

Università degli Studi di Bologna

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

DISTART

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

**CRITERI PROGETTUALI ED ANALISI DEL
RISCHIO NELL'OTTIMIZZAZIONE DEI TRACCIATI
STRADALI PER I VEICOLI A DUE RUOTE**

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

Tesi di dottorato di:

Dott. Ing. MARGHERITA MARINELLI

I Tutor:

Prof. Ing. GIULIO DONDI

Prof. Ing. ANDREA SIMONE

Il Coordinatore:

Prof. Ing. MARINO LUPI

INDICE

| | |
|--|-----------|
| I. INTRODUZIONE | 1 |
| I.1 DEFINIZIONE DEGLI OBIETTIVI DELLA RICERCA | 1 |
| CAPITOLO 1: ANALISI DELL'INCIDENTALITA' NELL'UNIONE EUROPEA | 3 |
| 1.1 SITUAZIONE IN EUROPA..... | 3 |
| 1.2 SITUAZIONE IN ITALIA | 7 |
| 1.3 MOTOCICLISTI UTENTI DEBOLI | 15 |
| 1.3.1 I dati europei | 16 |
| 1.3.2 I dati italiani..... | 23 |
| 1.4 NECESSITA' DI NUOVI STRUMENTI PER ANALISI DELLA SICUREZZA STRADALE | 27 |
| | |
| CAPITOLO 2: STRUMENTI EUROPEI PER LA GESTIONE DELLA SICUREZZA E LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO..... | 28 |
| 2.1 COMPETENZE E INIZIATIVE DELL'UNIONE EUROPEA IN MATERIA DI SICUREZZA STRADALE | 28 |
| 2.2 METODOLOGIA PER LA GESTIONE DELLA SICUREZZA..... | 34 |
| 2.2.1 Road Safety Impact Assessment..... | 35 |
| 2.2.2 Road Safety Audit | 36 |
| 2.2.3. Network Safety High-Risk Road Section Management | 37 |
| 2.2.4 Road Safety Inspections..... | 39 |
| 2.3 MODELLI ESISTENTI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO | 41 |
| 2.3.1 Modello matematico – statistico..... | 41 |
| 2.3.2 Modello deterministico..... | 44 |
| 2.3.3 Modello previsionale | 44 |
| 2.3.3.1 Hazard Analysis..... | 44 |
| 2.3.3.2 Modello di Intelligenza Artificiale..... | 47 |
| 2.3.4 Modello in realtà virtuale..... | 48 |
| 2.4 RICERCA DI NUOVI CRITERI PROGETTUALI ALLA LUCE DELLE RECENTI DISPOSIZIONI EUROPEE..... | 50 |
| | |
| CAPITOLO 3: STUDIO DELLA SICUREZZA DEI MOTOVEICOLI | 51 |
| 3.1 DEFINIZIONE DI SICUREZZA | 51 |
| 3.2 ESPOSIZIONE..... | 54 |
| 3.3 CONSEGUENZE | 57 |

