN PIETRO TERME	19.506	30,8	936,4	1.118
6	CASALFIUMANESE	3.058	43,6	654,1	1.089
7	IMOLA	65.880	14,7	1.108,1	1.020
8	BUDRIO	15.845	25,2	765,7	915
9	SASSO MARCONI	14.121	14,2	951,3	898
10	MONZUNO	5.678	29,4	663,3	897
11	CASTENASO	13.656	17,1	886,1	890
12	SAN GIOVANNI IN PERSICETO	24.517	21,8	784,5	881
13	MARZABOTTO	6.412	20,8	795,4	875
14	BOLOGNA	373.661	10,3	976,1	863
15	VERGATO	7.197	32,4	495,6	817
...					
48	SAN PIETRO IN CASALE	10.413	0,0	416,1	306
49	CREVALCORE	12.301	2,7	346,9	293
51	SAVIGNO	2.596	12,8	141,3	283
52	CASTEL D'AIANO	1.921	0,0	347,0	255
53	MINERBIO	8.040	8,3	128,5	210
54	MORDANO	4.322	0,0	239,1	176
55	BAZZANO	6.285	5,3	137,9	175
56	PORRETTA TERME	4.740	0,0	182,8	135
57	BARICELLA	5.862	0,0	130,8	96
58	CAMUGNANO	2.105	0,0	95,0	70
59	GRIZZANA MORANDI	3.877	0,0	68,8	51
60	CASTELLO DI SERRAVALLE	4.251	0,0	62,7	46

In neretto i comuni con livelli di rischio determinati prevalentemente da incidenti in autostrada.

Tra il comune con i più bassi tassi di mortalità e ferimento (Castello di Serravalle con un indice generale di rischio pari a 46) e il comune con i più elevati tassi di mortalità e ferimento (Bentivoglio, con un indice generale di rischio di 2.587 o, se prescindiamo dal contributo dell'incidentalità autostradale, Crespellano con un indice generale di rischio di 1.613) esiste un divario di rischio di 56 / 35 volte.

Ciò significa che alcuni cittadini della provincia subiscono un rischio di restare vittima di un incedente stradale da 56 a 35 volte più elevato di altri. Si tratta di un divario straordinariamente elevato che ha rari riscontri nel territorio nazionale.

Occorre poi considerare che, in linea generale, i territori dove si rilevano i più alti indici di rischio non coincidono necessariamente con quelli dove si rileva il maggior numero di vittime. Questa circostanza evidenzia l'opportunità di tenere conto di due ordini di priorità:

1. ridurre il numero complessivo di vittime agendo in via prioritaria laddove gli incidenti stradali determinano il maggior numero di morti e feriti;
2. ridurre i "picchi" di rischio, per assicurare a tutti i cittadini un livello di rischio il più basso possibile, agendo in via prioritaria dove si verificano i livelli di rischio più elevati.

In altri termini l'elevato divario territoriale di rischio tra i comuni della provincia di Bologna evidenzia come sia importante definire sia un sistema di misure per ridurre le vittime, sia un sistema di misure per riequilibrare i livelli di sicurezza e riassorbire i divari di rischio. Nella figura 1.16, si evidenzia il rapporto tra costo sociale procapite (o indice di rischio generale) e costo sociale (che fornisce una misura ponderata complessiva delle vittime – morti e feriti – degli incidenti stradali).

Il grafico evidenzia come alcuni comuni abbiano i più elevati valori di costo sociale procapite (sul quadrante in alto a sinistra della figura) mentre altri registrino il più alto numero di vittime in assoluto (quadrante in basso a destra).

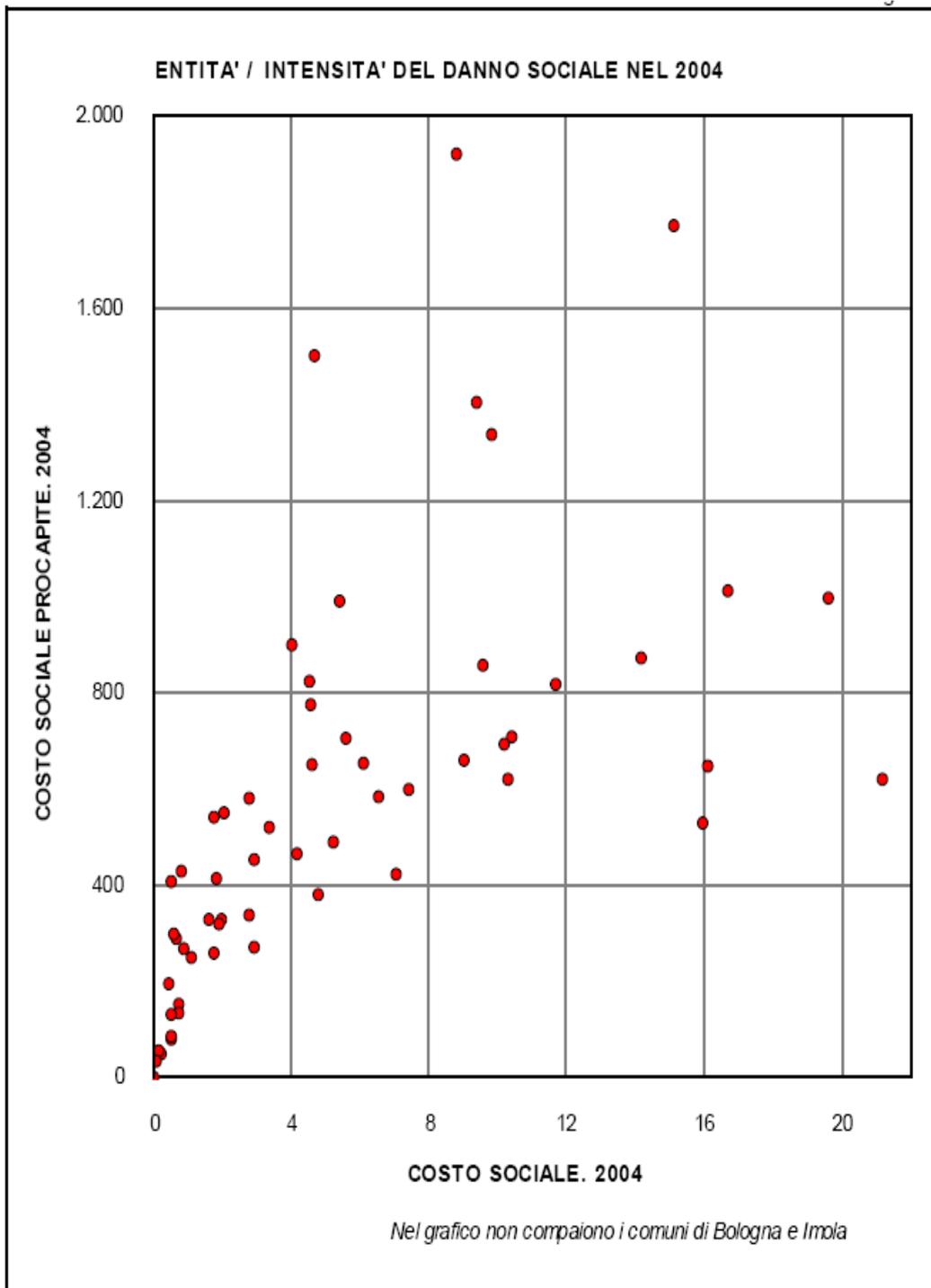


Figura 1.16 - Rapporto tra costo sociale procapite e costo sociale per i comuni di Bologna [10].

1.4.4 Spostamenti e Vulnerabilità

Oltre al numero di vittime e agli indici di rischio (rapporto tra morti, feriti, costo sociale e popolazione residente) c'è un terzo gruppo di parametri che concorre a descrivere in modo compiuto lo stato e l'evoluzione della incidentalità: gli indici di vulnerabilità che misurano il rapporto tra vittime e volume complessivo degli spostamenti in una determinata area (o su una determinata infrastruttura).

Si tratta di un parametro particolarmente rilevante in quanto misura il numero di vittime che si determina a parità di traffico (nel complesso o rispetto a una specifica modalità di trasporto, tipologia di spostamento, etc.). Il punto debole di questa categoria di indicatori è determinato dal fatto che richiedono una rilevazione degli spostamenti che non sempre è disponibile in modo aggiornato, completo e distinto per le diverse modalità di trasporto.⁹

Ciò premesso, notiamo che gli spostamenti sistematici realizzati nella provincia di Bologna nel 2001 risultano essere 1.003.498, pari ad una media di 110 spostamenti per 100 abitanti. Il dato presenta una elevata variabilità territoriale e oscilla tra i 157 spostamenti per 100 abitanti di Bentivoglio e i 64 di Granaglione (fattore di variazione: 2,4). Gli indici di vulnerabilità indicano come mediamente nella provincia si registrino 12,7 morti e 707,8 feriti per 100.000 spostamenti con un costo sociale pari a 697 Euro per unità media annua di spostamento. Anche questi dati presentano una forte variabilità territoriale. Gli indici di mortalità oscillano tra 81 morti per 100.000 spostamenti del comune di Castel Guelfo di Bologna a valori pari e zero nei ventiquattro comuni che, nel corso del 2001, non hanno registrato incidenti mortali. Gli indici di ferimento oscillano tra valori superiori a 1.500 feriti per 100.000 spostamenti del comune di San Benedetto Val di Sambro e valori pari a zero nei quattro comuni che, nel 2001, non hanno registrato incidenti con feriti. Il costo sociale per unità media annua di spostamenti oscilla tra oltre 1.500 Euro (Castel Guelfo, Granaglione, Bentivoglio e San Benedetto Val di Sambro) e zero (Baricella, Minerbio, Molinella e Savigno).

⁹ La Provincia di Bologna (Settore Studi per la Programmazione - UO statistica) dispone della matrice OD ISTAT del 2001 che consente una definizione, in prima approssimazione, degli indici di vulnerabilità generale, non esistono dati sistematici più aggiornati.

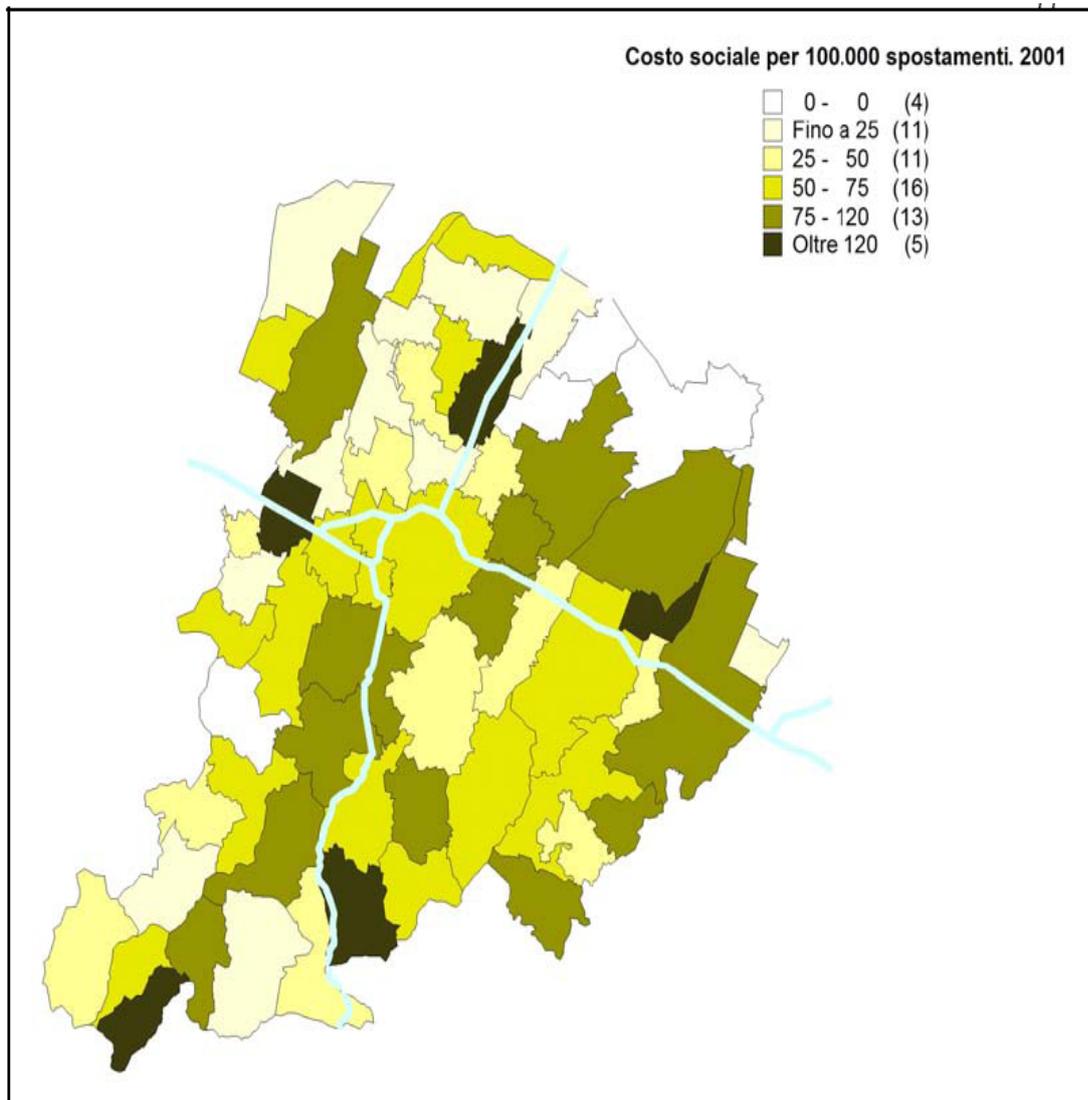


Figura 1.17 – Costo sociale per 100.000 spostamenti, 2001 [10].

1.4.5 Localizzazione dei sinistri

L'analisi delle informazioni riguardanti le caratteristiche del contesto stradale in cui sono avvenuti gli incidenti (figura 1.18) mette in evidenza come il maggior numero di sinistri si concentri nelle strade urbane.

Ad ogni modo (si veda la tabella 13), le strade comunali urbane, pur raccogliendo nel 2007 il 65% degli incidenti stradali avvenuti, registrano una minore proporzione di morti, circa il 42% e presentano di conseguenza un indice di mortalità più contenuto, pari all'1,3%. Questo minor grado di gravità è dunque in parte

imputabile al fattore velocità, normalmente più bassa nei centri abitati. Più gravi, infatti, risultano gli incidenti avvenuti sulle strade provinciali, soprattutto in contesto extraurbano, dove ad un numero molto inferiore di sinistri corrisponde un più elevato indice di mortalità. Il più elevato indice di infortunio, circa il 212%, si registra però per le autostrade, a conferma della maggiore pericolosità di questo tipo di strada.

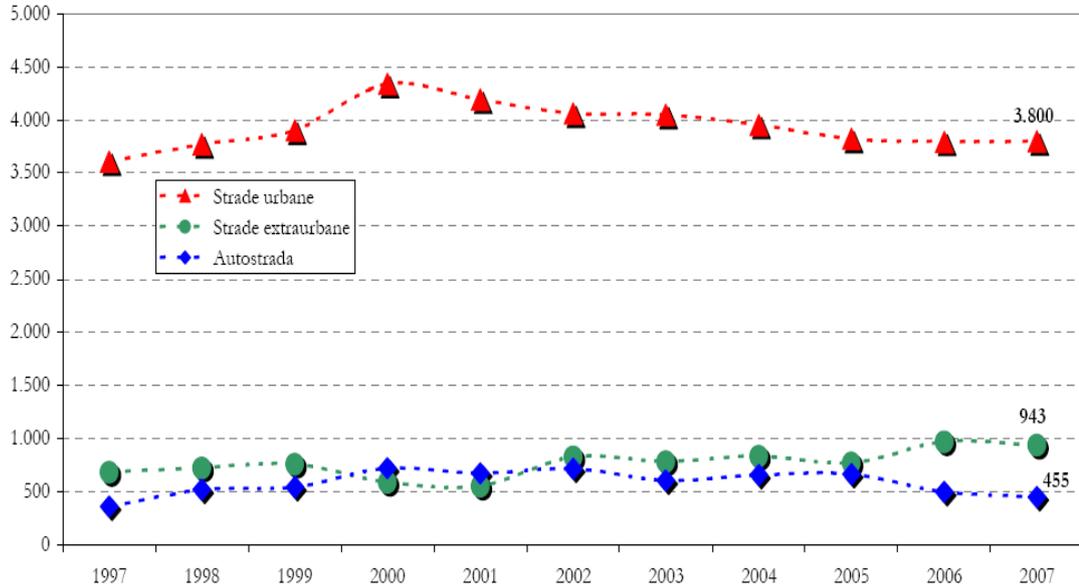


Figura 1.18 – Incidenti stradali per tipo di strada (urbane, extraurbane e autostrade) [11].

Tabella 1.16 – Incidenti stradali, morti e feriti per tipo di strada. Provincia di Bologna, 2007 [11].

	Incidenti %	Morti %	Feriti %	Indice di mortalità	Indice di lesività	Indice di infortunio
Comunale urbana	65,6	42,7	60,5	1,3	129,4	130,7
Comunale extraurbana	4,5	6,8	4,4	3,0	135,2	138,1
Provinciale	13,1	16,5	13,5	2,5	144,6	147,1
Statale	4,8	10,7	5,5	4,4	160,2	164,5
Autostrada	8,8	22,3	12,9	5,1	207,0	212,1
Altra Strada	3,2	1,0	3,2	0,6	140,7	141,3
Totale	100,0	100,0	100,0	2,0	140,3	142,3

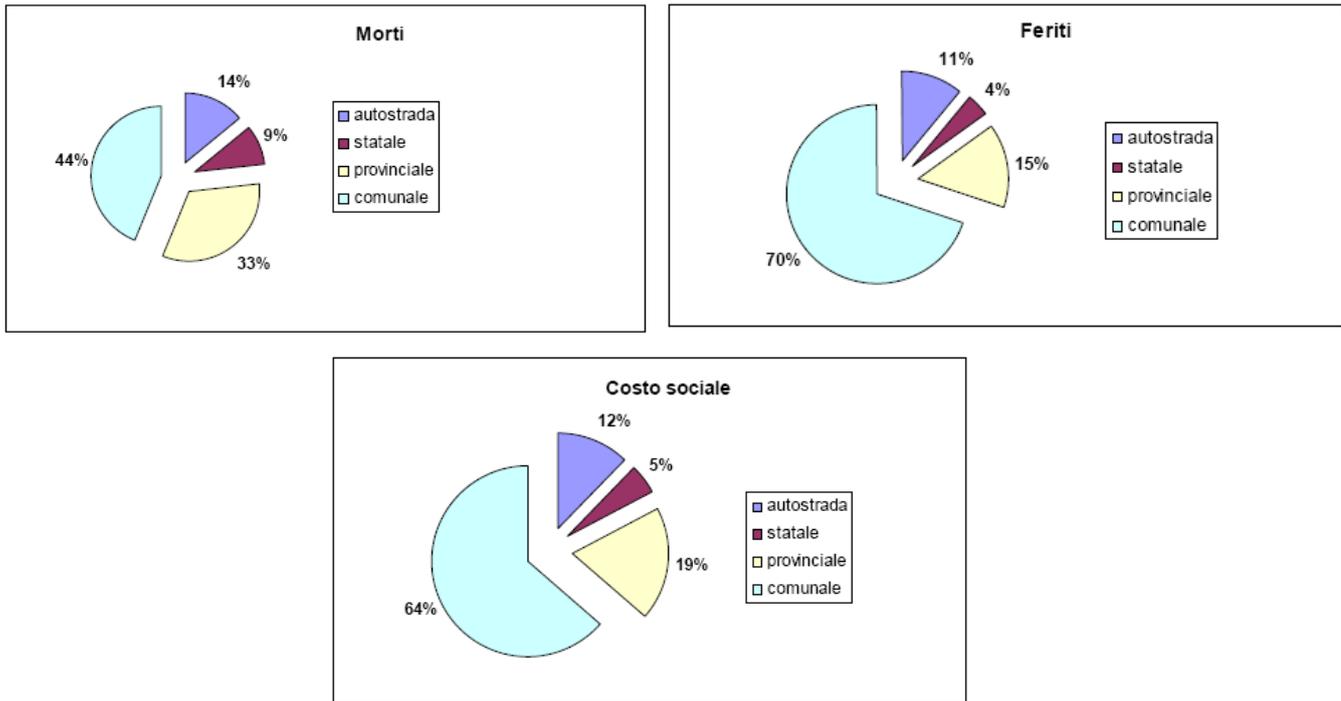


Figura 1.19 – Ripartizione delle vittime (morti e feriti) e del costo sociale procapite in funzione della tipologia stradale [11].

Tipologia di strada	Estensione (Km)	%
Autostrade (A1, A13, A14)	146	1.98
Strade statali (SS9 e SS64)	111	1.51
Strade provinciali	1.358	18.50
Strade comunali	5.728	78.01.00
Totale	7.343	100%

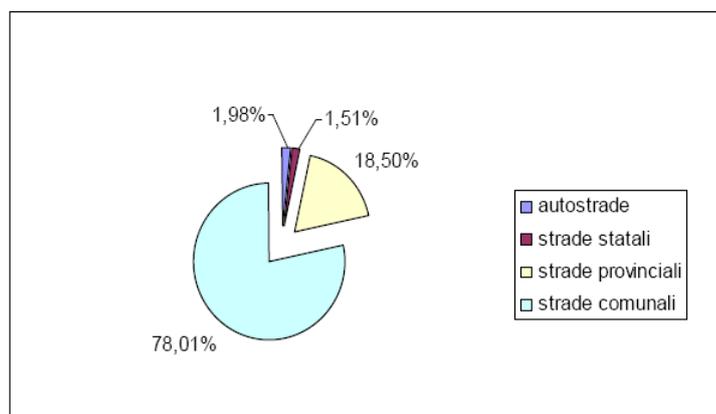


Figura 1.20 – Ripartizione delle infrastrutture sul territorio provinciale [11]

CAPITOLO 2: Modelli per l'analisi della sicurezza stradale

Per descrivere e modellare il problema della sicurezza stradale si considerano generalmente tre grandezze: *il grado d'esposizione, il rischio d'incidente e le possibili conseguenze sui passeggeri* derivanti dall'urto.

La gravità del problema è il prodotto di questi tre fattori. Questo tipo di modello può essere ulteriormente sviluppato considerando una serie di rapporti dove il denominatore dell'ultimo fattore corrisponde alla grandezza che stiamo analizzando. Se un certo rapporto non è calcolabile può essere valutato con una stima, ovviamente il prezzo da pagare per la stima è una minore accuratezza della valutazione.

Le fonti principali dei dati di incidentalità, da dove è possibile dedurre sia le caratteristiche degli incidenti sia le conseguenze in termini di feriti e morti degli stessi, sono i rapporti delle forze dell'ordine (polizia, carabinieri, vigili urbani), le cartelle cliniche degli ospedali ed ovviamente le statistiche delle compagnie di assicurazione. Ciascuna fonte di dati possiede i propri pregi ed i propri difetti. Innanzitutto nessuna è completa in quanto tutte in genere soffrono di una elevata sottostima. Comunque esse sono generalmente incomplete in modi differenti e quindi risulta spesso interessante ed utile confrontare fra di loro più fonti in modo da ottenere risultati più completi e validi. Per esempio se per la ricerca che stiamo attuando è importante conoscere le conseguenze sulle persone coinvolte negli incidenti e quindi il numero di morti ed il numero ed il tipo dei feriti, i dati statistici non possono basarsi unicamente sui rapporti delle forze dell'ordine ma devono necessariamente anche considerare i dati provenienti dagli ospedali. Il problema della sottostima dei dati è ovviamente più grave quando si valutano solamente gli incidenti che hanno provocato danni materiali mentre risulta meno pronunciato quando si valutano solo gli incidenti mortali.

Lo scopo principale che si prefigge un qualunque lavoro che tenta di analizzare la sicurezza sulle strade è quello di valutare la gravità e l'ampiezza del problema nel momento in cui si svolge l'analisi. È facile e spesso troppo comune incentrare l'attenzione dello studio unicamente sul numero degli incidenti, dei feriti e dei morti

che sono in realtà solo l'effetto e la più diretta conseguenza del pericolo che caratterizza la circolazione stradale.

Pertanto al fine di poter confrontare fra di loro le situazioni ed in qualche modo riuscire a classificare i problemi legati alla sicurezza stradale è necessario considerare anche il grado di esposizione in modo da valutare la reale dimensione del problema sicurezza ed identificarne le cause.

Purtroppo le misure relative al grado di esposizione sono sempre le più carenti, spesso sono assenti o non vengono valutate nell'ottica della sicurezza stradale. Ci sono numerosi modi per misurare l'esposizione al rischio: conteggio dei veicoli (misurazione dei flussi veicolari), indagini sulle abitudini di viaggio (ad esempio su un campione di cittadini), misurazioni locali del grado di esposizione (ad esempio su un certo numero di incroci o di strade), stime indirette del grado di esposizione (per esempio tramite l'analisi del consumo di benzina). Di conseguenza, da questi dati, si possono ricavare un gran numero di parametri per la valutazione dell'esposizione. Gli indici più comunemente utilizzati sono il numero di abitanti, il numero di veicoli circolanti, il numero di chilometri percorsi dai veicoli o da coloro che viaggiano, il numero di ore trascorse in viaggio o il numero di ore di utilizzazione di un certo tipo di veicolo, il numero di viaggi o altre caratteristiche della particolare situazione di traffico.

La tecnica dei conflitti di traffico (Hydén,1987) può essere utilizzata in sostituzione del conteggio del numero di incidenti sia nell'analisi dell'incidentalità sia nella stima del grado di esposizione. Questa metodologia si basa sulla definizione dei conflitti che potrebbero portare all'incidente sulla valutazione del tempo che manca alla collisione se non si interviene con una azione risolutiva (ad esempio minore di 0,5 secondi). Il vantaggio di questo metodo è la velocità con cui si riesce a raccogliere un numero significativo di dati, mentre lo svantaggio è rappresentato dalla minore significatività del conflitto di traffico rispetto all'evento incidente. Al fine di valutare il numero di incidenti dal numero dei conflitti vengono utilizzati degli opportuni coefficienti riduttori. Quindi il numero dei conflitti può essere utilizzato per misurare il grado di esposizione così come per le stime indirette del numero di incidenti.

Ci sono inoltre altri parametri propri degli studi comportamentali sugli utenti della strada che permettono di descrivere e di studiare indirettamente la sicurezza

stradale. Il vantaggio nell'utilizzare questi parametri consiste nella loro alta frequenza durante le misurazioni e nella loro facilità di misurazione rispetto ai conflitti di traffico. Lo svantaggio principale risulta invece la loro scarsa validità, ancora minore rispetto allo studio dei conflitti.

Il *rischio* è la relazione che lega gli incidenti da un lato ed il grado di esposizione dall'altro. Come è stato detto precedentemente sia gli incidenti che il grado di esposizione possono essere valutati in modi assai differenti. Il rischio pertanto è un termine che deve essere utilizzato con molta cautela ed attenzione in quanto contiene numerosi trabocchetti in funzione del tipo d'indice considerato, soprattutto quando si fanno dei confronti fra studi diversi.

Le incertezze e gli errori che sono contenuti nei dati di traffico spesso complicano ulteriormente l'interpretazione dei risultati. Ci sono diverse cause di questa scarsa affidabilità dei dati, tra le principali possiamo ricordare: il mancato rilevamento e la omissione di interi "record", gli errori dovuti ad un'errata classificazione dei flussi di traffico, ritardi nel processo di rilettura e sistemazione dei dati che può comportare errori fra dati differenti.

2.1 MODELLI E DATI PER L'ANALISI DELLA SICUREZZA STRADALE

I dati d'incidentalità rappresentano la base per l'analisi e la descrizione dei problemi legati alla sicurezza del traffico. Le modalità con cui i dati vengono utilizzati e presentati influenzano il modo in cui i problemi verranno interpretati.

Al fine di confrontare fra di loro e di classificare diversi problemi di sicurezza stradale occorre valutare con attenzione il grado di esposizione che risulta essere l'informazione chiave in tutti gli studi di sicurezza stradale.

In questo paragrafo sarà fornita una piccola ma utile panoramica sulle principali fonti dei dati di traffico e sui problemi connessi e queste fonti. Saranno altresì descritti vari metodi utilizzabili per l'analisi degli incidenti, delle conseguenze sugli occupanti e del grado d'esposizione.

2.1.1 Dati d'incidentalità e i parametri per la valutazione della sicurezza

La situazione relativa alla sicurezza stradale può e deve essere valutata tenendo in considerazione differenti grandezze collegate a:

- Gli utenti della strada (modo di trasporto, età, ecc.);
- I veicoli (differenti tipi di veicoli, velocità);
- La strada (tipo, caratteristiche geometriche, limite di velocità);
- Il viaggio (scopo del viaggio, distanza da percorrere, tempo di viaggio).

Generalmente ci sono due principali fonti d'informazioni utilizzate negli studi di sicurezza stradale:

1. Dati d'incidentalità.
2. Dati relativi al grado di esposizione.

I calcoli e le stime delle situazioni più a rischio possono essere eseguiti utilizzando questi due grandi insiemi di dati valutati per le stesse categorie d'utenti e per lo stesso periodo di tempo.

Per quanto riguarda i dati d'incidentalità ci sono numerose fonti di dati tra cui ricordiamo:

- I verbali ufficiali delle forze dell'ordine;
- I dati delle compagnie d'assicurazione;
- I dati degli ospedali.

Tutte le fonti presentano i loro vantaggi ed i loro svantaggi, occorre comunque considerare che solitamente tutte le banche dati sopra citate sono state costruite per scopi differenti rispetto allo studio della sicurezza stradale.

La stessa verbalizzazione e ricostruzione effettuate dalle forze dell'ordine spesso tralasciano punti fondamentali per la sicurezza stradale. Inoltre non tutti gli incidenti sono registrati dalla polizia, molti incidenti di piccola entità vengono risolti tra le parti e, se il danno è piccolo, le stesse compagnie di assicurazione non vengono avvertite.

Occorre considerare anche il fatto che la polizia è addestrata appunto a compiti di polizia e quindi non può essere considerata esperta nel campo della medicina d'urgenza o della dinamica del veicolo, pertanto alcune notizie relative all'incidente ed in particolare relative alla gravità dell'impatto ed alle cause scatenanti potrebbero risultare poco accurate, come è stato mostrato da studi che confrontano i dati provenienti dagli ospedali con i dati relativi ai verbali di polizia (Rosman, 1994). È altrettanto chiaro come l'accuratezza nella registrazione del dato cresca proporzionalmente alla gravità dell'incidente. Ciò è illustrato nella tabella 2.1 dove è proposto il risultato di uno studio svolto in Olanda proprio su questo problema (Harris, 1990).

Tabella 2.1 – Accuratezza e precisione del dato (Harris, 1990).

Gravità dell'incidente	Numero di incidenti verbalizzati dalla polizia	Numero di incidenti totale	%
Incidenti con morti	1300	1300	100
Incidenti con feriti ricoverati in ospedale	12000	23000	52

Incidenti con feriti dimessi dall'ospedale subito dopo l'incidente	19000	145000	13
Incidenti con feriti lievi	18000	472000	4
TOTALI	50300	640000	8

Simili percentuali si riscontrano anche in altri paesi come l'Italia dove i dati ISTAT, infatti, risultano, per motivi legati ai criteri di rilevamento adottati, mediamente inferiori del 30% circa rispetto a quelli denunciati nelle statistiche sanitarie. Inoltre l'evidente mancanza d'informazioni sulla gravità dei traumi subiti dalle persone coinvolte impedisce una visione delle reali conseguenze, in termini sociali ed economici, dell'incidentalità stradale.

Un altro studio di Hakkert e Hauer (1988) afferma che all'incirca una percentuale variabile fra il 2 ed il 10% delle persone ferite muore a causa dell'incidente stradale dopo i convenzionali 30 giorni che sono presi come riferimento temporale normale. Queste differenze nelle definizioni causano ovviamente delle differenze nei dati d'origine.

La tabella riportata in precedenza si riferisce unicamente agli incidenti con feriti che anche in Italia sono quelli che vengono catalogati ed elaborati dall'ISTAT. La registrazione degli incidenti senza feriti (Incidenti con soli danni materiali) da parte della polizia è molto rara e ovviamente ancora meno completa di quegli incidenti con vittime che hanno bisogno di affidarsi a cure mediche.

Le fonti di dati alternative come le compagnie di assicurazione, i dati degli ospedali e le campagne di controllo e monitoraggio sul campo sono spesso utilizzate per determinare il livello di "sottostima" dei dati ufficiali (Hakkert e Hauer, 1988). In generale queste fonti "ausiliari" forniscono informazioni solo su una parte del problema sicurezza; i dati provenienti dagli ospedali forniscono informazioni solo sulle vittime ricoverate e sui decessi, i dati provenienti da indagini sul campo forniscono dati attendibili per quella data situazione che poi devono essere generalizzati all'intera popolazione. I dati delle compagnie assicurative infine forniscono informazioni sui danni materiali e fisici riscontrati negli incidenti denunciati.

Sebbene i dati relativi alla frequenza, al numero ed alla gravità degli eventi incidentali rappresentino le informazioni basilari per qualunque studio della sicurezza stradale, sono i dati relativi al grado di esposizione che rappresentano l'informazione chiave. Come già più volte detto il grado d'esposizione può essere definito in modi differenti, per esempio, numero di veicoli coinvolti, distanze percorse, tempo trascorso su strada, numero di viaggi o situazioni di traffico relative a diversi tipi di incidenti.

I più comuni parametri che valutano l'esposizione al rischio di incidente stradale sono:

- Numero di abitanti;
- Numero di veicoli circolanti;
- Percorrenza media del veicolo o dell'utente;
- Tempo medio di utilizzazione del veicolo;
- Tempo medio trascorso dall'utente su strada;
- Numero di viaggi

Praticamente tutti paesi industrializzati hanno un sistema nazionale di monitoraggio del traffico sulle strade principali per la valutazione del traffico giornaliero medio TGM (oppure dell'Annual Average Daily Traffic AADT). I dati in Italia sono buoni per tutta la rete autostradale mentre sono del tutto carenti per la rete statale gestita dall'Ente ANAS. Uno dei limiti di questo tipo di valutazione consiste inoltre nel fatto che vengono distinti i veicoli in varie categorie o classi ma non viene in alcun modo preso in considerazione il numero degli occupanti o dei passeggeri. La percorrenza complessiva dei veicoli o dei guidatori può essere stimata partendo da questi dati aggregati medi da cui è possibile determinare la "sicurezza" in differenti sezioni stradali calcolando ad esempio il numero di incidenti o di feriti per 1 milione di chilometri percorsi. Il rapporto così definito può essere calcolato su base annua o per singoli periodi dell'anno, per un'unica sezione stradale o per gruppi omogenei di sezioni. Ad esempio si possono prendere come riferimento le sezioni autostradali con un limite di velocità di 130 km/h ed un flusso di traffico maggiore ad x veicoli al giorno negli anni 20xx – 20yy.

Un altro modo per raccogliere dati relativi al grado di esposizione consiste nel monitorare un gruppo di cittadini o di possessori di autoveicoli al fine di valutare le loro abitudini di viaggio e l'utilizzo del loro veicolo per un determinato periodo di

tempo. Partendo da queste informazioni è quindi possibile valutare il numero di chilometri percorsi da ciascuna persona, il numero di chilometri percorsi da ciascun veicolo, i tempi di viaggio ed il numero dei viaggi per ben definiti periodi temporali. Da queste stime del grado di esposizione, l'esposizione totale risulta essere il prodotto della popolazione censita o del numero dei veicoli registrati per la stima della media del grado di esposizione di un ben determinato gruppo di utenti o di veicoli. Una limitazione a questo tipo di indagine consiste nel fatto che è difficile collegare la distanza percorsa ad un ben preciso itinerario di cui voglio valutare la sicurezza.

Risulta quindi:

$$\text{Esposizione totale} = (\text{Popolazione}) \times (\text{Stima dell'esposizione media})$$

Oppure:

$$\text{Esposizione totale} = (\text{Numero dei veicoli}) \times (\text{Stima dell'esposizione media})$$

Per esempio è possibile in questo modo determinare il grado di esposizione dei passeggeri di veicoli guidati da uomini di una determinata classe di età e confrontarlo con il numero di passeggeri feriti appartenenti allo stesso gruppo determinati in base ai rapporti di polizia.

È possibile ottenere dei dati sul grado di esposizione al rischio di incidente facendo anche delle stime indirette. Le informazioni relative al consumo di benzina e di gasolio per autotrazione sono normalmente disponibili sia a livello regionale che nazionale e sono un utile indicatore sull'uso delle automobili in quanto esse consumano la maggior parte della benzina e del gasolio. Quindi, conoscendo il consumo medio di un veicolo per ciascun chilometro percorso, è possibile risalire ad una stima del chilometraggio totale per una determinata popolazione di veicoli. In queste stime occorre considerare l'evoluzione tecnica dei veicoli che porta a costruire veicoli e motori sempre più efficienti.

Precedentemente si era già accennato ad un'altra procedura per la valutazione del grado di esposizione che si fonda sul conteggio del numero di conflitti di traffico (Hydén, 1987). I conflitti, che possono essere anche descritti come l'evento "quasi incidente", nascono molto più frequentemente nel traffico rispetto agli incidenti veri e propri, essi comprendono tutti i possibili intralci alla libera circolazione di cui gli incidenti rappresentano solo l'ultimo gradino della scala.

Le tecniche di classificazione dei conflitti di traffico possono essere puramente qualitativi e soggettivi nel qual caso le misurazioni sono fatte tramite delle descrizioni di comportamenti come “frenata improvvisa”, oppure più oggettivi nel qual caso i conflitti sono classificati in base a delle misurazioni di tempi ben precisi come il “tempo di pre-impatto” (se non si eseguono delle opportune manovre correttive) o il “tempo di post-incrocio” (tempo che trascorre dal passaggio di un veicolo da un potenziale punto di conflitto al passaggio di un altro veicolo per lo stesso punto). Gli studi riguardanti i punti di conflitto sono spesso combinati con altri studi di tipo comportamentale.

In determinate posizioni come ad esempio gli incroci, si possono utilizzare osservazioni dirette o registrazioni video al fine di valutare il grado di esposizione al rischio per i pedoni o per i veicoli che accedono in una determinata area. I dati relativi all'esposizione possono inoltre essere riferiti a particolari condizioni di traffico, combinando poi questi dati con i dati di traffico è possibile valutare il rapporto tra numero di conflitti e numero di veicoli che entrano nel nodo.

Il vantaggio di utilizzare questo tipo di tecnica consiste nel fatto che si ottengono un numero maggiore di dati elaborabili (conflitti) in tempi più ristretti, inoltre è possibile classificare i conflitti mediante scale oggettive. Gli svantaggi consistono principalmente nel tempo perso ad osservare i flussi di traffico in modo da costruire una banca dati sufficiente, inoltre se si utilizzano criteri soggettivi occorre addestrare il personale addetto alle osservazioni.

2.1.2 Il rischio e la sua valutazione

Il concetto di rischio è definito dal rapporto fra il numero d'incidenti e una qualche misurazione o stima del grado d'esposizione.

Dalle statistiche relative all'incidentalità si è sviluppato il concetto di valutazione dell'esposizione al rischio. Supponiamo di determinare il numero d'incidenti che avvengono in un certo periodo in una determinata zona e per un determinato gruppo di utenti mediante l'equazione seguente:

$$\text{Numero d'incidenti} = (\text{Esposizione indotta}) \times (\text{Rischio indotto});$$

La domanda a cui occorre dare una risposta è la seguente: come possono essere utilizzati i dati d'incidentalità contenuti in una banca dati al fine di valutare il grado

di esposizione per differenti gruppi di utilizzatori della strada? Sono stati compiuti numerosi sforzi nella direzione di creare un modello statistico che permetta di esprimere il numero di incidenti per un determinato gruppo di guidatori come il prodotto di una fattore di rischio (o predisposizione all'incidente) ed un fattore di esposizione al rischio stesso. La base è normalmente una matrice che descrive il numero e la frequenza di incidenti per diversi gruppi di veicoli, guidatori o feriti negli incidenti (vedi tabella 2.2).

Tabella 2.2 – Matrice degli incidenti per diversi gruppi di utilizzatori della strada.

Gruppo	Parametro di base	Coinvolti in incidenti con		
		Gruppo 1	Gruppo 2	Gruppo 3
1	y_1	x_{11}	x_{12}	x_{13}
2	y_2	x_{21}	x_{22}	x_{23}
3	y_3	x_{31}	x_{32}	x_{33}

L'informazione di base (y_1, y_2, y_3) può essere ad esempio il numero d'incidenti isolati nel singolo gruppo oppure la proporzione fra i guidatori senza colpa ("innocent drivers") e tutte le persone coinvolte negli incidenti.

Il passo successivo consiste nel definire un modello per ciascun termine x_{ij} che comprenda sia il rischio che il grado di esposizione. Il più comune è:

$$y = r_i e_i \tag{2.1}$$

$$x_{ij} = r_i r_j e_i e_j \tag{2.2}$$

dove r sono i fattori di rischio ed e i fattori di esposizione.

Per comprendere meglio il modello riportiamo un esempio pratico riferito agli incidenti mortali avvenuti nel triennio 1991-1993 in Svezia considerando unicamente gli incidenti che hanno coinvolto veicoli pesanti ed autoveicoli (vedi Tabella 2.3).

Tabella 2.3 – Numero di morti su autoveicoli o su veicoli pesanti.

Morti in	Incidenti isolati	Coinvolti in incidenti con	
		Autoveicoli	Veicoli pesanti
Autoveicoli	727	528	285
Veicoli pesanti	42	11	24

In questo caso il parametro di riferimento (y_i) consiste nella distribuzione d'incidenti mortali isolati fra veicoli leggeri e pesanti. L'ipotesi di base più semplice è che essa risulti proporzionale all'esposizione (chilometraggio). I passeggeri d'autoveicoli quindi "viaggiano" 17.3 volte di più che i passeggeri di veicoli commerciali pesanti, pertanto l'esposizione risulta pari a 1 per i veicoli pesanti e pari a 17.3 per le automobili.

Utilizzando la matrice riportata nella tabella precedente ed utilizzando un fattore di rischio pari a 1 per ciascun tipo di collisione, il rischio di rimanere uccisi in uno scontro fra veicoli leggeri risulta:

$$r(\text{rischio}) = \left(\frac{x_{ij}}{e_i \cdot e_j} \right) = \left(\frac{528}{17.3 \times 17.3} \right) = 1.76$$

Allo stesso modo il rischio di rimanere ucciso per un passeggero di un'automobile in un incidente con un veicolo pesante risulta pari a 16.47, mentre questo parametro scende a 0.64 se consideriamo il rischio di rimanere ucciso per un passeggero di veicolo pesante in un incidente con un veicolo leggero; infine in uno scontro fra due camion il coefficiente r diventa 24. Tutti questi valori non hanno una dimensione ma rappresentano un utile base per un confronto.

Un'altra procedura che permette di identificare il rischio di due differenti condizioni tramite due diversi rapporti di probabilità è quella che prevede lo studio su strada di sezioni omogenee dove si sono apportate delle modifiche alla geometria ed alla sicurezza ed il confronto con sezioni di controllo dove non è stato fatto nulla. Questo tipo di procedura è tipica della ricerca medica. Il problema consiste nel fatto che l'evento incidentale non può essere quasi mai collegato direttamente a determinate condizioni al contorno che possiamo definire "ad alto rischio".

Solitamente le statistiche nazionali presentano come indice del rischio relativo il rapporto fra il numero di feriti (o di morti) ed il numero di abitanti per differenti gruppi di età. Questo rapporto è un esempio di descrizione del rischio che risulta sia relativo al singolo gruppo sia relativo all'esposizione al rischio stesso (anni di vita). Esso è anche l'usuale definizione di livello di rischio che si utilizza per altri problemi legati alla salute ed all'incolumità pubblica e quindi può essere confrontato con altri coefficienti di mortalità.

Alcune volte le informazioni relative ai feriti ed ai morti sulla strada vengono trasformati in termini economici o in termini di anni di vita persi al fine di avere ulteriori termini di confronto e paragone.

Infine il concetto di rischio può essere espresso con rapporti o grandezze diverse, ad esempio, la probabilità di essere coinvolto in un incidente o la probabilità di essere ferito o ucciso in un incidente.

Tutte queste grandezze possono essere espresse come prodotto di rapporti di probabilità.

2.2 ANALISI DELLA SICUREZZA STRADALE: UN APPROCCIO DESCRITTIVO

Un problema riguardante la sicurezza stradale può essere descritto per mezzo di tre grandezze principali. La prima grandezza rappresenta il grado di esposizione e quindi è proporzionale in qualche modo al tempo trascorso sulla strada dall'utente o dagli utenti considerati. La seconda grandezza è legata al rischio di incidente e quindi rappresenta a parità di esposizione se per quel determinato gruppo o insieme considerato è più o meno probabile che avvenga un incidente. La terza grandezza infine è collegata alle conseguenze dell'incidente ed è quindi relativa al fenomeno incidentale quando questo è già avvenuto. Rappresenta quindi un indice di gravità o di severità dell'incidente stesso.

Queste tre grandezze: esposizione, rischio e conseguenze coprono i tre principali campi su cui si può operare per modificare le condizioni di sicurezza. Un cambiamento di una di queste tre grandezze può modificare l'intera situazione.

Per esemplificare possiamo utilizzare la seguente espressione:

$$\text{Sicurezza stradale} = \text{Esposizione} \times \text{Rischio} \times \text{Conseguenze}$$

Un esempio di questa espressione potrebbe essere:

$$\text{Morti} = (\text{Esposizione}) \times \left(\frac{\text{Incidenti}}{\text{Esposizione}} \right) \times \left(\frac{\text{Morti}}{\text{Incidenti}} \right)$$

Gli ultimi due fattori sono un indice rispettivamente del tasso di incidentalità e della severità dell'incidente; insieme formano un tasso di mortalità ovvero il numero di morti per unità di esposizione al rischio.

Per comprendere ancora meglio il significato dei tre parametri nella figura 2.1 sono riportati sui tre assi cartesiani le tre grandezze fondamentali in gioco: in questo

caso il volume è proporzionale al numero di feriti o di morti, mentre l'area della faccia laterale è proporzionale al tasso di mortalità.

Quest'ultimo può essere trasformato in un altro tipo di tasso di mortalità ossia nel coefficiente che esprime il numero di morti rispetto al numero di abitanti mediante una nuova serie di prodotti consistenti nella media di esposizione per ciascun abitante, nel tasso di incidentalità e nel tasso di severità precedentemente definiti:

$$\left(\frac{\text{Morti}}{\text{Abitanti}}\right) = \left(\frac{\text{Esposizione}}{\text{Abitanti}}\right) \times \left(\frac{\text{Incidenti}}{\text{Esposizione}}\right) \times \left(\frac{\text{Morti}}{\text{Incidenti}}\right)$$

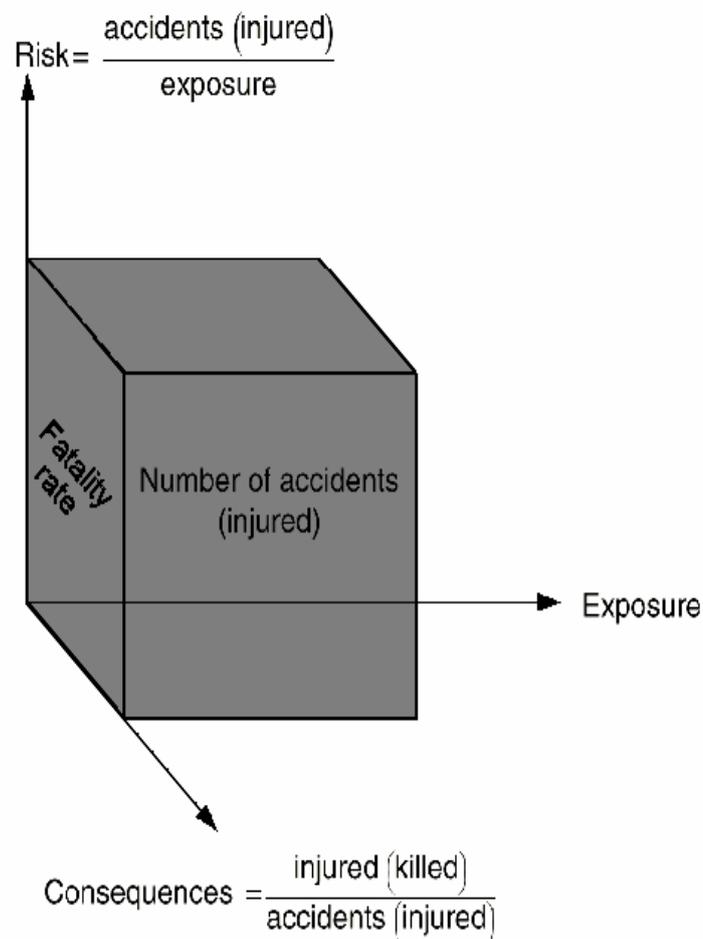


Figura 2.1 – Sicurezza stradale = f(Exposizione x Rischio x Conseguenze).

La teoria descritta in questo paragrafo è illustrata mediante un grafico a tre dimensioni nella figura 2.2 che rappresenta la situazione della sicurezza del trasporto in Svezia.

I dati di incidentalità si riferiscono al numero medio di morti e di feriti nel triennio 1990-1992 ed i dati di esposizione al rischio si riferiscono alla stima del

numero medio di chilometri percorsi per ciascun utente e per ciascun modo di trasporto nell'anno 1992.

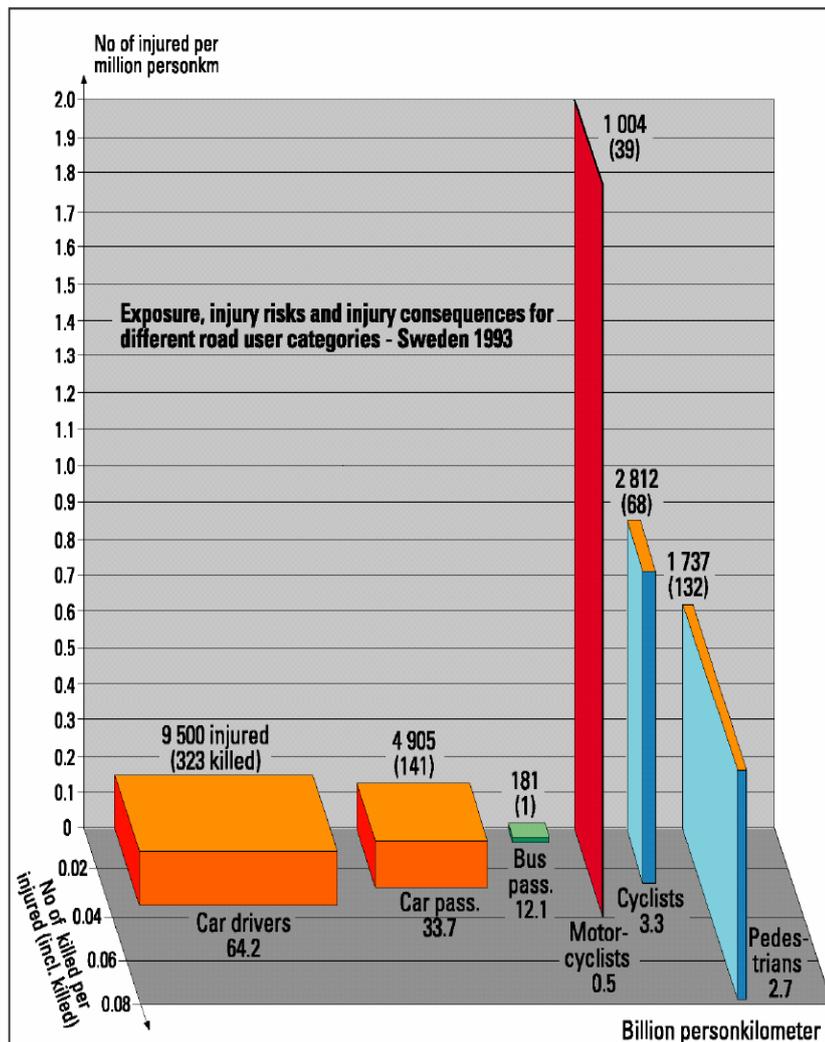


Figura 2.2 – Numero medio annuale di morti per differenti modi di trasporto in Svezia nel triennio 1990-1992.

I volumi sono proporzionali al numero di morti, forniti fra parentesi nel grafico. Le altezze rappresentano il numero totale di feriti per milione di chilometri percorsi, ossia sono un indice del rischio per quel determinato modo di trasporto mentre la larghezza è proporzionale al grado di esposizione per i differenti modi di trasporto. Infine la profondità rappresenta la possibilità di rimanere uccisi se in qualche modo si rimane feriti in un incidente stradale e quindi rappresenta il numero di morti rispetto al numero totale di feriti (morti inclusi).

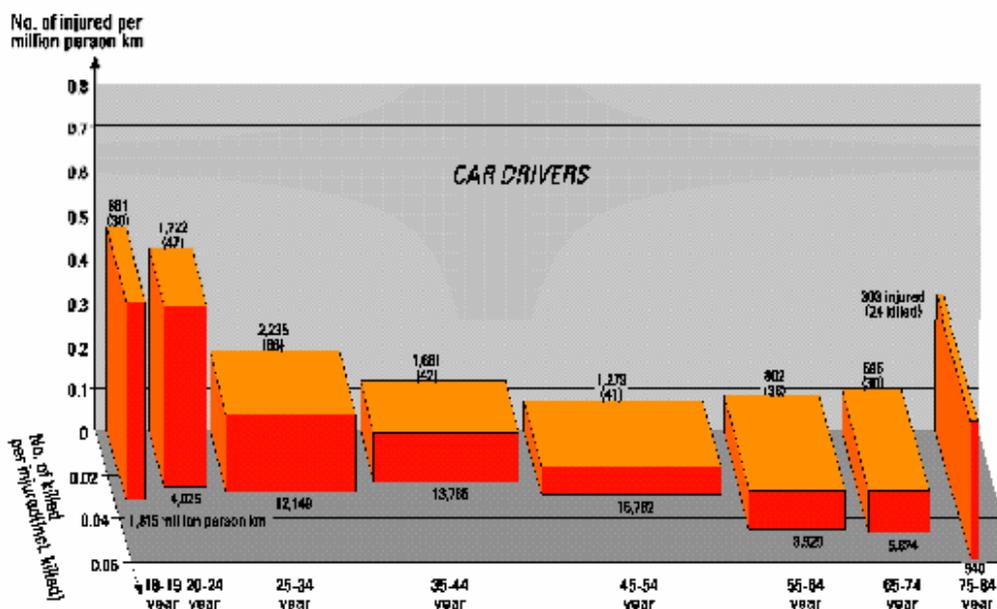


Figura 2.3 – Numero medio annuale di morti su autoveicoli per differenti gruppi di età in Svezia nel triennio 1990-1992.

L'area frontale è proporzionale al numero di feriti, le aree laterali sono proporzionali al tasso di mortalità ossia al numero di morti per milione di persone chilometro.

La figura 2.3 è sempre tratta da un lavoro svedese (Thulin e Nilsson, 1994) nel quale si analizzano in particolare i dati relativi ai morti in incidenti che coinvolgono automobili.

Anche in questo caso sull'asse delle ascisse è riportato il grado di esposizione ma espresso in milioni di persone chilometro per le differenti classi di età in cui è stata suddivisa la popolazione.

2.2.1 Parametri indicatori della sicurezza stradale

2.2.1.1 Frequenza incidentale

La sicurezza di un'infrastruttura è strettamente legata al numero ed alla gravità dei sinistri che vi accadono.

Tuttavia, gli incidenti sono eventi rari ed imprevedibili (figura 2.4) ed il semplice conteggio in un determinato periodo di tempo non è sufficiente a rappresentare la misura della sicurezza di un elemento stradale; occorre invece formulare una definizione che rappresenti una proprietà stabile dell'infrastruttura.

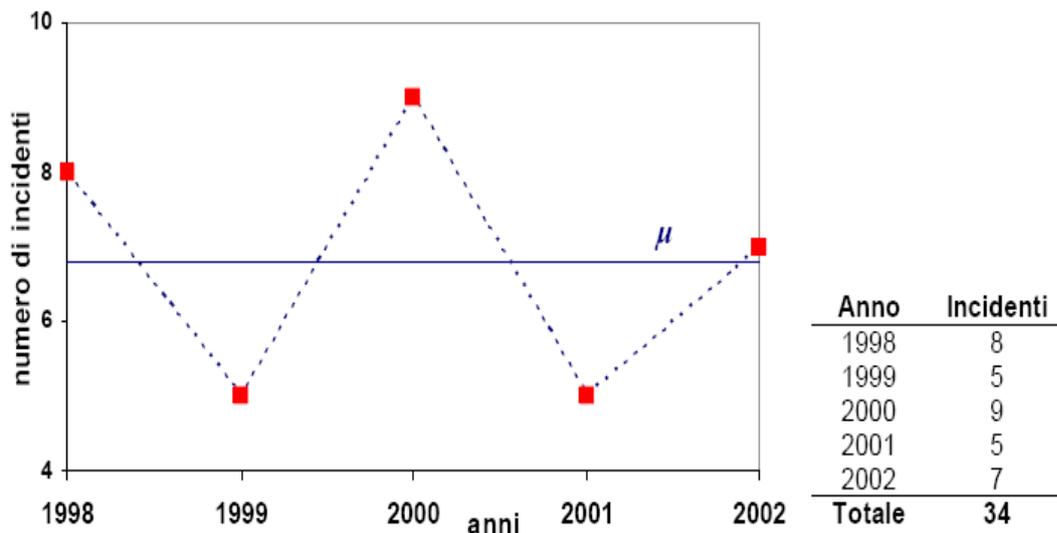


Figura 2.4 – Incidenti in viale I Maggio, Meldola (FC), nel quinquennio 1998-2002.

Considerando una comune analogia, ogni volta che si lancia un dado il risultato è diverso, ma ciò non significa che ad ogni lancio le caratteristiche fondamentali del dado cambino. Qualunque sia il risultato di un lancio, si può stabilire che ogni faccia ha una probabilità di successo pari ad $1/6$ e, nel lungo termine, il punteggio medio risulta pari a 3.5.

Anche per definire la misura della sicurezza stradale è quindi necessario trovare un valore medio che si riveli stabile a lungo termine.

In letteratura, è consuetudine rappresentare il conteggio degli incidenti relativo ad un elemento dell'infrastruttura mediante una variabile casuale che segue la

distribuzione di Poisson (Hauer, 1997; Hirst et al., 2004; Davis et al., 2000, Elvik, 2002).

La funzione di Poisson consente la previsione del numero di eventi casuali di un dato fenomeno in uno specifico intervallo spaziale o temporale. La probabilità che una variabile casuale di Poisson X assuma un dato valore x si ottiene dalla seguente espressione:

$$P(X = x) = \frac{\mu^x e^{-\mu}}{x!} \quad x = 0, 1, 2, \dots \quad (2.3)$$

Dove $\mu = E(x)$ rappresenta il valore atteso della variabile X .

Anche la varianza di X , in valore assoluto, è pari al valor medio:

$$\text{var}(x) = \mu$$

Nell'esempio in figura 2.4, la sicurezza può quindi essere rappresentata dalla frequenza annua di incidenti μ calcolata nel quinquennio 1998-2002:

$$\mu = 34/5 = 6.80 \text{ inc/anno}$$

In questo caso μ esprime la stima del valore atteso, nel lungo termine, della variabile casuale "conteggio degli incidenti".

Sotto questa ipotesi, la probabilità che in un anno avvengano, ad esempio, $X = 4$ incidenti, è data da:

$$P(X = 4) = \frac{6.8^4 e^{-6.8}}{4!} = 0.10 \quad (2.4)$$

La variabilità di μ è definita dalla deviazione standard s :

$$s = \sqrt{\text{var}(X)} = \mu = 2.61 \text{ inc/anno} \quad (2.5)$$

e la sicurezza del tratto nel quinquennio 1998-2002 può essere quindi stimata in 6.8 ± 2.61 inc/anno.

Generalizzando, quindi, la sicurezza di un elemento stradale può essere definita dal valore atteso di incidenti, per tipologia e gravità, in un determinato periodo di tempo. In questi termini, la sicurezza è misurata da una frequenza temporale di incidenti. Alcuni autori (Abbess et al., 1981), avendo osservato che i dati sperimentali spesso denunciano una varianza numericamente superiore alla media, rappresentano il conteggio di incidenti con una distribuzione binomiale negativa. In questo caso la varianza si esprime con la formula:

$$\text{var}(X) = E(X) \left(1 + \frac{E(X)}{\varphi} \right) \quad (2.6)$$

in cui φ , denominato “coefficiente di dispersione”, misura l’entità dello scostamento dalla distribuzione di Poisson; se $\varphi \approx 0$ i conteggi seguono la legge di Poisson; si può tuttavia dimostrare (Baruya, 1998) che se la varianza non supera del 20% il valore della media può essere applicata la distribuzione di Poisson senza commettere errori apprezzabili.

2.2.1.2 Il Tasso di incidentalità

La pratica corrente e le normative in vigore [45], partendo dall’ovvia considerazione che all’aumentare del numero di veicoli e delle loro percorrenze cresce la probabilità di incidente, propongono, come indicatore della sicurezza di un’infrastruttura, il tasso di incidentalità T , definito dall’espressione:

$$T = \frac{N}{E} \quad (2.7)$$

dove N corrisponde al numero di incidenti registrato in un elemento stradale in un determinato periodo di tempo ed E rappresenta l’esposizione (o “momento di traffico”), determinato dal prodotto:

$$E = TGM \times L \times G \quad (2.8)$$

in cui:

TGM è il traffico giornaliero medio (veic/giorno);

L è la lunghezza del tratto considerato (km);

G è l’unità di tempo corrispondente al rilievo degli incidenti N (anni, mesi, ...).

Sono così entrati nell’uso corrente il Tasso di Incidentalità Globale TIG :

$$TIG = \frac{10^8 N}{365 \cdot TGM \cdot L} \text{ inc } / (10^8 \text{ veic} \times \text{km})$$

ed i tassi di ferimenti TI e decessi TD pari, rispettivamente, al numero di persone incidentate (morti più feriti) e decedute per cento milioni di veicoli \times km.

Tuttavia, nella definizione della sicurezza di un’infrastruttura, il tasso di incidentalità deve essere impiegato con cautela. A tale proposito, è importante sottolineare che la relazione fra numero atteso di incidenti in un dato periodo (o frequenza attesa) e flusso di traffico di solito non è lineare. Si consideri, ad esempio,

che tale relazione abbia l'andamento curvilineo di fig. 1.6. In questo caso, il tasso di incidentalità relativo alla condizione A (flusso di traffico pari a 2500 veic/giorno) risulta proporzionale all'inclinazione della retta A. Se il traffico sale a 4000 veic/giorno (punto B), il numero di incidenti aumenta, ma il tasso di incidentalità diminuisce, nonostante l'aumento del traffico non abbia reso la strada più sicura.

Il tasso di incidentalità, inoltre, non si rivela adatto nel descrivere gli effetti di un intervento in un assegnato elemento stradale. In fig. 1.6 sono riportate le "Safety Performance Function" relative ad una strada dell'Ontario (Hauer, 1997) calcolate prima e dopo la realizzazione delle linee di margine. A parità di traffico e lasciando immutate tutte le altre caratteristiche, la strada dopo l'intervento risulta senza dubbio meno sicura.

Se tuttavia si opera un confronto fra il tasso di incidentalità di una strada senza linee di margine e con un TGM pari a 4000 veic/giorno (punto B) e quello di una strada avente le medesime caratteristiche ma con le linee di margine e TGM di circa 5000 veic/giorno (punto C), si può concludere che la strada più sicura è quella con il tasso minore (corrispondente al punto B).

Per questo motivo, quando il numero atteso di incidenti non è direttamente proporzionale al flusso di traffico, il valore del tasso di incidentalità, se non utilizzato ed interpretato correttamente, può condurre a risultati errati.

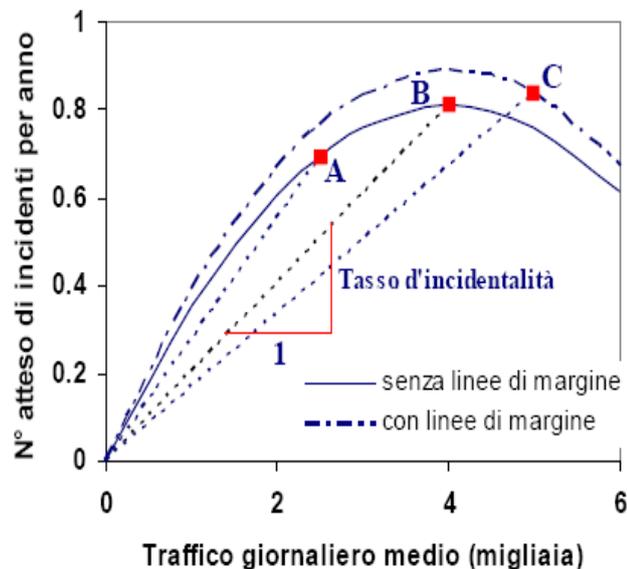


Figura 2.5 – "Safety Performance Function", relazioni fra traffico ed incidentalità.

La frequenza di incidenti, quindi, e non il tasso di incidentalità, sarà in seguito utilizzata come indicatore dell'efficacia degli interventi di ingegneria della sicurezza,

e le variazioni dei flussi di traffico prima e dopo il trattamento e fra diversi siti di confronto verranno prese in considerazione modificando opportunamente tale frequenza.

2.2.1.3 “Target accidents”

La misura della sicurezza di un determinato elemento della rete stradale si ricava dai dati di incidente rilevati dagli organi competenti. Per operare una stima accurata dell’efficienza di un qualsiasi intervento occorre selezionare, fra tutti gli incidenti disponibili, quelli che possono essere effettivamente influenzati dal trattamento (“target accidents”) ed inserire solamente questi ultimi nelle analisi.

L’identificazione dei probabili “target accidents” presuppone la conoscenza della dinamica di ciascun sinistro, cosa che può rivelarsi difficoltosa se i dati sono disponibili unicamente in forma aggregata. Tuttavia, trascurare la selezione dei “target accident” può condurre a conclusioni errate sulla bontà del provvedimento.

Per citare un esempio significativo, in tab. 1.1 sono riportati i dati relativi ad uno studio “before/after” sugli effetti dovuti alla decisione di consentire ai veicoli la svolta a destra durante la fase di rosso in alcune intersezioni (Hooper, 1981).

Tabella 2.4 – Incidenti per svolta a destra durante la fase di rosso (Hooper, 1981).

	Svolta a destra	Altro	Totale
	(Target)	(Comparison)	
Before	2192	28656	30848
After	2808	26344	29152

Tutti gli incidenti coinvolgenti almeno un veicolo in svolta a destra sono stati selezionati come “target accidents”, mentre i rimanenti sono stati utilizzati come gruppo di confronto (“comparison group”).

Si assume l’ipotesi che, se il provvedimento non fosse stato messo in atto, gli incidenti per svolta a destra nell’“after period” sarebbero cambiati nella stessa misura di quelli appartenenti al gruppo di confronto. Di conseguenza, indicata con y tale stima, risulta:

$$y = 2192 \frac{26344}{28656} = 2014inc$$

Gli incidenti effettivamente registrati nell'“after period” risultano 2808, per cui si può stimare un incremento di incidentalità pari al 28% attribuibile alla decisione di consentire la svolta a destra durante la fase di rosso.

Se invece non fossero stati identificati i “target accidents” e si fossero confrontati tutti gli incidenti disponibili, sarebbe stata erroneamente attribuita all'intervento una riduzione di incidentalità pari al 5.5%.

2.2.2 Problemi di interpretazione ed attendibilità dei risultati

Osservando le poche figure riportate nei paragrafi precedenti si può notare come si possano dedurre ben poche informazioni sugli eventuali cambiamenti avvenuti nel grado di esposizione al rischio negli anni o sulle differenze in termini di rischio o di severità dell'incidente in quanto non si hanno indicazioni precise su quali siano gli interventi più opportuni per migliorare la sicurezza stradale. Il grado di esposizione è, come già più volte detto, la chiave di volta del concetto di sicurezza, il parametro fondamentale per descrivere o confrontare fra di loro diverse situazioni di traffico o diversi problemi.

Comunque è importante precisare come i risultati e quindi le conseguenze ed i commenti che da essi si possono dedurre dipendono anche dall'unità di misura utilizzata per quantificare il grado di esposizione al rischio.

Tutto ciò appare subito chiaro analizzando la figura 2.6 dove il grado di rischio è valutato utilizzando due diversi parametri di riferimento: il numero di feriti per milione di persone-chilometro e il numero di feriti per milione di ore trascorse nel traffico per tre diverse categorie di riferimento, automobilisti, ciclisti e pedoni.

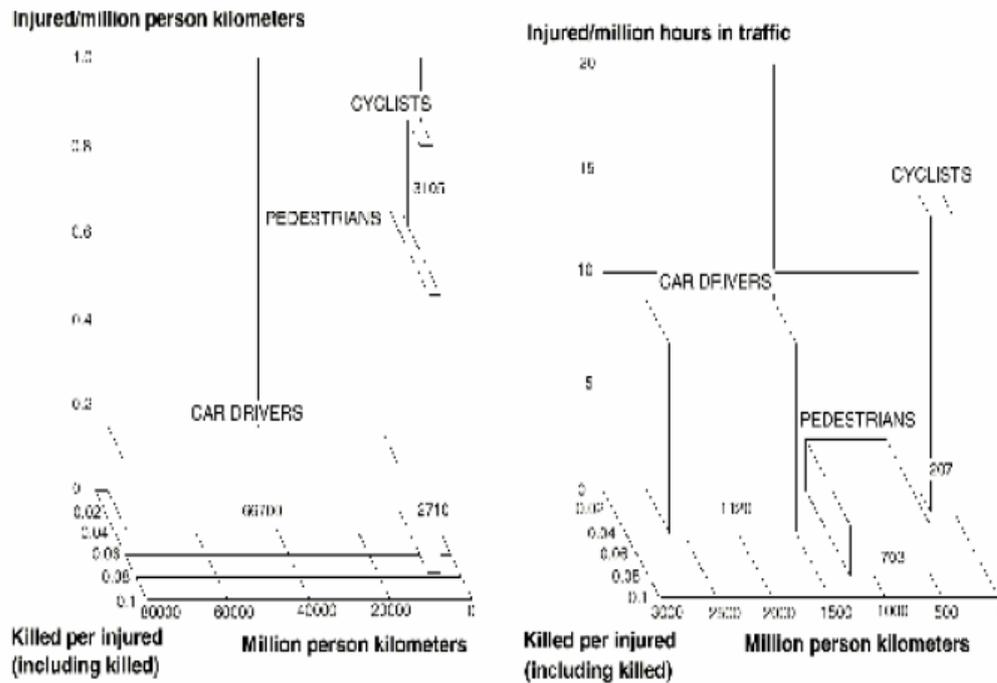


Figura 2.6 – Descrizione del rischio utilizzando due diverse unità di misura del grado di esposizione, milioni di persone chilometro o ore nel traffico, per automobilisti, pedoni e ciclisti, Svezia 1992.

Il numero di morti e feriti nei due grafici ovviamente coincide ed è rappresentato dal volume e dalle aree frontali, così come coincide nei due grafici la profondità per ciascuna delle tre categorie considerate che è proporzionale al numero di morti per ferito (indice di gravità).

Comunque, utilizzando le due diverse unità di misura per l'esposizione, la descrizione della situazione di rischio cambia notevolmente fra i tre diversi modi di trasporto.

Se l'esposizione è misurata in persone-chilometro, gli automobilisti si possono considerare molto meno in pericolo rispetto ai pedoni o ai ciclisti; ma se invece consideriamo come parametro di riferimento le ore trascorse nel traffico e quindi passiamo dalla grandezza "spazio" alla grandezza "tempo", il rischio di rimanere feriti come pedoni risulta molto minore rispetto al rischio di rimanere feriti in un incidente come automobilista o come ciclista.

Una terza possibilità è rappresentata dall'utilizzare come unità di esposizione al rischio il numero di viaggi. In questo caso il rischio si avvicina maggiormente alla figura che utilizza le ore nel traffico come unità di esposizione se il tempo medio di viaggio non varia notevolmente con il mezzo di trasporto considerato.

Solitamente quando vengono effettuati dei confronti fra diversi modi di trasporto si considera come parametro di riferimento il numero di persone chilometro o il

numero di veicoli chilometro. Ad esempio tutte le statistiche autostradali in Italia considerano come riferimento proprio questa unità di misura. Quando invece si passa a confrontare fra di loro rischi completamente diversi corrispondenti ad altre attività che si compiono nella società si preferisce utilizzare come parametro di riferimento la grandezza tempo.

Ma siamo così sicuri che sia corretto confrontare fra di loro i tassi di incidentalità per i vari modi di trasporto utilizzando come parametro di riferimento i chilometri percorsi anziché le ore trascorse nel traffico o il numero di abitanti di un determinato paese o di una determinata regione? Wilde nel suo interessante volume "Target Risk" (1994) pone alcuni dubbi sull'utilizzo del numero di chilometri percorsi come misura del grado di esposizione. È infatti possibile che la stessa misura realizzata per migliorare la sicurezza stradale possa diminuire il rischio e quindi aumentare la sicurezza per chilometro percorso ma in qualche modo aumenti il tasso di incidentalità per ora trascorsa nel traffico o il tasso di mortalità per abitante a causa di incidenti stradali. Ci si pone quindi la domanda: "Realizzando una strada più sicura si può in qualche modo incrementare il tasso di mortalità?".

L'apparente paradosso di questa domanda nasce dal fatto che se rendiamo l'attività "guidare" o "viaggiare in automobile" più sicura per chilometro di viaggio parte della domanda di mobilità si può spostare sulla strada, inoltre la mobilità può aumentare anche solo per questo fatto. Quindi se più persone compiono l'attività "viaggiare in automobile" più persone moriranno o rimarranno ferite sulla strada. Pertanto la realizzazione di strade più sicure (ad esempio nuove autostrade) o lo sviluppo di automobili più resistenti in caso di urto può portare ad una riduzione del tasso di mortalità per chilometro percorso ma probabilmente non cambierà il tasso di mortalità per ora di esposizione e quasi sicuramente aumenterà il tasso di mortalità per abitante dovuto al trasporto su strada.

Per meglio comprendere la situazione consideriamo un altro scenario sempre collegato al problema della salute pubblica così come illustrato da Wilde (1994). Supponiamo dunque che qualcuno inventi una sigaretta che riduce il tasso di mortalità per sigaretta fumata del 50% rispetto alle sigarette attuali. Si può considerare questa scoperta un progresso? La risposta non è sicuramente "sì", in realtà la risposta più giusta sarebbe "dipende".

Se non c'è un cambiamento nel desiderio della popolazione di rimanere in salute e quindi se non c'è un cambiamento nel modo di pensare generale probabilmente i fumatori fumeranno il doppio. Il loro tasso di mortalità quindi non cambierà. Ma questa non è la sola possibile ripercussione: la maggiore disponibilità di sigarette più "sicure" e meno dannose per la salute potrebbe portare alcuni fumatori a cambiare le proprie abitudini ed a smettere di fumare così come ancor di più potrebbe aumentare il numero di non-fumatori che cominciano a fumare, cadendo in tentazione, proprio perché l'azione del "fumare" è diventata meno pericolosa. Alla fine dei conti probabilmente aumenterebbe il numero di morti per abitante per malattie collegate al fumo.

Quindi quando possiamo definire un intervento per la sicurezza stradale veramente efficace? La risposta dipende ancora una volta dal punto di vista e dal criterio che si sceglie per classificare l'intervento.

La diminuzione del numero di vittime sulla strada per unità di distanza percorsa può essere considerato un successo dal punto di vista del Ministro dei Trasporti, mentre il contemporaneo aumento di numero di morti a causa di incidenti stradali rispetto alla popolazione attiva potrebbe risultare preoccupante dal punto di vista del Ministro della Sanità.

Appare quindi chiaro come sia importante la scelta del denominatore nel calcolo del tasso di incidentalità. Ogni volta che si parla di sicurezza stradale e si confrontano fra di loro situazioni e scelte differenti è importante sempre specificare con chiarezza l'unità di misura che si adotta per la valutazione del grado di esposizione.

Rimane poi il dubbio se utilizzare il parametro legato allo "spazio" o il parametro legato al "tempo" per il calcolo del tasso di incidentalità. Forse più che interrogarsi su quale unità di misura utilizzare al denominatore, ha senso pensare a come sia possibile passare dal parametro "persone chilometro" o "veicoli chilometro" al parametro "numero di ore trascorse nel traffico". Molto semplicemente per trasformare un parametro legato allo "spazio" in un parametro legato al "tempo" occorre utilizzare la velocità.

Il parametro velocità è una grandezza fondamentale per la valutazione del rischio di incidente connesso al trasporto su strada come confermato da numerose e recenti ricerche (Gårder, 1998), (Kloeden ed al., 1997).

L'importanza della grandezza velocità nello studio della sicurezza stradale è senza ombra di dubbio fondamentale e proprio per questo motivo l'argomento verrà trattato e discusso in seguito.

Basti in questa sede commentare la figura 2.7 dove sono riassunte le opinioni di 14 esperti di sicurezza sugli argomenti più importanti che devono essere inclusi all'interno di un programma di miglioramento della sicurezza stradale.

Ebbene il problema principale da affrontare secondo tutti i 14 esperti è rappresentato dalla velocità eccessiva ("speeding").

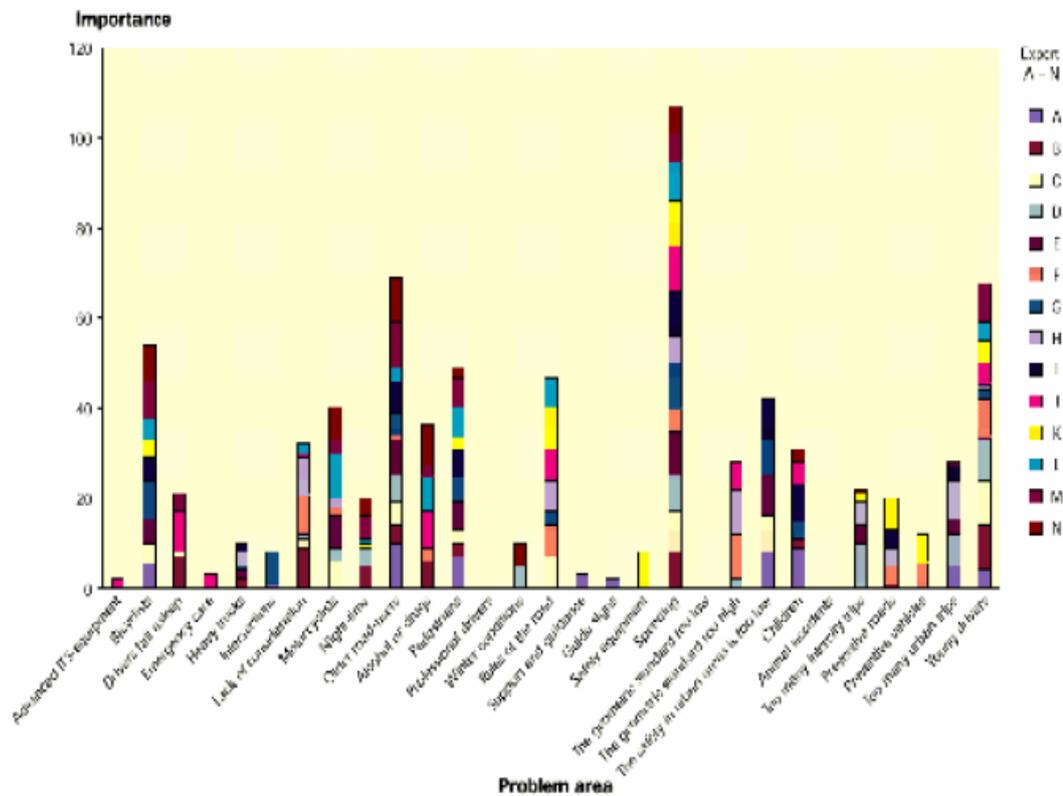


Figura 2.7 - Valutazione dell'importanza dei vari fattori connessi alla sicurezza stradale mediante un gruppo di esperti del settore (Gårder, 1998).

A conclusione di questo paragrafo possiamo dire che è necessario approfondire sempre lo studio dei parametri e delle grandezze relative ai coefficienti utilizzati per lo studio della sicurezza stradale al fine di evitare grossolani errori.

Inoltre occorre sempre ricordare che in genere i dati relativi al grado di esposizione non corrispondono al periodo di indagine relativo agli incidenti.

Raramente abbiamo una totale corrispondenza nel tempo, nello spazio e nel particolare gruppo di utenti considerato fra i dati di incidentalità ed i dati relativi al grado di esposizione.

Mentre i dati sugli incidenti nella migliore delle ipotesi sono archiviati in continuo in appositi database i dati relativi all'esposizione sono rilevati spesso con frequenza saltuaria e con metodologie diverse, ottenendo dati molto eterogenei e caratterizzati da un differente grado di attendibilità.

2.3 MODELLI ESITENTI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Gli incidenti stradali sono il risultato di un numero potenzialmente elevatissimo di cause e fattori esterni che esercitano la loro influenza tutti nello stesso istante e nella stessa posizione.

Può essere utile dividere tutti questi fattori che influenzano l'evento incidentale e il suo rilievo in sei grandi gruppi omogenei:

- Prima di tutto il numero di incidenti dipende da un certo numero di fattori completamente autonomi che si determinano al di fuori del sistema nazione e che molto raramente possono essere influenzati da un singolo governo, tra questi possiamo annoverare: il clima, lo sviluppo tecnologico, il prezzo del combustibile, la struttura sociale ed il numero degli abitanti.
- Per secondi ricordiamo tutti i fattori che dipendono dalle condizioni socio-economiche generali, alcune delle quali possono essere modificate tramite delle decisioni politiche anche se raramente ciò avviene con lo scopo preciso di aumentare la sicurezza stradale come per esempio: lo sviluppo industriale, il grado di disoccupazione, il livello dei consumi, le risorse disponibili, le imposte, l'inflazione, ecc.
- Al terzo livello posizioniamo lo sviluppo e la struttura delle rete dei trasporti nazionale e le politiche ad essa indirizzate; ovviamente esse influenzano le statistiche incidentali anche se non sono espressamente considerate come un elemento della sicurezza stradale. Per esempio possiamo indicare: le infrastrutture di trasporto, il livello di servizio e le tariffe del trasporto pubblico, la domanda di mobilità, le scelte modali, la tassazione sui veicoli e sul combustibile, le dimensioni e la struttura del parco macchine circolante, ecc.

- Per quarto le statistiche di incidentalità dipendono dal sistema di acquisizione, ossia da come gli incidenti vengono rilevati, catalogati e registrati. Si è già evidenziato come sia normale una generale sottostima del numero degli incidenti.
- L'evento incidente, esattamente come il lancio di un dado, è fortemente influenzato dalla casualità, questo fatto produce nelle statistiche relative agli incidenti stradali delle spesso inspiegabili variazioni. Queste forti differenze si riscontrano soprattutto quando il numero dei record è ridotto. Nei database più sviluppati ovviamente prevale la legge dei grandi numeri e quindi i dati risultano più stabili, con pochissime fluttuazioni, ancora una volta in accordo con il gioco dei dadi.
- Infine le statistiche d'incidentalità e quindi i parametri che da esse possiamo determinare possono essere influenzate dalle procedure e dai sistemi utilizzati per cercare di ridurre il rischio di rimanere coinvolti o feriti in un incidente stradale.

Sebbene sia proprio quest'ultimo gruppo di elementi che viene solitamente preso in considerazione dai tecnici e dai politici per operare le scelte nel campo della prevenzione degli incidenti purtroppo non è l'unico anzi è lontano dall'esserlo e non è detto che sia il più importante. Per combattere la mortalità sulla strada è necessario ampliare il punto di vista e valutare l'intero panorama dei fattori che in qualche modo influenzano la sicurezza stradale.

Sicuramente occorre sempre introdurre in tutti i confronti e in tutte le analisi il grado di esposizione al rischio al fine di poter valutare gli obiettivi più opportuni.

Per poter in qualche modo collegare la riduzione del tasso di incidentalità ad una particolare modifica delle condizioni al contorno e quindi ad una procedura attuata per ridurre il rischio occorre valutare l'influenza dei primi cinque gruppi di variabili sopra elencati. Certamente questo non è un compito facile.

In letteratura sono presenti diversi strumenti per valutare e prevedere il livello di rischio di una infrastruttura.

In particolare, nel seguito, saranno presi in considerazione i seguenti modelli:

- Metodi matematico-statistici, basati sulle analisi "before-after" e sull'approccio bayesiano;

- Metodi deterministici, basati sull'analisi della sicurezza e di determinazione dei fattori di rischio e della loro evoluzione nel tempo, "in-depth - analysis";
- Metodi causa/effetto, basati sull'interpretazione dei rapporti che determinano il sinistro: "hazard analysis" e "reti neurali");

2.3.1 Modello matematico-statistico

A partire dagli anni '60, si è iniziato ad interpretare l'evento incidentale come un fenomeno di tipo sistematico, avviando così una serie di ricerche per tentare di comprendere, in maniera razionale l'incidentalità. In tale contesto è apparso naturale ricorrere alla statistica, identificando l'evento incidentale con una variabile aleatoria, caratterizzata da una specifica distribuzione di probabilità. In particolare il modello individuato è stato finalizzato a determinare il rapporto fra la sinistrosità di una infrastruttura e specifici parametri caratteristici, come le caratteristiche geometriche, o parametri rappresentativi del comportamento dell'utente, come ad esempio la velocità praticata o la traiettoria tenuta.

Tale modello, la cui affidabilità è misurata con test statistici, prevede prima di tutto una fase di osservazione e di acquisizione dei dati incidentali, per poi passare a definire una relazione di tipo matematico-statistico in grado di fornire risultati confrontabili con i dati sperimentali.

Questo procedimento è importante in quanto, definendo una correlazione tra una certa caratteristica ed il numero di incidenti rilevati su una determinata sezione di strada, in un fissato periodo di tempo, per numero di veicoli e per lunghezza di strada (tasso di incidentalità), permette di confrontare fra loro diversi tratti di strada con differenti caratteristiche di traffico.

Inoltre uno dei principali limiti di tale modello, che consiste nel non permettere di individuare l'intervento più efficace per migliorare le criticità specifiche di una infrastruttura, è stato superato dall'introduzione dell'approccio di tipo "before-after", basato sulla valutazione degli effetti di un certo intervento sul livello di sicurezza di una infrastruttura, confrontando il livello di sinistrosità nell'ipotesi di intervento e di intervento nullo. Tale procedura si sviluppa mediante una fase di stima della sicurezza di un elemento determinato, basata sui dati di incidentalità relativi al

periodo precedente all'intervento, e una fase di stima calcolata con riferimento al numero di incidenti registrati nel periodo successivo.

Le analisi possono essere di tipo semplice, the naive before/after, consistenti nel confronto fra il conteggio degli incidenti nel periodo antecedente e successivo all'intervento, o di tipo before/after with comparison group, basato sulla scelta di un gruppo di confronto composto da entità non soggette all'intervento e con caratteristiche molto simili alle entità trattate. Il metodo before/after con gruppo di confronto permette di ottenere previsioni tenendo conto dell'influenza di tutti quei fattori che condizionano la sicurezza della infrastruttura, ma i cui effetti non sono misurabili. L'assunzione di partenza è che la variazione della sicurezza del gruppo di confronto, durante il periodo di analisi, sia rappresentativa di come sarebbe cambiata la sicurezza nelle entità trattate, qualora l'intervento non fosse stato realizzato.

Per ottenere ciò è necessario disporre di un gruppo di siti simili a quello oggetto dell'intervento e questo risulta essere la fase più critica dell'analisi. A questo si aggiunge che la analisi before/after con gruppo di confronto è affetta da un errore dovuto alla selezione non casuale dei siti oggetto d'intervento e dei siti di confronto, in quanto in genere, si sottopongono ad intervento le entità caratterizzate da un'elevata incidentalità, lasciando come gruppi di confronto le entità a debole incidentalità. Ne consegue che le stime possono risultare alterate dal fenomeno di regressione verso la media.

Tale errore può essere ridotto considerando il metodo bayesiano empirico che consente di valutare gli interventi effettuati con precisione maggiore rispetto ai metodi tradizionali sopra descritti. Questo modello si basa sul teorema di Bayes su cui si fonda la cosiddetta "statistica bayesiana". Al contrario della statistica classica, che opera sulla base dei soli dati campionari, l'approccio bayesiano considera che per determinare la probabilità di un certo evento sia necessaria anche l'informazione "a priori" di cui si dispone circa un determinato fenomeno. Infatti tale metodo si basa sul concetto che non si possa mai avere certezze riguardo ad una ipotesi, ma che con l'aumentare della disponibilità di dati il grado di fiducia cambi; con sufficiente evidenza empirica, diventerà molto alto (per esempio, tendente a 1) o molto basso (tendente a 0). Un ragionamento di questo tipo può essere "il sole è sorto e tramontato per miliardi di anni. Il sole è tramontato anche stanotte. Con un'elevata probabilità, il sole sorgerà anche domani".

Ritornando al campo stradale, il metodo bayesiano presuppone che il numero di incidenti registrati in un elemento dell'infrastruttura non sia l'unica informazione utile per definirne la sicurezza, ma che ci sia anche l'indizio fornito dalle informazioni relative alle caratteristiche dell'elemento stesso. In altre parole ogni informazione ricevuta consente di aggiornare l'idea precedente riguardo alla probabilità di un dato fenomeno, o "probabilità a priori" dell'evento, ed il risultato di questo aggiornamento viene chiamato "probabilità a posteriori". La principale difficoltà del metodo consiste nella difficoltà di valutare l'incidentalità della popolazione di riferimento.

Inoltre, poiché la frequenza incidentale, che è il principale indicatore della sicurezza, dipende da molti fattori (flusso veicolare, geometria stradale, ora del giorno, parco veicolare circolante, norme di comportamento) è necessario definire modelli multivariati per descriverne e studiarne il comportamento.

Infatti, il metodo matematico-statistico, avviato valutando semplici correlazioni fra il tasso di incidentalità e una caratteristica particolare dell'infrastruttura, come ad esempio la geometria della curva (raggio, CCR o DC) o il volume di traffico giornaliero medio annuo, è stato successivamente sviluppato in modelli di regressione multi-variabile, sulla base del fatto che la criticità di un singolo tratto non è mai determinata da una sola caratteristica.

2.3.2 Modello deterministico

Un metodo di analisi dell'incidentalità alternativo alle indagini statistiche e probabilistiche è rappresentato dall'"in-depth analysis" (OECD, 1988) o studio clinico di singoli incidenti (Shinar, 1998).

Per alcuni tipi di incidente, come ad esempio quelli aerei, l'"in-depth analysis" è l'unico metodo utile per determinare le probabili cause e identificare i corretti interventi di prevenzione (Kasputin, 2001).

Nel caso stradale, il metodo consiste nell'analizzare in dettaglio l'incidente stradale e modellare l'evento con una serie di equazioni strutturali che descrivono il comportamento del guidatore (le decisioni, i tempi di reazione, la velocità di marcia...), le caratteristiche del veicolo (sistema di frenatura) e le condizioni della strada (aderenza, ambiente, larghezza corsie, ...).

La ricostruzione e la modellazione sono possibili in quanto si suppone che gli incidenti stradali siano il risultato di un meccanismo di natura deterministica. Una volta individuate le cause che hanno generato il processo che ha condotto all'incidente, è possibile decidere il tipo di intervento da adottare e verificarne l'efficacia. Per la ricostruzione dell'evento sono necessari numerosi dati di dettaglio, di solito non disponibili nei tradizionali database. I dati devono quindi essere rilevati sul luogo di incidente ("on the scene", "on time"). Esperienze inglesi si basano anche su indagini di incidenti simili accaduti in passato di cui sono note le cause ("retrospective studies") (Rosebud Conference, 2003). L'"in-depth analysis" si rivela inoltre uno strumento efficace nella valutazione della sicurezza passiva offerta dal veicolo attraverso la misura delle prestazioni in fase di frenatura, delle deformazioni subite e degli eventuali danni provocati sia agli occupanti sia agli altri soggetti coinvolti (pedoni, ciclisti, motociclisti).

2.3.3 Modello causa/effetto

Tali tecniche si fondano sull'interpretazione dei rapporti di causa/effetto che determinano il sinistro. Di seguito si riportano due metodologie che, seppur molto diverse fra loro, si basano sulla interpretazione di tali dipendenze: l'hazard analysis e l'intelligenza artificiale. Confrontando i due modelli risulta evidente una reale fruibilità della hazard analysis nel campo della ingegneria stradale a fronte di una potenzialità solo teorica delle reti neurali.

Inoltre si rileva che la hazard analysis non è subordinata alla disponibilità di affidabili banche dati incidentali, in quanto i dati desumibili da esse possono risultare utili soltanto per ricavare il coefficiente di proporzionalità che correla la probabilità e il numero di eventi.

2.3.3.1 Hazard Analysis

Le tecniche probabilistiche di stima e previsione dell'incidentalità attesa si basano sui rapporti di causa/effetto che determinano il sinistro. L'obiettivo è valutare la probabilità che si verifichi l'evento incidentale in un determinato elemento infrastrutturale in funzione delle caratteristiche geometriche e di traffico che contraddistinguono l'elemento stesso.

A tale scopo è necessario ricostruire la catena di eventi elementari che producono l'incidente e pervenire ad una sua valutazione tramite la stima quantitativa delle probabilità elementari intercettate dai "percorsi critici".

In altre parole, si considera che l'evento incidentale sia il risultato di una successione di eventi elementari, ognuno dei quali è regolato da una probabilità di accadimento che dipende dalle caratteristiche della strada, dalle sue condizioni di circolazione e dal comportamento degli utenti. La probabilità che nell'unità di tempo e per un singolo utente si verifichi il sinistro è proporzionale al prodotto delle probabilità di tali eventi elementari.

La procedura di analisi si sviluppa tramite la costruzione di un "albero degli eventi" (figura 2.8), che rappresenta tutte le possibili relazioni causa/effetto fra gli eventi elementari. Dall'albero degli eventi è possibile individuare i "percorsi critici", ovvero le sequenze di eventi elementari che hanno come risultato finale l'incidente.

La probabilità di ciascun percorso critico è determinata dal prodotto delle probabilità degli eventi elementari che lo compongono, e la probabilità di incidente è direttamente proporzionale alla somma delle probabilità dei percorsi critici.

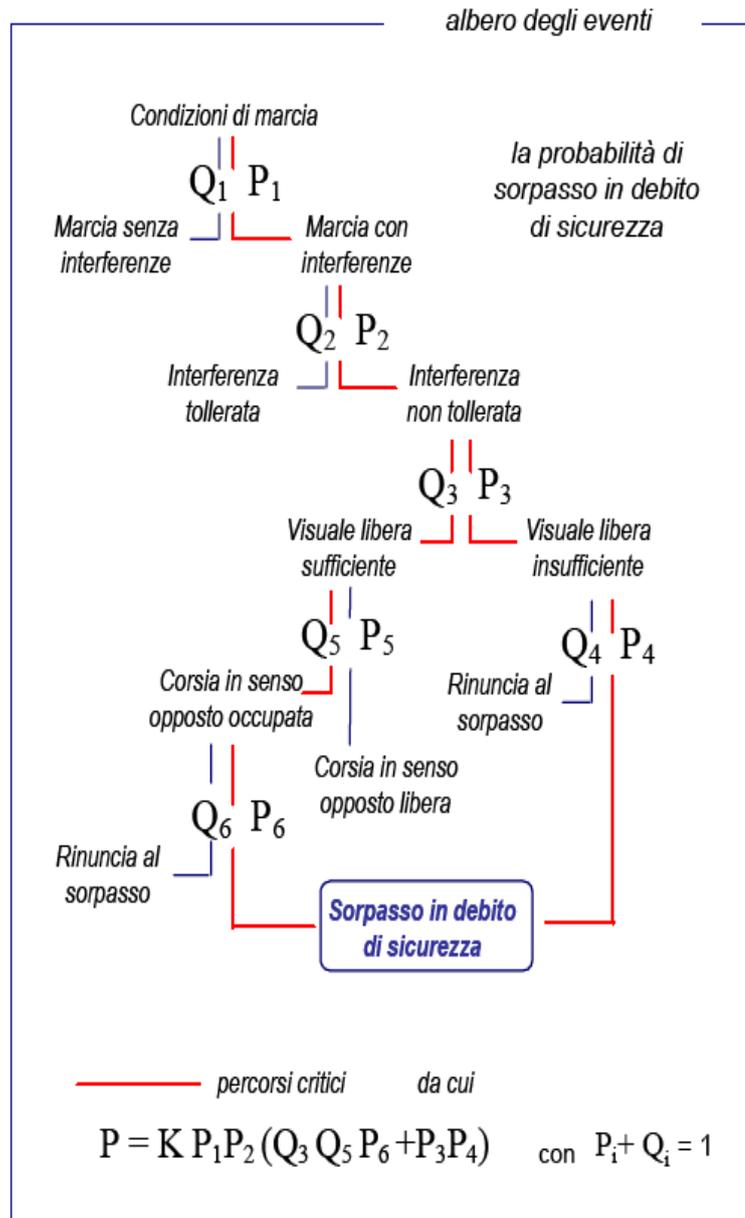


Figura 2.8 – “Hazard analysis”, albero degli eventi per il sorpasso in debito di sicurezza.

Ad esempio, nell'albero degli eventi per il sorpasso in debito di sicurezza illustrato in figura 2.8 si possono individuare due percorsi critici, il primo formato dagli eventi elementari con probabilità P_1, P_2, P_3, P_4 (marcia con interferenze → interferenza non tollerata → visuale libera insufficiente → sorpasso in debito di sicurezza), il secondo dagli eventi elementari con probabilità P_1, P_2, Q_3, Q_5, P_6 (marcia con interferenze → interferenza non tollerata → visuale libera sufficiente → corsia in senso opposto occupata → sorpasso in debito di sicurezza).

La probabilità di accadimento di ciascun percorso si calcola nel modo seguente:

$$P_{\text{percorso1}} = P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4 \quad (2.9)$$

$$P_{\text{percorso2}} = P_1 \times P_2 \times Q_3 \times Q_5 \times P_6 \quad (2.10)$$

La probabilità di sorpasso in debito di sicurezza risulta quindi:

$$P = K \times (P_{\text{percorso1}} + P_{\text{percorso2}}) = K \times (P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4 + P_1 \times P_2 \times Q_3 \times Q_5 \times P_6) \quad (2.11)$$

Una fase critica del processo di “hazard analysis” è la costruzione dell'albero degli eventi: anche operando per singole tipologie incidentali, l'articolazione dell'albero risulta particolarmente complessa, in quanto deve descrivere compiutamente tutti i rapporti di causa/effetto che determinano l'evento temuto.

Tuttavia alcune semplificazioni sono possibili. Ad esempio, per la viabilità extraurbana, un'analisi pluriennale della distribuzione dei sinistri per tipologia di cause (ISTAT, Statistiche degli incidenti stradali, 2003) denuncia una stabilità del dato che fa risalire il 98% circa dei sinistri a quattro manovre elementari (figura 2.9):

- sorpasso effettuato in debito di sicurezza (41.7%);
- distanziamento inferiore allo spazio d'arresto (34.6%);
- velocità incompatibile con le condizioni locali (16.0%);
- immissione effettuata in condizioni di rischio (16.0%).

È quindi sufficiente la costruzione di quattro alberi per rappresentare lo scenario incidentale di una infrastruttura viaria, restando esclusi solo i sinistri imputabili alla casualità degli eventi (Benedetto e De Blasiis, 2004).

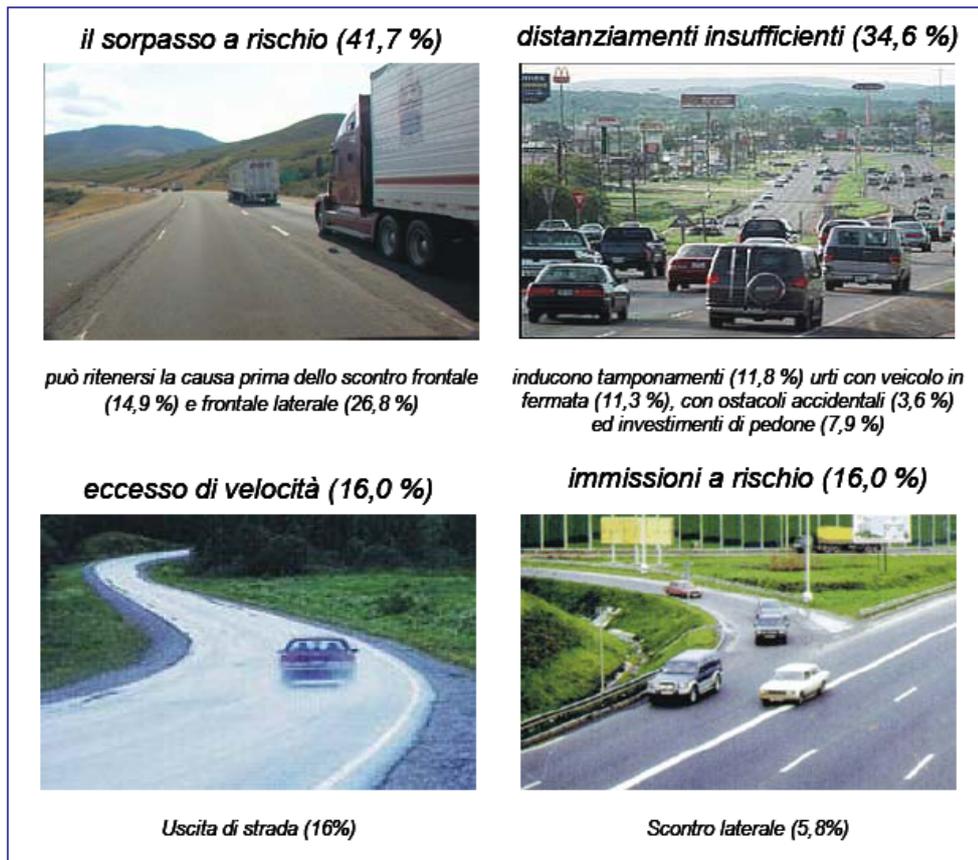


Figura 2.9 – Principali cause di incidente (ISTAT, 2001; Benedetto e De Blasiis, 2004).