| | | |
|--|---|------------|
| 3.3.1 | <i>Tecniche di ricostruzione di un impatto</i> | 57 |
| 3.3.1.1 | Analisi della traiettoria | 58 |
| 3.3.1.2 | Analisi del danno | 60 |
| 3.3.2 | <i>Conseguenze delle diverse configurazioni di impatto</i> | 62 |
| 3.4 | RISCHIO | 65 |
| | | |
| CAPITOLO 4: ANALISI DEI FATTORI DI RISCHIO PER I TWD | | 70 |
| 4.1 | PREMESSA | 70 |
| 4.2 | VEICOLO | 70 |
| 4.2.1 | <i>Meccanica del veicolo</i> | 70 |
| 4.2.1.1 | Mancanza di carrozzeria | 72 |
| 4.2.1.2 | Stabilità | 73 |
| 4.2.1.3 | Aderenza | 75 |
| 4.2.2 | <i>Motociclista</i> | 84 |
| 4.2.2.1 | Visuale | 84 |
| 4.2.2.2 | Mancata percezione | 85 |
| 4.3 | FATTORE AMBIENTALE | 88 |
| 4.4 | FATTORE INFRASTRUTTURA | 91 |
| 4.4.1 | <i>Criteri progettuali</i> | 91 |
| 4.4.1.1 | Compatibilità DM 5/11/2001 con le caratteristiche dei veicoli a due ruote | 92 |
| 4.4.1.2 | Curve | 95 |
| 4.4.1.3 | Intersezioni | 99 |
| 4.4.1.4 | Sezione stradale | 101 |
| 4.4.2 | <i>Opere complementari</i> | 108 |
| 4.4.2.1 | Elementi a margine della carreggiata | 108 |
| 4.4.2.2 | Elementi interni alla carreggiata | 126 |
| 4.5 | INTRODUZIONE FATTORE DI RISCHIO “TRAFFICO ETEROGENEO” | 131 |
| | | |
| CAPITOLO 5: INDIVIDUAZIONE DEI PARAMETRI CRITICI DI UN TRAFFICO ETEROGENEO | | 132 |
| | | |
| 5.1 | PREMESSA | 132 |
| 5.2 | RELAZIONE FRA VELOCITÀ-FLUSSO - INCIDENTI PER TRAFFICO ETEROGENEO | 133 |
| 5.2.1 | <i>Funzioni di performance</i> | 133 |
| 5.2.2 | <i>Funzioni di performance traffico eterogeneo</i> | 134 |
| 5.2.3 | <i>Definizione di Capacità</i> | 135 |
| 5.3 | CARATTERISTICHE DEL SORPASSO E DELLA MARCIA IN FILE PARALLELE | 138 |
| 5.4 | ANALISI DELLE INTERAZIONI ALLE INTERSEZIONI SEMAFORIZZATE | 143 |
| 5.5 | SINTESI DELLE PROBLEMATICHE DI UN TRAFFICO ETEROGENEO | 147 |
| | | |
| CAPITOLO 6: L’EVENTO INCIDENTALE PER I TWD | | 148 |
| 6.1 | SCENARI DI INCIDENTE | 148 |
| 6.2 | SCENARI DI INCIDENTE NELLE DUE RUOTE | 150 |
| 6.2.1 | <i>Confronto fra gli incidenti dei motocicli e dei ciclomotori</i> | 151 |
| 6.2.2 | <i>Incidenti con veicolo isolato</i> | 154 |
| 6.2.2.1 | Tipologie di incidenti per veicolo isolato | 155 |
| 6.2.3 | <i>Incidenti con più veicoli coinvolti</i> | 158 |
| 6.2.3.1 | Tipologie di incidenti con più veicoli coinvolti | 158 |
| 6.3 | INDIVIDUAZIONE SCENARIO INCIDENTALE AD ALTO RISCHIO | 163 |
| | | |
| CAPITOLO 7: MODELLO ANALITICO PREVISIONALE PER L’INCIDENTALITA’ DEI MOTOVEICOLI | | 165 |
| | | |
| 7.1 | MODELLO PREVISIONALE MATEMATICO-STATISTICO | 165 |
| 7.2 | MODELLI ALLE INTERSEZIONI URBANE IN LETTERATURA | 166 |
| 7.2.1 | <i>Modelli in presenza di uno o più flussi veicolari</i> | 166 |
| 7.2.1.1 | Modello di Tanner | 167 |

| | |
|---|------------|
| 7.2.1.2 Modello del TRL (Transport Research Laboratory)..... | 167 |
| 7.2.1.3 Modello di Bonneson and McCoy..... | 168 |
| 7.2.1.4 Modello di Brude & Hedman | 168 |
| 7.2.1.5 Modello PTRC- Stark..... | 169 |
| 7.2.1.6 Modello di Martine Vertet & Thierry Brenac..... | 169 |
| 7.3 MODELLO PER MOTOVEICOLI | 171 |
| 7.5 INDIVIDUAZIONE SIGNIFICATIVITA' DEI PARAMETRI..... | 174 |
| 7.5.1 Flussi | 174 |
| 7.5.2 Larghezza della banchina..... | 175 |
| 7.5.3 Velocità..... | 176 |
| 7.5.4 Larghezza delle corsie..... | 179 |
| 7.5.5 Numero delle corsie..... | 179 |
| 7.5.6 Destinazione d'uso | 180 |
| 7.4 APPLICAZIONE DEL MODELLO A DUE INTERSEZIONI URBANE | 182 |
| 7.4.1 Studio dei flussi di traffico..... | 186 |
| 7.4.1.1 Installazione dei conta traffico..... | 186 |
| 7.4.1.2 Installazione Telecamere..... | 189 |
| 7.4.1.3 Presentazione dati di traffico | 190 |
| 7.4.2 Stima dell'incidentalità dei motoveicoli | 206 |
| 7.4.2.1 Analisi Intersezione 1 semaforizzata | 207 |
| 7.4.2.2 Analisi Intersezione 2 non semaforizzata..... | 209 |
| 7.4. CONFRONTO DEI RISULTATI CON I DATI DI INCIDENTALITA' DISPONIBILI | 211 |
| 7.6 RIFLESSIONI SUL MODELLO PREVISIONALE IN ESAME | 216 |
| | |
| CONCLUSIONI E SPUNTI DI RICERCA | 218 |
| | |
| BIBLIOGRAFIA | 220 |