Un altro problema è la stima delle probabilità elementari intercettate dai percorsi critici. Esse possono essere suddivise in tre classi:

- a) le probabilità dipendenti dal carico di traffico e dalle condizioni ambientali, determinabili sia utilizzando sia le banche dati disponibili, sia tramite opportune indagini preliminari a livello territoriale;
- b) le probabilità dipendenti dalle interferenze veicolari, stimabili tramite la verifica e l'elaborazione numerica dei tradizionali modelli (HCM) su cui si basa la teoria del traffico e della circolazione veicolare;
- c) le probabilità dipendenti dal comportamento degli utenti indotto dalla strada e dalle sue condizioni di funzionalità; sono ovviamente le più difficili da valutare e la loro stima rappresenta l'attuale frontiera della ricerca.

L'originalità dell'“hazard analysis” risiede nel fatto che, a differenza di altre tecniche, permette di valutare le condizioni di sicurezza di un'infrastruttura prendendo in considerazione anche il fattore uomo: il processo decisionale del

guidatore è necessario per costruire l'albero degli eventi, mentre il comportamento dell'utente è impiegato per determinare la probabilità di accadimento degli eventi elementari. Rimangono comunque molte perplessità relative alla stima della probabilità di incidente. L'"hazard analysis", inoltre, non considera, nei calcoli, la storia dell'incidentalità dell'infrastruttura.

2.3.3.2 Modello di Intelligenza Artificiale (Reti neurali)

I modelli basati sull'Intelligenza Artificiale si basano su algoritmi specifici atti all'apprendimento dei rapporti causa/effetto che si determinano fra le variabili di input (condizioni ambientali, di traffico e geometrie progettuali) e gli output incidentali (localizzazione e frequenza dei sinistri). Tali algoritmi sono detti reti neurali (figura 2.10). Essi memorizzano e interpretano i rapporti di causa/effetto di rilevante complessità tramite la fase di apprendimento (training) e di generalizzazione (test). In settori diversi da quello stradale, le reti neurali, organizzate e addestrate opportunamente, hanno permesso di ricostruire le relazioni di causa-effetto che regolano i fenomeni di rilevanti complessità, comparabili a quelli dell'evento incidentale.

Nel campo stradale, invece, la loro applicazione è complessa, in quanto uno dei limiti di tale modello, basato sull'intelligenza artificiale, è che richiede una fase di implementazione dei dati di input molto laboriosa e per la quale serve una ampia e flessibile banca dati.

Pertanto, nel campo stradale, tale metodo deve essere applicato a tratte omogenee per tipologia di sezione, standard geometrici, motivazione dello spostamento e per condizioni climatiche. Inoltre si fa presente che un altro limite di tale strumento è che l'architettura di rete ed il processo di apprendimento hanno valore solo per l'applicazione in esame e, pertanto, non possono essere generalizzati.

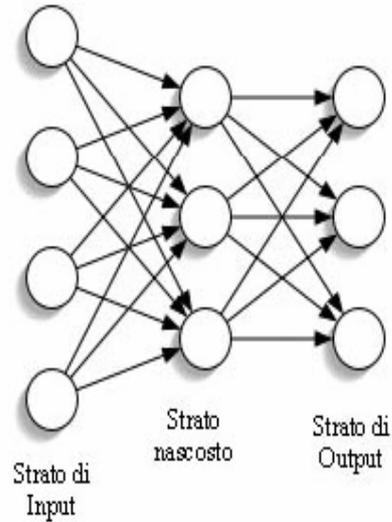


Figura 2.10 – Schema rete neurale

Infine le reti neurali non permettono di esplicitare i rapporti fra i dati di input e gli output ottenuti, in quanto la rete neurale si comporta come una “scatola chiusa”, ed è quindi molto difficile comprenderne il funzionamento. Spesso ci si deve limitare a fidarsi dell'addestramento, senza avere la possibilità di controllare cosa effettivamente avvenga dentro la rete.

2.4 ESEMPIO APPLICATIVO

In una analisi dell'incidentalità le due grandezze principali da considerare sono la posizione ed il tempo, è importante avere una chiara visione d'insieme della distribuzione sul territorio degli incidenti e delle loro frequenze al fine di poterne studiare le caratteristiche. Questo tipo di raffigurazione deve mostrare la posizione degli incidenti più frequenti ed il tipo di incidente al fine di permettere alle forze dell'ordine ed agli enti gestori di compiere delle scelte.

Uno dei più moderni e potenti mezzi che può essere utilizzato per questo tipo di analisi è un Sistema Informativo Territoriale (SIT) chiamato anche utilizzando la notazione anglosassone GIS (Geographic Information System).

La struttura, l'utilizzo e le potenzialità dei GIS in campo stradale verranno analizzate in seguito, per adesso basti ricordare che un GIS permette di integrare fra di loro diversi tipi di dati su una base cartografica come ad esempio gli incidenti stradali, le caratteristiche geometriche della strada, i diversi utilizzi del suolo, ecc. Da questo sistema possono essere richiamate diverse informazioni che possono essere visualizzate in forma grafica con opportuni tematismi oppure rappresentare una base di partenza per analisi statistiche.

In questo paragrafo verrà illustrato un primo caso di utilizzo di un GIS per lo studio dell'incidentalità sviluppato in Giappone (Morichi et al., 1995).

L'area di studio (vedi figura 2.11) è rappresentata da una zona periferica della città di Yokohama che è situata circa 30 km a sud-ovest di Tokyo. L'area ha un'estensione di 60 km² ed una popolazione di circa 250000 persone al 1993.

Come base cartografica è stata utilizzata una mappa digitale della città costruita per i sistemi di navigazione delle automobili. Nella costruzione del GIS sono stati introdotti tutti i dati relativi agli incidenti desumibili dai rapporti della polizia locale, tutti i dati relativi all'uso del territorio desumibili dal piano regolatore della città, le caratteristiche geometriche delle strade (pendenza, larghezza, raggi di curvatura, ecc.) e tutti i dati ricavabili da indagini fatte sul campo come ad esempio i flussi di traffico in vari tronchi stradali, il numero e la densità di segnali stradali lungo gli assi principali e così via.

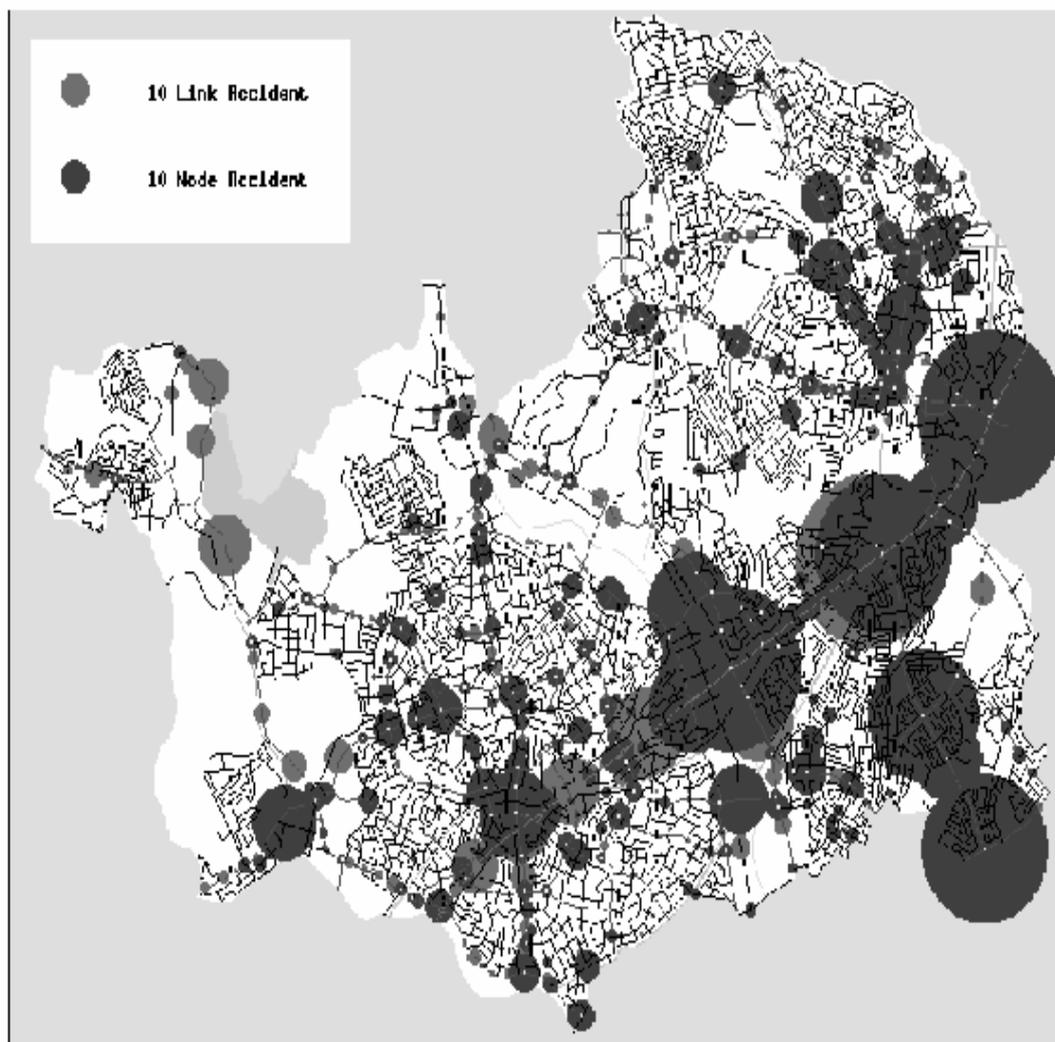


Figura 2.11 – Raffigurazione tratta dal GIS dell'area oggetto di studio (ciascun cerchio è proporzionale al numero degli incidenti nell'incrocio).

Si sono utilizzati tre diversi database a seconda della scala di lettura del problema:

- Database di tutte le strade (scala più grande);
- Database dei tronchi stradali (scala intermedia);
- Database delle strade secondarie (scala più piccola).

Nel database a scala più grande si sono analizzati e valutati i punti a più alta incidentalità (vedi figura 2.11 e figura 2.12) e le cause che hanno provocato gli incidenti più frequenti.

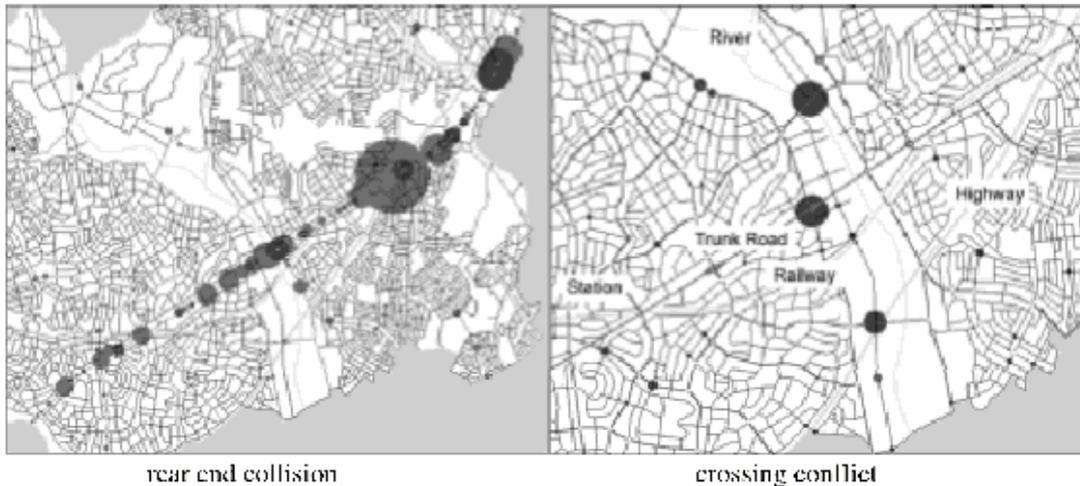


Figura 2.12 - Raffigurazione tratta dal GIS della frequenza di diverse tipologie di incidenti e degli incroci a più elevata incidentalità.

Con il database a scala intermedia si è valutata la relazione fra la frequenza di incidenti ed il rischio collegato alla circolazione stradale desumibile dai dati come la geometria stradale, il diverso ambiente urbano attraversato, la presenza di parcheggi e di pedoni.

Il database a scala inferiore è stato utilizzato per valutare le relazioni fra i vari incidenti in aree di circa 500 m x 500 m, in questo caso sono stati utilizzati indici come la densità di strade e l'importanza relativa delle strade da confrontare.

La figura 2.11 mostra con una serie di cerchi proporzionati al numero di incidenti la distribuzione spaziale di tutti i 1948 incidenti avvenuti dall'anno 1988 all'anno 1991. Il GIS permette ovviamente di visualizzare qualsiasi altro dato che non sia il numero di incidenti, una altra possibilità dell'utilizzo di un GIS è quello di poter aggiornare più velocemente e con maggiore precisione i dati relativi agli incidenti avvenuti. A ciascun incidente si può infatti facilmente associare la sua esatta posizione. Già da questo primo esempio si può comprendere come un GIS possa svolgere un importante ruolo di ausilio nello studio e nella gestione dei dati incidentali.

Utilizzando le linee guida elencate nel precedente paragrafo ed i dati incidentali ricavabili dal GIS sono state confrontate le caratteristiche di tre diversi tipi di modelli analitici:

- modello di regressione lineare (RL);
- modello di Poisson;
- modello binomiale negativo;

Al fine di ottenere dei risultati fra loro confrontabili sono state utilizzate le stesse variabili dipendenti appartenenti a tre grandi gruppi:

1. grado di esposizione (volumi di traffico);
2. geometria e caratteristiche della strada (pendenza, larghezza della strada, densità di segnaletica verticale, condizioni di illuminazione, ecc.);
3. ambiente stradale (condizioni al contorno, visibilità, ecc.).

I parametri che sono stati calcolati utilizzando il modello di Poisson ed il modello binomiale negativo sono all'incirca uguali, mentre il modello che utilizza la regressione lineare fornisce valori completamente diversi. Ciò è dovuto al fatto che la formulazione dei modelli è completamente differente. I primi due modelli sono basati su funzioni non lineari mentre l'ultimo è una funzione lineare.

I parametri utilizzati per valutare la bontà di adattamento dei modelli ai dati di incidentalità sono stati diversi ed hanno fornito all'incirca gli stessi valori. Rimane comunque poco chiara la relazione intercorrente fra i vari modelli. Una delle ragioni può essere dovuta agli scarsi dati disponibili sul grado di esposizione. Il giudizio sui modelli analitici può inoltre cambiare in funzione della diversa scelta delle variabili esplicative.

La fase successiva di studio deve essere necessariamente un confronto “sul campo” dei diversi modelli calcolati. È possibile visualizzare anche con l'aiuto del GIS la differenza, per ciascun modello, fra il valore stimato del numero di incidenti $\lambda(r,t)$ ed il valore osservato $y(r,t)$ in modo da poter analizzare in parallelo i modelli ed i dati sperimentali nel tempo e giungere alla scelta del processo di analisi migliore.

CAPITOLO 3: *Il modello IHSDM*

Uno dei maggiori problemi nella gestione della sicurezza stradale è la mancanza di un metodo affidabile per stimare il livello di sicurezza di una strada esistente o di progetto. Le banche dati degli incidenti sono state sviluppate e gestite dalle amministrazioni pubbliche per monitorare il livello di sicurezza delle loro strade, ma queste offrono dati storici o retrospettivi. La gestione effettiva della sicurezza richiede un punto di vista prospettico. Gli ingegneri stradali non hanno bisogno di conoscere quello che era il livello di sicurezza di una strada nel recente o lontano passato, ma come è adesso e come probabilmente cambierà in futuro se particolari scelte progettuali verranno prese.

In passato, quando c'era bisogno di previsioni sul livello di sicurezza attuale o futuro, le strade possibili erano quattro: statistiche dei dati storici di incidente, previsioni da modelli basati su analisi di regressione dei dati incidentali, studi Before-After, valutazione da giudizi di esperti. Ognuno di questi metodi, usato singolarmente, presenta lacune significative che verranno illustrate nel paragrafo successivo. Viene descritto nel seguito un nuovo approccio che combina gli elementi di ognuno dei metodi sopra descritti in un algoritmo di previsione incidentale. Tale nuovo algoritmo di previsione incidentale denominato Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM) è stato sviluppato dalla Federal Highway Administration in collaborazione con la Turner Fairbank Highway Research Center ed è specifico per le strade extraurbane a due corsie.

3.1 INTRODUZIONE

3.1.1 Stime da dati incidentali pregressi

I dati incidentali pregressi sono un importante indicatore del livello di sicurezza di una strada, ma essi hanno il problema di essere estremamente variabili. Data questa alta variabilità, è difficile stimare il rapporto incidentale a lungo termine usando un campione storico relativamente ristretto, solitamente da 1 a 3 anni. Questo è particolarmente vero per i tronchi e le intersezioni extraurbane, dove l'incidente risulta un evento raro e molte sezioni non presentano incidenti, o al massimo un incidente per un periodo di alcuni anni. Se un intersezione non è interessata da incidenti negli ultimi anni, non è certo corretto pensare che non sarà mai interessata da incidenti nel futuro, infatti i dati incidentali disponibili per quella sezione da soli rappresentano una base insufficiente per stimare il livello di sicurezza atteso a lungo termine.

I programmi di miglioramento delle strade basati sulla sicurezza sono spesso organizzati attraverso un sistema di controllo incidentale che utilizza di dati sugli incidenti per identificare sezioni con alto rischio incidentale. Una posizione critica risulta essere una sezione o un'intersezione identificata tale perché presenta un numero di incidenti maggiore di una certa soglia nel recente periodo temporale (tipicamente da 1 a 3 anni). Ogni posizione critica viene messa sotto analisi da uno staff di ingegneri dell'organo competente e nelle posizioni in cui un particolare problema incidentale risulta chiaro e un'appropriate contromisura risulta applicabile, viene programmato un progetto di miglioramento. Il processo decisionale su questi progetti spesso include analisi costi-benefici o costi-redditività calcolate sulla base di riduzioni percentuali degli incidenti rispetto a quelli individuati nel programma di controllo. Comunque, sia la teoria statistica che l'esperienza mostrano che, a causa della natura aleatoria degli incidenti, zone con un elevato tasso incidentale mostreranno in futuro una diminuzione del numero di incidenti anche se interventi di miglioramento non verranno fatti. Questo fenomeno, noto come regressione verso la media, rende difficile sia individuare potenziali zone con problemi incidentali attraverso il controllo incidentale regresso che stimare i potenziali effetti dei miglioramenti fatti su queste zone.

3.1.2 Stime da modelli basati su analisi di regressione dei dati incidentali.

Da molti anni, gli studiosi hanno applicato tecniche statistiche per sviluppare modelli atti a predire il numero di incidenti di una strada e di un'intersezione. Questi modelli sono sviluppati attraverso database degli incidenti e sulle caratteristiche della strada (volumi di traffico, elementi geometrici, strumenti per il controllo del traffico) raccolti dagli organi gestori, scegliendo una funzione appropriata per il modello e usando tecniche di regressione per stimare i valori dei coefficienti o dei parametri del modello. Storicamente, molti di questi modelli sono stati sviluppati con tecniche di regressione multipla. Recentemente, i ricercatori hanno iniziato ad usare analisi di regressioni con distribuzioni di Poisson e binomiale negativa che teoricamente si adattano meglio ai dati incidentali basati sui piccoli numeri (i.e. zero o quasi zero in molte zone). Comunque, indipendentemente dalla tecnica statistica utilizzata, i modelli di previsione incidentale non sembrano quasi mai soddisfare le aspettative dei loro sviluppatori o dei possibili utilizzatori.

I modelli di regressione sono degli strumenti molto accurati per stimare il numero totale di incidenti per una strada o per una classe di strade, ma essi non riescono a isolare l'effetto di una singola variabile geometrica o relativa agli strumenti per il controllo del traffico. C'è una forte tentazione di interpretare ogni coefficiente in un modello di regressione come rappresentativo del reale effetto di cambiamento nella sua variabile specifica per la strada. Questa risulta una ragionevole assunzione in alcuni casi, ma non in altri. Il vero problema dei modelli di regressione è che essi sono basati su correlazioni statistiche tra le caratteristiche della strada e gli incidenti che non necessariamente rappresentano rapporti di causa-effetto. Inoltre, se le variabili indipendenti nel modello sono fortemente correlate tra loro, è difficile separare gli effetti individuali. In aggiunta, se una variabile nel modello è fortemente correlata a un'importante variabile che non risulta inclusa nel database disponibile, il coefficiente della variabile nel modello potrebbe rappresentare l'effetto della variabile non rappresentata piuttosto che il proprio. Per questi motivi, il valore del coefficiente di una particolare caratteristica geometrica,

potrebbe essere una buona stima dell'effetto di quella caratteristica sulla sicurezza o potrebbe risultare soltanto la sua correlazione con altre variabili.

Un esempio, considerando il modello di regressione binomiale negativa sviluppato in un recente studio della FHWA per la stima degli incidenti nelle intersezioni urbane a quattro bracci con STOP per le strade secondarie¹⁰:

$$Y = e^{-5.073} (X_1)^{0.635} (X_2)^{0.294} \exp(-0.969 X_3) \exp(-0.0518 X_4)(X_5)^{-0.091} \exp(0.340 X_6) \exp(0.087 X_7) \exp(-0.331 X_8)\exp(-0.175 X_9)$$

(3.1)

Dove:

Y	=	expected number of total multiple-vehicle accidents in a 3-year period;
X ₁	=	average daily traffic on major road (veh/day);
X ₂	=	average daily traffic on minor road (veh/day);
X ₃	=	1 if left-turn are prohibited on one or more major-road approaches; 0 otherwise;
X ₄	=	1 if no access control is present along the major road approaches; 0 otherwise;
X ₅	=	average lane width on major road (ft) [*] ;
X ₆	=	1 if major road has three or fewer through lanes in both directions of travel combined; 0 otherwise;
X ₇	=	1 if major road has four or five through lanes in both directions of travel combined; 0 otherwise;
X ₈	=	1 if there is no channelization for free right turns; 0 otherwise; and
X ₉	=	1 if the intersection has no lighting; 0 otherwise.

Questo modello, in generale, fornisce delle stime abbastanza accettabili sul numero totale di incidenti in ambito urbano, per le intersezioni a quattro bracci, con precedenza allo stop. Inoltre, i coefficienti di molti dei termini appaiono rappresentare in maniera ragionevole l'effetto atteso delle loro variabili associate. Comunque, due di queste variabili nel modello, hanno dei coefficienti che sono in direzione opposta a quanto ci si potrebbe aspettare rispetto a quello che l'ingegneria della sicurezza normalmente prevede per queste variabili. Nello specifico, il coefficiente negativo della variabile del controllo degli accessi (X₄) implica che saranno attesi più incidenti in un'intersezione con controllo degli accessi che in una senza controllo degli accessi. In aggiunta, il coefficiente negativo della variabile sull'illuminazione (X₉), implica che intersezioni più illuminate registreranno un

maggior numero di incidenti rispetto alle stesse intersezioni non illuminate. Queste interpretazioni sono irragionevoli. Il segno negativo per le variabili sul controllo degli accessi e sull'illuminazione nell'equazione (3.1) potrebbero essere soltanto il risultato di correlazioni tra il controllo degli accessi e l'illuminazione con altre variabili già contenute nel modello, come il volume di traffico, o con altre variabili significative che non sono incluse nel modello perché non erano disponibili dati su di esse. E' anche possibile che gli impianti di illuminazione siano stati installati come contromisura nelle intersezioni con il maggior numero di incidenti, in questo modo, l'illuminazione appare associata con le intersezioni che hanno registrato più incidenti. Così, mentre le equazioni di regressione possono rappresentare utili strumenti di previsione, i loro coefficienti potrebbero essere degli indicatori non realistici degli effetti incrementali collegati alla loro specifica caratteristica nei confronti del livello di sicurezza.

3.1.3 Stime da analisi Before-After

Le analisi Before-After sono utilizzate da molti anni per valutare gli effetti degli interventi dell'ingegneria della sicurezza nella riduzione degli incidenti. Comunque molte analisi Before-After riportate in letteratura hanno evidenziato dei difetti a causa del fenomeno noto con il nome di regressione verso la media. Per questo motivo, gli studiosi che si trovano di fronte i risultati di un'analisi Before-After, non potranno essere certi che essi rappresentano il reale effetto del miglioramento delle condizioni di sicurezza dell'infrastruttura o di un ottimistico risultato dovuto alla regressione verso la media del fenomeno incidentale.

Gli esperti di sicurezza sono generalmente dell'opinione che, se il potenziale errore causato dalla regressione verso la media viene superato, l'analisi Before-After rappresenta il miglior strumento per quantificare i miglioramenti della sicurezza relativi alle caratteristiche geometriche e funzionali dell'infrastruttura stradale. Hauer ha sviluppato un nuovo approccio per superare il problema della regressione verso la media che ha causato nel passato, risultati poco realistici per molti studi

¹⁰ La larghezza media della corsia nell'equazione riportata è espressa nell'unità di misura anglosassone feet.

Before-After. Comunque, attualmente sono state condotte un numero molto esiguo di queste analisi Before-After revisionate.

3.1.4 Stime da giudizi di esperti

Il giudizio di esperti che da molti anni lavorano nel campo della sicurezza stradale, può avere un ruolo molto importante nel condurre stime realistiche del livello di sicurezza. Si fa notare però che gli esperti potrebbero avere difficoltà nel fare delle stime quantitative senza alcun punto di riferimento, ma risultano particolarmente abili nel condurre giudizi comparativi (i.e. A è minore di B, C è più grande di D del 10%). Per questo motivo, gli esperti necessitano di una base di riferimento come i dati incidentali pregressi, modelli statistici o analisi Before-After per formulare giudizi utili.

3.1.5 Un nuovo approccio

L'IHSDM rappresenta un nuovo approccio al problema della stima del livello di sicurezza di un infrastruttura che combina l'uso di una storia incidentale pregressa, modelli di regressione, analisi Before-After e il giudizio di un gruppo di esperti per operare stime di sicurezza migliori di quelle che si potrebbero fare utilizzando singolarmente ognuno degli approcci in parola. L'approccio proposto, trova le sue basi in consolidati studi sulla sicurezza presenti in letteratura, compresi studi Before-After e modelli di regressione, è sensibile alle caratteristiche geometriche più importanti per i progettisti stradali e include i giudizi di un gruppo selezionato di esperti sulla sicurezza stradale.

Questo modello, denominato Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM), è stato sviluppato specificatamente per l'applicazione alle strade extraurbane a due corsie e implementato in uno specifico software.

Il programma è implementato su sei moduli ognuno dei quali studia un particolare aspetto legato alla sicurezza stradale:

- Policy Review Module (PRM), realizza confronti con la normativa tecnica vigente e verifica la rispondenza della progettazione degli elementi geometrici agli

standard, sia per le nuove strade che per gli interventi di miglioramento su strade esistenti.

- Driver/vehicle module, ancora in via di sviluppo, prevede l'utilizzo di un modello di condotta di guida del conducente collegato ad un modello dinamico del veicolo per la valutazione della velocità di percorrenza e della traiettoria (a veicolo isolato), al fine di valutare l'esistenza di condizioni geometriche che possono determinare situazioni di perdita di controllo del veicolo.

- Design Consistency Module (DCM), valuta la variazione della velocità operativa lungo un tracciato stradale fornendo una stima della incoerenza nella successione degli elementi geometrici sia del tracciato, che sui singoli elementi, sulla base di due misurazioni: la differenza tra la V_{85} e la velocità di progetto su di un dato elemento geometrico e la differenza delle V_{85} nel passaggio tra due elementi successivi del tracciato.

- Intersection Review Module (IRM), fornisce un processo strutturato per la valutazione dell'impatto sulla sicurezza delle diverse alternative di progetto delle intersezioni.

- Traffic Analysis Module (TAM), stima, attraverso l'utilizzo di modelli di simulazione del traffico, gli effetti operativi del progetto stradale con il flusso di traffico reale o di progetto. Utilizza il Traffic Simulation Module (TWOPAS) che assumendo come variabili la geometria, il controllo del traffico, il comportamento del conducente e le caratteristiche del veicolo, permette di stimare il livello di servizio della strada.

- Crash Prediction Module (CPM), realizza stime sulla frequenza degli incidenti attesa su un tratto o su un nodo stradale durante uno specifico periodo di tempo. Con riferimento a specifiche caratteristiche geometriche e di traffico, può rappresentare un valido supporto per identificare gli interventi più opportuni sulle strade esistenti, per confrontare le diverse alternative in base alla performance di sicurezza e per valutare l'efficacia delle decisioni progettuali.

3.2 CENNI SULL'ALGORITMO DI PREVISIONE INCIDENTALE

La FHWA ha sviluppato quattro algoritmi di previsione incidentale, uno per i tronchi stradali e altri tre per diverse tipologie di intersezioni. Questi algoritmi possono essere utilizzati insieme per stimare il numero totale di incidenti attesi su un intero tratto di infrastruttura.

Nello sviluppo di questi algoritmi, è stato deciso che il primo algoritmo di previsione avrebbe stimato tutti gli incidenti non relazionati alle intersezioni per ogni segmento costituente l'infrastruttura. Gli incidenti non relazionati alle intersezioni, includono gli incidenti avvenuti vicino alle intersezioni ma non collegati ad esse. Per esempio, una fuoriuscita o una collisione frontale che avvengono ad una distanza di 15m da un'intersezione, ma che non sono considerati dalle autorità competenti collegati all'intersezione stessa, possono essere classificati come incidenti non collegati alle intersezioni. Gli algoritmi di previsione per le intersezioni invece, stimano il numero di incidenti che avvengono sull'intersezione stessa o che possono essere imputabili alla sua presenza. Per motivi di modellazione, soltanto gli incidenti che avvengono entro ad una distanza di 76m dall'intersezione ed imputabili ad essa possono essere catalogati come intersection-related accidents.

Tutti gli algoritmi di previsione incidentale, relativi sia ai segmenti che alle intersezioni stradali, sono composti da due componenti: un modello di base e da dei fattori accidentali modificativi. Queste due componenti e la maniera in cui sono collegate viene descritta nel seguito.

3.2.1 Algoritmi di previsione incidentale

Il modello di base per i segmenti stradali risulta il migliore disponibile per la stima degli incidenti totali di un segmento stradale extraurbano a due corsie di marcia. Questo modello base, come tutti i modelli di regressione, fornisce il valore di una variabile dipendente come una funzione di una serie di variabili indipendenti. Per i segmenti stradali, la variabile dipendente è il numero totale degli incidenti previsti sul tratto in questione in un certo intervallo temporale. Le variabili indipendenti che vengono utilizzate per stimare la frequenza incidentale sono descrittive del volume di traffico, delle caratteristiche geometriche e funzionali della strada in esame. Nel seguito viene presentato nello specifico il modello base utilizzato.

Come illustrato nell'introduzione, i modelli di regressione come il base model dell'IHSDM sono utili per stimare il numero di incidenti, ma i loro coefficienti non necessariamente esprimono una correlazione diretta alle caratteristiche a cui sono collegati. Per questo motivo, il base model viene utilizzato solo per stimare la frequenza incidentale per uno specifico set di condizioni nominali come corsie da 3.6m e banchine da 1.8m. Questa stima di base della frequenza incidentale verrà successivamente affinata mediante i fattori di modifica AMF che rappresentano l'effetto sulla sicurezza di ogni caratteristica dell'infrastruttura stradale. La formulazione generale dell'algoritmo per i segmenti stradali è la seguente:

$$N_{rs} = N_{br} (AMF_{1r} AMF_{2r} \dots AMF_{nr}) \quad (3.2)$$

Dove:

N_{rs}	=	predicted number of total roadway segment accidents per year after application of accident modification factors;
N_{br}	=	predicted number of total roadway segment accidents per year for nominal or base conditions; and
$AMF_{1r} \dots AMF_{nr}$	=	accident modification factors for roadway segments

Gli AMFs sono dei fattori moltiplicativi utilizzati per aggiornare la stima della frequenza incidentale di base grazie all'effetto delle caratteristiche geometriche e funzionali della strada. Ogni AMF è definito in modo tale che il valore di base o nominale è rappresentato da un AMF pari a 1. Condizioni associate ad una maggiore frequenza incidentale rispetto alla condizione nominale presenteranno degli AMF maggiori di 1 mentre condizioni con una minore frequenza incidentale rispetto alla condizione di base presenteranno AMF minori di 1. Per esempio, se la frequenza incidentale stimata dal modello incidentale di base per una strada (N_{br}) è basata su una corsia da 3.6m ma la particolare strada in esame presenta una corsia da 3.3m, il fattore AMF per la larghezza della corsia avrà valore 1.15. Questo implica che per una strada con larghezza di corsia pari a 3.30m si avrà una stima di frequenza accidentale del 15% superiore rispetto a quella stessa strada con larghezza di corsia pari a 3.6m.

L'influenza del TGM (Traffico Giornaliero Medio) sulla stima incidentale è inglobato nel modello di base, mentre gli effetti dovuti alle caratteristiche geometriche e funzionali sono considerata attraverso i fattori di modifica incidentale AMFs.

La struttura dell'algoritmo descritta sopra, mostra come i fattori AMFs, non essendo inclusi nel modello di base, sono basati esclusivamente sulle informazioni di sicurezza riscontrabili per ogni singola caratteristica. La scelta del miglior AMF risulta indipendente dal modello di base e dalla scelta degli altri AMFs. In questo modo, ogni AMF dell'algoritmo di previsione incidentale può essere stimato dagli esperti di sicurezza in funzione della casistica incidentale a disposizione.

In analogia con quanto sopra riportato, gli algoritmi per la varie tipologie di intersezione stradale presentano anch'essi la medesima struttura, ossia quello di un modello di base che viene poi affinato attraverso i fattori AMFs che tengono conto delle caratteristiche geometriche e funzionali dell'intersezione.

In definitiva, la stima totale della frequenza incidentale per un intero progetto stradale può essere determinata come:

$$N_t = \sum_{\text{all segments}} N_{rs} + \sum_{\text{all intersections}} N_{int} \quad (3.3)$$

Dove:

N_t = stima della frequenza incidentale per un intero tratto stradale.

3.2.2 *Stima della severità e della tipologia incidentale*

In aggiunta alla stima della frequenza incidentale, l'algoritmo di previsione prevede anche una stima della severità e della tipologia incidentale sui tronchi e sulle intersezioni stradali. La tabella 3.1 e la tabella 3.2 presentano i valori di default della severità e della tipologia incidentale che sono utilizzati nell'algoritmo. Questi valori sono basati sui dati raccolti dall'FHWA Highway Safety Information System (HSIS) per l'Illinois, il Michigan, il Minnesota e il North Carolina. Naturalmente queste distribuzioni di default per la severità e la distribuzione incidentale possono essere sostituite con i dati relativi alle strade extraurbane di una specifica realtà, diversa da quella americana, attraverso uno specifico processo di calibrazione. L'uso di distribuzioni applicabili per uno specifico stato o una specifica realtà geografica risulta particolarmente appropriato perché alcune percentuali nelle tabelle

successive, come ad esempio la percentuale di incidenti in cui sono coinvolti gli animali, possono cambiare di molto con il variare della zona geografica.

3.2.3 Aspetti positivi e negativi dell'algoritmo

I punti di forza dell'algoritmo di previsione incidentale formulato nell'equazione (3.2) sono i seguenti:

- L'algoritmo di previsione incidentale fornisce delle stime quantitative della frequenza incidentale;
- Il modello di regressione di base funge da fattore di scala al fine di assicurare che l'ordine di grandezza della frequenza accidentale sia appropriata, mentre i fattori di modica accidentale AMFs assicurano che la stima sia effettivamente sensibile alle specifiche caratteristiche geometriche e funzionali dell'infrastruttura in oggetto;
- L'utilizzo di fattori AMF indipendenti dal modello di regressione di base assicura che gli effetti di specifiche condizioni geometriche e di traffico non siano dipendenti da inappropriati coefficienti che risultino essere troppo grandi, troppo piccoli o con segno sbagliato. Ogni singolo AMF è stato calibrato da un gruppo di esperti basandosi sulle informazioni correnti di quella particolare caratteristica.
- L'equazione (3.2) conferisce all'algoritmo di previsione incidentale una struttura modulare. Il modello di regressione di base o i fattori AMFs possono essere facilmente sostituiti nel momento in cui risultassero disponibili maggiori informazioni.

Tabella 3.1 – Distribuzione di default nel modello IHSDM della severità incidentale sulle strade extraurbane.

Severità dell'incidente	Percentuale degli incidenti totali			
	Roadway segmentsa	Three-leg STOP-controlled intersectionsb	Four-leg STOP-controlled intersectionsb	Four-leg signalized intersectionsb
Fatal	1.3	1.1	1.9	0.4
Incapacitating Injury	5.4	5.0	6.3	4.1
Nonincapacitating injury	10.9	15.2	12.8	12.0
Possible injury	14.5	18.5	20.7	21.2
Total fatal plus injury	32.1	39.8	41.7	37.7

	Percentuale degli incidenti totali			
Severità dell'incidente	Roadway segments ^a	Three-leg STOP-controlled intersections ^b	Four-leg STOP-controlled intersections ^b	Four-leg signalized intersections ^b
Property damage only	67.9	60.2	58.3	62.3
TOTAL	100.0	100.0	100.0	100.0

Tabella 3.2- Distribuzione di default nel modello IHSDM della tipologia incidentale sulle strade extraurbane.

	Percentuale degli incidenti totali			
Tipologia di incidente	Roadway segments ^a	Three-leg STOP-controlled intersections ^b	Four-leg STOP-controlled intersections ^b	Four-leg signalized intersections ^b
Incidenti con singolo veicolo				
Collision with animal	30.9	2.1	0.6	0.3
Collision with bicycle	0.3	0.7	0.3	1.0
Collision with parked vehicle	0.7	0.1	0.1	0.1
Collision with pedestrian	0.5	0.4	0.2	1.3
Overtaken	2.3	2.1	0.6	0.4
Ran off road	28.1	10.4	4.5	1.9
Other single-vehicle accident	3.6	3.9	1.4	1.6
Total single-vehicle accidents	66.3	19.7	7.7	6.6
Incidenti con più veicoli				
Angle collision	3.9	29.8	51.4	28.5
Head-on collision	1.9	2.0	1.4	1.8
Left-turn collision	4.2	6.4	5.9	9.0
Right-turn collision	0.6	0.4	0.2	0.4
Rear-end collision	13.9	26.2	17.2	36.2
Sideswipe opposite-direction collision	2.4	2.9	1.7	2.0
Sideswipe same-direction collision	2.6	4.5	4.4	5.5
Other multiple-vehicle collision	4.1	8.1	10.1	10.0
Total multiple-vehicle accidents	33.7	80.3	92.3	93.4
Incidenti totali	100.0	100.0	100.0	100.0

Le possibili lacune dell'algorithmo di previsione incidentale sono elencate nel seguito:

- La frequenza incidentale, come è noto, varia da stato a stato, perfino tra strade che sono nominalmente simili, a causa di differenze in

fattori come la soglia dei rapporti incidentali, le procedure di raccolta dati, la popolazione animale, gli utenti della strada e il clima. Comunque, queste variazioni non sono inglobate nel modello di base che è stato sviluppato con i dati di uno o due stati. Per questo motivo, prima di utilizzare l'algoritmo di previsione, si rende necessaria una procedura di calibrazione che permette alle varie agenzie di adattare l'algoritmo di previsione incidentale alle loro specifiche condizioni. Questo processo di calibrazione si concretizza nella definizione di un fattore di calibrazione specifico per ogni realtà geografica e che risulta incorporato direttamente nell'equazione di base dell'algoritmo.

- L'algoritmo presentato, è basato sui dati di molte località e su giudizio di esperti, ma non trae insegnamento dalla storia incidentale attuale del luogo in cui deve essere effettuata l'analisi. I dati sull'incidentalità relativi agli ultimi anni possono essere disponibili per molte realtà in cui si vuole applicare l'algoritmo di previsione incidentale. Per questa ragione, una procedura basata su un approccio empirico-Bayesiano (EB) è stata sviluppata per combinare i risultati derivanti dall'algoritmo di previsione con quelli provenienti dai database incidentali a disposizione per il sito in esame.
- L'uso dei fattori AMF per ogni specifica caratteristica geometrica e funzionale tratta il contributo alla sicurezza di ognuno di questi in maniera indipendente, senza considerare le possibili interazioni tra di loro. E' indubbio che tali correlazioni esistano, e idealmente bisognerebbe tenerne in conto nell'algoritmo. Comunque queste interazioni sono attualmente poco comprese e nessuno dell'equipe di esperti è stato in grado di quantificarle. E' accertato dal gruppo di esperti che i fattori AMFs presentati costituiscono lo stato attuale dell'arte sugli effetti delle caratteristiche geometriche e funzionali sulla sicurezza e non possono essere migliorati se non con ulteriori ricerche. Se nel futuro ci sarà una migliore comprensione tra le relazioni intercorrenti fra le varie caratteristiche geometriche e gli effetti sul livello di sicurezza, queste ricerche potranno essere incorporate nell'algoritmo di previsione incidentale.

Nel seguito si riporta il diagramma di flusso della struttura dell' algoritmo di previsione incidentale.

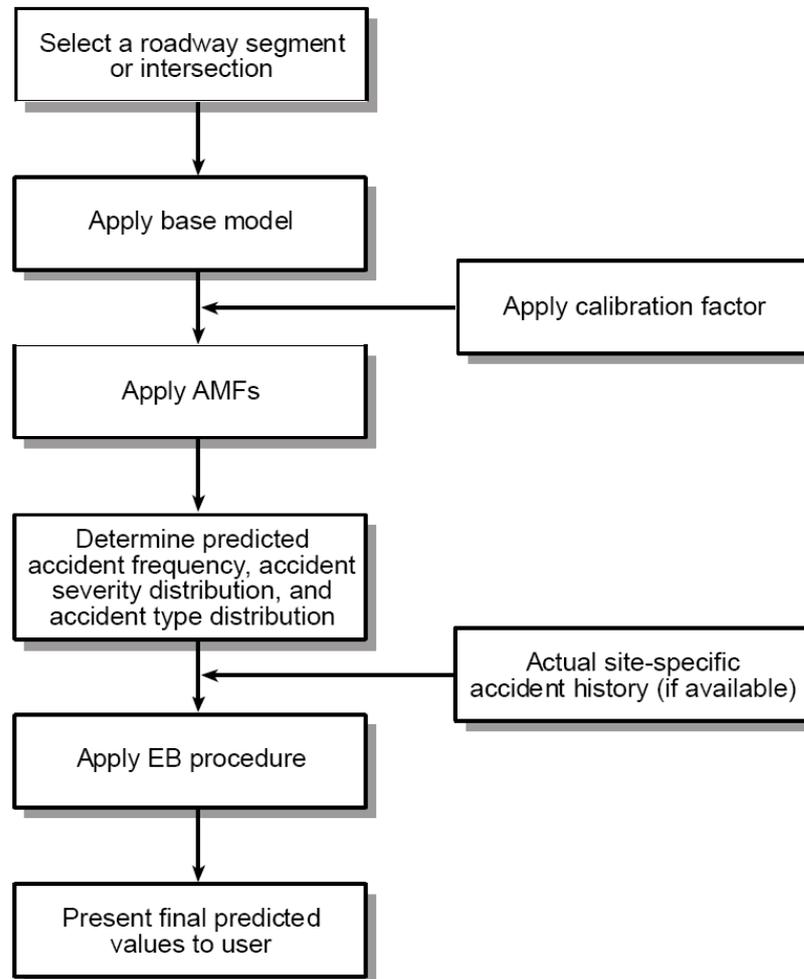


Figura 3.1- Diagramma di flusso dell' algoritmo di previsione incidentale per una singola strada o un' intersezione.

3.3 MODELLO DI BASE PER SEGMENTI STRADALI

Il modello di base per segmenti stradali è stato sviluppato in diversi studi da Vogt e Bared [23],[24],[25] e risulta il seguente:

$$N_{br} = EXPO \exp(0.6409 + 0.1388STATE - 0.0846LW - 0.0591SW + 0.0668RHR + 0.0084DD)(\sum WH_i \exp(0.0450DEG_i)) (\sum V_j \exp(0.4652 V_j)) (\sum WG_k \exp(0.1048GR_k)) \quad (3.4)$$

Dove:

N_{br}	=	predicted number of total accidents per year on a particular roadway segment;
EXPO	=	exposure in million vehicle-miles of travel per year = (ADT)(365)(L)(10 ⁻⁶);
ADT	=	average daily traffic volume (veh/day) on roadway segment;

L	=	length of roadway segment (mi);
STATE	=	location of roadway segment (0 in Minnesota, 1 in Washington);
LW	=	lane width (ft); average lane width if the two directions of travel differ;
SW	=	shoulder width (ft); average shoulder width if the two directions of travel differ;
RHR	=	roadside hazard rating; this measure takes integer values from 1 to 7 and represents the average level of hazard in the roadside environment along the roadway segment. (For definitions of the roadside hazard rating categories, see appendix D; for the development of the roadside hazard ratings, see Zegeer.);
DD	=	driveway density (driveways per mi) on the roadway segment;
W_{hi}	=	weight factor for the i^{th} horizontal curve in the roadway segment; the proportion of the total roadway segment length represented by the portion of the i^{th} horizontal curve that lies within the segment. (The weights, W_{H_i} , must sum to 1.0.);
DEG_i	=	degree of curvature for the i^{th} horizontal curve in the roadway segment (degrees per 100 ft);
WV_j	=	weight factor for the j^{th} crest vertical curve in the roadway segment; the proportion of the total roadway segment length represented by the portion of the j^{th} crest vertical curve that lies within the segment. (The weights, WV_j , must sum to 1.0.);
V_j	=	crest vertical curve grade rate for the j^{th} crest vertical curve within the roadway segment in percent change in grade per 31 m (100 ft) = $ g_{j2}-g_{j1} /l_j$;
$g_{j1}g_{j2}$	=	roadway grades at the beginning and end of the j^{th} vertical curve (percent);
l_j	=	length of the j^{th} vertical curve (in hundreds of feet);
WG_k	=	weight factor for the k^{th} straight grade segment; the proportion of the total roadway segment length represented by the portion of the k^{th} straight grade segment that lies within the segment. (The weights, WG_k , must sum to 1.0.); and
GR_k	=	absolute value of grade for the k^{th} straight grade on the segment (percent).

Questo modello è stato sviluppato con un'analisi di regressione binomiale negativa dai dati di 619 tronchi di strade extra-urbane in Minnesota e 712 tronchi a Washington ottenuti dal FHWA HSIS (Highway Safety Information System). Questo sistema di strade include approssimativamente 1130 km di strade extraurbane in Minnesota e 850 km a Washington. Il database disponibile per il modello ha incluso 5 anni di dati incidentali (1985-1989) per ogni strada del Minnesota e 3 anni per ogni strada di Washington. Il modello stima il numero totale di incidenti non correlati alle intersezioni per ogni segmento di strada del quale le variabili indipendenti mostrate nell'equazione (3.4) siano note.

Quando il modello incidentale è utilizzato per stimare il numero di incidenti per una specifica sezione stradale, l'equazione (3.4) viene utilizzata nella seguente maniera:

- La variabile esposizione (EXPO) in milioni di veicoli-miglia viene calcolata utilizzando l'attuale ADT (TGM) e la lunghezza (L) della strada per una durata di 1 anno (365 giorni). Questo assicura che la frequenza incidentale predetta sia basata su un modello avente come unità gli incidenti per anno.

- La variabile STATE nel modello base è posta pari a zero, rappresentando la condizione del Minnesota. Si fa notare che la procedura di calibrazione può essere utilizzata per adattare il modello di base alle condizioni di sicurezza di altri stati piuttosto che il Minnesota.
- Le variabili rimanenti nel modello vengono settate con i seguenti valori nominali:

Tabella 3.3 – Parametri di base o nominali del modello di regressione.

Larghezza corsia (LW)	3.6 m (12 ft)
Larghezza banchina laterale (SW)	1.8 m (6 ft)
Roadside hazard rating (RHR)	3
Densità degli accessi (DD)	3 driveways per km (5 driveways per mi)
Curvatura orizzontale	None
Curvatura verticale	None
Pendenza longitudinale.	Level (0 percent)

Con i valori di default, il modello assume la seguente forma:

$$N_{br} = (ADT) (L) (365) (10^{-6}) \exp(-0.4865) \quad (3.5)$$

3.3.1 Procedura di calibrazione

L’algoritmo di previsione incidentale è stato pensato per essere utilizzato da diverse agenzie negli Stati Uniti. La frequenza incidentale, anche per strade ed intersezioni che sono nominalmente simili, varia bruscamente da stato a stato. Queste oscillazioni sono di due tipi, una che può essere messa direttamente in conto dall’algoritmo incidentale e l’altra no.

I vari stati, si differenziano molto nella tipologia di suolo e nella storia dello sviluppo del loro sistema stradale, risultando differenze da stato a stato sull’andamento plano-altimetrico, sulle sezioni trasversali e sul progetto delle intersezioni. Comunque queste differenze possono esser tenute in conto dall’algoritmo attraverso i fattori AMF.

I vari stati si differenziano marcatamente anche nel clima, nella popolazione animale, nella tipologia di utenti della strada, nella soglia di registrazione incidentale e nella metodologia di raccolta dei dati incidentali. Queste variazioni possono portare

in qualche stato una maggiore frequenza incidentale rispetto ad altri. Queste variazioni non possono essere inglobate direttamente nell'algoritmo di previsione incidentale, quindi è stata sviluppata una procedura di calibrazione per permettere di adattare l'algoritmo di previsione incidentale alle specifiche di ogni singolo stato.

La procedura di calibrazione viene implementata determinando il valore dei fattori di calibrazione dei tronchi stradali o delle intersezioni attraverso il confronto tra i dati incidentali registrati in quella realtà specifica e le stime provenienti dal modello di previsione.

I fattori di calibrazione sono incorporati nelle equazioni (3.6) e (3.7) descrittive rispettivamente dei tronchi e delle intersezioni:

$$N_{rs} = N_{br} C_r (AMF_{1r} AMF_{2r} \cdots AMF_{nr}) \quad (3.6)$$

$$N_{int} = N_{bi} C_i (AMF_{1i} AMF_{2i} \cdots AMF_{ni}) \quad (3.7)$$

Dove:

C_r	=	calibration factor for roadway segments developed for use by a particular highway agency;
C_i	=	calibration factor for at-grade intersections developed for use by a particular highway agency.

I fattori di calibrazione C_r e C_i avranno valori maggiori di 1.0 per quelle realtà dove, in media, si sono registrati più incidenti rispetto a quelli stimati dall'algoritmo, mentre in quelle realtà dove si sono registrati in media meno incidenti rispetto a quelli stimati dall'algoritmo si avrà un fattore di calibrazione minore di 1.0. Comunque, l'uso di fattori di calibrazione specifici potrebbe richiedere un'analisi dettagliata delle performance di sicurezza dell'area in cui si intende operare.

Inoltre, come accennato sopra, la procedura di calibrazione permette all'utente di modificare le distribuzioni di severità e tipologia incidentale in maniera da renderle conformi alla zona specifica dell'analisi.

3.4 I FATTORI DI MODIFICA DEGLI INCIDENTI

Gli effetti incrementali sul livello di sicurezza delle singole caratteristiche geometriche e di traffico della infrastruttura stradale vengono rappresentati dai fattori di modifica degli incidenti AMFs. Il valore nominale o di base di ogni fattore AMF è pari a 1.0. Qualsiasi caratteristica associata con una maggiore previsione incidentale rispetto alle condizioni nominali o di base presenterà una AMF maggiore di 1.0, allo

stesso modo caratteristiche che implicano una previsione incidentale minore di quella di base presenteranno un AMF minore di 1.0.