Parole chiave

Sicurezza stradale

Motoveicoli

Traffico eterogeneo

Analisi del rischio

Modello previsionale

I. INTRODUZIONE

1.1 DEFINIZIONE DEGLI OBIETTIVI DELLA RICERCA

La ricerca condotta rientra nell'obiettivo, fissato nel 1997 dalla Comunità Europea, nel Secondo Programma di Azione, di ridurre il numero delle vittime della strada del 40% entro il 2010, e poi portato al 50% nel Libro Bianco sulla Politica europea dei trasporti 2003-2010.

Sebbene sia indiscusso che gli interventi fino ad ora adottati, sia di tipo legislativo che di ingegneria della sicurezza, abbiano contribuito a ridurre il numero e la gravità degli incidenti che coinvolgono gli utenti dei veicoli a quattro ruote, non sembra tuttavia che rivestano la stessa efficacia nel ridurre il numero delle vittime fra gli utenti dei veicoli a due ruote motorizzati (TWD, Two Wheel Drive). Infatti l'esame dei dati incidentali condotto in Europa, e in particolare in Italia, ha permesso di constatare che mentre il numero di incidenti totali potrà essere dimezzato, il numero dei morti e feriti tra i motociclisti sarà in continuo aumento, secondo un tasso di crescita tale da potere ipotizzare che nel 2010 la percentuale di vittime fra i TWD sarà doppia di quella attuale.

In tale contesto si inserisce la Proposta di Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio che si fonda sull'importanza del fattore infrastruttura negli incidenti stradali mortali, e sulla necessità di intervenire per un miglioramento di tutta la rete Transeuropea. Ad oggi, infatti, l'infrastruttura viene ritenuta una delle principali cause di incidente. Poiché si crede che tale criticità dipenda in primo luogo dal fatto che sia le misure di sicurezza stradale che le diverse normative nel panorama europeo sono rivolte esclusivamente ad utenti a quattro ruote, senza prendere in considerazione in nessun modo i TWD, è stata intrapresa una ricerca sui criteri progettuali relativi alla sicurezza di tale categoria di veicoli.

Lo studio, nello specifico, riporta una breve analisi di ciascuno dei fattori che permettono di valutare la sicurezza stradale (esposizione, conseguenze e rischio) focalizzando poi l'attenzione sul rischio, ritenuto il fattore maggiormente significativo ai fini di un'analisi sui criteri di sicurezza relativa ai TWD, in quanto si ritiene che un'adeguata percezione e conoscenza del pericolo sia fondamentale per individuare come ottimizzare il tracciato aumentandone la sicurezza.

In particolare l'analisi dei fattori di rischio ha riguardato le componenti principali del sistema stradale: il veicolo (sia dal punto di vista del mezzo, che dal punto di vista dell'utente), l'ambiente e l'infrastruttura (sia dal punto di vista della progettazione, che dal punto di vista delle opere complementari).

A fianco di tali fattori di rischio è stato analizzato il fattore "traffico eterogeneo". Infatti da diversi studi, ed in particolare da quello condotto dal Dipartimento dei trasporti di Londra,

del novembre 2004, “Road Safety Research Report N°54, In-depth study of motorcycle accidents” è emerso come per aumentare la sicurezza dei TWD non sia sufficiente analizzare la dinamica del veicolo a due ruote “isolato”, ma sia fondamentale comprendere l’interazione con gli altri veicoli, esaminando il comportamento di tutti gli utenti della strada.