I valori dei fattori AMF sono stati determinati da un gruppo di esperti, i quali hanno determinato le relazioni in cui ogni singolo fattore AMF è legato al livello di sicurezza dell'infrastruttura. Il gruppo di esperti ha selezionato un set di parametri geometrici e di controllo del traffico come possibili candidati per lo sviluppo dei fattori AMFs. I candidati sono stati scelti in base alla loro relazione con la sicurezza. Inoltre è stata condotta una ricerca critica su quanto presente in letteratura per ogni caratteristica visionata.

Per alcune caratteristiche geometriche o di traffico, gli esperti hanno scelto i risultati di un particolare studio che hanno considerato più appropriato rispetto ad altri per costituire come base per gli AMFs. In altri casi, gli esperti hanno combinato i risultati di due o più studi per sviluppare gli AMF. In altri casi ancora, dove non erano disponibili i risultati di alcuno studio specifico, l'equipe ha esercitato il suo giudizio per stimare il valore appropriato del fattore AMF, questo è stato fatto definendo i limiti, ossia il valore minimo e massimo per uno specifico AMF.

Gli AMFs sono stati quindi definiti attraverso l'uso di diversi strumenti, incluse analisi Before-After, considerate le migliori per questo tipo di indagine, analisi con modelli di regressione e giudizio di esperti.

Comunque, gli studi Before-After presenti in letteratura e ben congegnati per le caratteristiche geometriche e di traffico sono risultati veramente pochi, e per questo in molti casi gli esperti hanno dovuto scegliere strade alternative.

Gli AMFs inclusi nel modello sono:

Tronchi stradali

- Lane width.
- Shoulder width.
- Shoulder type.
- Horizontal curves:
 1. length;
 2. radius;
 3. presence or absence of spiral transitions;superelevation.
- Grades.
- Driveway density.

- Two-way left-turn lanes.
- Passing lanes/short four-lane sections.
- Roadside design.

Intersezioni

- Skew angle.
- Traffic control.
- Exclusive left-turn lanes.
- Exclusive right-turn lanes.
- Intersection sight distance

Gli AMFs per le caratteristiche geometriche e di traffico dei tronchi stradali sono riportati nel seguito.

3.4.1 Larghezza corsia

Il valore nominale o di base per la larghezza della corsia è pari a 3.60m (12ft). Così a corsie da 3.60m è assegnato il un valore di AMF pari a 1.00. La figura 3.2 mostra i valori raccomandati di AMF per corsie aventi larghezza da 2.7 a 3.6m (9 a 12 ft). I valori di AMF per larghezze di corsia comprese tra 2.7 e 3.6m vanno interpolati tra le linee mostrate in figura. Corsie con larghezza inferiore a 2.7m avranno un AMF uguale a quello per larghezza 2.7m così come corsie con larghezza maggiore di 3.6m avranno AMF uguale a quello per larghezza 3.6m.

Se la larghezza delle corsie per i due sensi di marcia risulta differente, allora i fattori AMF devono essere determinati separatamente in ogni direzione e quindi mediati.

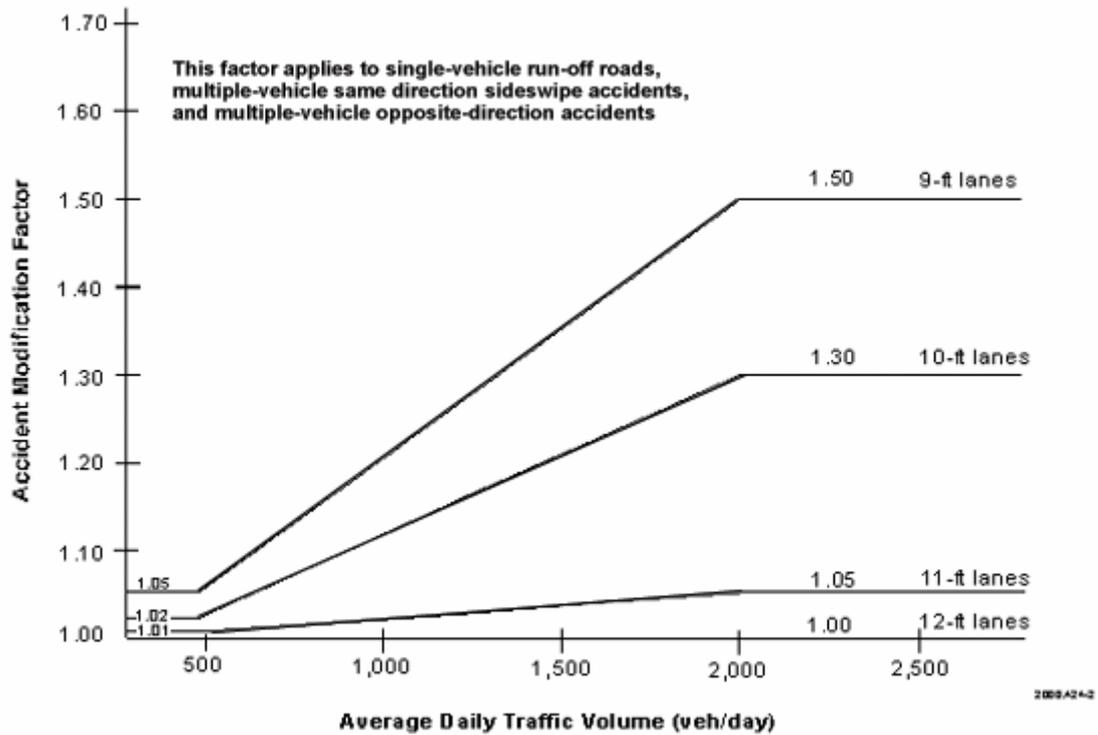


Figura 3.2- Fattori di modifica incidentale per larghezza della corsia.

I AMFs mostrati in figura 3.2 si applicano alla fuoriuscita di un singolo veicolo, allo scontro frontale fra più veicoli e allo scontro laterale nella stessa direzione o nella direzione opposta. Quindi gli AMFs espressi devono essere rapportati al totale degli incidenti all'interno dell'algoritmo di previsione. Questo viene fatto attraverso la seguente equazione:

$$AMF = (AMF_{ra} - 1.0) P_{ra} + 1.0 \tag{3.8}$$

Dove:

AMF	=	accident modification factor for total accidents;
AMF _{ra}	=	accident modification factor for related accidents (i.e., single-vehicle run-off-the-road and multiple-vehicle head-on, opposite-direction sideswipe, and same-direction sideswipe accidents), such as the accident modification factor for lane width shown in figure 2;
P _{ra}	=	proportion of total accidents constituted by related accidents

La percentuale di incidenti correlate a questa caratteristica geometrica (P_{ra}) è pari al 35% basandosi sulla distribuzione di default presentata in tabella 3.2. Naturalmente questo valore può essere cambiato attraverso il processo di calibrazione per adattarlo alla realtà specifiche.

3.4.2 Larghezza e tipologia di banchina

Il valore nominale per la larghezza di banchina è pari a 1.8m mentre la tipologia è quella pavimentata. Quindi per questi valori il fattore AMF è pari a 1.0. La figura 3.3 illustra i valori raccomandati per gli AMF relativi a larghezze di banchina diverse da 1.8m mentre la figura 3.3 illustra la variazione degli AMF per diverse tipologie di banchine (ghiaia, erba, ecc...).

I fattori AMF mostrati in figura 3.3 si applicano solo alla fuoriuscita del singolo veicolo e agli scontri nella direzione opposta.

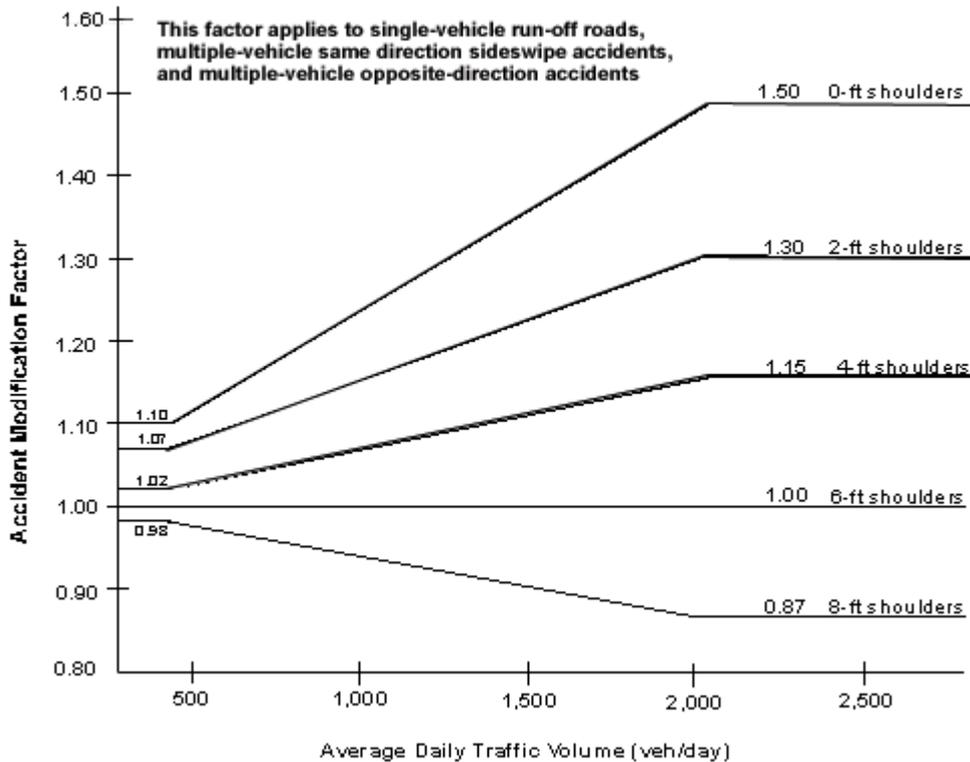


Figura 3.3- Fattori di modifica incidentale per larghezza della banchina
 Tabella 3.4- Fattori di modifica per la tipologia di banchina

Shoulder type	Shoulder width (ft)							
	0	1	2	3	4	6	8	10
Paved	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Gravel	1.00	1.00	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.03
Composite	1.00	1.01	1.02	1.02	1.03	1.04	1.06	1.07
Turf	1.00	1.01	1.03	1.04	1.05	1.08	1.11	1.14

Nota: per banchina di tipo composto si intende una banchina realizzate per il 50% in materiale da riporto e per il 50% in pavimentato.

Se la larghezza e/o la tipologia delle banchine per i due sensi di marcia risulta differente, allora i fattori AMF devono essere determinati separatamente in ogni direzione e quindi mediati.

I AMFs per larghezza e tipologia di banchina si applicano alla fuoriuscita di un singolo veicolo, allo scontro frontale fra più veicoli e allo scontro laterale nella stessa direzione o nella direzione opposta. Quindi gli AMFs espressi devono essere rapportati al totale degli incidenti all'interno dell'algoritmo di previsione. Questo viene fatto attraverso la seguente equazione:

$$AMF = (AMF_{wra} AMF_{tra} - 1.0) P_{ra} + 1.0 \quad (3.9)$$

Dove:

AMF_{wra}	=	accident modification factor for related accidents based on shoulder width (from figure 4); and
AMF_{tra}	=	accident modification factor for related accidents based on shoulder type (from table 3).

La percentuale di incidenti correlate a questa caratteristica geometrica (P_{ra}) è pari al 35% basandosi sulla distribuzione di default presentata in tabella 3.2. Naturalmente questo valore può essere cambiato attraverso il processo di calibrazione per adattarlo alla realtà specifiche.

3.4.3 Curve orizzontali (lunghezza, raggio, presenza o assenza di curve di transizione)

Il valore nominale o di base per l'andamento planimetrico è una strada dritta. Un fattore AMF è stato sviluppato per indicare come il livello di sicurezza cambia passando da un rettilineo ad una curva. Questi AMF vengono applicati a tutte le tipologie incidentali e non solo per alcune tipologie incidentali come viene fatto per la larghezza di corsie e della banchina.

Gli AMF per l'andamento orizzontale sono stati determinati da un modello di regressione sviluppato da Zegeer et al.[26]. Il modello di Zegeer include gli effetti dovuti alla lunghezza della curva, al raggio della curva e alla presenza o meno di curve di transizione. Quindi il fattore AMF per le curve orizzontali risulta:

$$AMF = \frac{1.55L_e + \frac{80.2}{R} - 0.012S}{1.55L_e} \quad (3.10)$$

Dove:

L_e	=	length of horizontal curve (mi);
R	=	radius of curvature (ft);
S	=	1 if spiral transition curve is present 0 if spiral transition curve is not present

3.4.3.1 Sopraelevazione in curva

Il valore nominale o di base per il fattore AMF relative alla sopraelevazione in curva è dato dal valore di sopraelevazione richiesto dal “Green Book” dell’ AASHTO [34]. Confrontando i diagrammi di progetto della normativa AASHTO con quello presente nella normativa tecnica italiana [43] si è individuato accettabile l’utilizzo del criterio di progetto AASHTO con sopraelevazione massima pari al 6%.

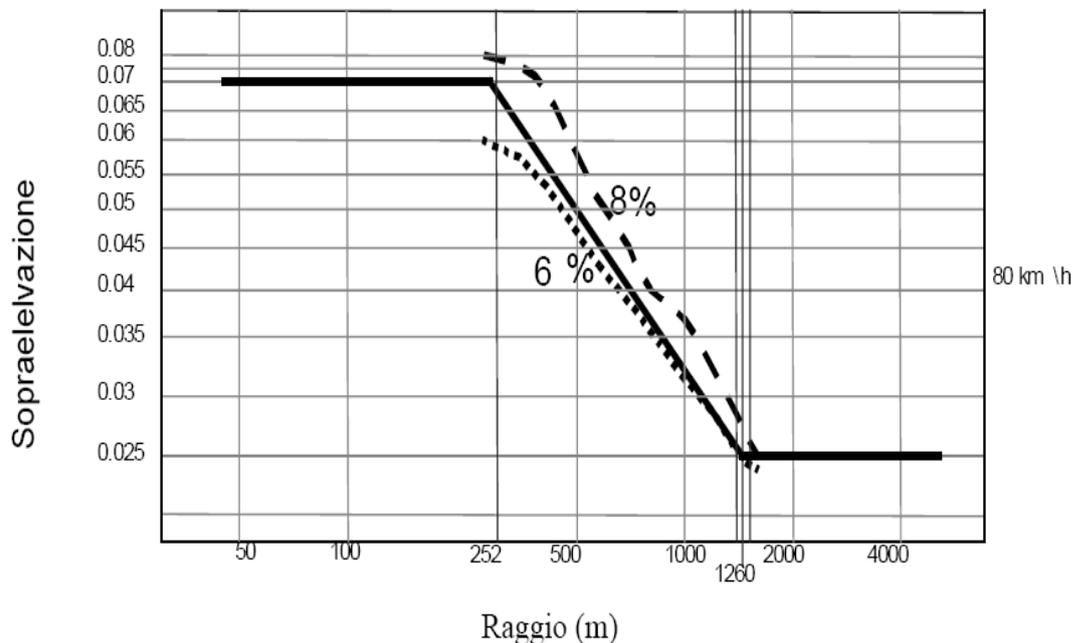


Figura 3.4- Confronto del valore della sopraelevazione nel Green Book AASTHO (linee tratteggiate) e la normativa italiana (linea continua).

Quindi il fattore AMF relativo alla sopraelevazione si basa sulla carenza di sopraelevazione in curva (SD). Il valore del parametro SD viene calcolato come differenza tra il valore di pendenza trasversale richiesto dal “Green Book” AASHTO e quello effettivo della strada. Difetti di sopraelevazione (SD) superiori a 0.01

producono un incremento di incidentalità (AMF>1) che cresce proporzionalmente a SD.

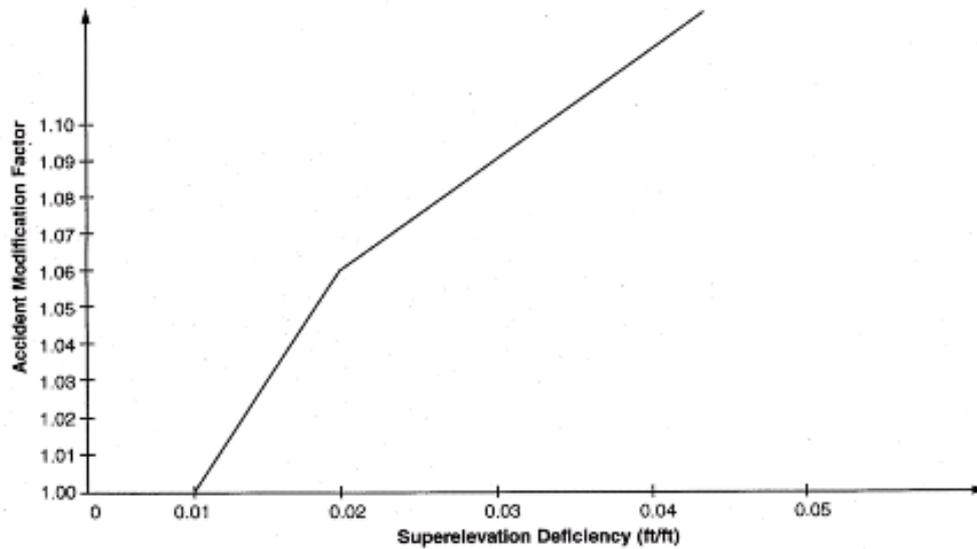


Figura 3.5- Fattore di modifica incidentale relativo al difetto di sopraelevazione.

La forma generale, del fattore AMF per il difetto di sopraelevazione in curva è data in figura 3.5 ed è basata sul lavoro di Zegeer et al. [33], [35]. Per una curva orizzontale con larghezza di corsia pari a 3.6m e senza curve di transizione, il lavoro di Zegeer propone:

$$AMF = \frac{1.22 + \frac{1604}{R} + 9.52SD}{1.22 + \frac{1604}{R}} \quad (3.11)$$

Dove:

SD = difetto di sopraelevazione.

Comunque, i AMF definiti come sopra non sono direttamente utilizzabili perché la formula suggerisce che per qualsiasi difetto di sopraelevazione, il valore di AMF aumenti aumentando il raggio di curvatura. In effetti, è più ragionevole pensare che il difetto di sopraelevazione sia più importante in curve con raggio di curvatura più piccolo. Zegeer et al. [35] indicano che il raggio medio della curva nei loro studi era 257.0m. Per questi raggi medi, si ha:

Tabella 3.5 – Variazione del fattore AMF in funzione del difetto di sopraelevazione in curva.

Difetto di sopraelevazione e in curva	AMF
0.02	1.06

0.03	1.09
0.04	1.12
0.05	1.15

Basandosi su questi valori e sul giudizio degli esperti, si sono determinate le seguenti equazioni:

$$AMF = 1.00 \text{ for } SD < 0.01 \quad (3.12)$$

$$AMF = 1.00 + 6 (SD - 0.01) \quad \text{per } 0.01 \leq SD < 0.02 \quad (3.13)$$

$$AMF = 1.06 + 3 (SD - 0.02) \quad \text{per } SD \geq 0.02 \quad (3.14)$$

3.4.4 Pendenza longitudinale

Il valore di base o nominale per la pendenza longitudinale è pari allo 0%. La tabella 3.6 presenta la variazione del fattore di modifica accidentale con la variazione della pendenza longitudinale basati sugli studi di Miaou [36] sulle strade extra-urbane dello Utah. Da questi studi si evidenzia come si abbia un incremento del 1.6% sulla frequenza incidentale all'aumentare dell'1% della pendenza longitudinale.

Sebbene questi risultati non abbiano una grande rilevanza statistica, l'equipe di esperti ha deciso di utilizzarli come base per la definizione del fattore AMF perché questi ultimi appaiono realistici e perché non ci sono altri studi disponibili. I fattori AMF riportati nella tabella 3.6 si applicano su ogni tronco di strada analizzato senza fare distinzione sul segno della pendenza. Il segno della pendenza è irrilevante perché per ogni strada a due corsie la pendenza sarà verso l'alto in una direzione e verso il basso nell'altra.

Tabella 3.6 – Fattore di modifica incidentale legato alla pendenza.

Pendenza (%)				
0	2	4	6	8
1.00	1.03	1.07	1.10	1.14

3.4.5 Densità degli accessi

Il valore nominale o di base per la densità degli accessi è di tre accessi per km (cinque accessi per miglia). Il fattore AMF relativo alla densità di accessi sul tronco è basato sulla seguente relazione derivato da un lavoro di Muskaug [37]:

$$AMF = \frac{0.2 + [0.05 - 0.005 \ln(ADT)]DD}{0.2 + [0.05 - 0.005 \ln(ADT)](5)} \quad (3.15)$$

Dove:

ADT	=	annual average daily traffic volume of the roadway being evaluated (veh/day); and
DD	=	driveway density (driveways per mile).

Lo studio di Muskaug era basato solo su incidenti che hanno provocato feriti, comunque l'equipe di esperti hanno deciso che l'equazione (3.15) può essere applicata a tutte le tipologie di incidente, indipendentemente dal loro grado di severità.

3.4.6 Corsie di sorpasso

La condizione nominale o di base per le corsie di sorpasso è l'assenza di tale corsia. Il fattore AMF per l'aggiunta di una corsia di sorpasso in una direzione di marcia per una strada a due corsie è 0.75 per il totale degli incidenti in entrambe le direzioni di marcia sulla lunghezza della corsia di sorpasso dall'inizio alla fine. Il valore assunto garantisce l'operatività della corsia di sorpasso. Si ritiene che l'effetto operativo sul traffico di una corsia di sorpasso si estenda da 5 a 13 km a valle di tale corsia, si potrebbe presumere che questi effetti operativi si riflettano anche in effetti positivi a livello di sicurezza su una lunghezza simile, nessuno di questi effetti è riportato nell'algorithmo di previsione incidentale a causa della mancanza di evidenze quantitative sui benefici.

Il fattore AMF per doppia corsia di sorpasso (una per ogni senso di marcia) è 0.65 per il totale degli incidenti esteso sulla lunghezza delle corsie di sorpasso.

Il fattore AMF per le corsie di sorpasso è stato dedotto in prima fase dal lavoro di Harwood e St.John, con considerazioni date dai risultati di Rinde e Nettleblad

[39], [32],[40]. Il fattore per doppia corsia di sorpasso è stato dedotto dal lavoro di Harwood e St. John [39]. Questi fattori si applicano a tutte le tipologie di incidenti su strade aventi corsie di sorpasso.

3.4.7 Corsia preferenziale per la svolta a sinistra

L'installazione di una corsia centrale per la svolta a sinistra (Two-Way Left-Turn Lane) in una strada a due corsie crea una terza corsia sulla sezione trasversale che può ridurre gli incidenti connessi con le manovre di svolta a sinistra. Il fattore AMF per l'installazione di una corsia preferenziale di svolta a sinistra risulta:

$$AMF = 1 - 0.7P_D P_{LT/D} \quad (3.16)$$

Dove:

P_D	=	driveway-related accidents as a proportion of total accidents;
$P_{LT/D}$	=	left-turn accidents susceptible to correction by a TWLTL as a proportion of driveway-related accidents.

Il valore di P_D è stato stimato da un lavoro di Hauer [41]:

$$P_D = \frac{0.0047DD + 0.0024DD^2}{1.199 + 0.0047DD + 0.0024DD^2} \quad (3.17)$$

Il valore di $P_{LT/D}$ è stato definito dall'equipe di esperti pari a 0.5.

Gli esperti considerano che le equazioni (3.16) e (3.17) rappresentino la migliore stima per i fattori AMF correlati alla predisposizione di una corsia preferenziale per la svolta a sinistra, senza avere a disposizione i dati sui volumi di traffico per tale svolta. Realisticamente, questi volumi sono raramente disponibili per poter essere utilizzati in queste analisi.

Il fattore AMF per le corsie preferenziali non dovrebbe essere applicato con densità degli accessi minori a 3 per km. Infatti, se la densità degli accessi è inferiore a 3 accessi a km, il fattore AMF per la corsia preferenziale assume valore 1.0. Infatti l'installazione di una corsia preferenziale potrebbe, in alcuni casi, essere inappropriata per tronchi di strada con densità degli accessi inferiori a questa soglia.

3.4.8 Caratteristiche delle condizioni ai margini

La caratterizzazione delle condizioni ai margini viene definita nel modello IHSDM attribuendo a singoli tratti omogenei, considerati per entrambi i sensi di marcia, un fattore di “Roadside Hazard Rating” (RHR) definito in una scala con 7 gradi di pericolosità sviluppato da Zegeer et al. [26]. Non sono stati trovati studi in letteratura che rappresentino in maniera soddisfacente la relazione tra il fattore RHR e l’incidentalità sulle strade extra-urbane. Per questo motivo, i fattori AMF sono stati definiti direttamente dal modello di base per i tronchi stradali presentato nell’equazione (3.18). Il valore nominale o di base per il fattore RHR è pari a 3 a cui corrisponde un AMF pari a 1.0. La formula per il fattore AMF risulta:

$$AMF = \frac{\exp(-0.6869 + 0.0668RHR)}{\exp(-0.4865)} \quad (3.18)$$

Questo fattore AMF viene applicato a tutti gli incidenti del tronco stradale in questione.

Nel seguito, vengono proposti esempi fotografici e descrizioni sintetiche per ogni fattore RHR in funzione di alcune caratteristiche come la pendenza della scarpata l’ampiezza di visibilità.

Tabella 3.7 – Descrizioni sintetiche dei fattori RHR.

RHR	1	2	3	4	5	6	7
Larghezza libera dal bordo pavimentato	>= 9m	da 6 a 7.5m	3m	da 1.5 a 3m	da 1.5 a 3m	<1.5m	<1.5m
Pendenza scarpata	meno pendente di 1:4	1:4	da 1:3 a 1:4	da 1:3 a 1:4	1:3	1:2	più pendente di 1:2
Sormontabile	sì	sì	parzialmente	no	no	no	no
Figura	Figura 3.6	Figura 3.7	Figura 3.8	Figura 3.9	Figura 3.10	Figura 3.11	Figura 3.12



Figura 3.6 – Tipiche sezioni stradali con RHR pari a 1.

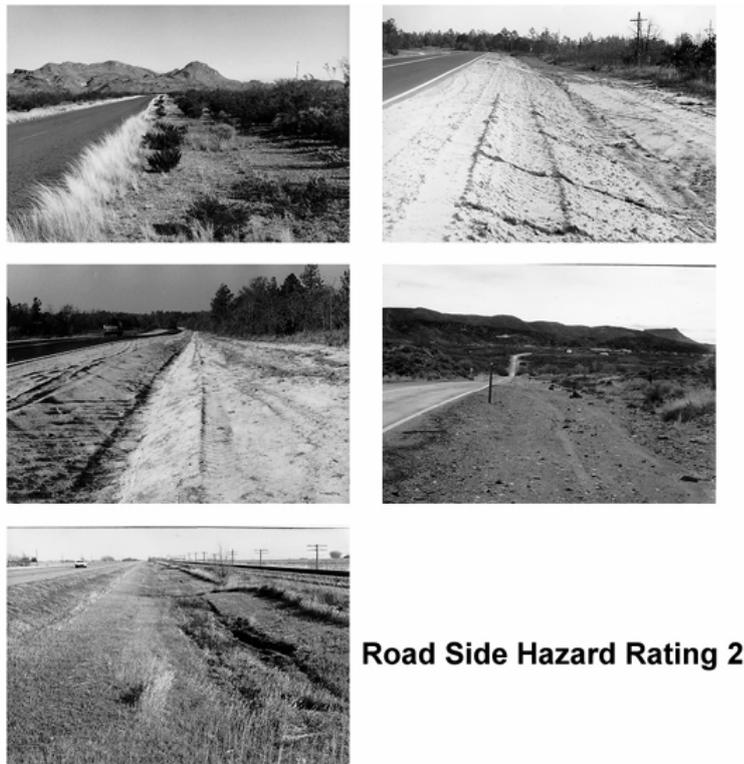


Figura 3.7 – Tipiche sezioni stradali con RHR pari a 2.

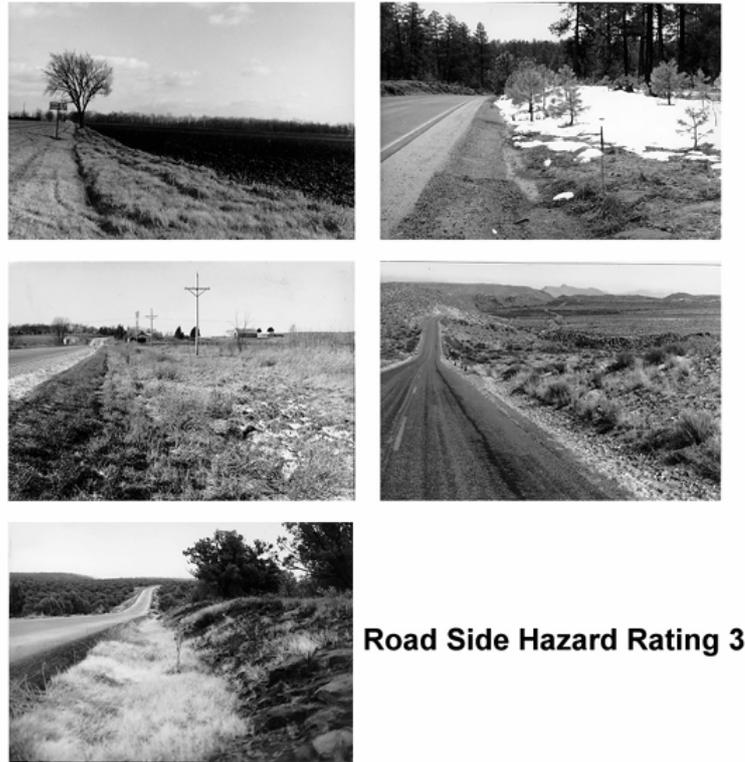


Figura 3.8 – Tipiche sezioni stradali con RHR pari a 3.

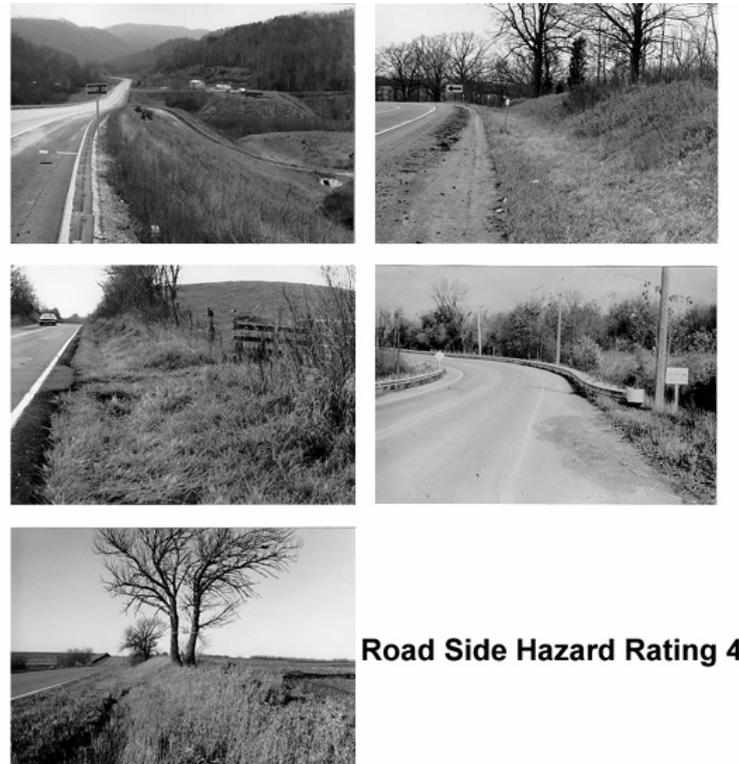
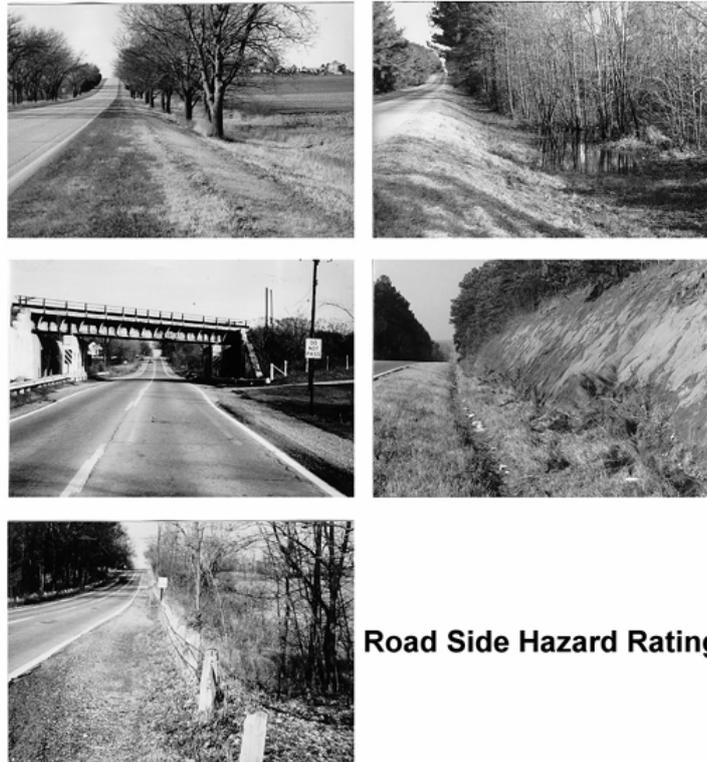


Figura 3.9 – Tipiche sezioni stradali con RHR pari a 4.



Road Side Hazard Rating 5

Figura 3.10 – Tipiche sezioni stradali con RHR pari a 5.



Road Side Hazard Rating 6

Figura 3.11 – Tipiche sezioni stradali con RHR pari a 6.

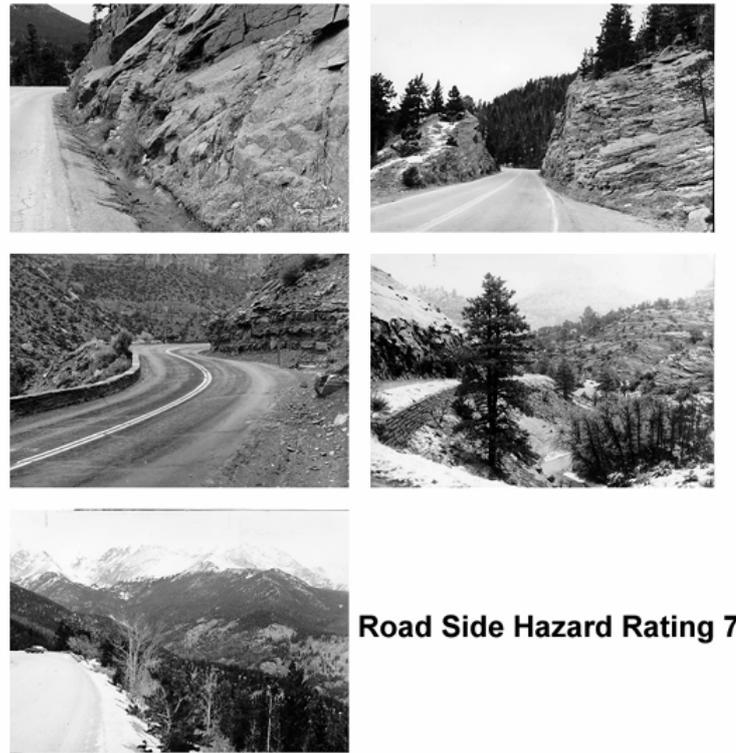


Figura 3.12 – Tipiche sezioni stradali con RHR pari a 7.

3.5 ANALISI DI SENSIBILITA'

Viene condotta un'analisi di sensibilità per individuare gli effetti sulla sicurezza dovuti ai vari parametri costituenti il modello di previsione incidentale.

Tutte le analisi di sensibilità svolte nel seguito hanno un fattore di calibrazione per i tronchi stradali (Cr) pari ad 1.0. In questo modo i risultati ottenuti non rappresentano nessuna situazione in particolare, ma vanno interpretati in senso relativo.

L'analisi di sensibilità per prima cosa stabilisce come varia la frequenza incidentale al variare del TGM rispetto alla condizione di base o nominale. Successivamente vengono fatti variare uno alla volta i fattori di modifica incidentale AMF.

3.5.1 Condizioni di base o nominali

Le condizioni di base o nominali sono le seguenti:

- Corsie da 3.6-m (12-ft).
- Banchina pavimentata da 1.8-m (6-ft).
- Strada in rettilineo.
- Livellata orizzontale (0 percent).
- Tre accessi per km (5 driveways per mi).
- Roadside hazard rating = 3.
- Assenza di corsie di sorpasso o preferenziali per la svolta.

La tabella 3.8 mostra la variazione della frequenza incidentale e del rapporto incidentale al variare del TGM per le condizioni di base. La tabella mostra come per le condizioni di base, la frequenza incidentale aumenta in maniera direttamente proporzionale al TGM mentre il rapporto incidentale (incidenti per milione di veicoli-miglio) rimane costante.

Tabella 3.8- Sensibilità della sicurezza al variare del TGM nelle condizioni di base.

TGM (veic/giorno)	Incidenti per mi per anno	Incidenti per milioni veicoli-mi
400	0.09	0.61
1,000	0.22	0.61
3,000	0.67	0.61

TGM (veic/giorno)	Incidenti per mi per anno	Incidenti per milioni veicoli-mi
5,000	1.12	0.61
10,000	2.24	0.61

3.5.2 Larghezza della corsia

La tabella 3.9 mostra la variazione di sicurezza al variare della larghezza di corsia mantenendo tutti gli altri fattori nelle condizioni nominali o di base. La tabella mostra come per bassi volumi di traffico, la variazioni sulla sicurezza dovute alla larghezza di corsia risultano minime, mentre crescono al crescere dei volumi di traffico. Per un TGM di 2000 veic./giorno, la frequenza incidentale è più grande del 16.5% in una corsia da 2.7m rispetto ad una corsia di 3.6m.

Tabella 3.9 - Sensibilità della sicurezza al variare della larghezza di corsia.

TGM (veic/giorno)	Larghezza corsia (ft)			
	9	10	11	12 (nominale)
	Incidenti per mi per anno			
400	0.09	0.09	0.09	0.09
1,000	0.24	0.23	0.23	0.22
3,000	0.79	0.74	0.68	0.67
5,000	1.32	1.24	1.14	1.12
10,000	2.64	2.48	2.28	2.24
	Incidenti per milioni veicoli-mi			
400	0.63	0.62	0.62	0.61
1,000	0.66	0.64	0.62	0.61
3,000	0.72	0.68	0.63	0.61
5,000	0.72	0.68	0.63	0.61
10,000	0.72	0.68	0.63	0.61

Conversione: 1 mi = 1.61 km; 1 ft = 0.305m

3.5.3 Tipo e larghezza della banchina laterale

La tabella 3.10 mostra la variazione di sicurezza al variare della larghezza e della tipologia della banchina laterale mantenendo tutti gli altri fattori nelle condizioni nominali o di base. Come per la larghezza della corsia, la tabella mostra come per bassi volumi di traffico, la variazioni sulla sicurezza dovute alla banchina laterale risultino minime, mentre crescono al crescere dei volumi di traffico. Per un TGM di 2000 veic./giorno, la frequenza incidentale può differire del 25% tra la varie combinazioni di tipologia e larghezza della banchina laterale.

Tabella 3.10- Sensibilità della sicurezza al variare della banchina laterale.

	Tipo e larghezza della banchina laterale (ft)												
	Assente	Pavimentata				Ghiaia				Materiale di riporto			
	0	2	4	6	8	2	4	6	8	2	4	6	8
TGM (veic/giorno)				(nominale)									
	Incidenti per mi per anno												
400	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
1,000	0.24	0.24	0.23	0.22	0.22	0.24	0.23	0.23	0.22	0.24	0.23	0.23	0.23
3,000	0.79	0.74	0.71	0.67	0.64	0.75	0.71	0.68	0.65	0.76	0.72	0.69	0.67
5,000	1.32	1.24	1.18	1.12	1.07	1.24	1.18	1.13	1.08	1.25	1.20	1.15	1.11
10,000	2.64	2.48	2.36	2.24	2.14	2.49	2.37	2.26	2.16	2.51	2.40	2.30	2.22
	Incidenti per milioni veicoli-mi												
400	0.64	0.63	0.62	0.61	0.61	0.63	0.62	0.62	0.61	0.64	0.63	0.63	0.64
1,000	0.67	0.65	0.63	0.61	0.60	0.65	0.63	0.62	0.61	0.66	0.64	0.63	0.63
3,000	0.72	0.68	0.65	0.61	0.59	0.68	0.65	0.62	0.59	0.69	0.66	0.63	0.61
5,000	0.72	0.68	0.65	0.61	0.59	0.68	0.65	0.62	0.59	0.69	0.66	0.63	0.61
10,000	0.72	0.68	0.65	0.61	0.59	0.68	0.65	0.62	0.59	0.69	0.66	0.63	0.61

3.5.4 Curve orizzontali

La tabella 3.11 e tabella 3.12 presentano la variazione della sicurezza collegata ai fattori connessi alle curve orizzontali. La tabella 3.11 presenta i valori incidentali di un tronco stradale al variare della lunghezza della curva e del raggio, sia in

presenza che in assenza di curve di transizione. I valori nelle tabelle sono stati calcolati con tutti gli altri fattori aventi valore nominale. I valori mostrano che un'ampia curva orizzontale è leggermente solo leggermente peggiore in termini di sicurezza rispetto ad un rettifilo. Al contrario, una curva lunga 31.00m e avente raggio di 31.00m presenta un rapporto incidentale 28 volte maggiore rispetto alla stessa sezione in rettifilo. L'aggiunta di spirali di transizione (tipo clotoidi) può ridurre la frequenza incidentale fino ad un massimo del 6.6% per le curve presentate.

La tabella 3.12 mostra l'effetto sulla sicurezza del difetto di sopraelevazione in curva. La tabella mostra, come indicato nell'equazione (3.11) che un difetto di sopraelevazione di 0.02 produce un incremento di incidentale sulle curve del 6% mentre un difetto di 0.04 un incremento del 12%.

Tabella 3.11- Sensibilità della sicurezza al variare della lunghezza e del raggio delle curve.

		Lunghezza curva = 100 ft			Lunghezza curva = 500 ft		Lunghezza curva = 1,000 ft			Lunghezza curva = 2,000 ft			
		Raggio (ft)			Raggio (ft)		Raggio (ft)			Raggio (ft)			
TGM (veic/giorno)	Rettifilo	100	200	500	500	1,000	2,000	1,000	2,000	5,000	1,000	2,000	5,000
Incidenti per mi per anno — Curve senza spirale di transizione													
400	0.09	2.55	1.32	0.58	0.19	0.14	0.11	0.11	0.10	0.09	0.10	0.10	0.09
1,000	0.22	6.37	3.30	1.45	0.47	0.35	0.29	0.29	0.26	0.24	0.26	0.24	0.23
3,000	0.67	19.11	9.89	4.36	1.41	1.04	0.86	0.86	0.77	0.71	0.77	0.72	0.69
5,000	1.12	31.84	16.48	7.27	2.35	1.74	1.43	1.43	1.28	1.18	1.28	1.20	1.15
10,000	2.24	63.69	32.97	14.53	4.70	3.47	2.86	2.86	2.55	2.37	2.55	2.40	2.31
Incidenti per milioni veicoli-mi — Curve senza spirale di transizione													
400	0.61	17.45	9.03	3.98	1.29	0.95	0.78	0.78	0.70	0.65	0.70	0.66	0.63
1,000	0.61	17.45	9.03	3.98	1.29	0.95	0.78	0.78	0.70	0.65	0.70	0.66	0.63
3,000	0.61	17.45	9.03	3.98	1.29	0.95	0.78	0.78	0.70	0.65	0.70	0.66	0.63
5,000	0.61	17.45	9.03	3.98	1.29	0.95	0.78	0.78	0.70	0.65	0.70	0.66	0.63
10,000	0.61	17.45	9.03	3.98	1.29	0.95	0.78	0.78	0.70	0.65	0.70	0.66	0.63
Incidenti per mi per anno — Curve con spirale di transizione													
400	0.09	2.51	1.26	0.54	0.18	0.13	0.11	0.11	0.10	0.09	0.10	0.09	0.09

		Lunghezza curva = 100 ft			Lunghezza curva = 500 ft			Lunghezza curva = 1,000 ft			Lunghezza curva = 2,000 ft		
		Raggio (ft)			Raggio (ft)			Raggio (ft)			Raggio (ft)		
1,000	0.22	6.28	3.20	1.36	0.4 5	0.33	0.27	0.28	0.25	0.23	0.25	0.24	0.23
3,000	0.67	18.8 3	9.61	4.08	1.3 5	0.99	0.80	0.83	0.74	0.68	0.75	0.71	0.68
5,000	1.12	31.2 8	16.0 2	6.81	2.2 6	1.64	1.34	1.38	1.23	1.14	1.25	1.18	1.13
10,000	2.24	62.7 7	32.0 5	13.6 1	4.5 1	3.29	2.67	2.77	2.46	2.27	2.50	2.35	2.26
Incidenti per milioni veicoli-mi — Curve con spirale di transizione													
400	0.61	17.2 0	8.78	3.73	1.2 4	0.90	0.73	0.76	0.67	0.62	0.69	0.64	0.62
1,000	0.61	17.2 0	8.78	3.73	1.2 4	0.90	0.73	0.76	0.67	0.62	0.69	0.64	0.62
3,000	0.61	17.2 0	8.78	3.73	1.2 4	0.90	0.73	0.76	0.67	0.62	0.69	0.64	0.62
5,000	0.61	17.2 0	8.78	3.73	1.2 4	0.90	0.73	0.76	0.67	0.62	0.69	0.64	0.62
10,000	0.61	17.2 0	8.78	3.73	1.2 4	0.90	0.73	0.76	0.67	0.62	0.69	0.64	0.62

Tabella 3.12 - Sensibilità della sicurezza al variare del difetto di sopraelevazione in curva.

	Lunghezza Curva = 100 ft Raggio = 200 ft			Lunghezza Curva = 500 ft Raggio = 1,000 ft			Lunghezza Curva = 1,000 ft Raggio = 2,000 ft			Lunghezza Curva = 2,000 ft Raggio = 2,000 ft		
	Difetto di sopraelevazione			Difetto di sopraelevazione			Difetto di sopraelevazione			Difetto di sopraelevazione		
TGM (veic/giorno)	0.00	0.02	0.04	0.00	0.02	0.04	0	0.02	0.04	0	0.02	0.04
Incidenti per mi per anno												
400	1.32	1.40	1.47	0.14	0.15	0.16	0.10	0.11	0.11	0.10	0.10	0.11
1,000	3.29	3.49	3.68	0.35	0.37	0.39	0.26	0.27	0.29	0.24	0.25	0.27
3,000	9.87	10.4 6	11.0 5	1.04	1.10	1.17	0.77	0.81	0.86	0.72	0.76	0.81
5,000	16.4 5	17.4 4	18.4 2	1.74	1.84	1.94	1.28	1.35	1.43	1.20	1.27	1.34
10,000	32.9 0	34.8 8	36.8 5	3.47	3.68	3.89	2.55	2.70	2.86	2.40	2.54	2.68
Incidenti per milioni veicoli-mi												
400	9.01	9.55	10.1 0	0.95	1.01	1.06	0.70	0.74	0.78	0.66	0.70	0.74
1,000	9.01	9.55	10.1	0.95	1.01	1.06	0.70	0.74	0.78	0.66	0.70	0.74

	Lunghezza Curva = 100 ft Raggio = 200 ft			Lunghezza Curva = 500 ft Raggio = 1,000 ft			Lunghezza Curva = 1,000 ft Raggio = 2,000 ft			Lunghezza Curva = 2,000 ft Raggio = 2,000 ft		
	Difetto di sopraelevazione			Difetto di sopraelevazione			Difetto di sopraelevazione			Difetto di sopraelevazione		
			0							6	0	
3,000	9.01	9.55	10.10	0.95	1.01	1.06	0.70	0.74	0.78	0.66	0.70	0.74
5,000	9.01	9.55	10.10	0.95	1.01	1.06	0.70	0.74	0.78	0.66	0.70	0.74
10,000	9.01	9.55	10.10	0.95	1.01	1.06	0.70	0.74	0.78	0.66	0.70	0.74

3.5.5 Pendenza longitudinale

La tabella 3.13 mostra la sensibilità della sicurezza al variare della pendenza longitudinale. La tabella mostra come, un aumento di pendenza del 1% produce un incremento sulla frequenza incidentale pari al 1.6%.

Tabella 3.13 - Sensibilità della sicurezza al variare della pendenza longitudinale.

TGM (veic/giorno)	Pendenza (%)				
	0 (valore nominale)	2	4	6	8
	Incidenti per mi per anno				
400	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10
1,000	0.22	0.23	0.21	0.25	0.25
3,000	0.67	0.69	0.72	0.74	0.76
5,000	1.12	1.16	1.20	1.23	1.27
10,000	2.24	2.32	2.39	2.47	2.55
	Incidenti per milioni veicoli-mi				
400	0.61	0.63	0.66	0.68	0.70
1,000	0.61	0.63	0.66	0.68	0.70
3,000	0.61	0.63	0.66	0.68	0.70
5,000	0.61	0.63	0.66	0.68	0.70
10,000	0.61	0.63	0.66	0.68	0.70

3.5.6 Densità degli accessi

La tabella 3.14 presenta la sensibilità della sicurezza al variare della densità degli accessi per un tronco stradale in cui tutti gli altri fattori sono presi con il loro valore nominale. La tabella mostra come un segmento stradale avente una densità degli accessi pari a 19 per km può evidenziare un aumento di incidentalità pari a 4 volte rispetto allo stesso tronco di strada privo di accessi.

Tabella 3.14 - Sensibilità della sicurezza al variare della densità degli accessi.

TGM (veic/giorno)	Densità degli accessi (accessi per mi)						
	0	5 (nominale)	10	15	20	25	30
	Incidenti per mi per anno						
400	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24
1,000	0.16	0.22	0.29	0.35	0.41	0.47	0.54
3,000	0.54	0.67	0.81	0.94	1.08	1.21	1.34
5,000	0.95	1.12	1.30	1.47	1.65	1.82	2.00
10,000	2.04	2.24	2.45	2.65	2.85	3.05	3.25
	Incidenti per milioni veicoli-mi						
400	0.41	0.61	0.82	1.03	1.23	1.44	1.64
1,000	0.44	0.61	0.79	0.96	1.13	1.30	1.47
3,000	0.49	0.61	0.74	0.86	0.98	1.11	1.23
5,000	0.52	0.61	0.71	0.81	0.90	1.00	1.10
10,000	0.56	0.61	0.67	0.73	0.78	0.84	0.89
	Incidenti per mi per anno con corsia preferenziale per svolta a sx						
400	0.06	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.18
1,000	0.16	0.22	0.27	0.31	0.34	0.38	0.41
3,000	0.54	0.66	0.75	0.83	0.90	0.97	1.04
5,000	0.95	1.10	1.21	1.30	1.38	1.46	1.54
10,000	2.04	2.19	2.28	2.33	2.38	2.44	2.50
	Incidenti per milioni veicoli-mi con corsia preferenziale per svolta a sx						
400	0.41	0.60	0.76	0.90	1.03	1.15	1.26
1,000	0.44	0.60	0.73	0.84	0.94	1.04	1.13
3,000	0.49	0.60	0.69	0.76	0.82	0.88	0.95
5,000	0.52	0.60	0.66	0.71	0.76	0.80	0.84
10,000	0.56	0.60	0.62	0.64	0.65	0.67	0.69

3.5.7 Corsia di sorpasso

La tabella 3.15 mostra la sensibilità della sicurezza al variare della presenza o meno della corsia di sorpasso, per una o entrambe le direzioni di marcia. I valori

indicano come, la predisposizione di una corsia di sorpasso può portare ad una riduzione del 25% della frequenza incidentale e del 35% nel caso in cui si preveda per entrambi i sensi di marcia.