Questo deriva dalla considerazione che per l’analisi dell’incidentalità delle due ruote ha notevole importanza la composizione della corrente veicolare e l’interazione fra veicoli differenti, per dimensioni e caratteristiche dinamiche, che interagiscono nel medesimo spazio.

Lo studio delle principali problematiche di un traffico eterogeneo, ha preso in considerazione sia le caratteristiche di marcia in file parallele sia quelle di accumulo alle intersezioni semaforizzate. Da tale analisi si è potuto dedurre come le condizioni di marcia di un flusso eterogeneo, e quindi le condizioni di sicurezza, varino in funzione della geometria della sezione e delle percentuali delle diverse componenti di traffico. Una volta individuati i principali fattori di rischio per le due ruote si è cercato di comprendere come tali fattori interagissero all’atto dell’evento incidentale, cercando di definire i principali scenari di incidente.

Sulla base dei risultati ottenuti è stato analizzato lo scenario di scontro laterale - frontale fra un veicolo a due ruote e uno a quattro ruote, che è risultato essere quello più frequente e quello caratterizzato da una maggiore gravità.

Nello specifico è stata verificata la validità di un modello analitico previsionale per le intersezioni urbane sia semaforizzate che regolate da precedenza appartenenti alla realtà nazionale.

È stato così possibile definire il rapporto fra la sicurezza di un’infrastruttura e specifici parametri relativi al rischio delle due ruote risultati dalla ricerca condotta.

CAPITOLO 1: ANALISI DELL'INCIDENTALITA' NELL'UNIONE EUROPEA

1.1 SITUAZIONE IN EUROPA

La mobilità in Europa comporta ogni anno 1'300'000 incidenti che causano più di 40'000 morti e 1'700'000 feriti [23].

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 [12] 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 pertanto 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 [3].

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 motocicli), 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% all'anno del numero di incidenti¹, mentre tra il 1994 e il 2000 la mortalità per incidenti stradali era calata soltanto del 2% all'anno ed il numero di incidenti aveva registrato un leggero aumento.

Nonostante questi dati, il "Rapporto di Bilancio Intermedio della Comunità Europea" [5], 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 ha contribuito il fatto che proprio 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 talià degli Stati Membri) | EU15 Stati Membri prima del 2004 | AT | Austria |
| | | BE | Belgio |
| | | DE | Germania |
| | | DK | Danimarca |
| | | ES | Spagna |
| | | EL | Grecia |
| | | FR | Francia |
| | | FI | Finlandia |
| | | IT | Italia |
| | | IE | Irlanda |
| | | LU | Lussembourg |
| | | NL | Paesi Bassi |
| | | PT | Portogallo |
| | | SE | Svezia |
| | | UK | Regno Unito |
| | EU10 Stati Membri entrati dopo 2004 | CY | Cipro |
| | | CZ | Repubblica Ceca |
| | | EE | Estonia |
| | | HU | Ungheria |
| | | LV - | Lettonia |
| | LT | Lituania | |
| | MT | Malta | |
| | PL | Polonia | |
| | SK | Slovacchia | |
| | SI | 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 esposizione, in modo da poter valutare la reale dimensione del problema.

Si riportano, pertanto, nelle figure 1.1 e 1.2 gli indici standardizzati che rapportano il numero di morti o di feriti al numero degli abitanti.

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 un paese dell'Unione.