Tabella 3.15 - Sensibilità della sicurezza al variare della presenza o meno della corsia di sorpasso.

TGM (veic/giorno)	Presenza o meno della corsia di sorpasso		Presenza o meno di corsia di sorpasso per entrambe le direzioni	
	No (nominale)	Si	No (nominale)	Si
	Incidenti per mi per anno			
400	0.09	0.07	0.09	0.06
1,000	0.22	0.17	0.22	0.15
3,000	0.67	0.50	0.67	0.44
5,000	1.12	0.84	1.12	0.73
10,000	2.24	1.68	2.24	1.46
	Incidenti per milioni veicoli-mi			
400	0.61	0.46	0.61	0.40
1,000	0.61	0.46	0.61	0.40
3,000	0.61	0.46	0.61	0.40
5,000	0.61	0.46	0.61	0.40
10,000	0.61	0.46	0.61	0.40

3.5.8 Condizioni al contorno

La tabella 3.16 presenta la sensibilità della sicurezza al variare delle condizioni al contorno definiti tramite il fattore RHR, mentre tutte le altre caratteristiche presentano il loro valore nominale o di base. La tabella mostra come la frequenza incidentale può aumentare anche del 50% passando da un fattore RHR pari a 1 a un fattore RHR pari a 7.

Tabella 3.16 - Sensibilità della sicurezza al variare del fattore RHR.

TGM (veic/giorno)	Fattore "Roadside hazard rating"						
	1	2	3 (nominale)	4	5	6	7
	Incidenti per mi per anno						
400	0.08	0.08	0.09	0.10	0.10	0.11	0.12
1,000	0.20	0.21	0.22	0.24	0.26	0.27	0.29
3,000	0.59	0.63	0.67	0.72	0.77	0.82	0.88
5,000	0.98	1.05	1.12	1.20	1.26	1.37	1.47
10,000	1.96	2.10	2.24	2.40	2.56	2.74	2.93
	Incidenti per milioni veicoli-mi						
400	0.54	0.58	0.61	0.66	0.70	0.75	0.80

TGM (veic/giorno)	Fattore "Roadside hazard rating"						
	1	2	3 (nominale)	4	5	6	7
1,000	0.54	0.58	0.61	0.66	0.70	0.75	0.80
3,000	0.54	0.58	0.61	0.66	0.70	0.75	0.80
5,000	0.54	0.58	0.61	0.66	0.70	0.75	0.80
10,000	0.54	0.58	0.61	0.66	0.70	0.75	0.80

3.5.9 Combinazioni limite

La tabella 3.17 mostra la sensibilità della sicurezza in due combinazioni estreme di caratteristiche geometriche e di traffico. La configurazione "low" presenta la migliore combinazione delle caratteristiche presentate nei paragrafi precedenti. Nello specifico essa include:

- Corsie da 3.6-m (12-ft).
- Banchina pavimentata 2.4-m (8-ft).
- Rettifilo.
- Livelletta orizzontale (0 percent).
- Assenza di accessi.
- Roadside hazard rating = 1.
- Presenza di corsie di sorpasso.

Al contrario, la configurazione "high" presenta la peggiore combinazione delle caratteristiche geometriche presentate sopra. Nello specifico essa include:

- Corsia da 2.7-m (9-ft).
- Assenza di banchine laterali.
- Curva orizzontale lunga 31m e avente raggio di 31m, assenza di curve di transizione e difetto di sopraelevazione pari a 0.04.
- Pendenza longitudinale dell'8%.
- Nove accessi per km (30 driveways per mi).
- Roadside hazard rating = 7.
- Assenza di corsie preferenziali per svolta a sx o sorpasso.

Tabella 3.17 - Sensibilità della sicurezza in due scenari estremi.

TGM (veic/giorno)	Combinazione "Low"	Combinazione "High"
Incidenti per mi per anno		
400	0.03	11.87

TGM (veic/giorno)	Combinazione “Low”	Combinazione “High”
1,000	0.09	29.59
3,000	0.29	87.35
5,000	0.51	129.87
10,000	1.11	211.25
Incidenti per milioni veicoli-mi		
400	0.23	81.31
1,000	0.25	81.07
3,000	0.27	79.77
5,000	0.28	71.16
10,000	0.30	57.88

3.6 SVILUPPO DELL'ALGORITMO INCIDENTALE NELL' IHSDM

L'algoritmo di previsione incidentale intende essere uno strumento per assistere gli esperti di sicurezza nella stima della validità di diverse alternative progettuali.

L'algoritmo può essere utilizzato per:

1. Stimare le performance di sicurezza per diverse alternative geometriche per una strada in progetto ancora da realizzare.
2. Stimare la performance di sicurezza corrente o passata di una strada esistente considerando sia i risultati del modello analitico che i dati incidentali osservati su quella infrastruttura.
3. Stimare la performance di sicurezza futura di una strada esistente se le caratteristiche geometriche rimangono invariate (il TGM può variare, naturalmente).
4. Stimare le performance di sicurezza future di una o più alternative progettuali differenti per migliorare una strada esistente.

In definitiva, l'algoritmo di previsione incidentale può operare con o senza la presenza di dati incidentali storici occorsi sul tronco stradale in oggetto. In tale caso, viene effettuata una correzione empirico-Bayesiana (EB) del valore stimato dal modello di regressione.

La procedura EB combina il numero di incidenti previsti dal modello (N_{rs}) con quelli osservati nel sito (O) effettuando una media pesa:

$$E_p = w \times (N_{rs}) + (1-w) \times O \quad (3.19)$$

dove:

E_p : numero di incidenti corretto.

w : fattore di peso, calcolato mediante la seguente relazione:

$$w = \frac{1}{1 + k \times N_{rs}} \quad (3.20)$$

con k = parametro di dispersione del modello base (GLIM).

3.6.1 Algoritmo incidentale senza dati pregressi sull'incidentalità

Nel seguito, viene presentato lo sviluppo dell'algoritmo di previsione incidentale senza l'ausilio di una storia incidentale pregressa, applicabile ad una strada nuova o esistente di cui non si hanno dati incidentali a disposizione:

- Step 1: Definire i limiti di intervento e determinare le caratteristiche geometriche del progetto per il quale si intende procedere con una stima della sicurezza.
- Step 2: Dividere il progetto in tronchi ed intersezioni omogenee.
- Step 3: Definire le caratteristiche geometriche e di traffico di ogni tronco ed intersezione.
- Step 4: Definire il TGM per ogni tronco o intersezione, relativo ad ogni anno in cui si intende estendere la stima.
- Step 5: Selezionare un tronco o una intersezione specifica (altrimenti saltare allo Step 13).
- Step 6: Selezionare un anno in particolare tra quelli in cui si intende estendere l'analisi (altrimenti saltare allo Step 12).
- Step 7: Applicare il modello base appropriato al tronco/intersezione in questione per l'anno selezionato.
- Step 8: Moltiplicare il risultato ottenuto nello step 8 per l'idoneo fattore di calibrazione.
- Step 9: Moltiplicare il risultato ottenuto nello step 9 per gli idonei fattori AMF.
- Step 10: Stimare la distribuzione di severità degli incidenti ottenuti e la loro tipologia dai valori di default.
- Step 11: In caso di un ulteriore anno da valutare tornare allo step 6 altrimenti continuare con il 12.
- Step 12: Se ci sono altri tronchi/intersezioni tornare allo step 5 altrimenti procedere con il 13.
- Step 13: Presentazione dei risultati ottenuti.

La figura 3.13 mostra un diagramma di flusso rappresentativo dell'algoritmo di previsione incidentale senza storia incidentale pregressa.

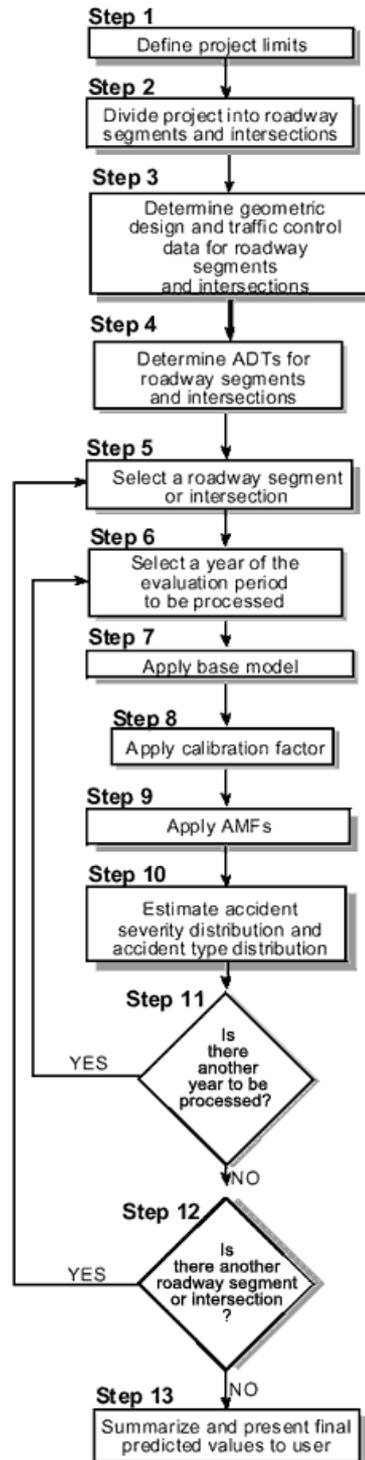


Figura 3.13 – Diagramma di flusso rappresentativo dell’algoritmo di previsione incidentale senza storia incidentale pregressa.

3.6.2 Algoritmo incidentale con dati sull'incidentalità

I dati sull'incidentalità pregressa (almeno 2 anni) permettono di migliorare la stima dell'algoritmo di previsione incidentale attraverso l'uso della procedura EB. Tale procedura deve essere applicata se:

- Le caratteristiche geometriche e di traffico rimangono invariate (alternativa “do-nothing”).
- Progetti in cui la sezione trasversale viene modificata ma il numero di corsie rimane lo stesso. Questo include, ad esempio, progetti in cui le corsie o le banchine vengono allargate o le caratteristiche al contorno vengono migliorate ma la strada rimane sempre della stessa tipologia.
- Progetti in cui lievi cambiamenti planoaltimetrici vengono apportati, come ad esempio l'allargamento di una curva.
- Progetti in cui viene introdotto una corsia di sorpasso.
- Qualsiasi combinazione di quanto sopra esposto.

La procedura EB non deve essere applicata nei seguenti casi:

- Progetti in cui si prevede un nuovo allineamento planoaltimetrico per più del 50% della lunghezza della strada.
- Intersezioni in cui viene variato il numero di bracci o la tipologia di controllo del traffico.

Nel seguito, viene presentato lo sviluppo dell'algoritmo di previsione incidentale con l'ausilio di una storia incidentale pregressa, applicabile ad una strada esistente:

- Step 1: Definire i limiti di intervento e determinare le caratteristiche geometriche del progetto durante il periodo in cui si sono cumulati i dati incidentali e per il periodo futuro per il quale si intende stimare la performance di sicurezza.
- Step 2: Dividere il progetto in tronchi ed intersezioni omogenee.
- Step 3: Definire le caratteristiche geometriche e di traffico di ogni tronco ed intersezione nella condizione esistente e in quella futura.
- Step 4: Definire il TGM per ogni tronco o intersezione, relativo ad ogni anno della situazione esistente e negli anni futuri in cui si intende estendere la stima.

- Step 5: Applicare l'algoritmo di previsione incidentale a ogni tronco che ha portato alla situazione esistente.
- Step 6: Determinare gli incidenti osservati per la strada esistente.
- Step 7: Applicare la procedura EB.
- Step 8: Applicare i fattori incrementali per il TGM e i nuovi fattori AMF relativi alle modifiche geometriche introdotte per ottenere la stima incidentale futura.
- Step 9: Presentazione dei risultati ottenuti.

La Figura 3.14 mostra un diagramma di flusso rappresentativo dell'algoritmo di previsione incidentale senza storia incidentale pregressa.

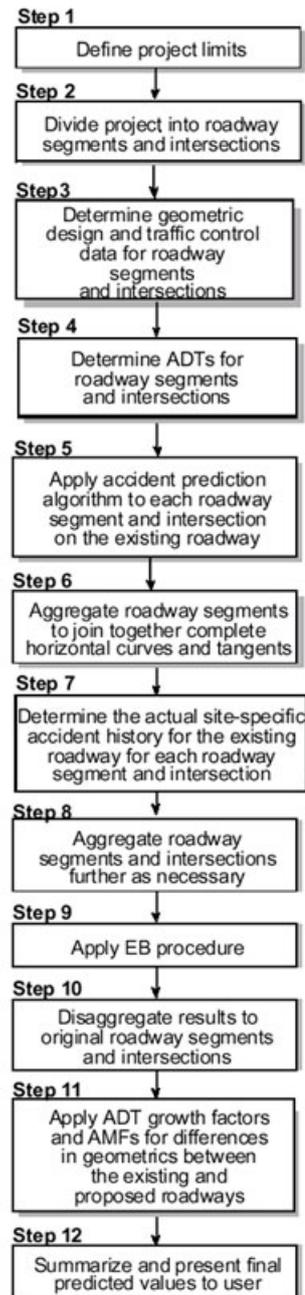


Figura 3.14 – Diagramma di flusso rappresentativo dell’algoritmo di previsione incidentale con storia incidentale progressa.

CAPITOLO 4: *Un sistema informativo nella gestione della sicurezza stradale. Il caso della Provincia di Bologna.*

Nel capitolo precedente abbiamo analizzato i principali strumenti che possono essere utilizzati per l'analisi della sicurezza stradale ed abbiamo evidenziato più volte come la sicurezza stradale sia un problema legato a più sistemi fra loro interconnessi. Pochi incidenti possono essere attribuiti solamente all'uomo, al veicolo o alla strada. Molto spesso si attribuisce la maggior parte delle colpe al guidatore ma le colpe dell'uomo sono spesso sovrastimate. Anche ricerche recenti hanno confermato il fatto che ciò che può apparire un errore dell'automobilista ad una prima analisi in realtà può essere collegato a problemi di progettazione e di gestione dell'infrastruttura stradale.

Al fine di massimizzare i risultati nel campo della sicurezza stradale e quindi ottimizzare gli investimenti occorrerà valutare il sistema strada nel suo complesso. Tutti gli sforzi per studiare le relazioni tra uomo, veicolo e ambiente nel campo della sicurezza stradale dovranno essere coordinati a livello municipale, provinciale e nazionale.

Per lavorare in questa direzione occorre migliorare i programmi di incentivazione della sicurezza stradale, aumentare gli investimenti e soprattutto migliorare la qualità e la quantità dei dati di incidentalità.

Proprio per migliorare i modelli visti in precedenza è necessario avere a disposizione dati completi, congruenti, aggiornati e facilmente consultabili.

Anche quando sono disponibili informazioni su tutti gli incidenti avvenuti, spesso mancano informazioni di dettaglio, ma fondamentali, riguardanti la strada come ad esempio il grado di curvatura, la larghezza della carreggiata o l'aderenza della pavimentazione.

Spesso, inoltre, manca il collegamento fra gli incidenti ed i dati di traffico e quindi il grado di esposizione, e le misure di sicurezza vengono limitate al trattamento dei cosiddetti "punti neri" ("blackspots") invece di portare alla

formulazione di nuove normative, linee guida di progettazione o standard di costruzione.

Per migliorare la situazione il primo passo da attuare è quello di collegare il database degli incidenti agli altri dati disponibili riguardanti la strada attraverso un GIS.

Con questa premessa, il Catasto Stradale si propone come strumento di fondamentale importanza per la gestione del patrimonio stradale, al fine di garantire un'efficiente azione di prevenzione. La sua utilità in questo ambito giustifica l'onerosità delle operazioni di definizione dell'architettura del database e di raccolta delle informazioni relative alla rete da gestire e necessarie per la costituzione della banca dati.

Il Catasto correlato alla banca dati degli incidenti tramite un GIS-T (Geographic Information System for Transportation) permette di costruire un nuovo strumento di gestione globale della sicurezza che potremmo chiamare HSIS (Highway Safety Information System).

Nell'ambito della manutenzione, le principali finalità di un processo di programmazione sono rivolte sia alla ottimizzazione delle risorse finanziarie per la conservazione del patrimonio infrastrutturale, sia al mantenimento di adeguate condizioni di servizio: queste ultime sono strettamente connesse alla sicurezza della circolazione, sottolineando una volta di più la correlazione tra manutenzione e sicurezza (Bucchi et al., 1995).

In quest'ottica il Catasto risulta indispensabile per la gestione della sicurezza, infatti sulla base della banca dati articolata su due livelli di informazioni, strutturale e funzionale, il catasto stradale diventa uno strumento indispensabile per valutare, per ogni singola strada, un indice descrittivo del livello di degrado (De Blasiis, 1996) o del livello di pericolosità.

Esso, desumibile da più parametri prestazionali, correlato all'importanza funzionale della strada, rende possibile la ripartizione delle risorse sulla rete secondo le necessità, definendo un coefficiente di priorità di intervento.

Oltre alla possibilità di gestire un patrimonio di informazioni estremamente ampio il catasto consente un agevole accesso all'informazione e lo sviluppo di funzionalità in grado di rappresentare efficacemente i dati in carte tematiche che

consentono di sintetizzare, su una base cartografica, i risultati delle interrogazioni del database.

Infine, si ricorda che per costituire un efficace ed efficiente strumento di gestione del patrimonio stradale la banca dati del Catasto deve ovviamente essere periodicamente aggiornata (conservazione del catasto).

4.1 INQUADRAMENTO NORMATIVO

La recente approvazione del D.M. del 1 giugno 2001 “*Modalità di istituzione ed aggiornamento del Catasto Strade*”, ha imposto l’attivazione del Catasto Stradale come strumento per l’organizzazione delle banche dati e la loro trasmissione all’Archivio Nazionale delle Strade (ANS) che dovrà essere istituito presso il Ministero delle Infrastrutture.

Tale normativa vincola gli enti gestori delle strade al censimento e alla codifica dell’insieme delle informazioni da trasmettere all’ANS, e alla creazione del grafo stradale organizzato secondo il GDF (Geographic Data Files), ovvero mediante Elementi Stradali e Giunzioni. Il GDF è lo standard definito a livello europeo per la modellazione e rappresentazione dei grafi e delle informazioni associate.

Entrambe le specifiche, ossia la strutturazione del DataBase delle pertinenze e organizzazione del grafo, sono state recepite nel progetto regionale avviato in collaborazione con le Province. Esso infatti si prefigge la realizzazione di un reticolo stradale conforme con il GDF, e la costituzione di un Catasto Stradale di livello Regionale che estende il set di dati previsto dal DM 1/06/2001.

4.1.1 Aspetti principali del DM 1/06/2001

I punti principali che caratterizzano la normativa sono:

- I tempi per la realizzazione del Catasto Strade per le Province sono fissati in 4 anni dall’entrata in vigore (la data di pubblicazione è il 7-1-2002).
- Ogni entità può essere rappresentata secondo 3 livelli, descritti nel modello del GDF. Per il Catasto Strade si fa riferimento al primo livello, mentre per l’ANS è sufficiente una rappresentazione più sintetica, ovvero il livello 2.
- Il grafo stradale è strutturato mediante Giunzioni, Elementi Stradali e Aree di Traffico. Tutte le informazioni vanno riferite a queste entità per individuarne la collocazione geografica. Le Giunzioni e gli Elementi vengono caratterizzati da attributi globali che definiscono le peculiarità funzionali ed amministrative della rete viaria.
- Le informazioni di tipo segmentato, cioè riferite solo ad una tratta di Elemento Stradale, vengono posizionate in base all’ascissa curvilinea,

definita come distanza dalla giunzione iniziale dell'elemento stradale misurata lungo l'asse dell'elemento stesso.

- Tutti gli attributi segmentati sono codificati in modo da rendere standard il censimento delle informazioni. Tale codifica deve perciò essere adottata nella trasmissione dei dati all'ANS. Le entità da acquisire sono distinte in:

Tabella 4.1 – Entità da acquisire nel Sistema Informativo Stradale

Codice	Entità
0	Sezione dell'Elemento Stradale
1	Pavimentazione della strada
2	Corpo Stradale
3	Ponti, Viadotti e sottopassi
4	Gallerie e Sovrappassi
5	Cunette di margine
6	Arginelli
7	Protezione del Corpo Stradale
8	Protezione dell'ambiente circostante
9	Impianti di illuminazione
10	Piazzole di sosta
11	Dispositivi di ritenuta
12	Pertinenze di servizio
13	Opere di continuità idraulica
14	Accessi
15	Cippi o segnali chilometrici

- Le tolleranze ammesse nella formazione del grafo stradale sono di 1 metro per le coordinate piane e 5 metri per la quota.
- La precisione richiesta per la misura della larghezza stradale è di 10 cm.

Lo stesso DM stabilisce il ruolo di collettore dei dati che debbono avere le Regioni nei confronti delle Province: le Province si limitano quindi alla raccolta e codifica delle informazioni, ed al loro trasferimento alla Regione che dovrà provvedere al coordinamento con il Ministero. Per questo scopo la Regione Emilia Romagna ha avviato due progetti che si sviluppano in modo integrato:

- A) Realizzazione della “Nuova base dati cartografica del reticolo stradale dell'Emilia Romagna”. Il nuovo reticolo stradale che si intende

realizzare è conforme alle prescrizioni del DM sia sotto il profilo geometrico, sia per quello alfanumerico. Esso è dunque basato sul concetto di Elemento Stradale e di Giunzione, e corrisponde al livello di rappresentazione 1 del GDF.

- B) Definizione delle “Linee Guida del Catasto Stradale Regionale”. Con il Catasto Strade a livello Regionale, la Regione intende acquisire una conoscenza completa della consistenza e lo stato della rete viaria, al fine della programmazione dei nuovi interventi e della valutazione di quelli in essere. L’elenco delle entità da acquisire ed i relativi attributi derivano dallo stesso DM del 1-06-01, con l’aggiunta di una serie di informazioni ritenute significative per le attività proprie della Regione. Tale banca dati è stata dunque arricchita e completata tenendo anche in conto le riflessioni maturate nel corso dei tavoli tecnici con le Province.

4.1.2 Relazioni funzionali tra Catasto, Sistema Informativo Territoriale (SIT) e Archivio Nazionale

I Sistemi Informativi Stradali consentono l’immissione, l’archiviazione, l’elaborazione e la presentazione dei dati riguardanti le strade, le strutture, il traffico e l’incidentalità, provenienti da fonti differenti e utilizzabili da Enti e per scopi diversi.

I dati contenuti nel Catasto delle strade rappresentano le informazioni di base alle quali devono riferirsi tutti gli altri tipi di informazioni contenuti nei Sistemi Informativi Stradali (cartografie, dati di traffico, incidenti, percorribilità delle strade, stato e conservazione delle opere d’arte, delle pavimentazioni e delle opere complementari, monitoraggi ambientali, ecc.).

I Sistemi Informativi alimentano parte delle Sezioni costituenti l’Archivio Nazionale. Una volta trasferiti all’Archivio i dati verranno successivamente elaborati per la definizione degli indici sintetici e dei quadri d’insieme necessari alla gestione del patrimonio stradale.

Le Regioni svolgono una funzione di raccordo tra l’organo nazionale e gli Enti locali (Comuni, Province) al fine di garantire uno scambio organico di dati.

Tutto ciò è espresso efficacemente nell'organigramma di figura 4.1.

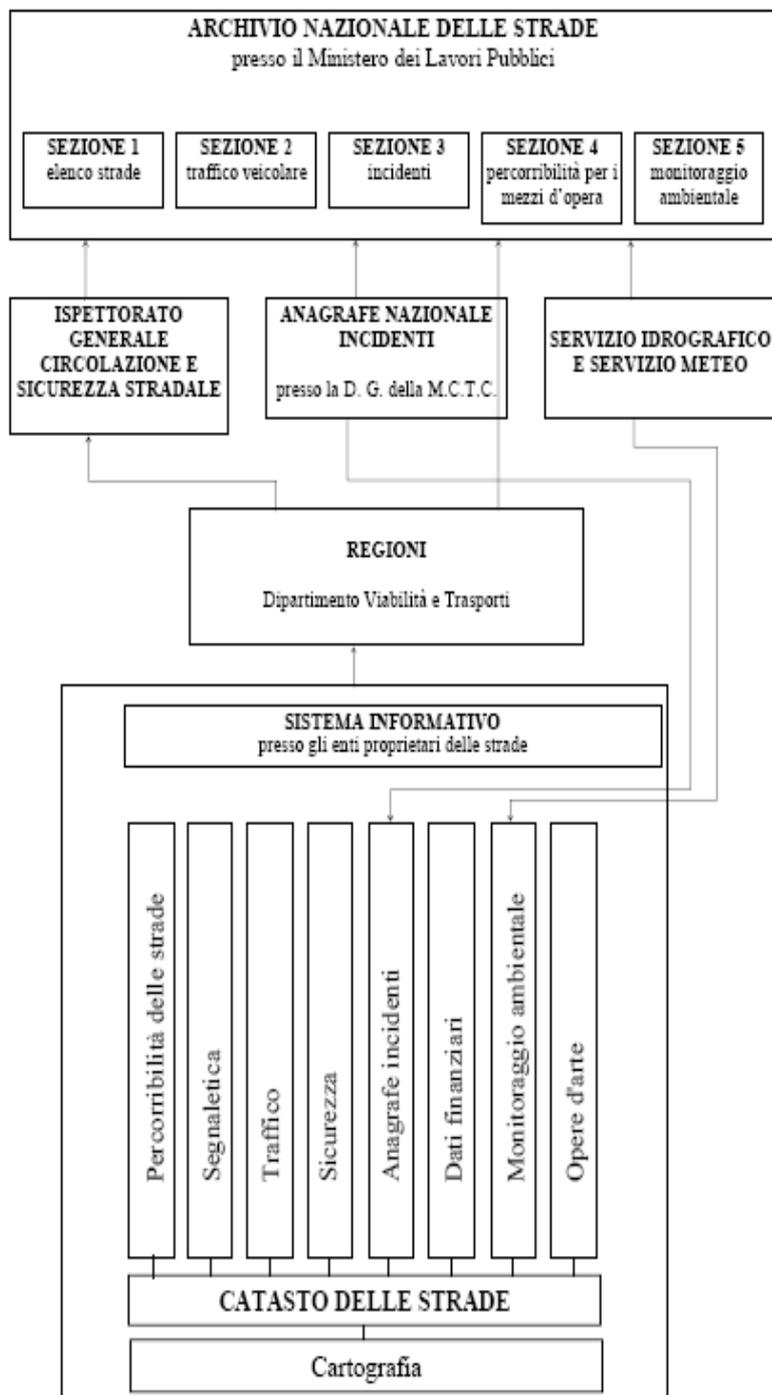


Figura 4.1 - Schema del flusso di informazioni tra il Catasto e l'Archivio.

Per costruire un Catasto occorre realizzare un SIT e costruire un database, le caratteristiche principali di questi due strumenti di analisi e di studio sono riportate nei paragrafi successivi.

4.2 I SISTEMI INFORMATIVI TERRITORIALI (SIT)

La conoscenza del territorio è a monte di qualsiasi intento di pianificazione, progettazione e gestione delle opere infrastrutturali, al fine di sfruttare al meglio le risorse disponibili e soddisfare le esigenze della collettività.

I Sistemi Informativi Territoriali (SIT), derivati dagli anglosassoni Geographical Information System (GIS), sono sicuramente gli strumenti più moderni e adeguati per rappresentare e gestire in modo integrato le informazioni sui molteplici aspetti del territorio.

Un Sistema Informativo Territoriale può essere definito come un sistema integrato di risorse umane e tecnologiche capace di acquisire, elaborare ed associare dati relativi al territorio. Questo avviene sia sotto forma di rappresentazioni grafiche, sia mediante informazioni descrittive di tipo anagrafico ed alfanumerico.

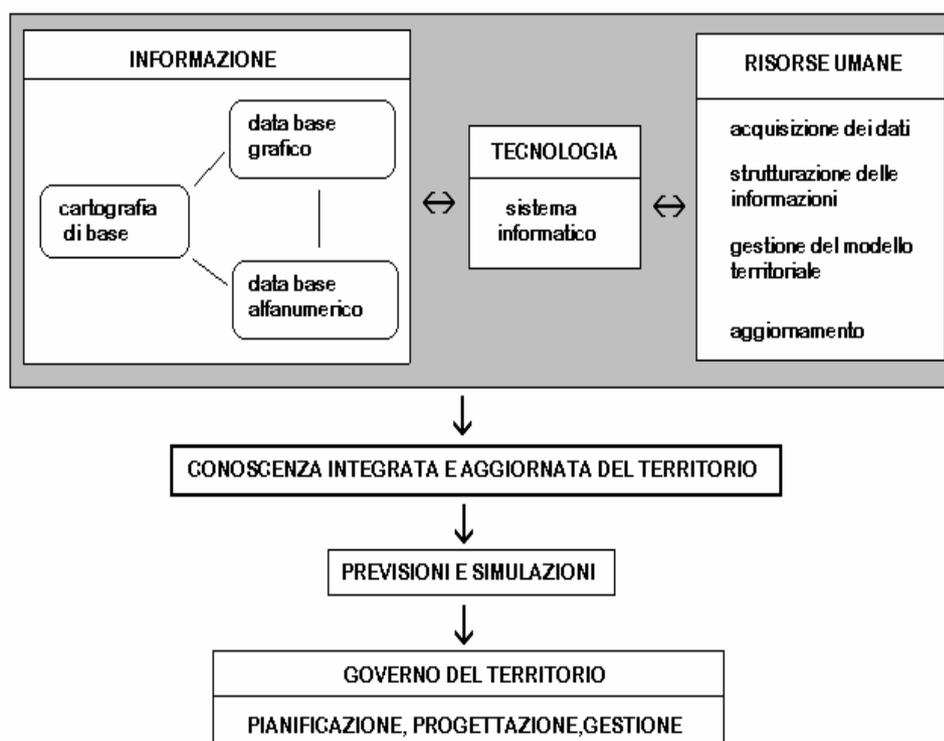


Figura 4.2 – Struttura e finalità di un SIT.

Attraverso un SIT è possibile:

- associare e correlare dati, anche di diversa natura (geografici, alfanumerici e grafici) agli elementi presenti sul territorio;
- monitorare ed elaborare tali dati;
- realizzare carte tematiche su cui evidenziare stati caratteristici del territorio o simulare effetti di eventuali interventi umani, ecc.;
- disporre in tempo reale di informazioni complete e aggiornate su vari aspetti del territorio.

Il valore di tale strumento consiste nel fatto che esso non si presenta come un elaborato finito (ad esempio una carta topografica), ma piuttosto come una struttura dinamica aggiornabile con continuità. Grazie alla capacità di memorizzare e organizzare una gran mole di dati, i SIT si configurano come delle banche dati di notevole entità.

Il campo d'applicazione dei Sistemi Informativi Territoriali è estremamente vasto: va dall'urbanistica al traffico stradale, dall'attività edilizia alle reti tecnologiche, dalla geologia alla protezione civile, dall'ambiente alle attività socio-economiche, ecc. Anche se utilizzati prevalentemente per uno specifico scopo, essi non sono mai strettamente monotematici, proprio in virtù dell'importanza dei legami tra i vari aspetti del territorio. Con particolare riguardo a quest'ultimo punto si potrebbe dire che un Sistema Informativo Territoriale è dato dall'associazione e integrazione di più sottosistemi informativi congruenti per scala (comune rappresentazione cartografica di base) e contenuto informativo. Ciò richiede evidentemente il contributo congiunto di tutti gli Enti territoriali interessati.

Da quanto detto, appare evidente che un SIT deve essere progettato, seguendo delle fasi fondamentali:

- valutazione delle esigenze dell'Ente interessato alla conoscenza, alla pianificazione e alla gestione del territorio in esame;
- definizione degli obiettivi da realizzare;
- individuazione delle informazioni da rilevare, implementare ed aggiornare;
- definizione di un modello funzionale di SIT che risponda agli obiettivi prefissati e che sia facilmente gestibile dal personale preposto nell'Ente committente.

L'efficienza del sistema è da ricercare anche nell'entità della banca dati. L'aspetto più caratteristico di questo archivio è la georeferenziazione dei dati, che consiste nell'associazione degli stessi a un riferimento, cioè a un punto, una linea, un simbolo o un'area che hanno una precisa collocazione spaziale. Tale associazione tra le informazioni alfanumeriche e la cartografia viene effettuata secondo uno schema logico che permette l'interrogazione del sistema.

4.2.1 I Sistemi Informativi Stradali (SIS)

Mediante la definizione di un apposito SIT, che consenta di ottenere in tempo reale tutte le informazioni relative al patrimonio infrastrutturale e alle condizioni di esercizio, la gestione di una rete stradale e delle sue strutture annesse risulta evidentemente semplificata.

Il SIS è lo strumento di base per la realizzazione del CS reso obbligatorio dall'art.13 comma 6 del Nuovo Codice della Strada. Secondo tale norma ogni Ente proprietario di strade dovrà istituire e mantenere aggiornato il proprio Catasto in modo autonomo, ma con modalità univocamente determinate a livello centrale.

Il supporto cartografico è costituito da una cartografia numerica del territorio in esame, mentre i dati relativi alle infrastrutture sono contenuti in due archivi: un Database alfanumerico, che contiene i dati relativi alla rete e ai suoi elementi correlati, ed un Database grafico che ne contiene invece i disegni e la documentazione fotografica.

Il contenuto informativo del SIS dipende evidentemente dalla mole di dati archiviati e dal modo in cui sono organizzati, cioè posti in relazione tra loro mediante legami di natura spaziale, temporale, funzionale, ecc.

Il complesso dei dati, georeferenziati, fornisce le informazioni e costituisce la base per la definizione di un modello della rete stradale utile per monitorare tutte le caratteristiche strutturali e funzionali della rete stradale.

Il dettaglio delle informazioni deriva dal livello di gestione in cui si vuole utilizzare il SIS: è evidente infatti che, dalla pianificazione alla manutenzione, si richiede una precisione delle informazioni compatibile con gli obiettivi perseguiti.

E' altresì evidente che, all'aumentare della scala, le informazioni diventano più particolareggiate e puntuali, passando dalla visualizzazione dell'assetto della rete stradale fino ad arrivare ai dettagli sugli elementi strutturali e di corredo. Sebbene, però, un sistema informativo permetta di visualizzare la rappresentazione in un qualsiasi rapporto di scala senza perdere le informazioni ad essa associata, non bisogna dimenticare che la cartografia numerica deriva da un rilevamento e che esso è stato effettuato ad una determinata scala. Per questo l'ingrandimento su rapporti di scala maggiori di quello del rilevamento potrebbero evidenziare delle carenze di particolari.

In generale, per quello che riguarda una rete viaria, è necessario che vengano riportate sulla rappresentazione tutte le strade (statali, provinciali, comunali,

consortili, ecc.): tale rappresentazione, però, non sarà estesa a tutto il territorio, ma ristretta ad una fascia attorno alla strada, per tutta la lunghezza della stessa. Questa striscia di terreno dovrà essere sufficientemente ampia da inquadrare l'infrastruttura viaria nel contesto in cui si colloca, permettendo di cogliere le interferenze con le altre opere e l'impatto che provoca ai vari fattori ambientali.

La referenziazione alfanumerica delle entità grafiche dovrà avvenire per tutti gli elementi significativi della strada cioè geometria, traffico, incidentalità, percorribilità, ma anche per le opere che ne consentono l'esercizio quindi manufatti, arredo, strutture complementari.

4.3 IL SIS DELLA PROVINCIA DI BOLOGNA

Il Sistema Informativo Stradale (SIS) della Provincia di Bologna è concepito come strumento di gestione delle problematiche inerenti alla Viabilità e alla manutenzione della infrastruttura stradale, quindi come supporto decisionale per la pianificazione degli interventi e la programmazione delle risorse da investire sulla rete.

Il SIS si pone quindi alla base di tutte le attività svolte sulle strade, sia per l'aspetto di censimento dati che è fondamentale per arricchire la conoscenza del patrimonio stradale, sia per la valutazione delle ipotesi di intervento a miglioramento della viabilità e del livello di sicurezza.

La componente alfanumerica del SIS viene integrata con quella cartografica per fornire un supporto completo, e consentire l'inquadramento delle pertinenze nel loro contesto territoriale.

Requisito basilare del SIS è la flessibilità nell'organizzazione della banca dati. Le informazioni contenute non possono infatti essere definite a priori in modo rigido e vincolante.

Da questa esigenza di flessibilità deriva la scelta di strutturare il database mediante un nucleo centrale che mette a fattor comune gli elementi presenti in tutte le tipologie di informazione, prima fra tutti la posizione georeferenziata. Le varie pertinenze che costituiscono il database si configurano dunque come 'moduli' legati a questo nucleo centrale secondo le regole stabilite nella strutturazione del database.

Questa scelta progettuale risponde anche ad altri requisiti, oltre alla flessibilità, e in particolare:

- Poter gestire tutte le informazioni mediante un unico modello dati. In questo modo non occorre un applicativo per ogni tipologia di pertinenza, ma lo stesso software è in grado di gestire l'intera banca dati.
- Evitare il proliferare di strutture dati a compartimenti stagni, ognuna indipendente dalle altre.
- Confrontare diverse tipologie di informazioni ordinandole in base alla loro posizione. Ad esempio ottenere un elenco di tutte le pertinenze censite su una particolare strada, ordinate per progressiva.

- Gestire l'accesso al sistema da parte degli utenti con il medesimo criterio per tutti i dati.
- Suddividere il territorio provinciale in settori e affidarne l'amministrazione ai corrispondenti responsabili di zona (ogni utente è abilitato alla gestione dei dati che ricadono nel proprio settore).
- Tematizzare le informazioni secondo un criterio generale e coerente con il grafo stradale, avvalendosi di un catalogo complessivo del database.

Il riferimento principale nella formazione del SIS è stato sicuramente il DM del 1 giugno '01, "Modalità di istituzione ed aggiornamento del Catasto delle Strade", che sancisce l'obbligatorietà dell'istituzione del Catasto Strade per tutti gli Enti gestori, fissandone modalità e tempi. Da tale normativa si sono recepite le informazioni di base da inserire nel database, poi trasmesse all'Archivio Nazionale delle Strade.

In secondo luogo, le informazioni caratterizzanti il database sono state desunte dalle Linee guida del Catasto Stradale Regionale, in corso di ultimazione da parte della Regione Emilia Romagna – Assessorato Mobilità e Trasporti.

L'impostazione seguita per il database delle pertinenze consente quindi il progressivo miglioramento della qualità del dato e l'ampliamento delle categorie di informazioni censite.

4.3.1 Architettura informatica e standard di riferimento

L'architettura adottata per la costituzione del SIS si basa sul RDBMS Oracle utilizzato sia come database alfanumerico delle pertinenze, sia come database cartografico per il supporto del geodatabase in ambiente SDE (Spatial Database Engine) di ESRI.

L'accesso al database da parte delle applicazioni viene supportato da librerie che forniscono le funzionalità di base per gestire i dati e verificare le autorizzazioni degli utenti. Le applicazioni puramente alfanumeriche (gestione Occupazioni, importazione dei dati disponibili, ecc.) necessitano solamente del primo livello software, cioè quello dedicato alla comunicazione con il database e alla predisposizione dei cataloghi generali, quali l'elenco strade, le autorizzazioni dell'utente per ogni tematismo, ecc.

Per le applicazioni cartografiche l'architettura è più complessa in quanto occorre fare riferimento anche alle componenti SDE e ArcIMS.

La figura seguente schematizza l'architettura generale del sistema:

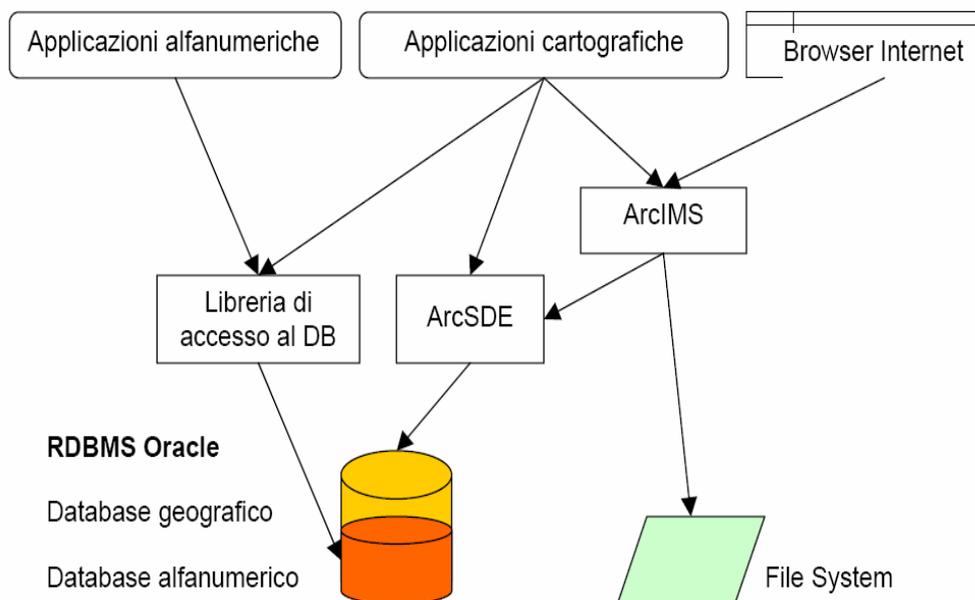


Figura 4.3 – Architettura del SIS della Provincia di Bologna.

4.3.2 Impostazione del sistema GIS

La componente GIS del Catasto Stradale si basa sul grafo viario, assunto quale riferimento per la morfologia degli assi stradali e per la georeferenziazione delle informazioni relative alle pertinenze.

La centralità del grafo stradale è marcata anche nelle specifiche ministeriali, che stabiliscono precise regole per la sua definizione proprio con l'obiettivo di costituire un riferimento affidabile e rigoroso nella impostazione del Catasto.

Come tutti i grafi, anche quello stradale è organizzato mediante archi e nodi, che nello specifico vengono definiti con la dizione di 'Elementi Stradali' e 'Giunzioni'. Una Giunzione è una entità puntuale in corrispondenza dell'intersezione di 2 o più Elementi Stradali; un Elemento Stradale è una entità lineare delimitata da 2 Giunzioni. Rappresenta in genere l'asse di un tratto di strada a singola carreggiata¹¹.

¹¹ definizioni tratte da "Modalità di istituzione e aggiornamento del Catasto delle Strade", relative al DM 1 Giugno '01.

Le modalità di georeferenziazione delle pertinenze e strutturazione del database derivano evidentemente dalla impostazione adottata per il grafo. A questo proposito si possono ipotizzare 3 diversi scenari:

- A) Associazione delle informazioni alle entità del grafo (Elementi e Giunzioni);
- B) Associazione delle informazioni ai Percorsi Stradali;
- C) Ricorso alle coordinate geografiche.

Il grafo stradale organizzato per Elementi e Giunzioni è la base di riferimento secondo le specifiche Ministeriali, e ad esso occorre riportare le informazioni nella trasmissione dei dati all'Archivio Nazionale delle Strade. Tuttavia il suo utilizzo anche per la strutturazione del database delle pertinenze si è dimostrato non essere funzionale, pertanto è stato adottato un diverso modello a questo scopo, con il vincolo della compatibilità per la trasmissione al Ministero.

Il sistema percorsi e la segmentazione dinamica rispondono al meglio alla georeferenziazione delle pertinenze e alla strutturazione del database in modo efficiente e performante. Su questo modello è stata impostata quindi la banca dati del Catasto Strade e l'aggregazione degli elementi stradali del grafo. Questa soluzione è stata indicata inoltre nelle 'Linee guida del Catasto Stradale Regionale' come punto cardine sia del sistema regionale, sia dei sottosistemi provinciali che lo alimenteranno.

Con il termine 'Percorso' si intende una collezione ordinata di archi aggregati secondo un particolare attributo. Se come attributo si sceglie l'anagrafica amministrativa, il percorso si identifica con la strada. Ogni strada viene quindi rappresentata da un singolo percorso, indipendentemente dal numero di archi (o elementi stradali) che concorrono alla sua formazione.

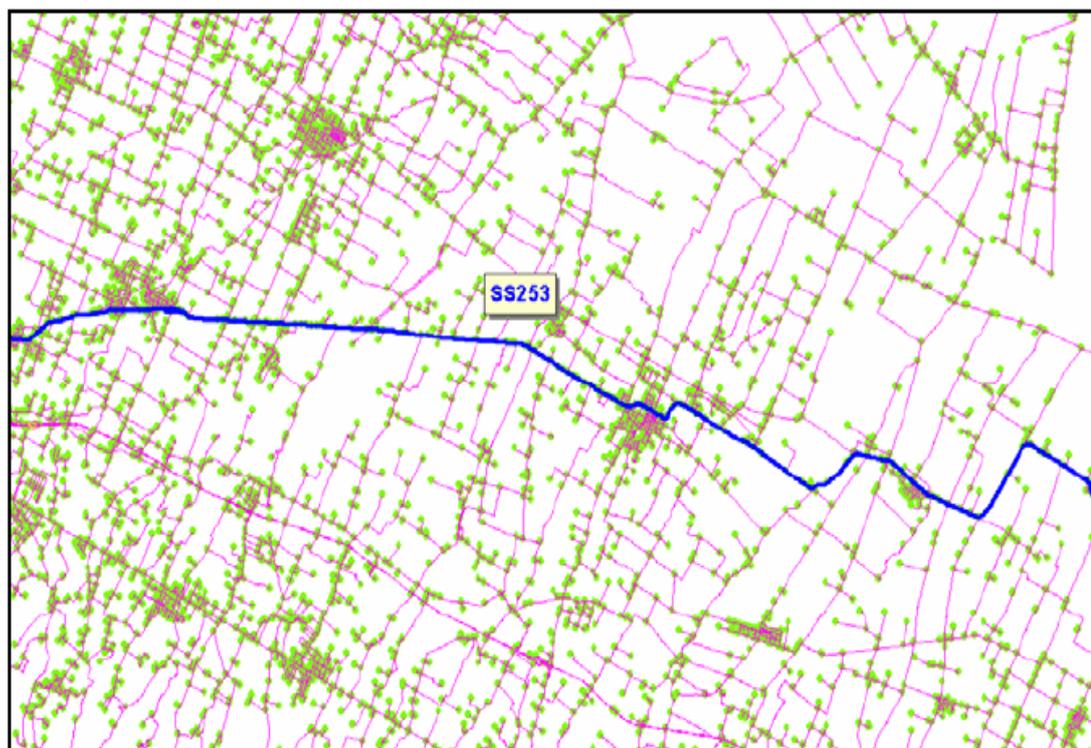


Figura 4.4 – Percorso relativo alla S.S. 253.

Il Sistema Percorsi è dunque costituito dall'insieme delle strade su cui raccogliere e georeferenziare delle informazioni nel database. Per la Provincia di Bologna il sistema percorsi è costituito dalle provinciali, dalle strade trasferite dall'ANAS, e dalle ulteriori strade per cui si renda necessario acquisire informazioni nella banca dati (le strade ancora in gestione all'ANAS, le comunali di maggior interesse, ..).

La strutturazione delle informazioni basata sul sistema percorsi è molto semplice e si articola in 3 parametri: Sigla (o nome) della strada, Progressiva di inizio, Progressiva di fine (per le entità lineari). Ad esempio, una sezione di un elemento stradale viene descritta secondo la tabella:

Tabella 4.2 – Schema per la rappresentazione di un segmento stradale.

Strada	Ascissa d'inizio	Ascissa di fine	Larghezza carreggiata	Larghezza franco	Larghezza marciapiedi
SP01	0	130,45	6	0,80		
SP01	130,45	260,20	6,60	0,80		
SP01	260,20	580,65	6	1		
...

Questo schema riprende quindi la modalità tradizionale di gestione delle informazioni, consentendo inoltre di recuperare gli archivi esistenti con estrema semplicità.

A differenza della codifica dell'elemento stradale, la codifica del percorso è materializzata sulla strada, così come sono materializzate le progressive di riferimento, perciò sia i tecnici che gli utenti della strada possono immediatamente individuare la collocazione di una informazione.

L'organizzazione per percorsi permette di rappresentare le informazioni mediante la tecnica della "Segmentazione Dinamica". Per segmentazione dinamica di un percorso si intende la classifica dei vari tratti del percorso stesso in base al valore di una certa grandezza.

Considerando ad esempio la larghezza della carreggiata, la strada (e quindi il percorso) viene segmentata secondo una determinata successione di tratte, mentre invece considerando l'aderenza della pavimentazione questa divisione per tratte cambia.

La flessibilità derivante dall'organizzazione per percorsi consente quindi di realizzare un database che meglio si presta alle esigenze del Catasto e alle necessità di manutenzione e aggiornamento del grafo.

Un aspetto di primaria importanza nella costruzione del sistema percorsi è la sua 'calibrazione', che consiste nell'assegnare una corrispondenza tra distanza geometrica della strada e progressive nominali materializzate dai cartelli chilometrici (o cippi stradali).

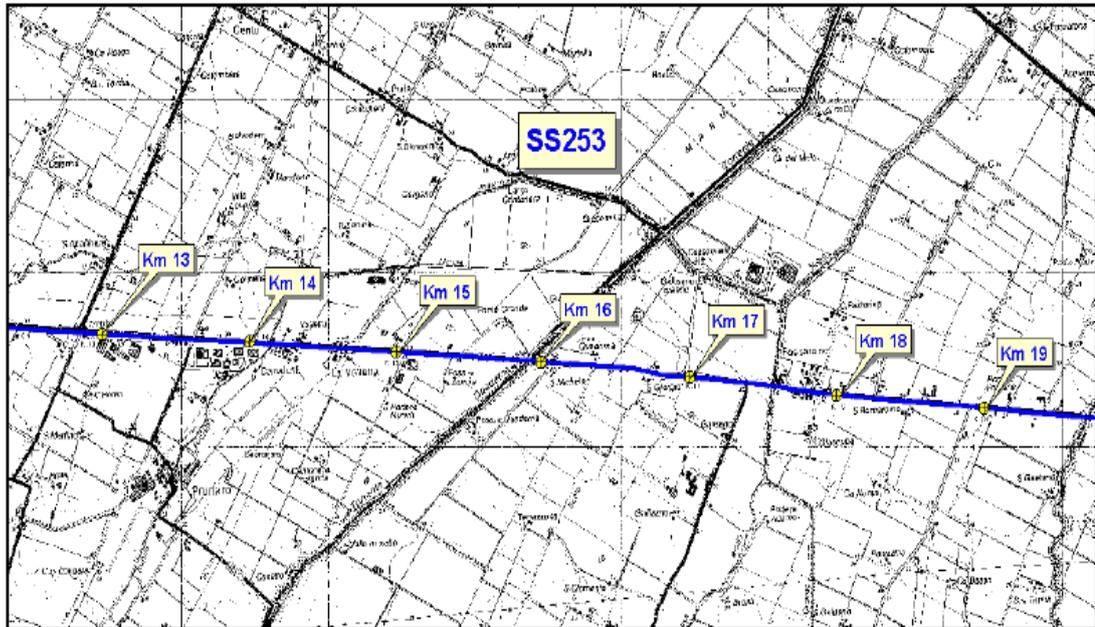


Figura 4.5 – Cippi chilometrici della SS253.