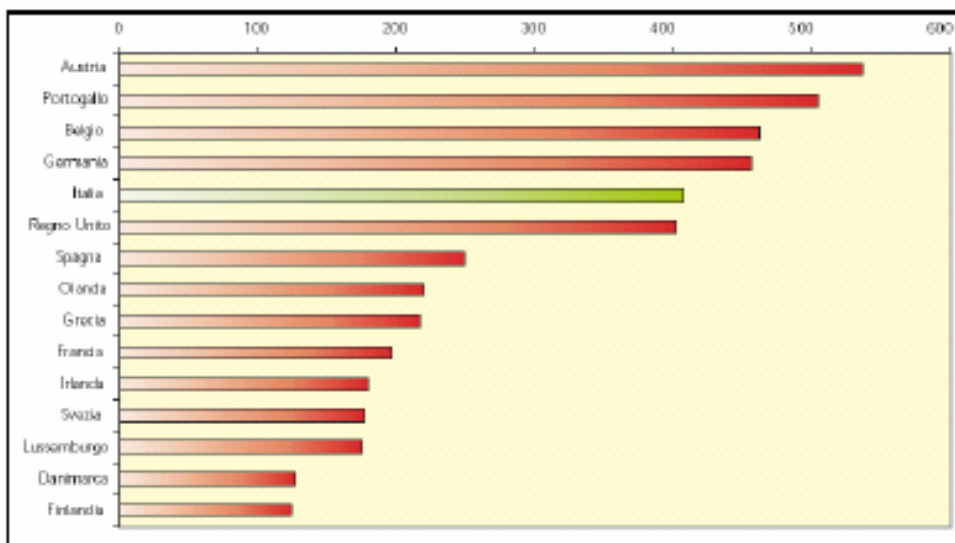


Figura 1.1 - Incidenti stradali ogni 100'000 abitanti nei paesi dell'UE

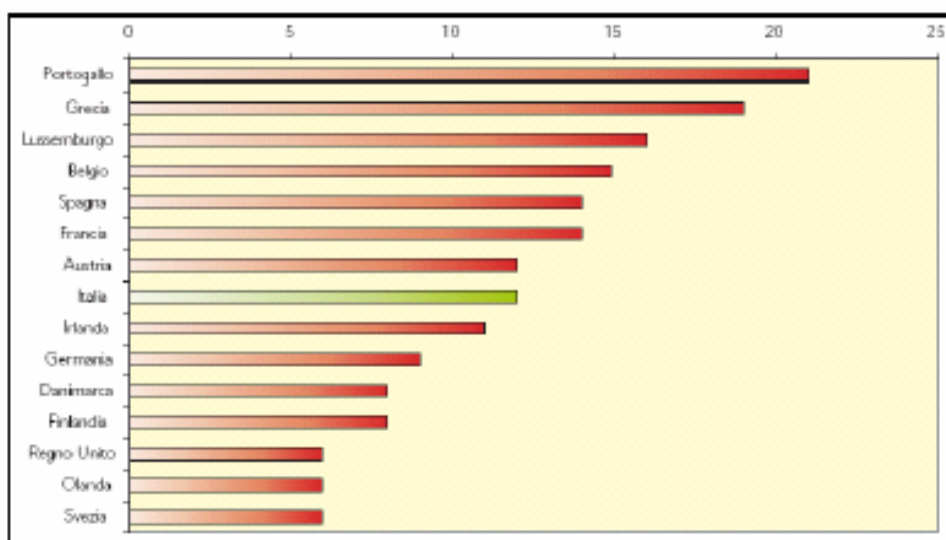


Figura 1.2 - Morti per incidente stradale ogni 100'000 abitanti nei paesi dell'UE

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

- a 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;
- a medio rischio: Austria, Belgio, Francia, Spagna, Irlanda e Italia;
- ad 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 all'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 [9]

| MORTI | Valori assoluti | | Variazioni percentuali |
|---------------|-----------------|---------------|------------------------|
| | 2003 | 2004 | 2004/2003 |
| Austria | 931 | 878 | -5,7 |
| Danimarca | 432 | 369 | -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 [9]

| 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 SITUAZIONE IN ITALIA

Come si è visto nel paragrafo precedente, nel nostro paese la percentuale di incidenti stradali per numero di abitanti sia, seppur di poco, al di sopra della media Europea.

Tuttavia è necessario sottolineare 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".

Inoltre si fa presente che la lettura dei dati assoluti relativi al numero di 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 di incidenti stradali tenda a crescere con l'aumentare del volume di circolazione in termini di veicoli, ossia con la quantità di chilometri complessivamente percorsi 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 comunque 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 di 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 procede ad analizzare 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 2005.