I cippi stradali dovrebbero riportare la distanza misurata lungo la strada fino al punto in cui è installato il cartello, ma le modifiche subite dalla strada nel corso dell'esercizio per effetto di riclassificazioni amministrative, rettifiche di tracciato, ampliamento dei centri abitati, comportano la variazione della lunghezza e dunque la differenziazione tra distanza geometrica e nominale.

Mediante la calibrazione è possibile ristabilire un correlazione tra la posizione dei cippi e la distanza misurata sul grafo, garantendo la coerenza nella georeferenziazione delle informazioni.

Accanto al sistema dei percorsi c'è la possibilità della georeferenziazione delle informazioni mediante le coordinate geografiche. Tale procedura però, non deve essere interpretata come una metodologia alternativa alla precedente, ma come integrativa. Per alcune informazioni il censimento mediante strumentazione GPS fornisce un dettaglio e una precisione non raggiungibile con le progressive, e si rende pertanto indispensabile. Ad esempio la segnaletica verticale collocata in corrispondenza degli incroci e degli svincoli viene individuata con estrema difficoltà con la sola indicazione della progressiva. In generale dove perde di significato lo schema unifilare della strada (incroci, aree di parcheggio e di servizio, corsie di accelerazione e di raccordo, ecc.) il ricorso alle coordinate è maggiormente sentito.

4.3.3 Strutturazione del database

Come descritto al capitolo precedente, il modello adottato per la strutturazione del database delle pertinenze è costituito dal sistema percorsi e dalla segmentazione dinamica. Esso si basa sul sistema di riferimento delle progressive stradali, utilizzate per l'individuazione della posizione delle pertinenze e la generazione della loro rappresentazione cartografica. La modifica di una progressiva comporta quindi la rigenerazione della corrispondente rappresentazione. La corrispondenza tra elemento grafico e dato alfanumerico delle progressive è fondamentale per la coerenza del Catasto e l'affidabilità complessiva del sistema.

In questa ottica, per la definizione del grafo della rete provinciale, oltre alla digitalizzazione delle CTR cartacee, è stato commissionato un rilievo completo delle caratteristiche geometriche di tutte le strade e delle informazioni relative al patrimonio stradale.

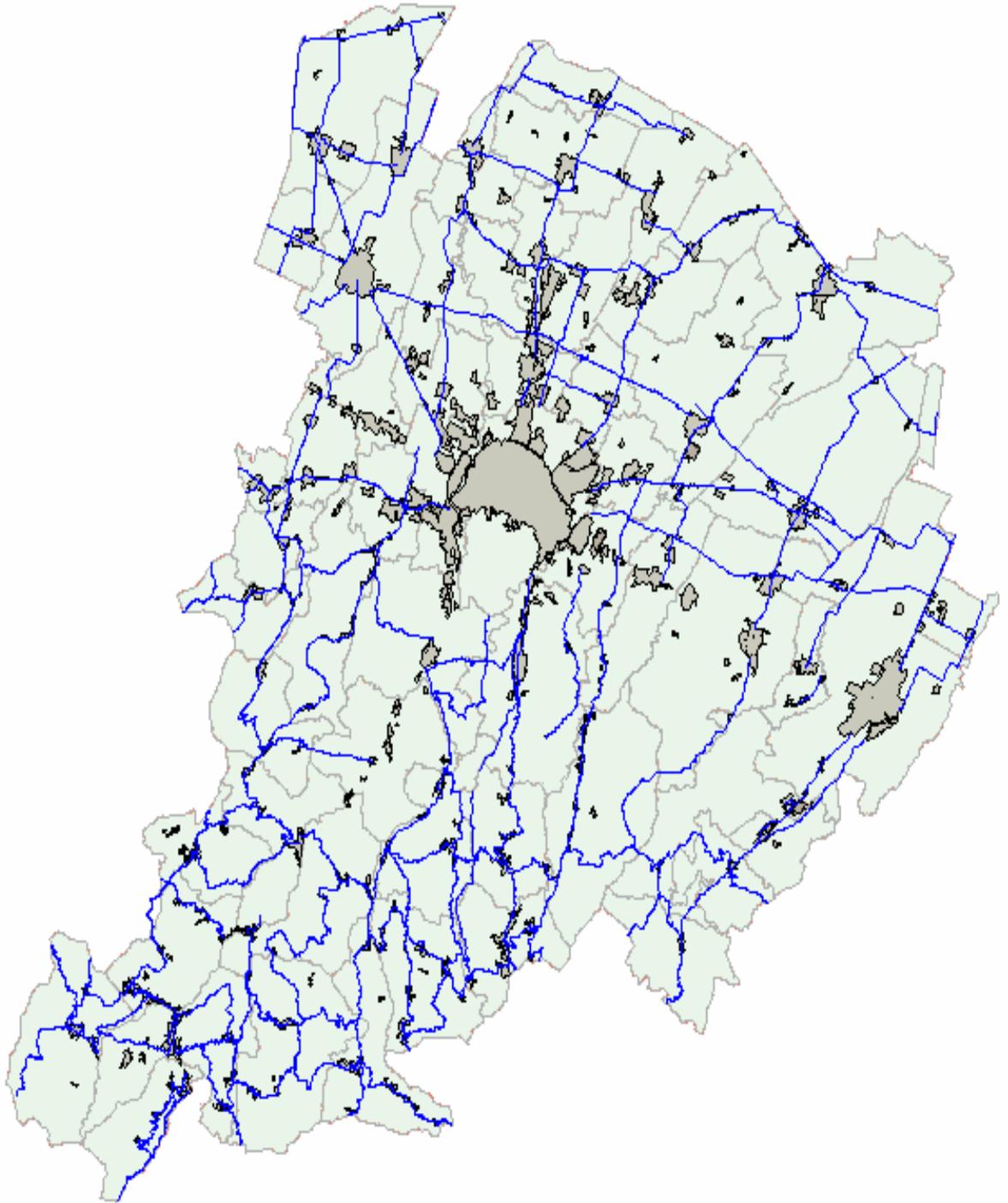


Figura 4.6 – Grafo della Provincia di Bologna

4.3.3.1 Mobile Mapping System

Per la raccolta dei dati necessari, è stato utilizzato un laboratorio mobile multifunzionale (Mobile Mapping System) per il rilievo ad alto rendimento, denominato DAVIDE (Data Acquisition Vehicle with Inertial and DGPS Equipment) di proprietà di GIOVE S.r.l. (società del Gruppo Elda Ingegneria).



Figura 4.7 – Laboratorio mobile per rilievi ad alto rendimento Giove.

DAVIDE è costituito da tre moduli principali tra loro sincronizzati: Modulo di Localizzazione, Modulo Video, Modulo Pavimentazione.

Il Modulo di Localizzazione comprende un ricevitore GPS a doppia frequenza che, utilizzato in modalità differenziale (DGPS), fornisce la posizione del veicolo in movimento con precisione centimetrica. In caso di cattiva visibilità satellitare, la posizione viene calcolata anche attraverso i dati provenienti da una piattaforma inerziale, costituita da un giroscopio triassiale a fibra ottica e da 3 accelerometri, e da odometri a generazione d'impulso (encoder), posti sulle ruote non motrici.

L'integrazione dei dati in post-processing, mediante filtri di Kalman, restituisce il tracciato del percorso del veicolo.

Conoscendo la precisa posizione del veicolo in ogni istante, grazie ad un Unità di Sincronizzazione è possibile georiferire tutte le informazioni acquisite dai vari moduli.

Attraverso il Modulo Video, durante il rilievo, vengono acquisite immagini digitali e creati in real-time video digitali per mezzo di almeno 5 videocamere, disposte secondo due differenti configurazioni tra loro integrate: una privilegia l'elevata qualità dell'immagine acquisita, pur senza trascurarne la frequenza; l'altra consente una frequenza di acquisizione molto elevata, per una miglior precisione in fase di posizionamento dell'elemento ripreso, durante la post-elaborazione. Nella

configurazione standard la telecamera frontale e le 2 laterali a 45° che contengono le informazioni di dettaglio degli elementi (segnali, arredi, barriere etc.) da riconoscere, “leggere” e misurare, prevedono la registrazione di immagini con una risoluzione minima di 1024x768.

Le telecamere laterali a 90° prevedono la registrazione di immagini con una frequenza di almeno 25 frame al secondo in continuo. Tali immagini, molto “frequenti”, consentono il preciso posizionamento geografico degli oggetti riconosciuti e misurati. Alla normale velocità di missione di circa 50Km/h, viene infatti acquisita una immagine circa ogni 50 cm.

Il modulo video consente di acquisire immagini digitali calibrate su cui effettuare misure (larghezza strada, altezza di un’opera, dimensioni di un pannello etc.).

La telecamera frontale viene utilizzata, oltre che per riconoscere e posizionare la segnaletica orizzontale centro strada (scritte, zebra etc.), per effettuare misure fotogrammetriche di precisione

Il Modulo Pavimentazione comprende un profilometro LASER e un TPL (Traverse Profile Logger).

Il profilometro LASER installato sul DAVIDE per la raccolta dei dati di regolarità della pavimentazione, è costituito da un emettitore Laser, da un sensore per il raggio riflesso, da un accelerometro e da un encoder per la misura della distanza.

I dati provenienti dai sensori vengono integrati tra loro e concorrono al calcolo dell’indice IRI (International Roughness Index), standardizzato dalla World Bank, che esprime la regolarità del profilo longitudinale della pavimentazione.

Il rilevatore laser misura lo scostamento verticale, mentre l’accelerometro registra l’influenza delle accelerazioni verticali sui sensori. Il sistema è in grado di determinare le distanze dal suolo con precisione sub-millimetrica. Dall’elaborazione dei dati è possibile determinare il profilo longitudinale.

Il veicolo è dotato altresì di una barra trasversale (TPL) per il rilevamento del profilo trasversale e per il calcolo con precisione millimetrica della profondità delle ormaie, intese come scostamenti dal profilo medio.



Figura 4.8 – Davide, barra trasversale (TPL) per il rilevamento del profilo trasversale e delle ormaie.

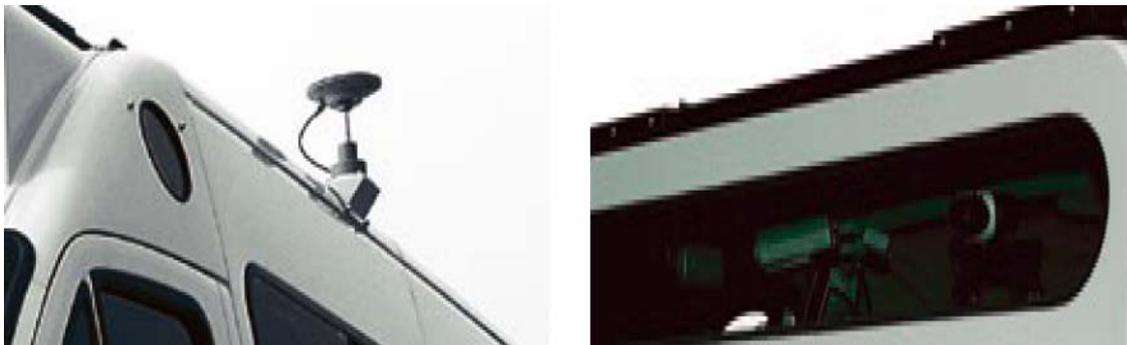


Figura 4.9 – Davide, GPS differenziale a doppia frequenza e videocamere digitali.

4.3.3.2 Dati acquisiti

L'utilizzo delle apparecchiature sopra descritte, ha permesso di ottenere un rilievo completo delle strade e delle informazioni relative al patrimonio stradale provinciale.

I dati sono stati restituiti nel sistema di riferimento regionale UTM: UTM ED50 fuso 32 con le coordinate Y sottratte di 4.000.000.

E' stato definito un grafo del tracciato con punti equidistanti indicativamente 4 metri e comunque sempre meno di 5 metri. I punti del grafo hanno la seguente strutturazione:

Tabella 4.3 – Caratteristiche dei punti del grafo rilevato.

	progressiva espressa
1	in chilometri
2	coordinata X (UTM)
3	coordinata Y (UTM)

4	coordinata (geoidica)	Z
---	--------------------------	---

Viene di seguito riportato l'elenco degli elementi e relativi attributi inseriti nel SIS della provincia di Bologna.

Tabella 4.4 – Elementi ed attributi nel SIS della provincia di Bologna.

<i>Entita</i>	<i>Nome del campo</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Tipo</i>
Sigla		Sigla della strada (ID del file delle strade)	S (20)
Lato		Lato della strada	Enumerato Sx=Lato sinistro E=Entrambi i lati Dx=Lato destro C=Centro carreggiata
	X_ini	Coordinata X del punto iniziale dell'entità	N (6,2)
	Yini	Coordinata Y del punto iniziale dell'entità	N (6,2)
	Zini	Quota 7 del punto iniziale dell'entità (rn)	N (4,2)
	X_tmn	Coordinata X del punto finale dell'entità	N(6,2)
	Yfin	Coordinata Y del punto finale dell'entità	N (6,2)
	Z_tin	Quota del punto Z finale dell'entità (m)	N (4,2)
Centro abitato	Centro	Nome del centro abitato	S(100)
	Istat	Codice Istat: XXYYY: XX codice provincia, YYY codice comune	N (5,0)
Intersezioni	Id_intersezione	Numerazione Progressiva delle intersezioni	N (6,0)
	Tipo	Tipo di intersezione	ENUMERATO 1 = a livelli sfalsati 2 = a raso rotatoria 3 = a raso a T 4 = a raso a doppi a T 5 = a raso a T semaforizzato 6 = a raso a doppia T semaforizzato
	Nrami	Numero di rami	N(2 ,0)
	C_speciali	Presenza di corsie specializzate	ENUMERATO 0 = no 1 = si
	Illuminazione	Presenza illuminazione	ENUMERATO 0 = no 1 = si
	Note	Annotazioni	S(225)
Aree di traffico	Nome	Denominazione	S(100)
	Tipo	Tipologia di servizio	ENUMERATO 1= area di servizio destinata al rifornimento e al ristoro 2 = capolinea servizio pubblico 3 = area di servizio destinata a parcheggio e sosta 4 = area di manutenzione e/o esercizio 5 = fabbricato di manutenzione e/o

<i>Entita</i>	<i>Nome del campo</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Tipo</i>
			servizio 6 = aree o postazioni destinate a funzioni di rilievo, controllo e di polizia 7 = parcheggio 8 = parcheggio multipiano 9 = piazza con flussi di traffico non definiti 10 = altro tipo di area
	Corsie_acc	Presenza corsie di accelerazione	ENUMERATO 0 = no 1 = si
Carreggiata	Tipo	Tipo di carreggiata	ENUMERATO 0 = no 1 = si 2 = carreggiata separata con spartitraffico invalicabile
	Larghezza	Larghezza carreggiata	N (4,0)
	Senso	Senso di marcia	ENUMERATO 1 = doppio senso di marcia 2 = senso unico della giunzione iniziale e quella finale 3 = senso unico della giunzione finale a quella iniziale 4 = divieto di transito nei due sensi
Transitabilità	Tipo	Tipo di ostacolo	ENUMERATO 0 = divieto di transito 1 = strettoia 2 = obbligo di catene 3 = limitazione di portata 4 = limitazione di altezza. 5 = limitazione di velocità 6 = presenza cantiere 7 = altro
Corsia	Numero	Numero di corsie	N(1,0)
	Tipo	Tipo di corsia	ENUMERATO 1 = corsia di marcia 2 = corsia riservata 3 = corsia specializzata svolta a dx 4 = corsia specializzata svolta a sx 5 = corsia di emergenza 6 = fascia laterale di sosta 7 = corsia di sorpasso
	Larghezza	Larghezza corsia in cm	N (3,0)
Banchine	Larghezza	Larghezza banchina in cm	N (3,0)
	Pavimentazione	Pavimentazione banchine	ENUMERATO 0 = non presente 1 = parzialmente pavimentata 2 = pavimeritata
	Superficie	Tipologia della superficie delle banchine pavimentate	ENUMERATO 1 = materiale sciolto 2 = materiale legato 3 = ad elementi

Entità	Nome del campo	Descrizione	Tipo
Marciapiedi	Larghezza	Larghezza cm	N (3,0)
Piazzole Laterali	Tipo	Tipo piazzola	ENUMERATO 1 = sosta laterale 2 = fermata 3 = interscambio 4 = carico/scarico
	Larghezza	Larghezza della parte non raccordata	N (3,0)
	Lunghezza	Lunghezza in cm	N (4,0)
Pista ciclabile	Percorrenza	Senso di percorrenza	ENUMERATO 1 = doppio senso 2 = senso unico discorde al senso di circolazione veicolare 3 = senso unico concorde al senso di circolazione veicolare
	Tipo	Tipo di pista	Enumerato 1 = ciclabile in sede propria 2 = ciclopedonale in sede propria 3 = ciclabile in corsia riservata 4 = altro
	Larghezza	Larghezza in cm	N (3,0)
	Lunghezza	Lunghezza in cm	N(6,0)
Linea tranviaria	Tipo	Tipo di linea	ENUMERATO 1 = in sede propria 2 = promiscua 3 = in corsia riservata 4 = altro
	Larghezza	Larghezza in cm	N(3,0)
Passaggi a livello	Binari	Numero dei binari	N(1,0)
	Tipo	Tipologia	ENUMERATO 1 = passaggio a livello non automatici (PL) 2 = passaggi a livello automatici (PLA) 3 = passaggi a livello privati (PR,) 4 = altro
Corpo stradale	Tipo	Tipologia	ENUMERATO 0 = raso 1 = tratto in rilevato 2 = tratto in trincea 3 = tratto a mezza costa 4 = in galleria 5 = su ponte o viadotto
	Delimitazione	Delimitazione	ENUMERATO 1 = scarpata 2 = opera di sostegno 3 = scarpata + opera di sostegno 4 = cunettone di guardia 5 = corsia d'acqua
Cunetta di margine	Tipo	Tipo di sagomatura	ENUMERATO 1 = trapezia 2 = a L (francese) 3 = triangolare 4 = a profilo curvo

<i>Entita</i>	<i>Nome del campo</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Tipo</i>
			5 = altro
	Materiale	Materiale utilizzato	ENUMERATO 1 = muratura di pietrame 2 = cls 3 = teireno naturale
Arginelli	Larghezza	Larghezza max	N = (2,0)
Protezione del corpo stradale	Tipo	Tipo dell'opera	ENUMERATO 1 = opera di sostegno 2 = muri paramassi e antivalanghe 3 = reti paramassi 4 = recinzioni 5 = baniere frangivento 6 = cunettone di guardia 7 = banchettoni fognanti 8 = controbanche 9 = altro
Opere di sostegno	Tipo	Tipologia opera di sostegno	ENUMERATO 1 = muro di sostegno 2 = muro di controripa 3 = muro di sottoscarpa 4 = altro
	Costruttivo	Tipologia costruttiva	ENUMERATO ML = muro monolitico in opera PR = muro prefabricato CB = muro ad elementi crib walls GB = muro ad elemeiiti gabbioni metallici TA = terra armata TR = terra rinforzata MT = muro e tiranti BR = berlinese MC = muro a costoloni O = altro
	Lunghezza	Lunghezza in cm	N (3,0)
	Altezza	Altezza massima	N (3,0)
	Conservazione	Stato di conservazione	ENUMERATO 0 = scarso 1 = sufficiente 2 = discreto 3 = buono
Protezione dell'ambiente circostante	Tipo	Tipologia dell'opera	ENUMERATO 1 = opera per la mitigazione degli impatti visivi 2 = barriere antirumore 3 = asfalti fonoassorbenti 4 = altro
	Distanza	Distanza dal ciglio strada	N (3,0)
	Conservazione	Stato di conservazione	ENUMERATO 0= scarso 1 = sufficiente 2 = discreto 3 = buono
	Distanza	Distanza dal ciglio strada	N (3,0)
			ENUMERATO

<i>Entità</i>	<i>Nome del campo</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Tipo</i>
Vegetazione	Tipo	Tipo vegetazione prevalente	1 = erba 2 = siepe 3 = albero 4 = campo incolto 5 = campo coltivato
	Funzione	Funzione	ENUMERATO 0 = nessuna 1 = estetica 2 = sostegno 3 = fonoassorbente 4 = fono isolante
Dispositivi ritenuta	Distanza	Distanza dal margine	N (3,0)
	Altezza	Altezza massima da terra	N (1,2)
	Tipo	Tipo di barriera	ENUMERATO 1 = barriere centrali da spartitraffico definite 2 = barriere centrali da spartitraffico provvisorie 3 = barriere laterali, in rilevato o scavo 4 = barriere per opere d'arte, quali ponti. 5 = barriere o dispositivi per punti singolari
	Materiale	Tipo di materiale	ENUMERATO 1 = acciaio 2 = cls in New Jersey 3 = muratura 4 = legno 5 = acciaio -cls 6 = ferro 7 = ferro - cls 8 = altro
	Conservazione	Stato di conservazione	ENUMERATO 0 = scarso 1 = sufficiente 2 = discreto 3 = buono
Illuminazione	Tipo	Tipologia	ENUMERATO 1 = sospeso 2 = a braccio su palo 3 = a stelo
	Disposizione	Disposizione delle lampade	ENUMERATO 1 = disposizione laterale 2 = disposizione assiale 3 = disposizione centrale 4 altro
	Distanza	Distanza dal ciglio strada	N (3,0)
	Palo	Tipo di palo	ENUMERATO 1 = palo semplice 2 = palma pedonale con pulsante 3 = palo a sbraccio con frecce direzionali 4 = portale a bandiera
			ENUMERATO 1 = lanterna semaforica veicolare normale 2 = lanterna semaforica veicolare di

<i>Entita</i>	<i>Nome del campo</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Tipo</i>
Segnale Luminoso	Segnale	Tipo di segnale	corsia 3 = semaforo per veicoli di trasporto pubblico 4 = semaforo pedonale 5 = semaforo per velocipedi 6 = semaforo veicolare per corsie reversibili 7 = lanterna semaforica gialla lampeggiante 8 = segnale luminoso di pericolo e di prescrizione 9 = segnale luminoso di indicazione 10 = segnale luminoso particolare 11 = lanterna semaforica speciale
Segnale Verticale	Supporto id	Identificatore del supporto	N (10,0)
	Tipologia	Tipologia di supporto	ENUMERATO 1 = palo 2 = portale semplice 3 = portale passante
	Nsostegni	Numero di sostegni	N (1,0)
	Materiale	Materiale del supporto	ENUMERATO 1 = metallo 2 = cls
	Altezza	Altezza minima da terra	N (3,0)
	Distanza	Distanza dal ciglio della strada	ENUMERATO 0 = no 1 = si
	Confluente	Posizionamento Confluente	ENUMERATO 0 = no 1 = si
	Nsegnali	Numero segnali presenti	N (2,0)
	Conservazione	Stato di conservazione	ENUMERATO 0 = buono 1 = discreto 2 = da sostituire
Segnaletica orizzontale	Posizione	Posizionamento rispetto alla carreggiata	ENUMERATO 1 = di margine 2 = centrale 3 = di corsia 4 = isola di traffico
	Tipologia	Tipo di segnale	ENUMERATO 1 = singola coniinua 2 = singola tratteggiata 3 = doppia continua 4 = doppia tratteggiata dx 5 = doppia tratteggiata sx
	Conservazione	Stato di conservazione	ENUMERATO 0 = buono 1 = discreto 2 = da sostituire
			ENUMERATO 1 = stop

<i>Entità</i>	<i>Nome del campo</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Tipo</i>
Segnaletica orizzontale	Tipologia	Tipo di segnaletica	2 = dare precedenza 3 = attraversamenti pedonali (bianco) 4 = zebratura centrale 5 = isola 6 = frecce direzionali 7 = attraversamenti pedonali (bianco e rossi))
	Conservazione	Stato di conservazione	ENUMERATO 0 = buono 1 = discreto 2 = da sostituire
Dissuasori di velocità	Tipo	Tipologia	ENUMERATO 1 = banda rumorosa 2 = trattamenti superficiali 3 = porte di accesso 4 = dosso 5 = asse stradale rialzato 6 = deviazioni trasversali 7 = restringimento della carreggiata con isola centrale 8 = restringimento di carreggiata 9 = banda ottica
Cippi chilometrici	chilometrica	Indicazione della chilometrica	N (3,1)
Ponti	Testo	Testo riportato nel pannello	S (225)
	Superficie	Superficie dell'impianto	N (3,0)
	Illuminazione	Presenza di illuminazione	ENUMERATO 0 = no 1 = 0
	D_ciglio	Distanza dal ciglio della strada	N (4,0)
Ponti	-	-	

Oltre ai dati in sopra riportati, vengono restituite le caratteristiche geometriche del grafo strada, nelle specifico:

- Rettifici,
- Curve planimetriche,
- Livellette,
- Raccordi altimetrici;
- Caratteristiche della pavimentazione (IRI, ormaie in destra ed in sinistra calcolate con la metodologia Streight Edge sulla lunghezza di 1.60m).

Per quanto riguarda il significato di ogni singola caratteristica rilevata, si rimanda al glossario.

4.3.4 Il database degli incidenti

Tra le problematiche che interessano la gestione delle reti stradali, il miglioramento degli standard di sicurezza nella circolazione assume, come già più volte affermato, un carattere prioritario.

E', infatti, sperimentalmente provato che una corretta analisi del rischio non possa prescindere dal rilevamento di quei parametri che, in diverse situazioni di traffico, condizionano il comportamento dell'utente: tali fattori sono l'aderenza, la variazione dell'andamento geometrico dell'asse (dovuta ad eventuali carenze locali o diffuse della capacità portante), la variabilità dimensionale delle sezioni, lo smaltimento delle acque meteoriche.

E' inoltre evidente come la garanzia di sicurezza sulle strade venga assicurata dalla presenza di idonei dispositivi di sicurezza quali le barriere, da un adeguato stato di conservazione della segnaletica orizzontale e verticale, dall'efficacia degli impianti di illuminazione, in special modo in galleria e nelle zone di svincolo.

L'osservazione appena fatta non può che sottolineare la stretta correlazione esistente tra il problema della sicurezza e quello di una efficace manutenzione stradale, poiché quest'ultima dovrebbe assicurare alla strada stessa il livello di funzionalità che le compete.

Per la valutazione del rischio è stato utilizzato spesso il metodo della localizzazione di punti nevralgici, che ha permesso di tracciare una "mappa di pericolosità". Questo approccio al problema è, in effetti, molto discutibile, in primo luogo perché in molti casi non si configura come un intervento di natura preventiva, in secondo luogo perché non tiene conto che situazioni locali, apparentemente di minor rischio, potrebbero risultare estremamente pericolose in diverse condizioni di domanda.

Con riferimento al problema della sicurezza, l'utilizzo del Catasto risulta di notevole aiuto. In una prima immediata analisi si possono trarre informazioni utili dai dati di incidentalità, individuando le zone e le situazioni di pericolo e le cause, meteorologiche e non, che le hanno indotte.

Il Catasto, inoltre, raccoglie una notevole quantità di dati che permettono di descrivere la rete stradale in termini strutturali e funzionali: i primi descrivono la

capacità portante, le condizioni di aderenza e regolarità, il grado di ammaloramento della strada, mentre i secondi permettono di valutarne il livello di funzionalità. Mediante l'analisi di questi dati, si possono individuare alcune carenze della sovrastruttura che potrebbero essere causa di disagi o addirittura di incidenti. Si possono quindi dedurre utili indicazioni sul tipo di interventi che si rendono necessari per garantire la sicurezza e sulle priorità degli interventi stessi.

Nel SIS della Provincia di Bologna sono stati inseriti tutti gli eventi incidentali avvenuti dal 2002. Nei sei anni compresi dal 2002 al 2008 sono stati registrati circa 37919 incidenti di cui 2847 sulle strade di competenza della provincia.

I dati a disposizione per ciascun incidente (record) sono numerosi, ossia tutti quelli individuati nel modello ISTAT CTT/INC, denominato "Incidenti stradali" (vedi figura 1.3), nel seguito sono riportati solamente i dati principali:

- Progressiva
- Data
- Ora
- Comune
- Dinamica
- Causa presunta
- Danni causati ai veicoli
- Situazione meteo
- Condizione del fondo stradale
- Numero di feriti
- Numero di morti
- Note

Ovviamente, partendo dai dati contenuti nella tabella "Incidenti" è possibile costruire numerosi tematismi che permettono di valutare l'esatta posizione di ogni evento incidentale.

Si possono in questo modo evidenziare, ad esempio, tutti gli incidenti aventi la stessa dinamica o avvenuti in un determinato periodo temporale.

I dati sono numerosi e così pure le possibili combinazioni, per ottenere quindi dei risultati più leggibili occorre utilizzare degli opportuni criteri di classificazione ed analisi che permettano di dare un giudizio complessivo sulla sicurezza stradale dell'infrastruttura.

Nella figura 4.10 e nella figura 4.11 sono riportati due diversi tematismi “a blocchi” che riportano i risultati di due diverse interrogazioni effettuate sul database degli incidenti.

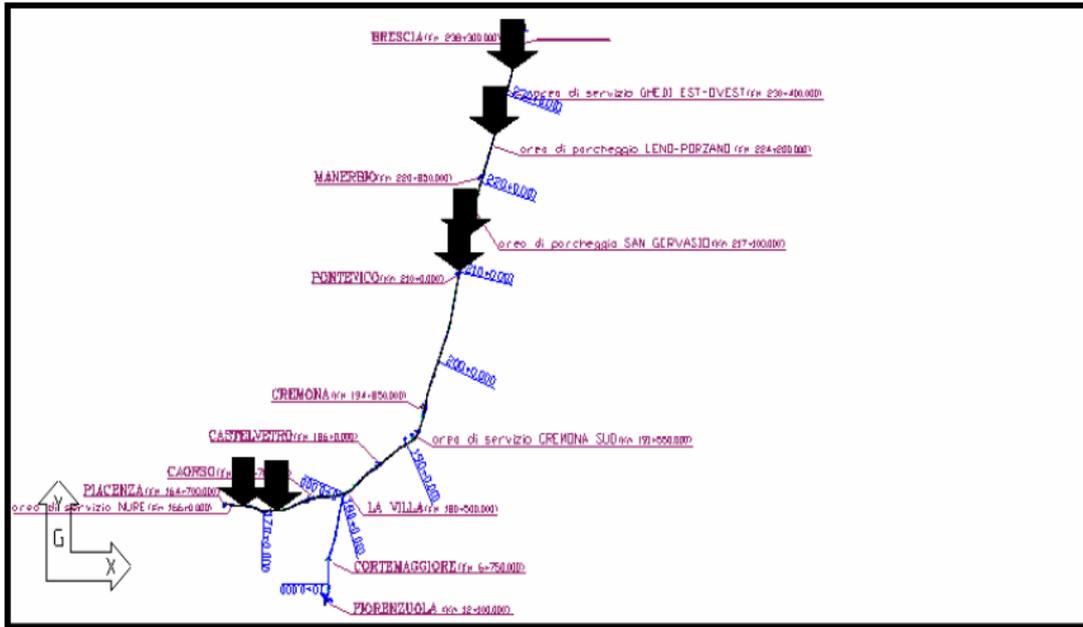


Figura 4.10 – Incidenti con salto di carreggiata avvenuti nel 2003.

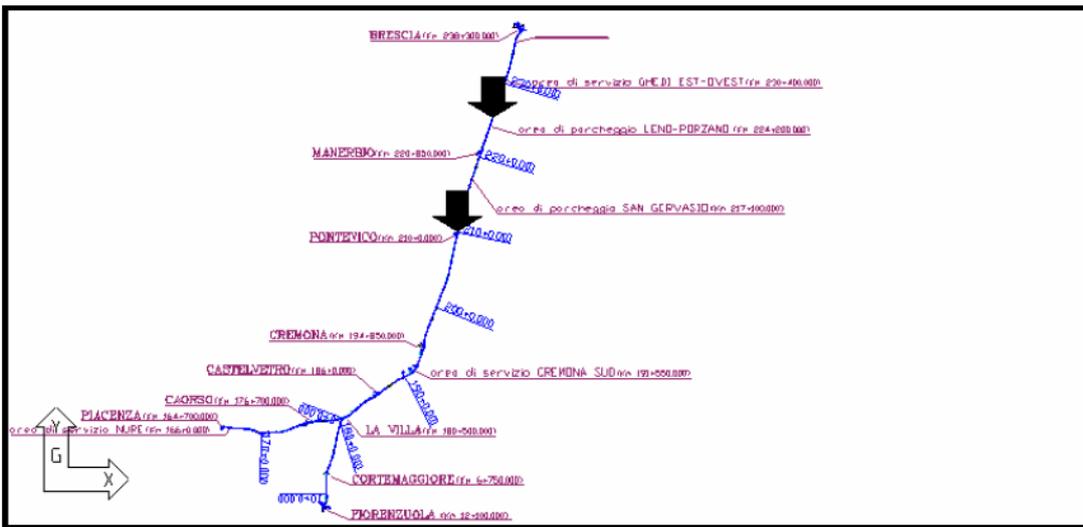


Figura 4.11 – Incidenti mortali con salto di carreggiata avvenuti nel 2003.

La prima figura riporta indicati con una freccia tutti gli incidenti avvenuti nel 2002 che hanno comportato il salto di carreggiata di uno o più veicoli, la seconda figura è un'ulteriore restrizione della prima interrogazione ed evidenzia gli incidenti dello stesso tipo ed avvenuti nello stesso periodo che però hanno avuto esito mortale.

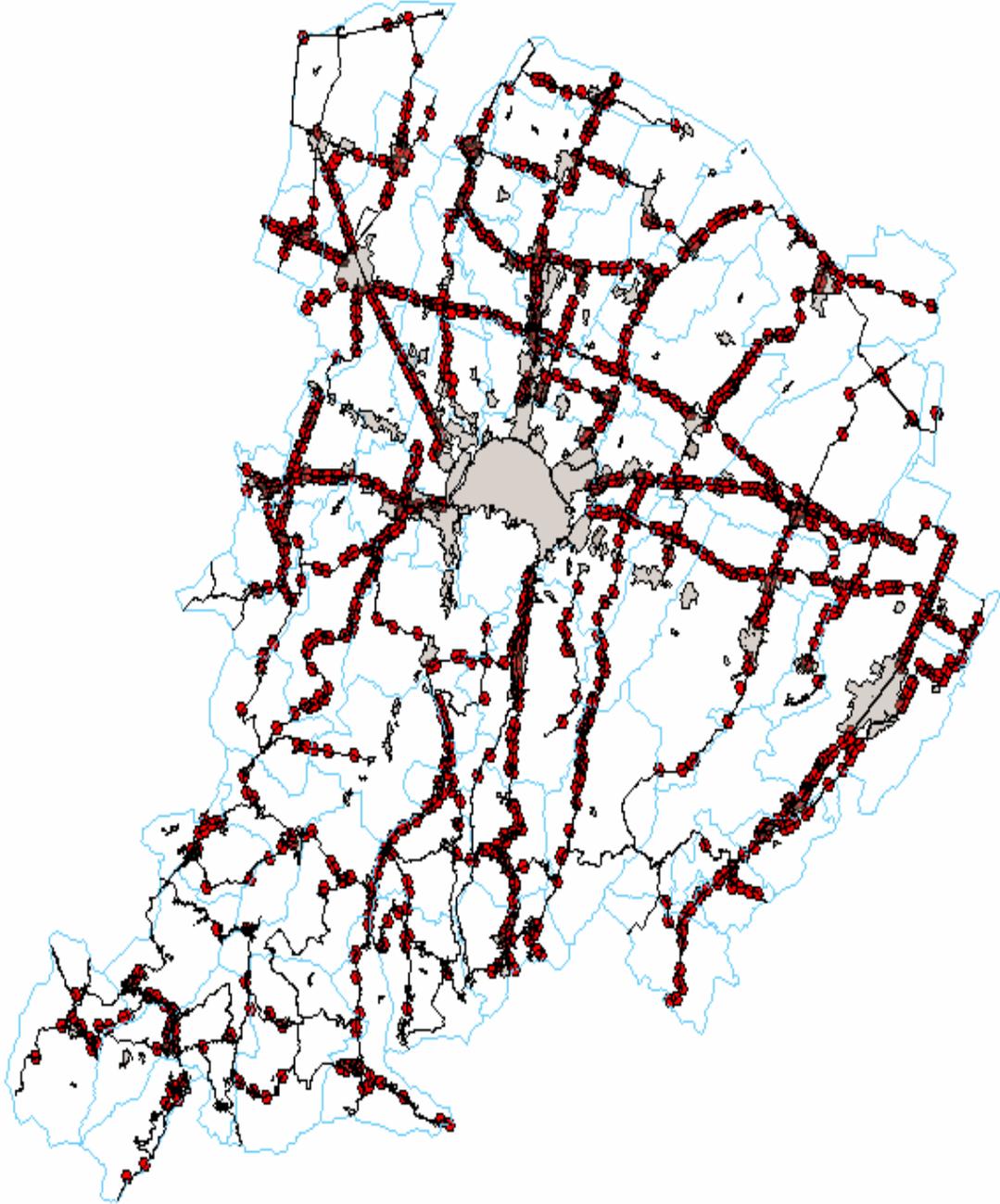


Figura 4.12 – Grafo della Provincia di Bologna con la georeferenziazione degli incidenti stradali.

CAPITOLO 5: *Il caso della SP 255 S. Matteo della Decima*

L'ultimo passo nello sviluppo della presente tesi, avendo a disposizione di dati provenienti dal sistema informativo della Provincia di Bologna, è stato quello di applicare il modello IHSDM ad un caso reale. Nello specifico si è scelto un tratto della SP 255 S. Matteo della Decima, in cui nell'anno venturo è previsto un intervento di ingegneria della sicurezza, finanziato dalla Regione Emilia Romagna.

Infatti nel tratto da S. Giovanni al confine con Modena, la SP 255 presenta numerosi problemi di sicurezza nelle intersezioni con la viabilità minore, con i passi carrai della zona industriale e nelle dimensioni troppo ridotte della carreggiata. Proprio per questo si è pensato ad un intervento di riqualificazione che consiste nell'allargamento della sede stradale esistente attraverso la realizzazione di una banchina pavimentata di 1.00m su entrambi i lati della strada, dalla progressiva km 19+000 alla progressiva km 21+200.

A chiarimento di quanto fin qui esposto, si riporta una sezione trasversale tipo dello stato di fatto e dell'intervento in progetto.

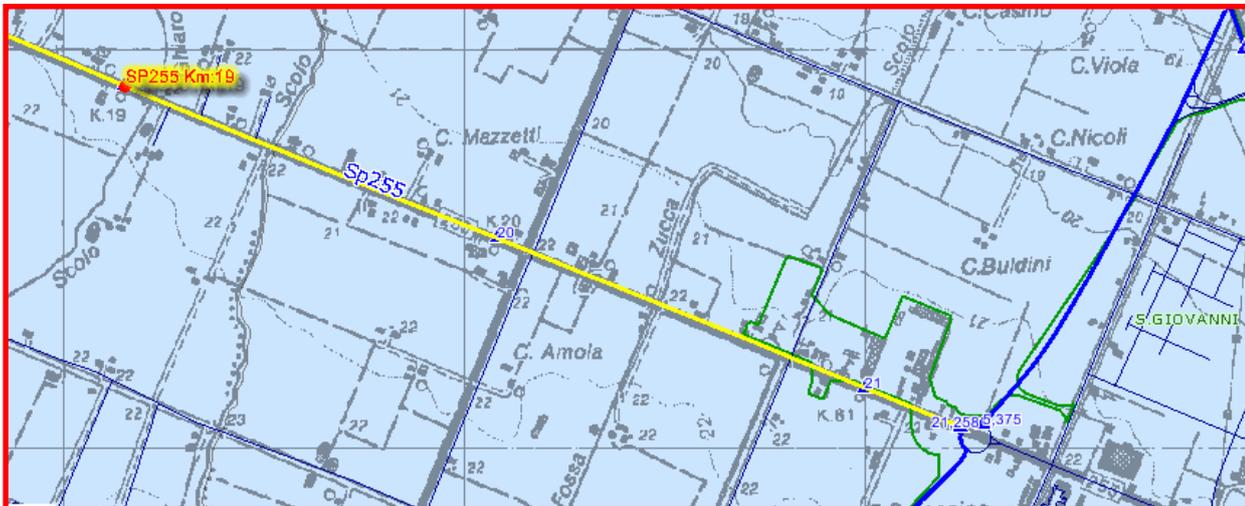


Figura 5.1 – SP 255 S. Matteo della Decima, tratto oggetto dell'intervento di miglioramento strutturale.

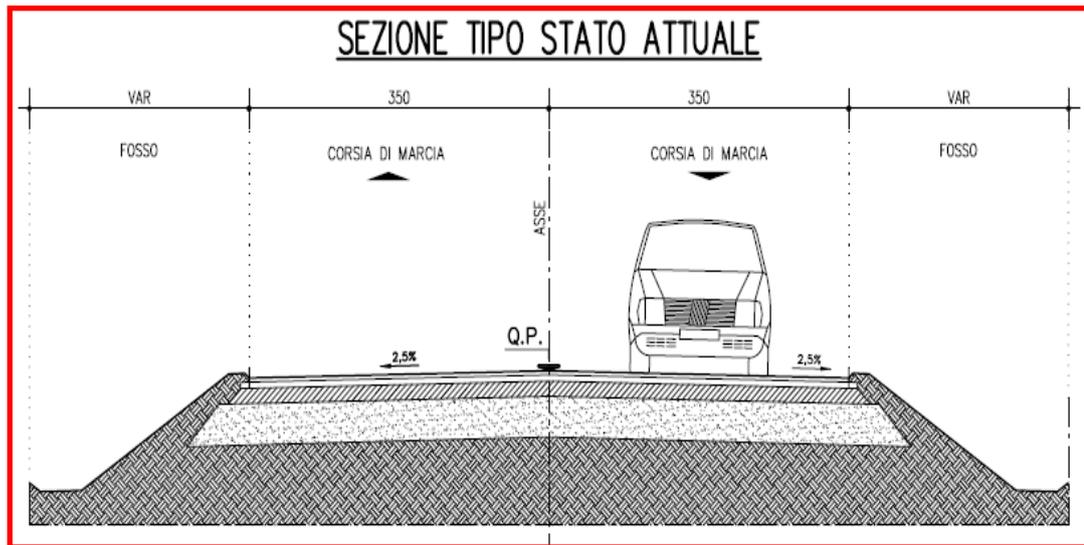


Figura 5.2 – Sezione trasversale tipo dello stato di fatto, SP 255.

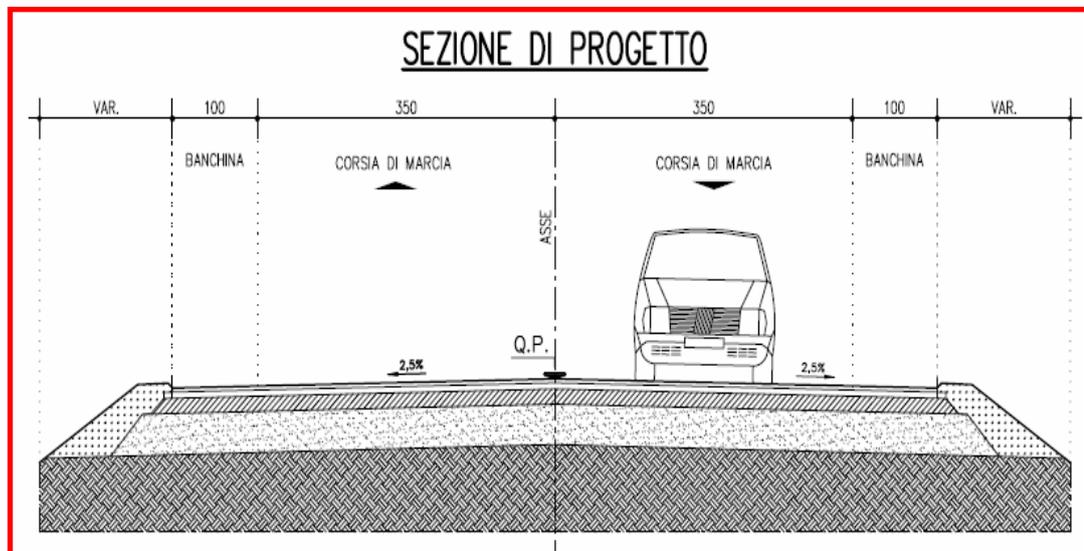


Figura 5.3 – Sezione trasversale tipo dell'intervento in progetto, SP 255.



Figura 5.4 – SP 255 S.Matteo Decima, direzione S.Giovanni in Persicelo, km 20+500.



Figura 5.5 – SP 255 S. Matteo Decima, direzione S.Agata Bolognese, km 19+000.

5.1 CALIBRAZIONE DEL MODELLO IHSDM

Il software IHSDM è stato elaborato negli Stati Uniti come strumento di analisi della sicurezza stradale e destinato all'utilizzo da parte degli Enti gestori. Pertanto, la distribuzione per gravità e la tipologia di incidenti inseriti nelle tabelle di default del programma sono basate sui dati del Highway Information System (HSIS) della FHWA relativi agli stati dell'Illinois (1992), del Michigan (1995), del Minnesota (1996) e del North Carolina (1995). Inoltre, alcuni parametri progettuali di controllo fanno riferimento alla normativa AASHTO.

Ne segue che l'utilizzo del modello per strade italiane necessita di alcuni adattamenti. Tali adattamenti vanno effettuati prima di applicare la procedura di calibrazione poiché la distribuzione percentuale degli incidenti e l'applicazione degli AMF intervengono sia nel modello di previsione che nella fase di correzione EB.

5.1.1 Distribuzione degli incidenti per tipologia e gravità

Per la definizione della distribuzione degli incidenti per tipologia e gravità incidentale si è stato necessario analizzare i dati incidentali provenienti dall'Osservatorio Incidentale e contenuti nel SIS della Provincia.

La prima operazione è stata quella di individuare solo gli incidenti non riconducibili alle intersezioni. Per fare questa suddivisione ci si è avvalsi dell'indicazione specifica prevista nel modulo CTT/N dell'ISTAT relativa alla localizzazione dell'evento incidentale.

2. Luogo dell'incidente

TIPO DI STRADA		PAVIMENTAZIONE		INTERSEZIONE		NON INTERSEZIONE		FONDO STRADALE		SEGNALETICA		CONDIZIONI METEOROLOGICHE	
Una carr. senso unico	1 <input type="checkbox"/>	Strada pavimentata	1 <input type="checkbox"/>	Incrocio	1 <input type="checkbox"/>	Rettilineo	7 <input type="checkbox"/>	asciutto	1 <input type="checkbox"/>	Assente	1 <input type="checkbox"/>	Sereno	1 <input type="checkbox"/>
Una carr. doppio senso	2 <input type="checkbox"/>	Strada pavimentata disestata	2 <input type="checkbox"/>	Rotatoria	2 <input type="checkbox"/>	Curva	8 <input type="checkbox"/>	bagnato	2 <input type="checkbox"/>	Verticale	2 <input type="checkbox"/>	Nebbia	2 <input type="checkbox"/>
Due carreggiate	3 <input type="checkbox"/>	Strada non pavimentata	3 <input type="checkbox"/>	Intersezione segnalata	3 <input type="checkbox"/>	Dosso, strettoia	9 <input type="checkbox"/>	drucchiolevole	3 <input type="checkbox"/>	Orizzontale	3 <input type="checkbox"/>	Pioggia	3 <input type="checkbox"/>
Più di 2 carreggiate	4 <input type="checkbox"/>			- con semaf. o vigile	4 <input type="checkbox"/>	Pendenza	10 <input type="checkbox"/>	ghiacciato	4 <input type="checkbox"/>	Verticale e orizzontale	4 <input type="checkbox"/>	Grandine	4 <input type="checkbox"/>
				- non segnalata	5 <input type="checkbox"/>	Gall. illuminata	11 <input type="checkbox"/>	innevato	5 <input type="checkbox"/>			Neve	5 <input type="checkbox"/>
				Passaggio a livello	6 <input type="checkbox"/>	Gall. non illuminata	12 <input type="checkbox"/>					Vento forte	6 <input type="checkbox"/>
												Altro	7 <input type="checkbox"/>

Figura 5.6 – Stralcio del modulo CTT/N ISTAT relativo al luogo dell'incidente.

Tabella 5.1 – Incidenti complessivi avvenuti sulle strade di competenza della Provincia di Bologna.

Anno	Incidenti tot.	Incidenti solo danni		Incidenti con feriti		Incidenti con feriti e morti		Feriti	Morti
2007	468	52	11.11 %	403	86.11 %	13	2.78 %	597	13
2006	453	19	4.19 %	415	91.61 %	19	4.19 %	673	23
2005	417	0	-	403	96.64 %	14	3.36 %	583	14
2004	545	0	-	515	94.50 %	30	5.50 %	853	33
2003	545	0	-	526	96.51 %	19	3.49 %	826	19
2002	420	0	-	396	94.29 %	24	5.71 %	627	28
tot.	2848	71	2.49 %	2658	93.33 %	119	4.18 %	4159	130

Tabella 5.2 – Incidenti avvenuti sulle strade di competenza della Provincia di Bologna non imputabili ad incroci.

Anno	Incidenti tot.	Incidenti solo danni		Incidenti con feriti		Incidenti con feriti e morti		Feriti	Morti
2007	362	38	10.50 %	316	87.29 %	8	2.21 %	459	8
2006	377	16	4.24 %	345	91.51 %	16	4.24 %	574	20
2005	326	0	-	315	96.63 %	11	3.37 %	466	11
2004	439	0	-	415	94.53 %	24	5.47 %	673	27
2003	426	0	-	408	95.77 %	18	4.23 %	643	18
2002	323	0	-	302	93.50 %	21	6.50 %	483	25
tot.	2253	54	2.40 %	2101	93.25 %	98	4.35 %	3298	109

In funzione dei dati analizzati si è deciso di adottare la seguente distribuzione dei “livelli di gravità degli incidenti” (Accident Severity Level) rispetto a quelli previsti di default dal modello:

Tabella 5.3 – Distribuzione dei livelli di gravità degli incidenti.

Conseguenze	Default IHSDM	Valori modificati
Morti	1.3%	4.5%
Feriti permanenti	5.4%	14%
Feriti	10.9%	28.6%

Conseguenze	Default IHSDM	Valori modificati
Feriti possibili	14.5%	42.9%
Totale Feriti e Morti	32.10%	90%
Danni solo a cose	67.9%	10%
TOTALE	100.0%	100.0%

Per la definizione della tipologia incidentale ci si è avvalsi dell'indicazione specifica prevista nel modulo CTT/N dell'ISTAT relativa alla tipologia d'incidente:

3. Natura dell'incidente

A) TRA VEICOLI IN MARCIA

Scontro frontale 1

Scontro frontale-laterale 2

Scontro laterale 3

Tamponamento 4

B) TRA VEICOLO E PEDONI

Investimento di pedoni 5

C) VEICOLO IN MARCIA CHE URTA VEICOLO FERMO O ALTRO

Urto con veicolo in fermata o in arresto 6

Urto con veicolo in sosta 7

Urto con ostacolo 8

Urto con treno 9

D) VEICOLO IN MARCIA SENZA URTO

Fuoriuscita (sbandamento,...) 10

Infortunio per frenata improvvisa 11

Infortunio per caduta da veicolo 12

Figura 5.7 - Stralcio del modulo CTT/N ISTAT relativo alla tipologia incidentale.

Tabella 5.4 – Incidenti complessivi, distribuzione per tipologia: Scontro frontale e laterale.

Anno	tot.	Scontro frontale						Scontro laterale					
		Incidenti		Feriti		Morti		Incidenti		Feriti		Morti	
2007	468	55	11.75 %	49	8.21 %	1	7.69 %	52	11.11 %	49	8.21 %	1	7.69 %
2006	453	55	12.14 %	109	16.20 %	4	17.39 %	51	11.26 %	65	9.66 %	1	4.35 %
2005	417	54	12.95 %	84	14.41 %	2	14.29 %	40	9.59 %	57	9.78 %	0	0.00 %
2004	545	55	10.09 %	123	14.42 %	10	30.30 %	62	11.38 %	86	10.08 %	0	0.00 %
2003	545	66	12.11 %	126	15.25 %	5	26.32 %	59	10.83 %	79	9.56 %	0	0.00 %

Anno	tot.	Scontro frontale						Scontro laterale					
		Incidenti	Feriti	Morti	Incidenti	Feriti	Morti	Incidenti	Feriti	Morti			
2002	420	38	9.05 %	63	10.05 %	8	28.57 %	38	9.05 %	50	7.97 %	1	3.57 %
tot.	2848	323	11.34 %	554	13.32 %	30	23.08 %	302	10.60 %	386	9.28 %	3	2.31 %

Tabella 5.5 - Incidenti complessivi, distribuzione per tipologia: Scontro frontale laterale e tamponamento.

Anno	tot.	Scontro frontale laterale						Tamponamento					
		Incidenti	Feriti	Morti	Incidenti	Feriti	Morti	Incidenti	Feriti	Morti			
2007	468	127	27.14 %	163	27.30 %	5	38.46 %	93	19.87 %	140	23.45 %	0	0.00 %
2006	453	127	28.04 %	178	26.45 %	9	39.13 %	102	22.52 %	188	27.93 %	6	26.09 %
2005	417	125	29.98 %	188	32.25 %	6	42.86 %	94	22.54 %	137	23.50 %	1	7.14 %
2004	545	178	32.66 %	302	35.40 %	8	24.24 %	117	21.47 %	176	20.63 %	3	9.09 %
2003	545	183	33.58 %	296	35.84 %	4	21.05 %	109	20.00 %	180	21.79 %	4	21.05 %
2002	420	176	41.90 %	267	42.58 %	8	28.57 %	74	17.62 %	110	17.54 %	1	3.57 %
tot.	2848	916	32.16 %	1394	33.52 %	40	30.77 %	589	20.68 %	931	22.39 %	15	11.54 %

Tabella 5.6 - Incidenti complessivi, distribuzione per tipologia: Fuoriuscita e collisione con pedone.

Anno	tot.	Fuoriuscita						Collisione con pedone					
		Incidenti	Feriti	Morti	Incidenti	Feriti	Morti	Incidenti	Feriti	Morti			
2007	468	67	14.32 %	74	12.40 %	3	23.08 %	17	3.63 %	19	3.18 %	2	15.38 %
2006	453	69	15.23 %	75	11.14 %	3	13.04 %	15	3.31 %	17	2.53 %	0	0.00 %
2005	417	60	14.39 %	70	12.01 %	2	14.29 %	13	3.12 %	15	2.57 %	0	0.00 %
2004	545	75	13.76 %	80	9.38 %	7	21.21 %	17	3.12 %	17	1.99 %	1	3.03 %
2003	545	81	14.86 %	99	11.99 %	2	10.53 %	11	2.02 %	10	1.21 %	1	5.26 %
2002	420	54	12.86 %	79	12.60 %	5	17.86 %	13	3.10 %	17	2.71 %	5	17.86 %
tot.	2848	406	14.26 %	477	11.47 %	22	16.92 %	86	3.02 %	95	2.28 %	9	6.92 %

Tabella 5.7 - Incidenti complessivi, distribuzione per tipologia: Urto e Frenata improvvisa.

Anno	tot.	Urto ostacolo/treno			Frenata improvvisa/caduta		
		Incidenti	Feriti	Morti	Incidenti	Feriti	Morti

Anno	tot.	Urto ostacolo/treno						Frenata improvvisa/caduta					
		Incidenti	Feriti	Morti	Incidenti	Feriti	Morti						
2007	468	11	2.35 %	9	1.51 %	0	0.00 %	15	3.21 %	15	2.51 %	1	7.69 %
2006	453	8	1.77 %	11	1.63 %	0	0.00 %	4	0.88 %	4	0.59 %	0	0.00 %
2005	417	11	2.64 %	9	1.54 %	2	14.29 %	4	0.96 %	4	0.69 %	0	0.00 %
2004	545	6	1.10 %	4	0.47 %	2	6.06 %	10	1.83 %	10	1.17 %	0	0.00 %
2003	545	13	2.39 %	13	1.57 %	3	15.79 %	8	1.47 %	8	0.97 %	0	0.00 %
2002	420	11	2.62 %	17	2.71 %	0	0.00 %	4	0.95 %	5	0.80 %	0	0.00 %
tot.	2848	60	2.11 %	63	1.51 %	7	5.38 %	45	1.58 %	46	1.11 %	1	0.77 %

Tabella 5.8 - Incidenti complessivi, distribuzione per tipologia: Collisione e altro.

Anno	tot.	Collisione con veicolo in sosta/fermata/arresto						altro... Non precisato					
		Incidenti	Feriti	Morti	Incidenti	Feriti	Morti						
2007	468	9	1.92 %	11	1.84 %	0	0.00 %	22	4.70 %	68	11.39 %	0	0.00 %
2006	453	7	1.55 %	9	1.34 %	0	0.00 %	15	3.31 %	17	2.53 %	0	0.00 %
2005	417	4	0.96 %	4	0.69 %	0	0.00 %	12	2.88 %	15	2.57 %	1	7.14 %
2004	545	10	1.83 %	13	1.52 %	2	6.06 %	15	2.75 %	42	4.92 %	0	0.00 %
2003	545	13	2.39 %	14	1.69 %	0	0.00 %	2	0.37 %	1	0.12 %	0	0.00 %
2002	420	11	2.62 %	18	2.87 %	0	0.00 %	1	0.24 %	1	0.16 %	0	0.00 %
tot.	2848	54	1.90 %	69	1.66 %	2	1.54 %	67	2.35 %	144	3.46 %	1	0.77 %

Tabella 5.9 - Incidenti non imputabili alle intersezioni, distribuzione per tipologia: Scontro frontale e laterale.

Anno	tot.	Scontro frontale						Scontro laterale					
		Incidenti	Feriti	Morti	Incidenti	Feriti	Morti						
2007	362	43	11.88 %	73	15.90 %	1	12.50 %	40	11.05 %	38	8.28 %	1	12.50 %
2006	377	42	11.14 %	86	14.98 %	4	20.00 %	43	11.41 %	58	10.10 %	0	0.00 %
2005	326	41	12.58 %	67	14.38 %	2	18.18 %	35	10.74 %	52	11.16 %	0	0.00 %
2004	439	45	10.25 %	105	15.60 %	9	33.33 %	48	10.93 %	66	9.81 %	0	0.00 %

Anno	tot.	Scontro frontale						Scontro laterale					
		Incidenti	Feriti	Morti	Incidenti	Feriti	Morti	Incidenti	Feriti	Morti	Incidenti	Feriti	Morti
2003	426	54	12.68 %	105	16.33 %	4	22.22 %	43	10.09 %	60	9.33 %	0	0.00 %
2002	323	33	10.22 %	53	10.97 %	7	28.00 %	24	7.43 %	34	7.04 %	1	12.50 %
tot.	2253	258	11.45 %	489	14.83 %	27	24.77 %	233	10.34 %	308	9.34 %	2	1.83 %

Tabella 5.10 - Incidenti non imputabili alle intersezioni, distribuzione per tipologia: Scontro frontale laterale e tamponamento.

Anno	tot.	Scontro frontale laterale						Tamponamento					
		Incidenti	Feriti	Morti	Incidenti	Feriti	Morti	Incidenti	Feriti	Morti	Incidenti	Feriti	Morti
2007	362	85	23.48 %	108	23.53 %	2	25.00 %	78	21.55 %	114	24.84 %	0	0.00 %
2006	377	96	25.46 %	136	23.69 %	8	40.00 %	92	24.40 %	178	31.01 %	5	25.00 %
2005	326	88	26.99 %	133	28.54 %	5	45.45 %	79	24.23 %	119	25.54 %	0	0.00 %
2004	439	131	29.84 %	227	33.73 %	5	18.52 %	96	21.87 %	142	21.10 %	1	3.70 %
2003	426	120	28.17 %	196	30.48 %	4	22.22 %	91	21.36 %	148	23.02 %	4	22.22 %
2002	323	117	36.22 %	178	36.85 %	6	24.00 %	64	19.81 %	91	18.84 %	1	4.00 %
tot.	2253	637	28.27 %	978	29.65 %	30	27.52 %	500	22.19 %	792	24.01 %	11	10.09 %

Tabella 5.11 - Incidenti non imputabili alle intersezioni, distribuzione per tipologia: Fuoriuscita e collisione con pedone.

Anno	tot.	Fuoriuscita						Collisione con pedone					
		Incidenti	Feriti	Morti	Incidenti	Feriti	Morti	Incidenti	Feriti	Morti	Incidenti	Feriti	Morti
2007	362	57	15.75 %	62	13.51 %	2	25.00 %	11	3.04 %	12	2.61 %	1	12.50 %
2006	377	62	16.45 %	68	11.85 %	3	15.00 %	13	3.45 %	15	2.61 %	0	0.00 %
2005	326	56	17.18 %	64	13.73 %	2	18.18 %	11	3.37 %	13	2.79 %	0	0.00 %
2004	439	68	15.49 %	73	10.85 %	7	25.93 %	15	3.42 %	14	2.08 %	1	3.70 %
2003	426	76	17.84 %	92	14.31 %	2	11.11 %	10	2.35 %	9	1.40 %	1	5.56 %
2002	323	49	15.17 %	74	15.32 %	5	20.00 %	12	3.72 %	16	3.31 %	5	20.00 %
tot.	2253	368	16.33 %	433	13.13 %	21	19.27 %	72	3.20 %	79	2.40 %	8	7.34 %

Tabella 5.12 - Incidenti non imputabili alle intersezioni, distribuzione per tipologia: Urto ostacolo e frenata improvvisa.

Anno	tot.	Urto ostacolo/treno						Frenata improvvisa/caduta					
		Incidenti		Feriti		Morti		Incidenti		Feriti		Morti	
2007	362	9	2.49 %	8	1.74 %	0	0.00 %	13	3.59 %	13	2.83 %	1	12.50 %
2006	377	7	1.86 %	8	1.39 %	0	0.00 %	2	0.53 %	2	0.35 %	0	0.00 %
2005	326	5	1.53 %	4	0.86 %	1	9.09 %	3	0.92 %	3	0.64 %	0	0.00 %
2004	439	4	0.91 %	2	0.30 %	2	7.41 %	8	1.82 %	8	1.19 %	0	0.00 %
2003	426	12	2.82 %	12	1.87 %	3	16.67 %	7	1.64 %	7	1.09 %	0	0.00 %
2002	323	11	3.41 %	17	3.52 %	0	0.00 %	3	0.93 %	4	0.83 %	0	0.00 %
tot.	2253	48	2.13 %	51	1.55 %	6	5.50 %	36	1.60 %	37	1.12 %	1	0.92 %

Tabella 5.13 - Incidenti non imputabili alle intersezioni, distribuzione per tipologia: Collisione e altro.

Anno	tot.	Collisione con veicolo in sosta/fermata/arresto						altro... Non precisato					
		Incidenti		Feriti		Morti		Incidenti		Feriti		Morti	
2007	362	8	2.21 %	9	1.96 %	0	0.00 %	18	4.97 %	22	4.79 %	0	0.00 %
2006	377	7	1.86 %	9	1.57 %	0	0.00 %	13	3.45 %	14	2.44 %	0	0.00 %
2005	326	3	0.92 %	3	0.64 %	0	0.00 %	5	1.53 %	8	1.72 %	1	9.09 %
2004	439	9	2.05 %	12	1.78 %	2	7.41 %	15	3.42 %	24	3.57 %	0	0.00 %
2003	426	13	3.05 %	14	2.18 %	0	0.00 %	0	0.00 %	0	0.00 %	0	0.00 %
2002	323	9	2.79 %	15	3.11 %	0	0.00 %	1	0.31 %	1	0.21 %	0	0.00 %
tot.	2253	49	2.17 %	62	1.88 %	2	1.83 %	52	2.31 %	69	2.09 %	1	0.92 %

In funzione dei dati analizzati si è deciso di adottare la seguente distribuzione dei “livelli di tipologia degli incidenti” rispetto a quelli previsti di default dal modello:

Tabella 5.14 – Distribuzione degli incidenti per tipologia nel modello IHSDM.

Tipo di Incidente	Default IHSDM	Valori modificati
Incidenti veicolo singolo		
Collisione con animale	30.9%	0.98%
Collisione con bicicletta	0.3%	0.98%
Collisione con veicolo in sosta	0.7%	1,65%
Collisione con pedone	0.5%	3,20%

Ribaltamento	2.3%	0%
Fuoriuscita	28.1%	16,45%
Altri	3.6%	1.66%
TOTALE	66.3%	24.92
Incidenti veicoli multipli		
Scontro laterale	3.9%	23,72%
Scontro frontale	1.9%	24,3%
Scontro per svolta a sinistra	4.2%	0%
Scontro per svolta a destra	0.6%	0%
Scontro per retromarcia	13.9%	23,4%
Scontro Laterale nella stessa direzione	2.6%	1%
Scontro Laterale nella direzione opposta	2.4%	1%
Altri	4.1%	1,66%
TOTALE	33.7%	75,08%

5.1.2 Determinazione del fattore C_r

L’algoritmo di previsione incidentale, come visto nel capitolo 3, prevede l’introduzione di un fattore C_r di calibrazione allo scopo di consentire un adattamento del modello predittivo alle condizioni locali della rete stradale oggetto di analisi.

Infatti, sebbene i fattori legati alle caratteristiche infrastrutturali e di traffico (sezione trasversale, geometria plano-altimetrica, margini, disponibilità per il sorpasso) siano valutati tramite gli AMF, vi sono altri fattori di tipo “ambientale” (abitudini di guida, condizioni climatiche, tipologia dati sugli incidenti) che richiedono un adattamento dell’algoritmo di previsione.

$$N_{rs} = N_{br} \times C_r \times (AMF_{1r} \times AMF_{2r} \times \dots \times AMF_{nr})$$

(5.1)

Nel modello di previsione il fattore C_r assume il valore di default pari ad 1. La calibrazione consiste nel definire il valore di C_r che mediamente approssima il numero di incidenti previsti con quelli realmente accaduti. Pertanto, per effettuare la calibrazione occorre disporre di un campione sufficientemente rappresentativo di strade su cui applicare il modello comparando il dato complessivamente ottenuto dalla previsione con quello rilevato in base ai dati incidentali.

A tale scopo si è assunto come riferimento il complesso delle strade gestite dalla Provincia di Bologna, per un totale di circa 1400 km di strade extraurbane a due corsie.

Sono previsti due livelli di calibrazione differenti dell’algoritmo di previsione incidentale, essi differiscono in:

1. Tipo di dati di traffico;
2. Disponibilità e qualità dei dati incidentali;
3. Esperienza del personale che esegue la calibrazione;
4. Livello di efficienza e disponibilità di personale dell’ente che richiede la calibrazione.

I requisiti minimi per ognuno dei due livelli di calibrazione sono riportati nella tabella 5.15. Il livello 1 rappresenta il minimo richiesto e confrontato con il livello 2 è la calibrazione che richiede meno sforzo. E’ fortemente consigliato di non utilizzare l’algoritmo di previsione incidentale senza una opportuna procedura di calibrazione.

Tabella 5.15 – Requisiti minimi per calibrazione di Livello 1 e 2.

Livello di calibrazione	Requisiti minimi	Tipo di calibrazione
Level 1	The State must have the ability to: (1) Stratify all two-lane rural roads by ADT; and (2) Identify all non-intersection related crashes reported on those two lane rural roads.	Minimal
Level 2	Level 1 requirements + the State must have the ability to: (3) Stratify all two-lane rural roads by ADT, shoulder width and lane width.	Moderate

Nella tabella 5.16 sono indicati i dati necessari per poter effettuare in maniera completa i processi di calibrazione visti sopra.

Tabella 5.16 – Dati necessari per i livelli 1 e 2 di calibrazione.

Requirement	Type of Data	Data Element	Level 1	Level 2
Richiesti	Crash records	Relationship of crashes to intersections or junctions	X	X
	Traffic volume files	ADT	X	X
	Roadway Inventory files	Lane width		X
	Roadway Inventory files	Shoulder width		X
Opzionali	Alignment Inventory files	Horizontal curve data	X	X
	Alignment Inventory files	Grade and vertical curve data	X	X
	Access point	Driveway	X	X

La procedura di base per la calibrazione, comune ad entrambi i livelli, consta di sei step successivi illustrati nella figura 5.8. L'unica differenza nei due livelli è che, per il livello 2 di calibrazione, nello step 1 bisognerà suddividere la rete, oltre che in funzione delle curve e delle pendenze, anche in funzione della larghezza della corsia e della banchina laterale.

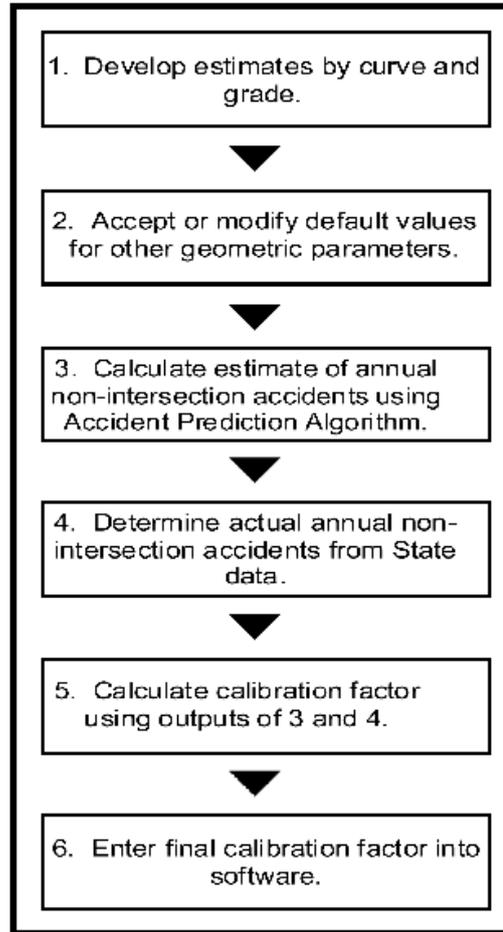


Figura 5.8 – Diagramma di flusso del processo di calibrazione.

Nel contesto di questa tesi di dottorato è stata effettuata calibrazione di livello 1.

5.1.2.1 Step 1. Caratterizzazione rete in funzione delle caratteristiche planimetriche ed altimetriche.

Dopo aver suddiviso tutta la rete in cinque gruppi in funzione del TGM (tabella 5.19), per ogni gruppo si deve definire:

1. Number of miles of tangent roadway.
2. Number of miles of roadway on horizontal curves.

3. Average degree of curvature for horizontal curves.
4. Number of miles of level roadway.
5. Number of miles of roadway on grade.
6. Average grade percent for roadway on grade.

Nel seguito si riporta in forma gabbellare il dettaglio dei dati analizzati per la suddivisione della rete in funzione del TGM, delle caratteristiche planimetriche ed altimetriche.

Tabella 5.17 – Suddivisione della rete in funzione del TGM e delle caratteristiche planimetriche.

Denominazione			Estesa km	ADT Interva l	Number of Tangent km	Number of Curved km	Raggio medio curva km	Average Degree of Curvature for Curved Miles (D)	Average Length of Curve (km)
SP	1	PALATA	6.71	3	5.389	1.358	0.245	4.07	0.104
SP	2	VIA DELLE BUDRIE	9.98	3	7.137	3.025	0.310	3.22	0.121
SP	3	TRASVERSALE DI PIANURA (3/1) (I tronco)	52.41	5	35.606	13.653	0.195	8.205	0.066
SP	4	GALLIERA	26.54	5	13.377	11.115	0.420	2.38	0.115
SP	5	SAN DONATO	41.19	4	28.119	13.128	0.420	2.38	0.124
SP	6	ZENZALINO	22.40	3	13.483	8.944	0.291	3.43	0.102
SP	7	VALLE DELL'IDICE	35.50	3	14.169	20.975	0.210	4.77	0.096
SP	8	CASTIGLIONE-BARAGAZZA-CAMPALLORZO	14.20	3	3.412	10.739	0.113	8.86	0.066
SP	9	CREVALCORE-GALEAZZA	19.45	2	16.261	3.197	0.443	2.257	0.111
SP	10	BEVILACQUA	9.50	2	8.959	0.551	0.179	5.57	0.069
SP	11	S.BENEDETTO	7.95	2	6.965	2.200	0.158	6.329	0.075
SP	12	BASSO RENO	22.83	3	15.259	7.572	0.227	4.40	0.089
SP	13	LA CORONELLA-PONTE PANFILIA	2.83	2	2.254	0.655	0.193	5.18	0.060
SP	14	VALSANTERNO	11.31	2	6.896	4.367	0.358	2.79	0.128
SP	15	BORDONA	5.43	2	0.220	5.102	0.079	12.67	0.065
SP	16	VIA LUNGA	10.75	3	9.771	1.005	0.181	5.54	0.053
SP	17	CASALFIUMANESE	1.06	3	0.436	0.670	0.057	17.69	0.067
SP	18	PADULLESE	17.55	4	11.662	5.356	0.380	2.63	0.112
SP	19	S.CARLO	9.81	5	6.650	2.717	0.260	3.85	0.078
SP	20	SAN PIETRO IN CASALE-SS64	6.93	3	5.529	1.390	0.500	2.00	0.093
SP	21	VAL SILLARO	33.27	3	7.396	24.807	0.156	6.39	0.090
SP	22	VALLE DELL'IDICE-SS65	6.68	3	1.403	5.196	0.132	7.58	0.082
SP	23	PONTE VERZUNO-SUVIANA	9.81	2	1.225	8.561	0.102	9.81	0.068
SP	24	GRIZZANA	12.70	3	2.513	10.079	0.117	8.58	0.076
SP	25	VERGATO-ZOCCA	16.98	3	1.959	14.783	0.097	10.29	0.067
SP	26	VALLE DEL LAVINO	39.44	4	15.503	23.960	0.197	5.08	0.096
SP	27	VALLE DEL SAMOGGIA	32.42	3	13.395	18.847	0.319	3.13	0.115
SP	28	CROCE DELL'IDICE	5.94	4	3.740	2.260	0.202	4.96	0.087
SP	29	MEDICINA-S.ANTONIO DI QUADERNA	24.16	3	18.950	5.246	0.463	2.16	0.070
SP	30	TRENTOLA	12.04	3	8.621	3.338	0.303	3.30	0.090

Denominazione		Estesa km	ADT Interva l	Number of Tangent km	Number of Curved km	Raggio medio curva km	Average Degree of Curvature for Curved Miles (D)	Average Length of Curve (km)	
SP	31	COLUNGA	21.68	4	13.311	7.768	0.417	2.40	0.113
SP	32	MORDANO-BAGNARA	0.39	1	0.108	0.305	0.278	3.59	0.076
SP	33	CASOLANA	7.07	2	2.870	4.207	0.125	8.02	0.100
SP	34	GESSO	12.52	2	3.155	9.312	0.117	8.57	0.097
SP	35	SASSONERO	10.11	1	1.512	8.512	0.092	10.87	0.068
SP	36	VAL DI ZENA	16.11	2	4.964	11.000	0.187	5.35	0.088
SP	37	GANZOLE	9.70	2	2.699	6.939	0.153	6.54	0.068
SP	38	MONZUNO-RIOVEGGIO	7.46	3	1.560	5.838	0.099	10.06	0.064
SP	39	TRASSERRA	8.97	3	1.415	7.534	0.098	10.21	0.069
SP	40	PASSO ZANCHETTO-PORRETTA TERME	23.43	2	2.767	20.220	0.100	10.05	0.067
SP	41	CASTELFRANCO	4.91	3	3.534	1.360	0.256	3.91	0.076
SP	42	CENTESE	13.13	5	6.643	6.539	0.309	3.24	0.105
SP	43	BADI-RIO CONFINI	4.03	2	0.145	4.041	0.072	13.93	0.055
SP	44	BASSA BOLOGNESE	10.91	3	8.084	2.910	0.300	3.33	0.094
SP	45	SALICETO	10.19	5	7.362	2.902	0.476	2.10	0.104
SP	46	CASTEL MAGGIORE-GRANAROLO	7.19	4	3.902	2.002	0.245	4.09	0.077
SP	47	BARICELLA-ALTEDO	4.38	3	3.119	1.269	0.332	3.01	0.115
SP	48	CASTELLI GUELFI	8.02	3	3.770	4.304	0.260	3.84	0.077
SP	49	IMPERIALE	0.79	2	0.380	0.433	0.059	16.94	0.054
SP	50	S.ANTONIO	6.32	2	5.758	0.640	0.151	6.63	0.064
SP	51	MEDICINA-BIVIO SELICE	16.43	3	12.993	3.430	0.335	2.98	0.095
SP	52	PORRETTA-CASTEL DI CASIO	15.49	3	3.347	12.054	0.116	8.59	0.074
SP	53	BIVIO SELICE-MORDANO	4.21	3	4.032	0.212	0.436	2.29	0.042
SP	54	LUGHESE	12.81	2	10.009	2.838	0.426	2.35	0.092
SP	55	CASE FORLAI	10.26	1	0.755	9.41	0.08	12.50	0.05
SP	56	DOZZA	2.89	3	1.508	1.300	0.295	3.39	0.100
SP	57	MADOLMA	11.60	4	1.670	9.976	0.091	10.96	0.064
SP	58	PIEVE DEL PINO	17.60	2	4.635	12.853	0.121	8.29	0.066
SP	59	MONZUNO	18.66	3	1.904	16.113	0.095	10.54	0.068
SP	60	SAN BENEDETTO VAL DI SAMBRO	24.85	2	4.037	20.717	0.106	9.39	0.075
SP	61	VAL DI SAMBRO	19.87	2	2.834	16.715	0.115	8.66	0.069
SP	62	RIOLA-CAMUGNANO-CASTIGLIONE	28.33	3	4.084	23.868	0.115	8.690	0.070
SP	63	BIVIO LIZZO-CASTEL DI CASIO	4.16	2	0.248	3.834	0.061	16.50	0.060
SP	64	GRANAGLIONE-SS64	7.81	4	1.011	6.713	0.077	12.94	0.055
SP	65	DELLA FUTA (ex SS)	38.94	4	7.318	30.890	0.149	6.72	0.083
SP	66	QUERCIOLA-CONFINE MODENESE	3.82	2	0.344	3.474	0.098	10.18	0.062
SP	67	MARANO-CANEVACCIA	11.81	3	1.024	10.508	0.096	10.47	0.057
SP	68	VAL D'ANEVA	13.81	2	1.707	11.868	0.099	10.11	0.062
SP	69	PIAN DI VENOLA-CA' BORTOLANI	11.59	1	2.416	9.050	0.121	8.25	0.074
SP	70	VALLE TORRENTE GHIAIE	12.34	3	4.723	7.638	0.259	3.868	0.097
SP	71	CAVONE	15.21	1	1.783	13.378	0.089	11.224	0.062
SP	72	CAMPOLO-SERRA DEI GALLI	9.28	1	0.816	8.398	0.103	9.67	0.059
SP	73	STANCO	15.71	1	1.770	13.849	0.102	9.84	0.067
SP	74	MONGARDINO	10.61	1	1.252	9.299	0.111	8.98	0.074
SP	75	MONTEMAGGIORE	8.44	2	1.678	6.678	0.134	7.44	0.073
SP	76	STIORE	7.25	1	2.998	4.243	0.179	5.59	0.094

Denominazione			Estesa km	ADT Interva l	Number of Tangent km	Number of Curved km	Raggio medio curva km	Average Degree of Curvature for Curved Miles (D)	Average Length of Curve (km)
SP	77	GUIGLIA	3.21	2	0.181	3.016	0.117	8.51	0.082
SP	78	CASTELFRANCO-MONTEVEGLIO	6.03	3	2.138	3.202	0.203	4.933	0.111
SP	79	PIAN DI BALESTRA	22.74	2	2.637	19.846	0.082	12.25	0.056
SP	80	CARDINALA	3.46	2	1.270	0.316	0.458	2.19	0.063
SP	81	CAMPEGGIO	6.94	1	0.848	5.959	0.076	13.09	0.070
SP	82	GAGGIO-MASERA	7.49	2	0.891	6.523	0.113	8.88	0.075
SP	83	TANGENZIALE DI S. GIOVANNI IN PERSICETO	5.38	4	3.845	1.569	0.628	1.59	0.105
	FVS	FONDOVALLE SAVENA	28.75	3	11.126	16.996	0.184	5.44	0.097
SP	253	SAN VITALE (ex SS)	33.81	3	26.792	6.440	0.391	2.56	0.107
SP	255	DI SAN MATTEO DELLA DECIMA (ex SS)	17.83	5	12.546	4.165	0.343	2.918	0.080
SP	324	DEL PASSO DELLE RADICI (ex SS)	24.80	4	3.917	20.702	0.100	10.05	0.073
SP	325	DI VAL DI SETTA E VAL DI BISENZIO (ex SS)	43.25	3	8.706	34.283	0.157	6.35	0.084
SP	568	DI CREVALCORE (ex SS)	24.15	5	27.520	2.662	0.243	4.12	0.078
SP	569	DI VIGNOLA (ex SS)	21.98	5	11.454	10.068	0.096	10.42	0.046
SP	610	SELICE O MONTANARA IMOLESE (ex SS)	39.05	4	23.664	15.490	0.187	5.35	0.085
SP	623	DEL PASSO BRASA (ex SS)	25.52	3	4.919	21.102	0.089	11.28	0.061
SP	632	TRAVERSA DI PRACCHIA (ex SS)	12.00	3	1.565	10.294	0.097	10.31	0.054

Tabella 5.18 – Suddivisione della rete in funzione delle caratteristiche altimetriche.

Denominazione			Estesa km	Number of Level Miles (Ml)	Number of Miles on Grade (Mg)	Average Percent Grade for Miles on Grade (Pg)	Average Percent Grade ^d
SP	1	PALATA	6.71	5.600	1.147	0.38	0.06
SP	2	VIA DELLE BUDRIE	9.98	6.860	3.302	0.68	0.22
SP	3	TRASVERSALE DI PIANURA (3/1) (I tronco)	52.41	30.39	21.405	0.36	0.16
SP	4	GALLIERA	26.54	18.508	5.984	0.56	0.14
SP	5	SAN DONATO	41.19	36.455	4.791	0.31	0.04
SP	6	ZENZALINO	22.40	17.366	5.137	0.53	0.12
SP	7	VALLE DELL'IDICE	35.50	5.195	29.962	2.90	2.47
SP	8	CASTIGLIONE-BARAGAZZA-CAMPALLORZO	14.20	0.970	13.208	4.79	4.47
SP	9	CREVALCORE-GALEAZZA	19.45	15.383	4.048	0.31	0.06
SP	10	BEVILACQUA	9.50	8.117	1.393	0.33	0.05
SP	11	S.BENEDETTO	7.95	6.914	1.111	0.31	0.04
SP	12	BASSO RENO	22.83	16.029	6.804	0.44	0.13
SP	13	LA CORONELLA-PONTE PANFILIA	2.83	2.324	0.586	0.60	0.12
SP	14	VALSANTERNO	11.31	5.513	5.750	1.01	0.52
SP	15	BORDONA	5.43	0.211	5.119	5.57	5.36
SP	16	VIA LUNGA	10.75	8.982	1.794	0.33	0.06
SP	17	CASALFUMANESE	1.06	0.139	0.967	3.38	2.96
SP	18	PADULLESE	17.55	12.705	4.313	0.44	0.11
SP	19	S.CARLO	9.81	5.897	3.471	0.97	0.36
SP	20	SAN PIETRO IN CASALE-SS64	6.93	5.214	1.706	0.47	0.12
SP	21	VAL SILLARO	33.27	8.704	23.538	1.87	1.37

Denominazione		Estesa km	Number of Level Miles (MI)	Number of Miles on Grade (Mg)	Average Percent Grade for Miles on Grade (Pg)	Average Percent Grade ^e	
SP	22	VALLE DELL'IDICE-SS65	6.68	0.751	5.861	6.22	5.52
SP	23	PONTE VERZUNO-SUVIANA	9.81	1.950	7.841	2.21	1.77
SP	24	GRIZZANA	12.70	0.800	11.816	5.78	5.42
SP	25	VERGATO-ZOCCA	16.98	0.626	16.131	3.93	3.78
SP	26	VALLE DEL LAVINO	39.44	5.470	34.016	3.02	2.60
SP	27	VALLE DEL SAMOGGIA	32.42	7.510	24.747	3.27	2.51
SP	28	CROCE DELL'IDICE	5.94	3.039	2.961	1.16	0.57
SP	29	MEDICINA-S.ANTONIO DI QUADERNA	24.16	19.626	3.583	0.48	0.07
SP	30	TRENTOLA	12.04	6.384	5.575	0.81	0.38
SP	31	COLUNGA	21.68	15.318	5.762	0.47	0.13
SP	32	MORDANO-BAGNARA	0.39	0.413	0.000	0.00	0.00
SP	33	CASOLANA	7.07	0.585	6.498	5.50	5.05
SP	34	GESSO	12.52	0.237	12.248	5.89	5.79
SP	35	SASSONERO	10.11	0.188	9.866	7.28	7.17
SP	36	VAL DI ZENA	16.11	3.018	12.951	1.63	1.32
SP	37	GANZOLE	9.70	0.901	8.501	5.24	4.62
SP	38	MONZUNO-RIOVEGGIO	7.46	0.626	6.790	6.69	6.14
SP	39	TRASSERRA	8.97	0.626	8.343	5.86	5.46
SP	40	PASSO ZANCHETTO-PORRETTA TERME	23.43	1.484	21.538	4.60	4.31
SP	41	CASTELFRANCO	4.91	4.079	0.814	0.25	0.04
SP	42	CENTESE	13.13	10.356	2.826	0.39	0.08
SP	43	BADI-RIO CONFINI	4.03	0.892	3.295	1.72	1.36
SP	44	BASSA BOLOGNESE	10.91	7.747	3.247	0.67	0.20
SP	45	SALICETO	10.19	8.758	1.506	0.28	0.04
SP	46	CASTEL MAGGIORE-GRANAROLO	7.19	4.057	2.847	0.58	0.28
SP	47	BARICELLA-ALTEDO	4.38	4.388	0.000	0.21	0.00
SP	48	CASTELLI GUELFI	8.02	4.243	3.833	0.97	0.46
SP	49	IMPERIALE	0.79	0.064	0.749	2.79	2.57
SP	50	S.ANTONIO	6.32	5.069	1.329	0.82	0.17
SP	51	MEDICINA-BIVIO SELICE	16.43	11.909	4.515	0.51	0.14
SP	52	PORRETTA-CASTEL DI CASIO	15.49	2.384	13.031	3.62	3.06
SP	53	BIVIO SELICE-MORDANO	4.21	1.723	2.521	0.54	0.32
SP	54	LUGHESE	12.81	10.612	2.236	0.66	0.11
SP	55	CASE FORLAI	10.26	2.637	6.956	3.61	2.47
SP	56	DOZZA	2.89	0.106	2.702	3.24	3.12
SP	57	MADOLMA	11.60	0.815	10.854	5.15	4.80
SP	58	PIEVE DEL PINO	17.60	1.224	16.284	4.52	4.21
SP	59	MONZUNO	18.66	0.457	17.601	5.92	5.78
SP	60	SAN BENEDETTO VAL DI SAMBRO	24.85	1.790	23.002	4.95	4.60
SP	61	VAL DI SAMBRO	19.87	1.616	17.952	3.97	3.65
SP	62	RIOLA-CAMUGNANO-CASTIGLIONE	28.33	2.706	25.477	3.37	3.07
SP	63	BIVIO LIZZO-CASTEL DI CASIO	4.16	0.752	3.341	6.16	5.04
SP	64	GRANAGLIONE-SS64	7.81	0.362	7.374	5.14	4.91
SP	65	DELLA FUTA (ex SS)	38.94	6.444	31.755	2.98	2.47
SP	66	QUERCIOLA-CONFINE MODENESE	3.82	0.138	3.685	4.89	4.72
SP	67	MARANO-CANEVACCIA	11.81	0.319	11.232	5.50	5.36

Denominazione			Estesa km	Number of Level Miles (Ml)	Number of Miles on Grade (Mg)	Average Percent Grade for Miles on Grade (Pg)	Average Percent Grade ^d
SP	68	VAL D'ANEVA	13.81	0.883	12.711	4.44	4.16
SP	69	PIAN DI VENOLA-CA' BORTOLANI	11.59	0.622	10.857	4.75	4.50
SP	70	VALLE TORRENTE GHIAIE	12.34	3.553	8.449	2.48	1.70
SP	71	CAVONE	15.21	1.902	13.070	6.07	5.24
SP	72	CAMPOLO-SERRA DEI GALLI	9.28	0.633	8.605	5.72	5.34
SP	73	STANCO	15.71	1.074	14.565	3.89	3.62
SP	74	MONGARDINO	10.61	1.024	9.542	4.64	4.20
SP	75	MONTEMAGGIORE	8.44	1.065	7.302	4.23	3.69
SP	76	STIORE	7.25	1.702	5.542	1.88	1.44
SP	77	GUIGLIA	3.21	0.916	2.285	2.94	2.10
SP	78	CASTELFRANCO-MONTEVEGLIO	6.03	2.673	3.117	0.96	0.56
SP	79	PIAN DI BALESTRA	22.74	1.183	21.349	4.70	4.46
SP	80	CARDINALA	3.46	1.486	0.100	0.23	0.01
SP	81	CAMPEGGIO	6.94	0.064	6.757	6.40	6.35
SP	82	GAGGIO-MASERA	7.49	0.381	7.038	3.67	3.48
SP	83	TANGENZIALE DI S. GIOVANNI IN PERSICETO	5.38	4.013	1.401	0.59	0.15
FVS		FONDOVALLE SAVENA	28.75	3.038	25.088	2.84	2.54
SP	253	SAN VITALE (ex SS)	33.81	28.170	5.023	0.40	0.06
SP	255	DI SAN MATTEO DELLA DECIMA (ex SS)	17.83	8.515	1.221	0.36	0.03
SP	324	DEL PASSO DELLE RADICI (ex SS)	24.80	1.724	22.913	3.51	3.27
SP	325	DI VAL DI SETTA E VAL DI BISENZIO (ex SS)	43.25	9.836	33.169	2.25	1.74
SP	568	DI CREVALCORE (ex SS)	24.15	24.407	5.776	0.60	0.12
SP	569	DI VIGNOLA (ex SS)	21.98	9.452	9.117	0.82	0.35
SP	610	SELICE O MONTANARA IMOLESE (ex SS)	39.05	15.139	24.022	1.72	1.06
SP	623	DEL PASSO BRASA (ex SS)	25.52	1.873	24.166	3.56	3.31
SP	632	TRAVERSA DI PRACCHIA (ex SS)	12.00	2.722	9.143	2.43	1.87

Nelle tabelle seguenti si riassumono i risultati ottenuti per la rete nel suo complesso.

Tabella 5.19 – Suddivisione della rete provinciale in funzione del TGM

TGM Interval	miglia	km
< 1000	60,06	96.66
1001 - 3000	177,77	286.09
3001 - 5000	352,81	567.80
5001 - 10000	159,99	257.48
> 10000	108,73	174.98

Tabella 5.20 – Suddivisione della rete in funzione della zona.

Totale [miglia]	Mountain	Flat	Rolling
854.125	31.050	325.276	497.799
%	3.64	38.08	58.28

Tabella 5.21 – Suddivisione della rete provinciale in funzione delle caratteristiche planimetriche.

ADT Interval	Number of Tangent Miles	Number of Curved Miles	Average Degree of Curvature for Curved Miles (D)	Average Radius of Horizontal Curve^a	Average Length of Curve (mi)
< 1000	8.86	51.20	15.07	0.077	0.04
1,001 - 3,000	59.64	118.13	13.43	0.101	0.05
3,001 - 5,000	148.61	204.20	9.90	0.137	0.05
5,001 - 10,000	73.11	86.88	9.28	0.160	0.06
> 10,000	75.28	33.44	6.87	0.182	0.05

Tabella 5.22 – Suddivisione della rete in funzione delle caratteristiche altimetriche.

ADT Interval	Number of Level Miles (M_l)	Number of Miles on Grade (M_g)	Average Percent Grade for Miles on Grade (P_g)	Average Percent Grade^a
< 1000	6.37	53.29	4.42	3.93
1,001 - 3,000	46.42	130.64	3.11	2.28
3,001 - 5,000	126.72	225.89	2.46	1.57
5,001 - 10,000	65.58	95.07	2.09	1.24
> 10,000	72.25	31.88	0.54	0.16

5.1.2.2 *Step 2. Acquisizione dei parametri geometrici*

In aggiunta ai valori di curvatura e di pendenza determinati nello step precedente, la procedura di calibrazione richiede ulteriori parametri geometrici. Nello specifico essi sono riportati nella tabella 5.23 e nella tabella 5.24.

Tabella 5.23 – Caratteristiche geometriche funzionali alla calibrazione (1).

Shoulder type (Paved/Gravel/Turf)	Paved
-----------------------------------	-------

Roadside Hazard Rating (RHR)	3
Driveway density (driveways/mi)	5
Presence of spiral transition curve(0/1/2)	1
Superelevation AMF (AMF4)	1
Passing lane (Yes/No)	No
Short four-lane section (Yes/No)	No
Two Way Left Turn Lane	No

Tabella 5.24 – Caratteristiche geometriche funzionali alla calibrazione (2).

ADT Interval (Vehicles/day)	ADT	Lane Width	Shoulder Width
	(vehicles/day)	(ft)	(ft)
< 1000	400	11	3.5
1,001 - 3,000	1800	11.5	5
3,001 - 5,000	3900	12	5
5,001 - 10,000	6900	12	6.25
> 10,000	13800	12	6.5

5.1.2.3 Step 3. Stima degli incidenti non interessati dalle intersezioni

Utilizzando l’algoritmo di previsione incidentale, si stima il numero degli incidenti annui per ogni singolo gruppo, non collegati alle intersezioni per i tronchi in rettilineo e per le curve. Quindi si somma il totale.

Tabella 5.25 – Stima del numero di incidenti sui rettilineo e sulle curve.

ADT Interval (Vehicles/day)	Mileage of rural two lane highways			Predicted number of non-intersection accident per year**		
	Tangent	Curve	Total	Tangent	Curve	Total
< 1000	8.86	51.2	60.06	0.9	20.7	22
1,001 - 3,000	59.64	118.13	177.77	26.2	188.5	215
3,001 - 5,000	148.61	204.2	352.81	136.8	513.2	650
5,001 - 10,000	73.11	86.88	159.99	114.8	342.4	457
> 10,000	75.28	33.44	108.72	231.0	224.6	456
Totale				510	1289	1799

5.1.2.4 Step 4. Determinazione del numero di incidenti non relativi alle intersezioni

Utilizzando i dati degli ultimi 3 anni, si determina il numero registrato di incidenti per anno non connessi alle intersezioni.

Tabella 5.26 – Incidenti non imputabili ad intersezioni negli ultimi 3 anni.

Anno	Incidenti tot.	Incidenti solo danni		Incidenti con feriti		Incidenti con feriti e morti		Feriti	Morti
2007	362	38	10.50 %	31 6	87.29 %	8	2.21 %	459	8
2006	377	16	4.24 %	34 5	91.51 %	16	4.24 %	574	20
2005	326	0	-	31 5	96.63 %	11	3.37 %	466	11
tot.	1065	54	5.07 %	97 6	91.64 %	35	3.29 %	1499	39

5.1.2.5 Step 5. Calcolo del fattore di calibrazione C_r

Si calcola il fattore di calibrazione C_r come il rapporto fra il numero totale di incidenti stimato dal modello (step 3) e il numero totale di incidenti registrato (step 4).

Tabella 5.27 – Determinazione del fattore di calibrazione C_r .

Recorded crashes for years	3	years	1065
Year 1 predicted crashes			1799
Year 2 predicted crashes			1799
Year 3 predicted crashes			1799
Total			5397
Ratio (fattore di calibrazione C_r)			0.197

5.1.2.6 Step 6. Inserimento del fattore C_r nel software.

Una volta determinato il fattore C_r , esso deve essere inserito nel file degli input dell’algoritmo di previsione incidentale.

Edit Crash Prediction Module Configuration Data

Title : rrr
 Comment : Default CPM calibration data set
 Created : Nov 21, 2008 12:55 PM
 Last Update : 12:14 PM

History
 Nov 21, 2008 12:55 PM - Raffa - created from data set 'Default'
 Nov 21, 2008 12:56 PM - Raffa - output file is config.cpm.rrr.xml
 Nov 21, 2008 12:56 PM - Raffa - edit (Default CPM calibration data set)

Calibration Factors | **Crash Severity Level Distributions** | **Crash Type/Manner of Collision Distributions**

Highway Segments : 0.20
 3-Leg STOP-controlled Intersections : 1.00
 4-Leg STOP-controlled Intersections : 1.00
 4-Leg Signalized Intersections : 1.00

Recompute distribution totals : Re-total

Ok Cancel

Figura 5.9 – Inserimento del fattore C_r nel software.

5.2 PROCEDURA DI ANALISI

L'analisi viene effettuata con l'IHSDM 2008 versione 5.0.1, che risulta essere la versione più aggiornata del software al momento dell'analisi.

Lo studio si focalizza sull'utilizzo del modulo Crash Predication Module (CPM) per il quale sono necessari i dati dell'andamento plano-altimetrico della strada che una serie di informazioni relative ai limiti di velocità, al TGM, alla larghezza delle corsie, alla densità degli accessi, alla carenza di sopraelevazione in curva, alla storia incidentale pregressa, etc. Tali dati sono stati individuati grazie alla banca dati del SIS della Provincia di Bologna.

La creazione della banca dati è ad opera della ditta GIOVE s.r.l. che si è occupata del rilievo ad alto rendimento della rete stradale provinciale. Infatti il post-processing delle informazioni acquisite in fase di rilievo ha permesso di:

1. Ricostruire l'andamento plano-altimetrico dei percorsi stradali (ottenuti mediante integrazione dei dati di posizione ricavati da DGPS, Sistema Inerziale e odometri) con inizializzazione e istituzione della progressivazione chilometrica.
2. L'associazione del patrimonio delle immagini georiferite, al grafo stradale ricostruito.
3. L'identificazione e la localizzazione di tutti gli eventi riconoscibili dalle immagini georiferite.
4. La misurazione di tutte le grandezze definite (larghezze strada, larghezza franchi, larghezza marciapiedi, altezza opere, dimensione pannelli pubblicitari etc.)

In questa analisi in particolare, i dati relativi all'incidentalità pregressa sono disponibili dal 2002 al 2007. Comunque, considerando che le condizioni della strada potrebbero essere cambiate in un così lungo periodo di tempo, verranno utilizzati i dati incidentali dal 2005 al 2007. Quindi, il periodo di previsione viene preso della stessa lunghezza dei dati a disposizione, ossia tre anni, dal 2009 al 2011.

E' stata effettuata una vista in loco per definire le condizioni correnti della SP 255 di S.Matteo della Decima. Le condizioni generali della strada in oggetto risultano buone. La pavimentazione è in buone condizioni, la segnaletica orizzontale è ben visibile e i segnali appaio ben installati.

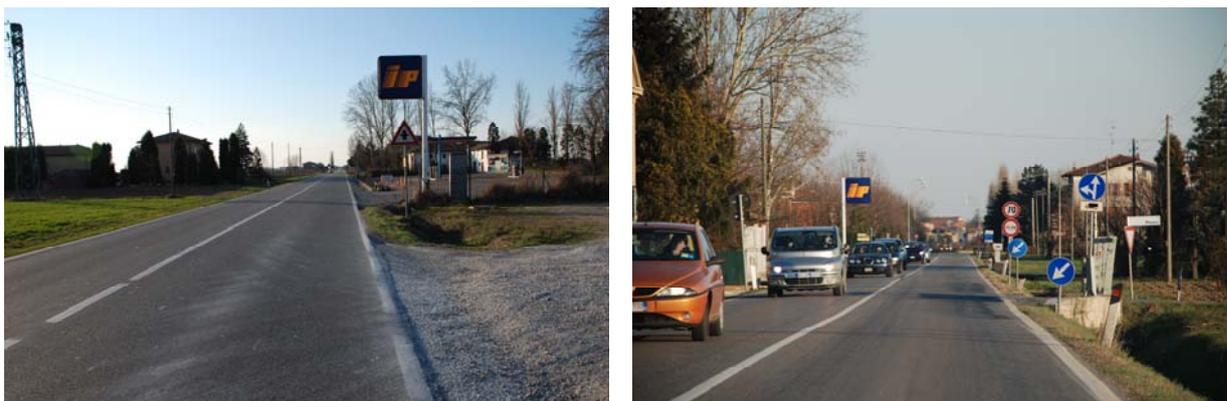


Figura 5.10 – SP 255 S. Matteo Decima, condizioni della pavimentazione e della segnaletica.

L'andamento planimetrico e altimetrico dell'asse stradale sono riportati nelle tabelle seguenti:

Tabella 5.28 – SP 255 S.Matteo Decima, andamento planimetrico dell'asse.

Element Type	Start Sta.	End Sta.	Curve Radius	Direction of Curve	Radius Position
Spiral	14+424.000	14+450.806	945.86	Right	End
Tangent	14+450.806	17+593.590			
Spiral	17+593.590	17+597.586	290.69	Left	End
Curve	17+597.586	17+641.537	290.69	Left	
Spiral	17+641.537	17+645.537	438	Right	End
Curve	17+645.537	17+692.077	438	Right	
Spiral	17+692.077	17+696.078	438	Right	Start
Tangent	17+696.078	21+229.740			
Spiral	21+229.740	21+233.741	96.11	Left	End
Curve	21+233.741	21+273.755	96.11	Left	
Spiral	21+273.755	21+277.758	96.11	Left	Start
Curve	21+277.758	21+337.712	46.96	Right	
Spiral	21+337.712	21+341.715	89.94	Left	End
Curve	21+341.715	21+373.725	89.94	Left	
Spiral	21+373.725	21+398.329	116.67	Left	End

Tabella 5.29 – SP 255 S.Matteo Decima, andamento altimetrico dell'asse.