Tabella 1.4 - Incidenti stradali, morti e feriti – Italia, 1991-2005 [23]

| ANNI | Incidenti | Morti | Feriti | Indice di mortalità (a) | Indice di gravità (b) |
|------|-----------|-------|---------|-------------------------|-----------------------|
| 1991 | 170.702 | 7.498 | 240.688 | 4,4 | 3,0 |
| 1995 | 182.761 | 6.512 | 259.571 | 3,6 | 2,4 |
| 2000 | 229.034 | 6.649 | 321.796 | 2,9 | 2,0 |
| 2005 | 225.078 | 5.426 | 313.727 | 2,4 | 1,7 |

Osservando l'andamento del fenomeno (figure 1.3 e 1.4), si rileva fundamentalmente un trend in crescita dell'incidentalità nel periodo 1991-2002. A partire dall'anno 2003 inizia, di contro, un trend discendente, attribuibile anche all'entrata in vigore di importanti modifiche al codice della strada ed all'introduzione della patente a punti (DL 151 del 27 giugno 2003).

Inoltre, il numero dei morti si riduce mentre aumenta quello dei feriti.

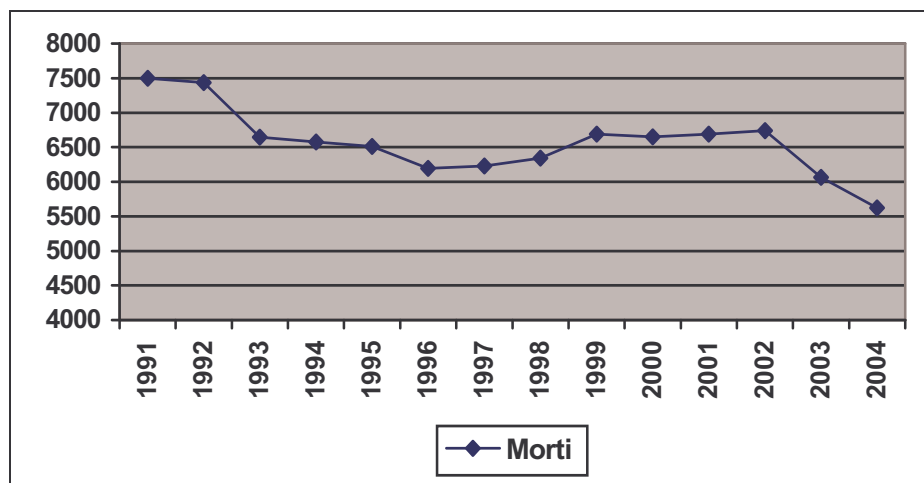


Figura 1.3 - Decessi per incidenti stradali – Italia, 1991-2004 [22]

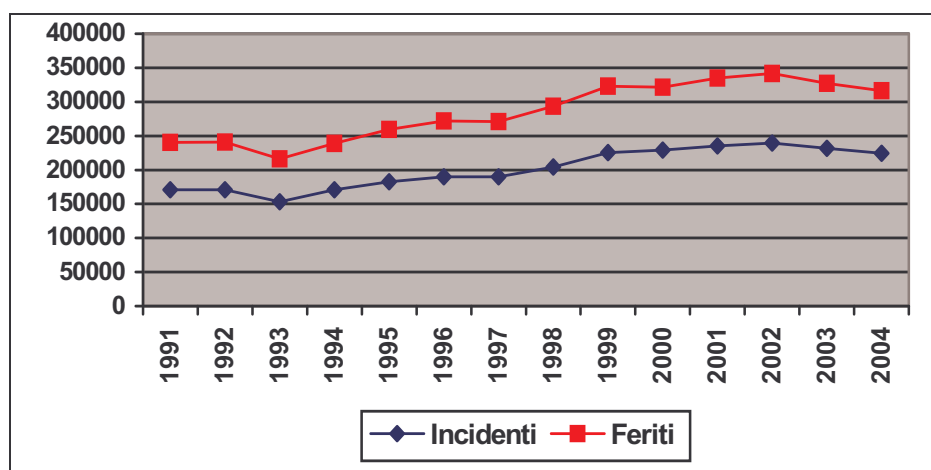


Figura 1.4 - Incidenti stradali e feriti – Italia, 1991-2004 [22]

Molto interessante è anche analizzare l'andamento negli ultimi due anni (2004-2005), tabella 1.5.