Type	VPI/Start Sta.	End Sta.	Back Grade (%)	Back Length (m)	Forward Grade (%)	Forward Length (m)
VPI	14+437.400		0	13.4	0	13.4
VPI	14+454.760		0	3.95	-1.37	3.95
VPI	14+458.710		-1.37	0	-0.74	0
VPI	14+534.770		-0.74	0	-0.08	0
VPI	14+634.860		-0.08	0	0.15	0
VPI	14+706.890		0.15	0	0.15	0

Type	VPI/Start Sta.	End Sta.	Back Grade (%)	Back Length (m)	Forward Grade (%)	Forward Length (m)
VPI	14+834.980		0.15	24.01	-0.01	24.01
VPI	14+858.990		-0.01	0	0.24	0
VPI	14+999.090		0.24	0	-0.85	0
VPI	15+139.210		-0.85	0	-0.24	0
VPI	15+207.270		-0.24	0	-0.24	0
VPI	15+405.400		-0.24	2	-0.01	2
VPI	15+407.400		-0.01	0	0.17	0
VPI	15+567.500		0.17	0	0.17	0
VPI	15+673.575		0.17	22.02	0.2	22.02
VPI	15+695.590		0.2	0	0.2	0
VPI	15+837.675		0.2	62.04	-0.6	62.04
VPI	15+899.720		-0.6	0	-0.16	0
VPI	15+995.790		-0.16	0	0.12	0
VPI	16+123.910		0.12	0	0.12	0
VPI	16+238.005		0.12	2	0.2	2
VPI	16+240.010		0.2	0	-0.08	0
VPI	16+465.200		-0.08	0	-0.08	0
VPI	16+543.240		-0.08	2	-0.2	2
VPI	16+545.240		-0.2	0	0.07	0
VPI	16+712.960		0.07	0	0.07	0
VPI	16+773.010		0.07	4	0.17	4
VPI	16+777.010		0.17	0	0.17	0
VPI	16+905.085		0.17	24.02	0.27	24.02
VPI	16+929.110		0.27	0	0.11	0
VPI	17+093.230		0.11	0	0.11	0
VPI	17+321.360		0.11	32.02	-0.08	32.02
VPI	17+353.380		-0.08	0	-0.08	0
VPI	17+419.430		-0.08	2.01	-0.05	2.01
VPI	17+421.440		-0.05	0	-0.05	0
VPI	17+491.495		-0.05	14	0.29	14
VPI	17+505.500		0.29	0	0.29	0
VPI	17+585.555		0.29	4	0.29	4
VPI	17+635.150		0.29	45.59	0.29	45.59
VPI	17+684.475		0.29	3.74	-0.23	3.74
VPI	17+688.210		-0.23	0	-0.23	0
VPI	17+812.270		-0.23	4	-0.16	4
VPI	17+816.270		-0.16	0	-0.73	0
VPI	18+012.430		-0.73	0	-0.16	0
VPI	18+064.460		-0.16	0	-0.16	0
VPI	18+136.500		-0.16	4	-0.32	4
VPI	18+140.500		-0.32	0	-0.32	0
VPI	18+210.560		-0.32	14	-0.39	14
VPI	18+224.560		-0.39	0	0.15	0
VPI	18+280.590		0.15	0	-0.33	0
VPI	18+348.610		-0.33	0	-0.33	0
VPI	18+498.730		-0.33	6	-0.09	6
VPI	18+504.730		-0.09	0	-0.09	0
VPI	18+632.805		-0.09	40.04	0.16	40.04
VPI	18+672.840		0.16	0	-0.05	0

Type	VPI/Start Sta.	End Sta.	Back Grade (%)	Back Length (m)	Forward Grade (%)	Forward Length (m)
VPI	18+824.960		-0.05	0	0.16	0
VPI	18+909.010		0.16	0	-0.08	0
VPI	18+997.070		-0.08	0	0.28	0
VPI	19+193.200		0.28	0	0.28	0
VPI	19+415.355		0.28	38.02	-0.27	38.02
VPI	19+453.370		-0.27	0	0.1	0
VPI	19+609.470		0.1	0	0.1	0
VPI	19+683.545		0.1	14.02	-0.07	14.02
VPI	19+697.560		-0.07	0	-0.07	0
VPI	19+779.620		-0.07	2	-0.19	2
VPI	19+781.620		-0.19	0	0.14	0
VPI	20+089.840		0.14	0	-0.06	0
VPI	20+229.950		-0.06	0	0.18	0
VPI	20+294.010		0.18	0	-0.32	0
VPI	20+362.040		-0.32	0	-0.32	0
VPI	20+476.090		-0.32	2	-0.16	2
VPI	20+478.090		-0.16	0	-0.16	0
VPI	20+552.150		-0.16	6	-0.07	6
VPI	20+558.150		-0.07	0	-0.18	0
VPI	20+626.170		-0.18	0	0.2	0
VPI	20+734.230		0.2	0	0.33	0
VPI	20+994.410		0.33	0	0.33	0
VPI	21+207.605		0.33	26.12	-0.33	26.12
VPI	21+233.720		-0.33	0	-0.33	0
VPI	21+333.735		-0.33	40	-0.33	40
VPI	21+386.025		-0.33	12.3	-0.33	12.3

I dati incidentali, relativi al tronco in analisi sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 5.30 – SP 255, dati di incidentalità anni 2002-2007.

ANN O	SEVERITA'	RELAZIONE A INTERSEZIONE	km
2004	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	14+426.000
2003	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	14+504.000
2003	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	15+000.000
2007	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	15+432.000
2006	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	15+557.670
2007	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	15+741.760
2004	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	16+294.950
2004	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	16+556.130
2002	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	17+000.000
2007	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	17+066.210
2006	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	17+334.300
2002	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	17+637.610
2004	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	17+710.100
2007	Fatal or nonfatal injury	Intersection-related	18+000.000
2004	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	18+000.000
2004	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	18+682.900

ANN O	SEVERITA'	RELAZIONE A INTERSEZIONE	km
2002	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	19+000.000
2007	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	19+458.130
2006	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	19+512.200
2004	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	19+676.600
2007	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	19+688.300
2003	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	20+000.000
2003	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	20+106.750
2004	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	20+436.480
2006	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	20+695.100
2004	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	20+714.920
2003	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	20+802.200
2005	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	20+818.500
2007	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	20+826.200
2002	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	20+950.000
2006	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	21+052.000
2002	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	21+062.000
2002	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	21+198.000
2003	Fatal or nonfatal injury	Non-intersection-related	21+230.000

5.2.1 Risultati di previsione incidentale per la SP 255

Nell'intenzione di valutare la sensibilità del CPM sono stati portati avanti due test: una valutazione con l'ausilio della storia incidentale pregressa e una senza. Il confronto dei risultati ottenuti può servire per controllare la capacità del CPM di effettuare appropriate previsioni incidentali indipendentemente dalla storia incidentale pregressa. Questa capacità diventa importante quando si vuole testare l'efficacia di più alternative nei confronti della riduzione incidentale. Infatti, nella valutazione di più alternative differenti la storia incidentale pregressa delle varie alternative risulta non disponibile. Per questo motivo, essere in grado di fare delle previsioni incidentali lungo la sezione senza storia incidentale pregressa è importante.

Per assicurare la precisione e l'attendibilità dell'analisi, solo gli incidenti dal 2003 al 2007 sono stati utilizzati e cinque anni di previsione, dal 2009 al 2013, sono stati scelti.

La tabella 5.31 presenta in sintesi i risultati in numero di incidenti per la SP 255 S. Matteo Decima nella sezione di studio dal km 14+424 al km 21+400, in funzione di diversi scenari di riferimento. La figura 5.11, la figura 5.12, la figura 5.13, la figura 5.14 e la figura 5.15 sono rappresentazioni grafiche dei risultati mostrati in forma tabellare, preparate per aiutare a visualizzare meglio la differenza in numero di incidenti lungo la sezione di studio, mentre la figura 5.15 e la figura 5.16 mostrano la differenza tra i risultati nei diversi scenari prospettati, sia dal punto di vista degli incidenti totali che da quello del tasso incidentale.

La tabella 5.37 mostra i dati statistici delle differenze tra gli incidenti stimati con e senza la storia incidentale pregressa. Essa mostra come la differenza media tra il numero di incidenti tra i due metodi è minore di 0.5 e che l'errore standard della media risulta molto basso (0.091). Dai dati presentati nella tabella 5.37 si può affermare che il modello di previsione incidentale senza l'uso della storia incidentale pregressa può produrre stime simili a quelle ottenute utilizzando la storia incidentale pregressa.

Tabella 5.31 – SP 255, Incidenti totali in funzione di diversi scenari di riferimento.

SP 255 S. MATTEO DECIMA tratto km 14+424 al km 21+400				
Stima incidentale - intervallo 2009 2013 -				
C _r Factor		Scenari		
		no intervento (n.tot. inc.)	Intervento (n.tot. inc.)	Riduzione
si	no	12.58	10.93	13.12%
si	si	17.64	15.58	11.68%
no	no	60.64	53.05	12.52%
no	si	35.79	34.11	4.69%

Tabella 5.32 – Risultati di previsione incidentale per la SP 255 nell'ipotesi di non intervento.

Scenario di non intervento					
km		No. of Crashes (2009-2013)			No. of Crashes (2003-2007)
From	To	w/o Crashes	with Crashes	Diff.	Crash History
14 424	14 707	0.44	1.03	0.59	2
14 707	14 999	0.46	0.29	0.17	0
14 999	15 207	0.32	0.59	0.27	1
15 207	15 568	0.55	1.11	0.56	1
15 568	15 838	0.41	0.64	0.23	2
15 838	16 124	0.45	0.29	0.16	0
16 124	16 465	0.51	0.71	0.2	1
16 465	16 773	0.47	0.68	0.21	1
16 773	17 093	0.5	0.69	0.19	0
17 093	17 419	0.5	0.71	0.21	2
17 419	17 692	0.66	0.33	0.33	0
17 692	18 012	0.49	1.45	0.96	2
18 012	18 348	0.52	0.33	0.19	0
18 348	18 673	0.5	0.33	0.17	1
18 673	18 997	0.49	0.7	0.21	0
18 997	19 415	0.64	0.41	0.23	0
19 415	19 697	0.43	1.79	1.36	4
19 697	20 090	0.6	0.76	0.16	1
20 090	20 362	0.41	0.64	0.23	1
20 362	20 626	0.4	0.64	0.24	2
20 626	20 994	0.57	2.25	1.68	4
20 994	21 398	2.26	1.28	0.98	2
tot.		12.58	17.65	5.07	27

Tabella 5.33– Risultati di previsione incidentale per la SP 255 nell'ipotesi d'intervento.

Scenario d'intervento					
km		No. of Crashes (2009-2013)			No. of Crashes (2003-2007)
From	To	w/o Crashes	with Crashes	Diff.	Crash History
14 424	14 707	0.44	1.03	0.59	2
14 707	14 999	0.46	0.29	0.17	0
14 999	15 207	0.32	0.59	0.27	1
15 207	15 568	0.55	1.11	0.56	1

Scenario d'intervento						
15 568	15 838	0.41	0.64	0.23	2	
15 838	16 124	0.45	0.29	0.16	0	
16 124	16 465	0.51	0.71	0.2	1	
16 465	16 773	0.47	0.68	0.21	1	
16 773	17 093	0.5	0.69	0.19	0	
17 093	17 419	0.5	0.71	0.21	2	
17 419	17 692	0.66	0.33	0.33	0	
17 692	18 012	0.49	1.45	0.96	2	
18 012	18 348	0.52	0.33	0.19	0	
18 348	18 673	0.5	0.33	0.17	1	
18 673	18 997	0.49	0.7	0.21	0	
18 997	19 415	0.53	0.36	0.17	0	
19 415	19 697	0.29	1.36	1.07	4	
19 697	20 090	0.4	0.58	0.18	1	
20 090	20 362	0.28	0.49	0.21	1	
20 362	20 626	0.28	0.48	0.2	2	
20 626	20 994	0.38	1.7	1.32	4	
20 994	21 398	1.5	1.02	0.48	2	
tot.		10.93	15.87	4.94	27	

Tabella 5.34 – Tasso d'incidentalità risultati di previsione incidentale per la SP 255 nell'ipotesi di non intervento.

Scenario di non intervento					
km		Length (km)	Expected Crash Rate (2009-2013) (crashes/million vehicle-km)		
From	To		w/o Crashes	with Crashes	Diff.
14 424	14 707	0.28	0.72	3.06	2.34
14 707	14 999	0.29	0.36	0.24	0.12
14 999	15 207	0.21	0.24	0.37	0.13
15 207	15 568	0.36	0.36	0.6	0.24
15 568	15 838	0.27	0.36	0.44	0.08
15 838	16 124	0.29	0.36	0.24	0.12
16 124	16 465	0.34	0.36	0.37	0.01
16 465	16 773	0.31	0.48	0.49	0.01
16 773	17 093	0.32	0.48	0.5	0.02
17 093	17 419	0.33	0.36	1.15	0.79
17 419	17 692	0.27	2.38	1.15	1.23
17 692	18 012	0.32	0.36	0.78	0.42
18 012	18 348	0.34	0.84	0.56	0.28
18 348	18 673	0.32	0.48	0.32	0.16
18 673	18 997	0.32	0.36	0.43	0.07
18 997	19 415	0.42	0.24	0.16	0.08
19 415	19 697	0.28	0.48	3.17	2.69
19 697	20 090	0.39	0.36	0.33	0.03
20 090	20 362	0.27	0.36	0.45	0.09
20 362	20 626	0.26	0.6	0.66	0.06
20 626	20 994	0.37	0.24	1.04	0.8
20 994	21 398	0.40	5.37	2.4	2.97
tot.		6.9741	16.15	18.91	2.76

Tabella 5.35–Tasso d’incidentalità, risultati di previsione incidentale per la SP 255 nell’ipotesi d’intervento.

Scenario d’intervento					
km		Length (km)	Expected Crash Rate (2009-2013) (crashes/million vehicle-km)		
From	To		w/o Crashes	with Crashes	Diff.
14 424	14 707	0.28	0.72	3.06	2.34
14 707	14 999	0.29	0.36	0.24	0.12
14 999	15 207	0.21	0.24	0.37	0.13
15 207	15 568	0.36	0.36	0.6	0.24
15 568	15 838	0.27	0.36	0.44	0.08
15 838	16 124	0.29	0.36	0.24	0.12
16 124	16 465	0.34	0.36	0.37	0.01
16 465	16 773	0.31	0.48	0.49	0.01
16 773	17 093	0.32	0.48	0.5	0.02
17 093	17 419	0.33	0.36	1.15	0.79
17 419	17 692	0.27	2.38	1.15	1.23
17 692	18 012	0.32	0.36	0.78	0.42
18 012	18 348	0.34	0.84	0.56	0.28
18 348	18 673	0.32	0.48	0.32	0.16
18 673	18 997	0.32	0.36	0.43	0.07
18 997	19 415	0.42	0.2	0.14	0.06
19 415	19 697	0.28	0.32	2.41	2.09
19 697	20 090	0.39	0.24	0.25	0.01
20 090	20 362	0.27	0.24	0.34	0.1
20 362	20 626	0.26	0.4	0.49	0.09
20 626	20 994	0.37	0.16	0.79	0.63
20 994	21 398	0.40	3.59	1.92	1.67
tot.		6.9741	13.65	17.04	3.39

Tabella 5.36 – Confronto tra gli scenari d’intervento.

Confronto scenari													
km		No. of Crashes (2009-2013) w/o Crashes			No. of Crashes (2009-2013) with Crashes			Expected Crash Rate (2009-2013) w/o Crashes			Expected Crash Rate (2009-2013) with Crashes		
From	To	no interv.	Interv.	Diff.	no interv.	Interv.	Diff.	no interv.	Interv.	Diff.	no interv.	Interv.	Diff.
18 997	19 415	0.64	0.53	0.11	0.41	0.36	0.05	0.24	0.2	0.04	0.16	0.14	0.02
19 415	19 697	0.43	0.29	0.14	1.79	1.36	0.43	0.48	0.32	0.16	3.17	2.41	0.76
19 697	20 090	0.6	0.4	0.2	0.76	0.58	0.18	0.36	0.24	0.12	0.33	0.25	0.08
20 090	20 362	0.41	0.28	0.13	0.64	0.49	0.15	0.36	0.24	0.12	0.45	0.34	0.11
20 362	20 626	0.4	0.28	0.12	0.64	0.48	0.16	0.6	0.4	0.2	0.66	0.49	0.17
20 626	20 994	0.57	0.38	0.19	2.25	1.7	0.55	0.24	0.16	0.08	1.04	0.79	0.25
20 994	21 398	2.26	1.5	0.76	1.28	1.02	0.26	5.37	3.59	1.78	2.4	1.92	0.48
tot.		1.65			1.78			2.5			1.87		

Tabella 5.37 – Sommario statistico delle differenze tra i risultati in numero di incidenti ottenuti con e senza storia incidentale progressa

Numero	22
Media	0.433
E. S. della media	0.091
Deviazione std.	0.428
Varianza	0.183
Mediana	0.230

Curtosi	2.907
Asimmetria	1.917
Intervallo	1.520
Minimo	0.160
Massimo	1.680
Mediana dei gruppi	0.227

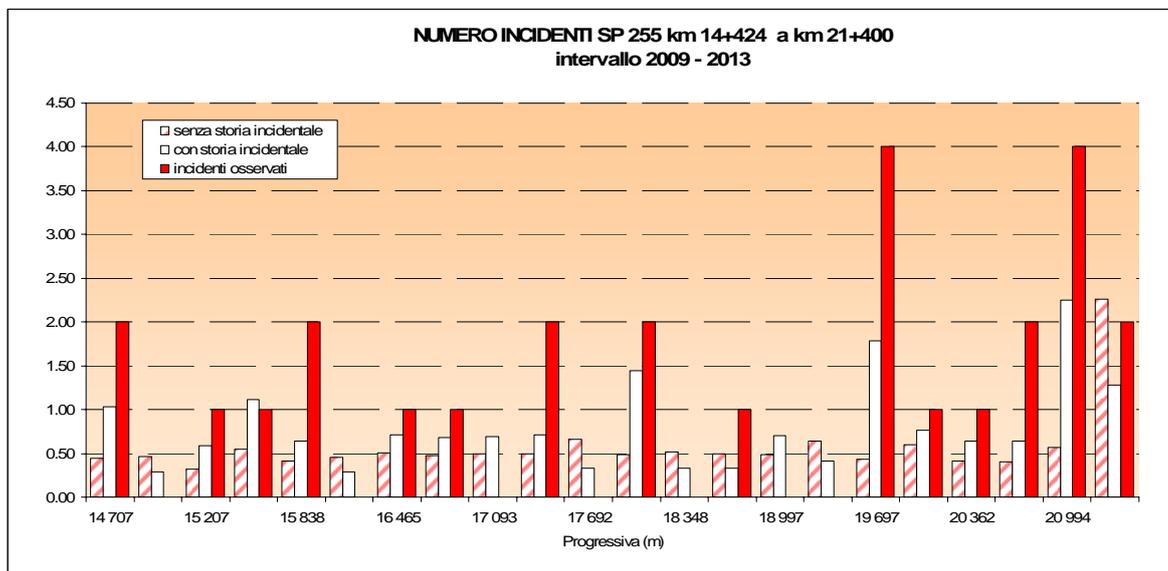


Figura 5.11 – Numero di incidenti atteso nell'ipotesi di non intervento.

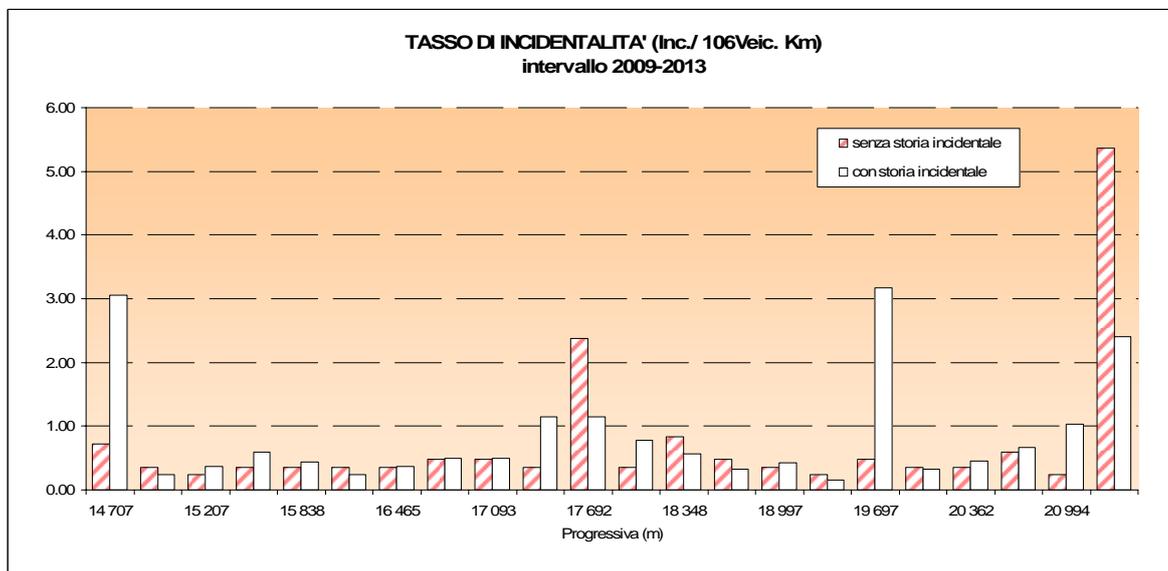


Figura 5.12 – Tasso d'incidenti atteso nell'ipotesi di non intervento.

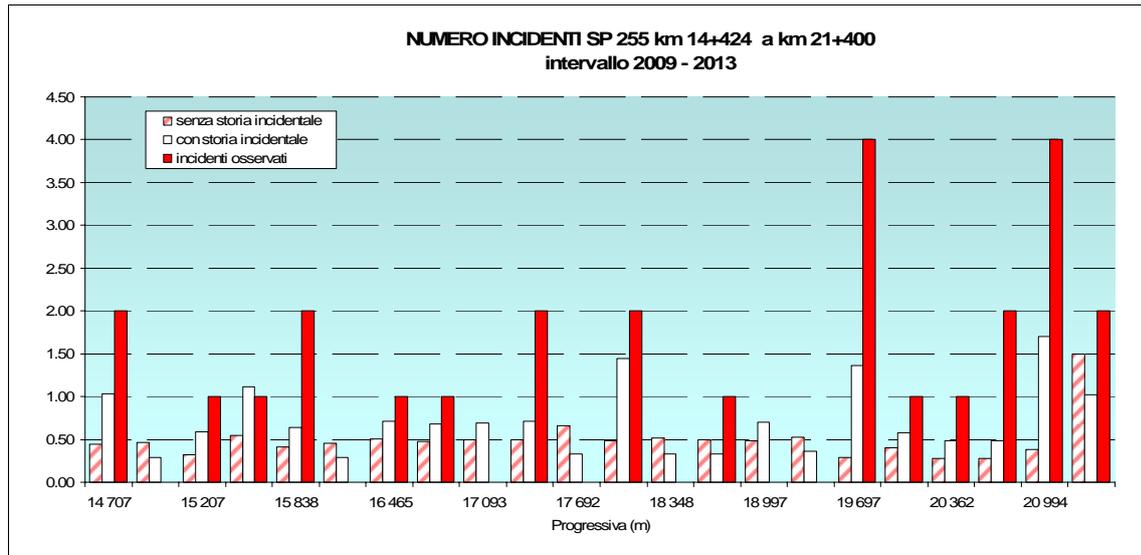


Figura 5.13 – Numero di incidenti atteso nell'ipotesi d' intervento.

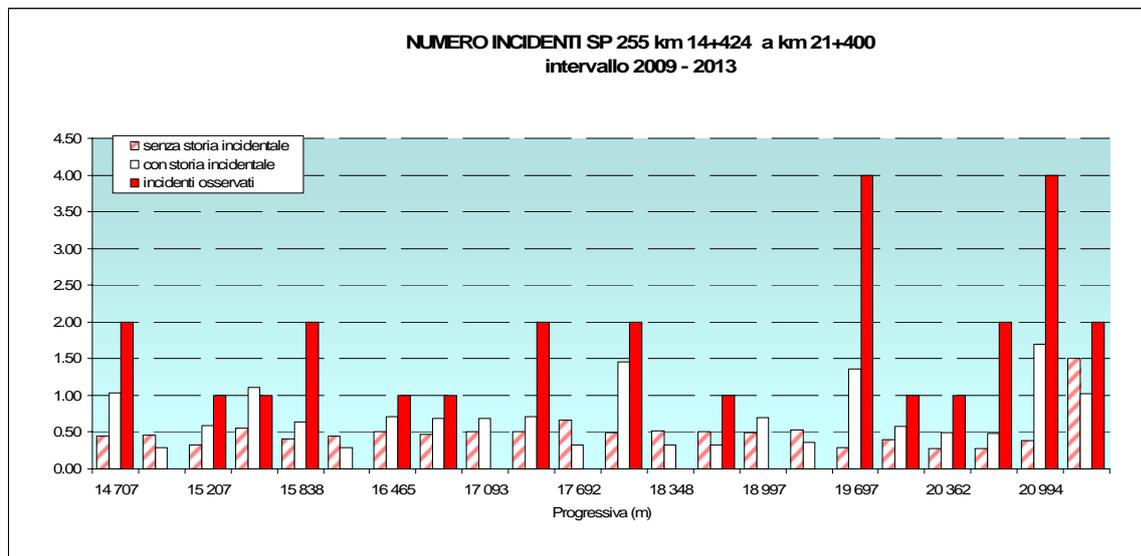


Figura 5.14 – Tasso d'incidenti atteso nell'ipotesi d' intervento.

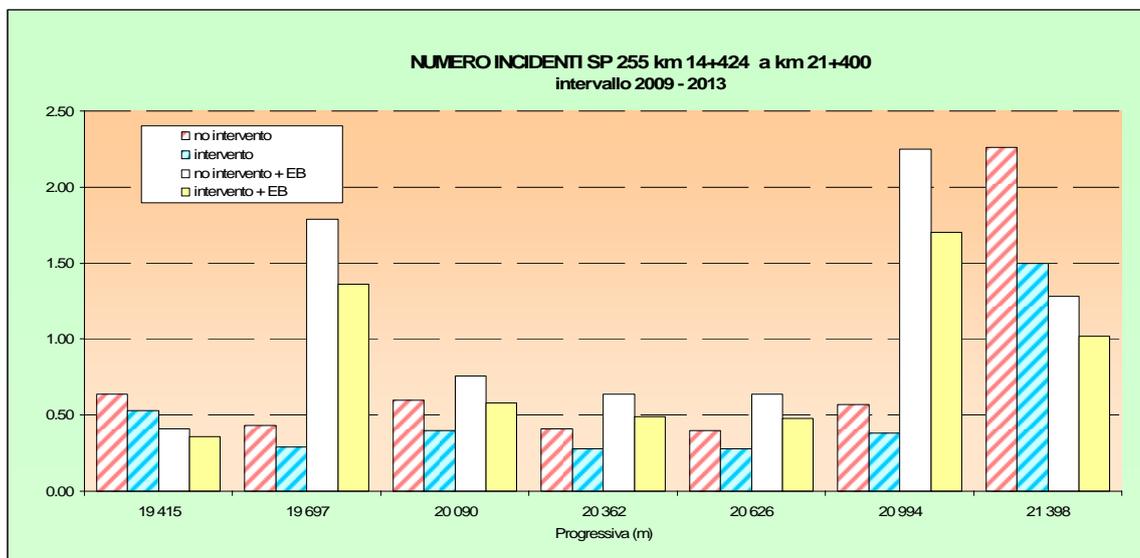


Figura 5.15 – Confronto del numero di incidenti nei diversi scenari di riferimento.

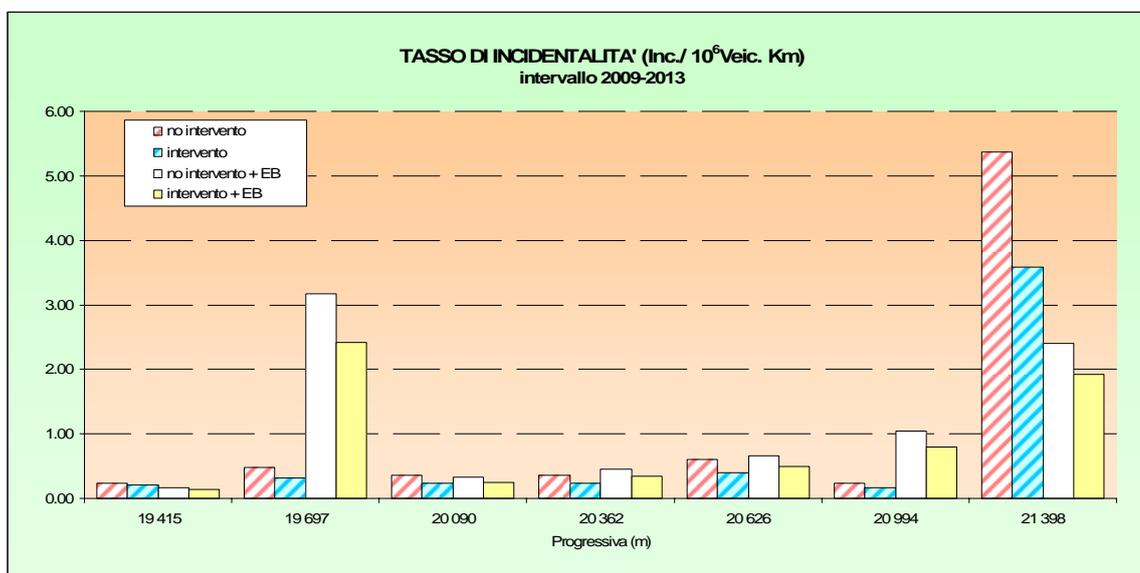


Figura 5.16 – Confronto del tasso di incidentalità nei diversi scenari di riferimento.

Prima di analizzare i risultati, una cosa va tenuta ben presente, è irrealistico pensare che il CPM abbia la capacità di predire esattamente il numero di incidenti che avverranno in futuro. Gli analisti devono utilizzare i risultati per individuare un trend generale e determinare le zone in cui un maggior numero di incidenti potrebbe avvenire, invece di utilizzare il numero di incidenti determinato dal CPM come il numero “reale” di incidenti che avverranno.

Come si evince dai dati presentati (tabella 5.31), l'utilizzo del modello senza la procedura di calibrazione porta a risultati molto lontani rispetto a quelli ottenuti applicando il fattore di calibrazione C_r e rispetto ai dati osservati in sito. Questo non

fa che confermare la necessità del processo di calibrazione prima di effettuare le analisi.

Inoltre l'analisi dei risultati ha messo in evidenza come la storia incidentale pregressa in base alla quale combinare con il metodo Empirico Bayesiano gli incidenti previsti con quelli osservati, comporta sensibili modifiche nei **valori assoluti** dei risultati. Ciò può essere attribuito a due diversi fattori:

- sia il modello base che gli AMF prendono in considerazione molti fattori geometrici e di traffico ma non tutti quelli effettivamente coinvolti nel fenomeno;
- sebbene il contributo di ciascun fattore sia stato definito da un gruppo di esperti sulla base di una estesa letteratura internazionale, ognuno di essi viene considerato indipendente e quindi non si tiene conto delle reciproche interazioni. In effetti tali interazioni non sono ancora sufficientemente conosciute e quindi oggi non è possibile definirle in modo quantitativamente corretto.

Pertanto, in presenza di una storia incidentale, l'utilizzo del modello predittivo insieme alla procedura EB consente di attenuare l'indeterminatezza statistica del dato incidentale che, soprattutto nella viabilità extraurbana secondaria e locale con basso e medio traffico, non presenta una numerosità sufficiente per compensare la variabilità casuale del fenomeno e quindi fornire da solo informazioni attendibili.

Di contro, in assenza di storia incidentale, la procedura consente una efficace analisi comparativa tra tronchi stradali differenti o tra differenti soluzioni progettuali. Infatti, si è potuto verificare che il grado di priorità resta sostanzialmente invariato rispetto a quello ottenuto utilizzando il dato corretto tramite la storia incidentale.

Per quanto riguarda la determinazione dell'efficacia dell'intervento di riqualificazione in oggetto, si è osservata una riduzione del 13.12% degli incidenti senza l'uso della storia incidentale pregressa e del 11.68% con l'utilizzo della storia incidentale pregressa, la vicinanza di questi risultati mostra come l'algoritmo sia in grado di cogliere il trend incidentale sia con che senza la storia incidentale pregressa.

Conclusioni e spunti di ricerca

In questo studio sono stati trattati i temi di ricerca riguardanti la valutazione del livello di rischio di un'infrastruttura stradale e quindi l'individuazione di uno strumento mediante il quale sia possibile passare da una formulazione concettuale di principio delle problematiche connesse con la sicurezza stradale a più puntuali e concrete applicazioni ingegneristiche che possano contribuire a ridurre la grave piaga dell'incidentalità stradale.

Tale strumento, l'algoritmo di previsione incidentale denominato Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM) è stato applicato ad un caso reale, nello specifico un tratto della SP 255 di S. Matteo della Decima. Tale applicazione ha evidenziato come il Sistema Informativo Stradale della provincia di Bologna può essere sfruttato a pieno per realizzare un'analisi di sicurezza sia nella fase fondamentale della calibrazione del modello che nell'applicazione ad uno specifico tronco, superando le difficoltà legate alla mancanza di dati relativi alle caratteristiche geometriche dell'infrastruttura e quelli relativi agli incidenti.

I risultati ottenuti, oltre ad aver permesso di testare l'affidabilità dell'algoritmo con e senza storia incidentale, ha messo in evidenza come la fruibilità e la completezza dei dati a disposizione possono costituire una base concreta per sviluppi futuri di ricerca come ad esempio l'indagine sulle correlazioni esistenti tra le variabili indipendenti che agiscono sulla sicurezza stradale al fine di migliorare il modello previsionale utilizzato.

Glossario

Le definizioni seguenti provengono dalla Circolare Ministeriale e dal codice della strada.

BANCHINA: Parte della strada, libera da qualsiasi ostacolo (segnaletica verticale, catarifrangenti, dispositivi di ritenuta), compresa tra il margine della carreggiata e il più vicino tra i seguenti elementi longitudinali: marciapiede, spartitraffico, arginello, ciglio interno della cunetta, ciglio superiore della scarpata nei rilevati.

Si distingue in:

“Banchina in destra”, che ha funzione di Franco laterale destro. E di norma pavimentata ed è sostituita, in talune tipologie di sezione, dalla corsia di emergenza.

“Banchina in sinistra” che è la parte pavimentata del margine interno.

CARREGGIATA: Parte della strada destinata allo scorrimento dei veicoli; essa è composta da una o più corsie di marcia, è pavimentata ed è delimitata da strisce di margine (segnaletica orizzontale).

LARGHEZZA DELLA CARREGGIATA: nel caso di unico elemento a due carreggiate, la larghezza va specificata sia per quelle in destra che per quella a sinistra.

CIPPO: segnale di identificazione strade e progressive distanziometriche.

CONFINE STRADALE: limite della proprietà stradale quale risulta dagli atti di acquisizione o dalle Fasce di esproprio del progetto approvato; in mancanza, il confine è costituito dal ciglio esterno del fosso di guardia o della cunetta, ove esistenti o dal piede della scarpata se la strada è in rilevato o dal ciglio superiore della scarpata se la strada è in trincea.

CORSIA: parte longitudinale della strada delimitata da segnaletica orizzontale, di larghezza idonea permettere il transito di una sola fila di veicoli. Si distingue in:

- a) corsia di marcia: corsia facente parte della carreggiata, destinata alla normale percorrenza o al sorpasso;
- b) Corsia riservata: corsia di marcia destinata alla circolazione esclusiva di una o solo di alcune categorie di veicoli;
- c) Corsia specializzata: corsia destinata ai veicoli che si accingono ad effettuare determinate manovre, quali svolta, attraversamento, sorpasso, decelerazione, accelerazione, manovra per la sosta o che presentino basse velocità (corsie di arrampicamento) o altro;
- d) Corsia di emergenza: corsia, adiacente alla carreggiata destinata alle soste di emergenza, al transito dei veicoli di soccorso ed, eccezionalmente, al movimento dei pedoni.

CANALETTA: manufatto destinato allo smaltimento delle acque meteoriche o di drenaggio, realizzato longitudinalmente od anche trasversalmente all’andamento della strada.

DISPOSITIVO DI RITENUTA: elemento tendente ad evitare la fuoriuscita dei veicoli dalla carreggiata o comunque ridurne le conseguenze dannose. E contenuto all’interno dello spartitraffico o del margine esterno alla piattaforma.

FASCIA DI PERTINENZA: striscia di terreno compresa tra la carreggiata e il confine stradale. È parte della proprietà stradale e può essere utilizzata solo per la realizzazione di altre parti della strada.

FASCIA DI RISPETTO: striscia di terreno, esterna al confine stradale, sulla quale esistono vincoli alla realizzazione, da parte del proprietario del terreno, di costruzioni, recinzioni, piantagioni, depositi e simili.

FASCIA DI SOSTA LATERALE: parte della strada adiacente alla carreggiata, separata da questa mediante striscia di margine discontinua e comprendente la fila degli stalli di sosta e la relativa corsia di manovra.

FRANCO: parte della piattaforma al di là della striscia di margine, collocata sul lato esterno della carreggiata, comprendente la banchina o la corsia di emergenza nonché, ove presente, la fascia di sosta laterale o di fermata.

LARGHEZZA DEL FRANCO: va misurata dall'asse della striscia di delimitazione della carreggiata al margine esterno della banchina, della corsia di emergenza o della fascia di sosta laterale.

INCLINAZIONE: è l'angolo misurato in senso orario fra l'asse dell'elemento stradale e l'asse dell'accesso orientato in verso uscente dalla strada.

INTERSEZIONE: area comune a più strade, organizzata in modo da consentire lo smistamento delle correnti di traffico dall'una all'altra di esse.

LANTERNA SEMAFORICA: la lanterna semaforica può servire per regolare il traffico nel tempo (lanterne semaforiche veicolari,) oppure semplicemente per segnalare ai conducente, in prossimità una intersezione o di un punto pericoloso, di moderare la velocità (lanterne semaforiche gialle lampeggianti).

LIVELLETTA: tratto di strada a pendenza longitudinale costante.

MARCIAPIEDE: parte della strada, esterna alla carreggiata, rialzata o altrimenti delimitata e protetta, destinata ai pedoni.

MARGINE INTERNO O LATERALE: parte della piattaforma che separa corsie percorse in senso opposto (margine interno) o nello stesso senso (margine laterale).

MARGINE ESTERNO: parte della sede stradale, esterna alla piattaforma, nella quale trovano sede cigli e cunette, arginelli, marciapiedi e gli elementi di arredo (dispositivi di ritenuta, parapetti sostegni, ecc..).

ALTEZZA OPERA DI SOSTEGNO: va misurata dalla quota dell'asse dell'elemento stradale, con segno + o - in relazione a tale quota.

PARCHEGGIO: area o infrastruttura posta fuori della carreggiata, destinata alla sosta regolamentata o non dei veicoli.

PIATTAFORMA: parte della sede stradale che comprende i seguenti elementi:

- a) una o più carreggiate complanari, di cui la corsia costituisce il modulo fondamentale;
- b) le banchine in destra e in sinistra;
- c) i margini (eventuali) interno e laterale (comprensivi delle banchine);

- d) le corsie riservate, le corsie specializzate, le fasce di sosta laterale e le piazzole di sosta e di Fermata dei mezzi pubblici.

Non rientra nella piattaforma il margine esterno.

PIAZZOLA DI SOSTA: parte della strada, di lunghezza limitata, adiacente esternamente alla banchina, destinata alla sosta dei veicoli.

PISTA CICLABILE: parte longitudinale della strada, opportunamente delimitata, riservata alla circolazione dei velocipedi.

LARGHEZZA DELLA PISTA CICLABILE: va indicata solamente se la pista stessa si trova collocata in adiacenza e continuità con gli altri elementi della sezione.

SEDE STRADALE: superficie compresa entro i confini stradali.

SEDE TRANVIARIA: parte longitudinale della strada, opportunamente delimitata, riservata alla circolazione dei tram e dei veicoli assimilabili.

SPARTITRAFFICO: parte non carrabile del margine, destinata alla separazione fisica di correnti veicolari. Comprende anche lo spazio destinato al funzionamento dei dispositivi di ritenuta.

LARGHEZZA DELLO SPARTITRAFFICO: va misurata prendendo come riferimento i margini delle banchine.

STRADA EXTRAURBANA: strada esterna ai centri abitati.

STRADA URBANA: strada interna ad un centro abitato

INCIDENTI: Incidenti stradali con danni alle persone registrati dall'ISTAT sulla base dei verbali redatti dalle polizie stradali (salvo diversa indicazione). Nell'anno 2000 l'ISTAT ha registrato 229.000 incidenti con danni alle persone, nello stesso anno le compagnie di assicurazioni hanno ricevuto denunce per 4.900.000 incidenti e hanno dato seguito alle denunce relative a 4.500.000 incidenti ("Relazione sull'attività svolta nel 2002", ISVAP, 2003).

MORTI: Persone decedute a causa di un incidente stradale entro 28 giorni dalla data dell'incidente stesso (fino al 2000, entro 7 giorni).

FERITI: Persone che hanno subito un danno biologico a causa di un incidente stradale.

COSTO SOCIALE (CsS): Costo sostenuto dall'amministrazione pubblica, dalle imprese e dalle famiglie a causa dei danni alle persone (morti e feriti) e alle cose. Il dato, ove non diversamente indicato, è espresso in milioni di Euro (M€). Il Piano Nazionale della Sicurezza Stradale fissa i parametri medi di riferimento del costo sociale in € 1.394.434 per ogni persona deceduta e € 73.631 per ogni persona ferita.

DANNO SOCIALE: Con questo termine si indica complessivamente l'entità delle vittime (morti e feriti), dei danni alle cose e degli effetti indiretti determinati dagli incidenti stradali.

INDICI DI RISCHIO: Misurano il rapporto tra danno sociale e popolazione e sono: il tasso di incidentalità, TI (incidenti per 100.000 abitanti), il tasso di mortalità, TM, (morti per 100.000 abitanti), il tasso di ferimento, TF, (feriti per 100.000 abitanti) e il costo sociale procapite, CsP, (costo sociale per abitante). Gli indici di rischio specifici misurano il numero

di incidenti o vittime di una determinata categoria (ad esempio feriti tra gli anziani) sulla popolazione complessiva della stessa categoria (anziani nel complesso).

INDICI DI VULNERABILITÀ: Misurano il rapporto tra danno sociale e volume di traffico (quest'ultimo è rappresentativo della esposizione al rischio). Il volume di traffico, ove non diversamente indicato, è misurato in numero di spostamenti. Gli indici di vulnerabilità sono: l'indice di incidentalità, VnI (incidenti per milione di spostamenti), l'indice di mortalità, VnM, (morti per milione di spostamenti), l'indice di ferimento, VnF, (feriti per milione di spostamenti) e l'indice di costo sociale procapite, VnC, (costo sociale per milione di spostamenti).

INDICI DI DENSITÀ: Pongono in relazione il danno sociale e l'infrastruttura ove questo si determina e viene espresso in numero di incidenti (DI), numero di morti (DM), numero di feriti (DF) e costo sociale (DCS) per 100 chilometri di estesa.

INDICI DI RICORSIVITÀ: Misurano la ripetizione di incidenti su una stessa tratta (chilometrica) stradale al fine di trarre indicazioni sulla presenza di fattori di rischio puntuali (da individuare, ovviamente, con altri strumenti).

INDICI DI GRAVITÀ: Rapporto tra il numero di morti e il numero complessivo di vittime, morti e feriti (IG).

Bibliografia

- [1] Commissione Europea, *Rapporto intermedio*, 10 febbraio 2002.
- [2] Commissione Europea, *Libro Bianco sulla Politica europea dei trasporti fino al 2010: il momento delle scelte*, (2003-2010), COM(2001)370, 2001.
- [3] Conferenza Europea dei Ministri dei Trasporti - CEMT, *Dati preliminari sulla sicurezza stradale in Europa nel 2004*, 2005.
- [4] Commissione Europea, DG Energy and Transport, ECORYS – SWOV (Netherlands), *Impact Assessment Road Safety Action Programme, Assessment for mid term review, Final Report*, Rotterdam 2005.
- [5] Commissione Europea, *Direttiva del Parlamento Europeo e della Consiglio sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali*, 6 ottobre 2008.
- [6] Istat, *Volumi di statistica degli incidenti stradali (anni 1991-2004)*, 2005.
- [7] Istat, *Volumi di statistica degli incidenti stradali (anni 1991-2005)*, 2006.
- [8] ACI, *Localizzazione degli incidenti stradali 2005*, (Roma Gennaio 2007).
- [9] Provincia di Bologna, *Piano Provinciale per la sicurezza stradale, Relazione Generale*. Giugno 2007.
- [10] Provincia di Bologna, *Piano della mobilità Provinciale, Quadro conoscitivo*. Maggio 2009.
- [11] Provincia di Bologna, *Osservatorio Provinciale dell'incidentalità stradale, Gli incidenti stradali in provincia di Bologna*. Ottobre 2009.
- [12] Simone A., *Analisi della sicurezza stradale mediante sistemi informativi ed algoritmi fuzzy*. Tesi di dottorato. Novembre 1998.
- [13] Biasuzzi K., *Studi dell'efficacia degli interventi di ingegneria della sicurezza nella riqualificazione di infrastrutture stradali*. Tesi di dottorato. Marzo 2005.
- [14] Marinelli M., *Criteri progettuali ed analisi del rischio nell'ottimizzazione dei tracciati stradali per i veicoli a due ruote*. Tesi di dottorato. Marzo 2006.
- [15] Esposito T., Mauro R., *Alcuni metodi e modelli per lo studio dell'incidentalità stradale una sintesi critica*.
- [16] Cafiso S., Di Graziano A., La Cava G., Taormina S., *Analisi Predittiva dell'Incidentalità su strade italiane mediante l'utilizzo del modllo IHSDM*. XVI Convegno nazionale S.I.I.V, 2006.

- [17] Utah D.T.R.I.D., *Evaluation of the applicability of the Interactive Highway Safety Design Model to safety audits of two-lane rural highways*. Marzo 2008.
- [18] Harwood, D.W., Council, F.M., Hauer, E., Hughes, W.E., and Vogt, A., “*Prediction of the Expected Safety Performance of Rural Two-Lane Highways.*” Report No. FHWA-RD-99- 207. FHWA, US Department of Transportation, 2000.
- [19] Kinney, R., *Experience Using Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM) to Evaluate Alternatives for a Rural Mountainous Two-Lane Highway, 3R Project*. 2005 ITE District 6 Annual Meeting Proceedings (CD-ROM).
- [20] E. Hauer, D. W. Harwood, F. M. Council and M. S. Griffith (2001) “*Estimating safety by the Empirical Bayes method: a tutorial*”, EB in IHSDM, TBR Paper.
- [21] Bauer, K. M., and D. W. Harwood, *Statistical Models of At-Grade Intersection Accidents, Report No. FHWA-RD-96-125*, Federal Highway Administration, 1996.
- [22] Hauer, E., *Observational Before-After Studies in Traffic Safety*, Elsevier Science, 1997.
- [23] Vogt, A., and J.G. Bared, *Accident Models for Two-Lane Rural Roads: Segments and Intersections, Report No. FHWA-RD-98-133*, Federal Highway Administration, October 1998.
- [24] Vogt, A., and J.G. Bared, “*Accident Models for Two-Lane Rural Segments and Intersection,*” *Transportation Research Record 1635*, Transportation Research Board, 1998.
- [25] Vogt, A., *Crash Models for Rural Intersections: 4-Lane by 2-Lane Stop-Controlled and 2-Lane by 2-Lane Signalized, Report No. FHWA-RD-99-128*, Federal Highway Administration, October 1999.
- [26] Zegeer, C. V., D. W. Reinfurt, J. Hummer, L. Herf, and W. Hunter, “*Safety Effects of Cross-Section Design for Two-Lane Roads*”, *Transportation Research Record 1195*, Transportation Research Board, 1988.
- [27] Zegeer, C. V., R. Stewart, F. Council, and T. R. Neuman, “*Accident Relationships of Roadway Width on Low-Volume Roads,*” *Transportation Research Record 1445*, Transportation Research Board, 1994.
- [28] Zegeer, C. V., R. C. Deen, and J. G. Mayes, “*Effect of Lane and Shoulder Width on Accident Reduction on Rural, Two-Lane Roads,*” *Transportation Research Record 806*, Transportation Research Board, 1981.

- [29] Miaou, S-P., *Measuring the Goodness-of-Fit of Accident Prediction Models*, Report No. FHWA-RD-96-040, Federal Highway Administration, December 1996.
- [30] Griffin, L. I., and K. K. Mak, *The Benefits to Be Achieved from Widening Rural, Two-Lane Farm-to-Market Roads in Texas*, Report No. IAC(86-87) - 1039, Texas Transportation Institute, College Station, TX, April 1987.
- [31] Miaou, S-P., “*Development of Adjustment Factors for Single-Vehicle Run-Off-Road Accidents Rates by Horizontal Curvature and Grade*,” Oak Ridge National Laboratory, draft, August 3, 1995.
- [32] Rinde, E. A., *Accident Rates vs. Shoulder Width*, Report No. CA-DOT-TR-3147- -77- 01, California Department of Transportation, 1977.
- [33] Zegeer, C. V., J. R. Stewart, F. M. Council, D. W. Reinfurt, and E. Hamilton, “*Safety Effects of Geometric Improvements on Horizontal Curves*,” Transportation Research Record 1356, Transportation Research Board, 1992.
- [34] AASHTO, *A Policy on Geometric Design of Highway and Streets*. Washington, D.C., U.S.A., 2004.
- [35] Zegeer, C., R. Stewart, D. Reinfurt, F. Council, T. Neuman, E. Hamilton, T. Miller, and W. Hunter, *Cost-Effective Geometric Improvements for Safety Upgrading of Horizontal Curves*, Report No. FHWA-R0-90-021, Federal Highway Administration, October 1991.
- [36] Miaou, S-P., “*Vertical Grade Analysis Summary*,” unpublished, May 1998.
- [37] Muskaug, R., *Accident Rates on National Roads*, Institute of Transport Economics, Oslo, Norway, 1985.
- [38] Transportation Research Board, “*Driveway and Street Intersection Spacing*,” Transportation Research Circular 456, March 1996.
- [39] Harwood, D. W., and A. D. St. John, *Passing Lanes and Other Operational Improvements on Two-Lane Highways*, Report No. FHWA/RD-85/028, Federal Highway Administration, July 1984.
- [40] Nettelblad, P., *Traffic Safety Effects of Passing (Climbing) Lanes: An Accident Analysis Based on Data for 1972-1977*, Meddelande TU 1979-5, Swedish National Road Administration, 1979.
- [41] Hauer, E., “*Two-Way Left-Turn Lanes: Review and Interpretation of Published Literature*,” unpublished, 1999.
- [42] D.L. 30/04/1992, n. 285 e succ. modd., *Nuovo Codice della Strada*.

- [43] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Decreto 5 novembre 2001, “*Norme funzionali e Geometriche per la Costruzione delle Strade*”, G.U. N.5 del 4 gennaio 2002.
- [44] CNR (1983), *Norme sulle Caratteristiche Geometriche e di Traffico delle Intersezioni Stradali Urbane*. Norme Tecniche CNR, n. 30.
- [45] CNR - Consiglio Nazionale delle Ricerche, Commissione di studio per le norme relative ai materiali stradali e progettazione, costruzione e manutenzione strade. D.P. CNR N. 13465 del 11/09/1995. “*Criteri per la classificazione delle strade esistenti ai sensi dell'art. 13, comma 4 e 5 del Nuovo Codice della Strada*”, Rapporto Finale, approvato in data 13/03/1998.
- [46] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Ispettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale, “*Linee Guida per le Analisi di Sicurezza delle Strade*”. Circolare N. 3699 dell'8 giugno 2001.
- [47] Caliendo C., Parisi A., Villani P., *Analisi dell'incidentalità sulle strade a carreggiate separate in relazione alle caratteristiche dell'infrastruttura e dell'intensità della pioggia*, XIII Convegno Nazionale S.I.I.V. Padova 30/31 Ottobre 2003.
- [48] Cafiso S., Di Graziano A., La Cava G., Calabrò S., (2003), *Progettazione e sperimentazione di un sistema per il rilievo ad alto rendimento della viabilità in esercizio*, XIII Convegno Nazionale SIIV, Padova.
- [49] www.aiscat.it
- [50] www.tfhr.gov/safety/ihsdm/ihsdm.htm
- [51] www.istat.it
- [52] www.provincia.bologna.it/viabilità