Tabella 1.5 – Incidenti stradali, morti e feriti, anni 2004-2005, valori assoluti e percentuali [23]

| | Valori assoluti | | Variazioni percentuali |
|-----------|-----------------|---------|------------------------|
| | 2004 | 2005 | 2005/2004 |
| Incidenti | 229.156 | 225.078 | -1,8 |
| Morti | 5.692 | 5.426 | -4,7 |
| Feriti | 322.447 | 313.727 | -2,7 |

Complessivamente, nell'anno 2005 sono stati rilevati 225'078 incidenti stradali, che hanno causato il decesso di 5'426 persone, mentre altre 313'727 hanno subito lesioni di diversa gravità. Rispetto al 2004 si riscontra una diminuzione del numero degli incidenti (-1.8%), del numero dei morti (-4.7%) e del numero dei feriti (-2.7%), come rilevano anche le figure 1.5 e 1.6.

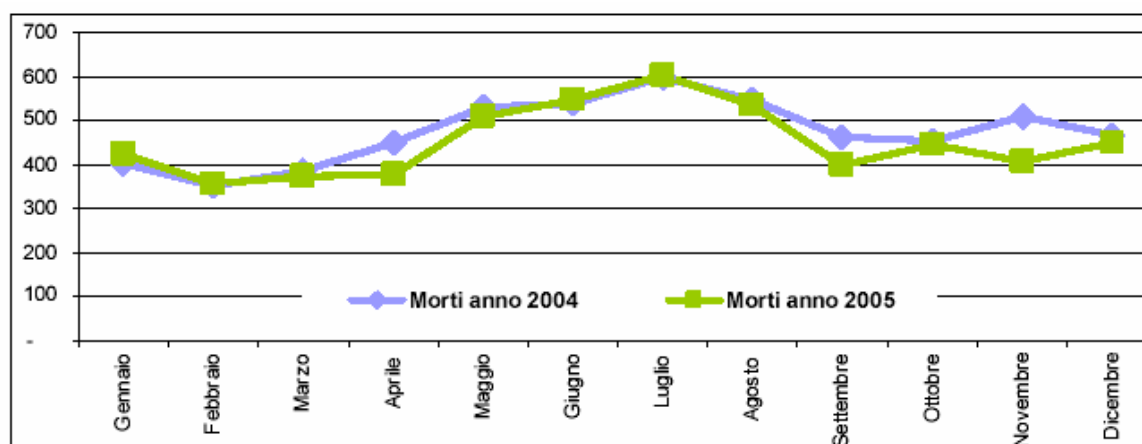


Figura 1.5 – Morti – Italia, 2004-2005 [23]

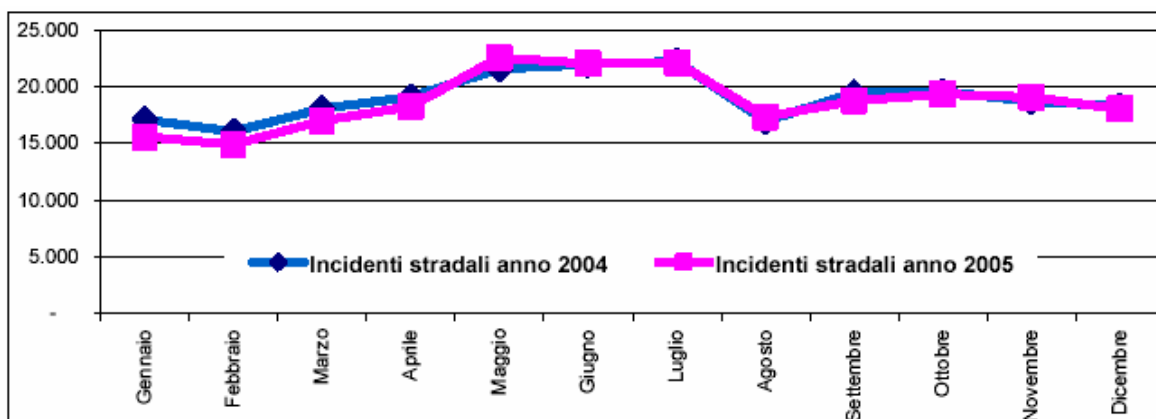


Figura 1.6 – Incidenti stradali – Italia, 2004-2005 [23]

L'indice di mortalità, riportato in figura 1.7, 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.

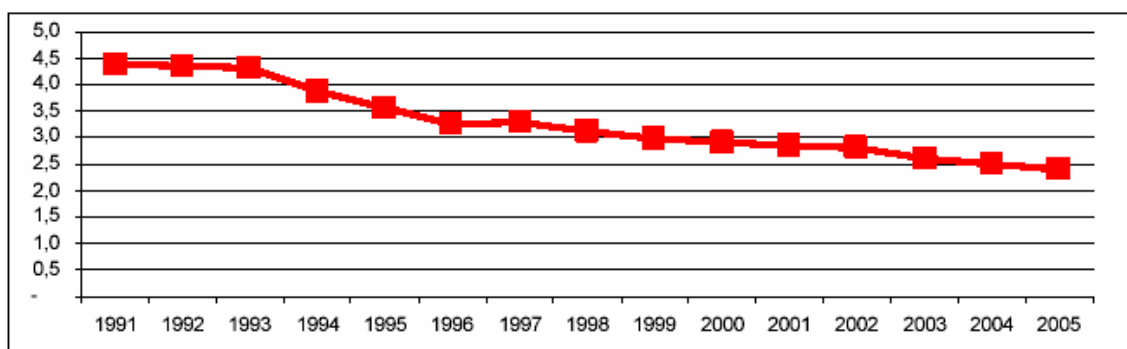


Figura 1.7 - Indice di mortalità – Italia, 1991-2005 [23]

Infatti, come si può osservare dalla figura 1.5, complessivamente si sono avute 5'625 vittime della strada nel 2004, evidenziando una diminuzione del 7.3% rispetto all'anno precedente e del 16.5 % rispetto al 2002. Segue un trend decrescente anche la mortalità relativa: dai 3.6 deceduti ogni 100 incidenti rilevati nel 1995 si cala progressivamente ai 2.5 rilevati nel 2004, in analogia con l'indice di lesività e di gravità.

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

Innanzitutto risulta interessante analizzare la consistenza della rete stradale italiana, riferendosi ai dati rilevati dall'Aiscat, Associazione Italiana Società Concessionarie Autostrade e Trafori [20].

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 119'644 km di strade provinciali, per un totale di 172'428 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 di autostrade in Sardegna a un'incidenza di queste sul complesso della rete viaria del 42.9% in Valle d'Aosta.

Tabella 1.6 - Rete stradale per tipo di strada e regione, anno 2003 [151]

| 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'Acosta | 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 significativa la riduzione dell'incidentalità avvenuta nello stesso anno e, conseguentemente, l'aumento della sicurezza stradale.

Tuttavia, dalla tabella 1.6, 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 18.5% delle autovetture si riscontra un aumento dei motocicli del 58.8%.

Tabella 1.8 - Parco veicolare per tipo di veicolo, anno 2004 [151]

| Regioni | Autovetture | 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 | 33.973.147 | 92.874 | 4.967.061 | 4.574.644 | 342.739 | 43.950.465 |
| 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 |

Nello specifico possono essere analizzati i dati statistici relativi alla Provincia di Ferrara (tabella 1.9) che indicano come le autovetture dal 1995 al 2004 abbiano subito una variazione positiva solo del 4% contro il 70.4% di quella dei motocicli.

Tabella 1.9 – Veicoli circolanti nella provincia di Ferrara 1995-2004 [24]

| | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Autovetture | 205.828 | 200.562 | 201.704 | 201.807 | 206.064 | 206.938 | 208.921 | 209.626 | 211.752 | 214.014 |
| Autobus | 499 | 559 | 585 | 558 | 598 | 610 | 610 | 622 | 622 | 628 |
| Autocarri merci e trasporto speciale | 18.503 | 19.368 | 20.365 | 20.402 | 21.334 | 22.219 | 23.402 | 24.786 | 25.903 | 26.842 |
| Motrici | 537 | 624 | 679 | 703 | 758 | 784 | 817 | 841 | 862 | 849 |
| Rimorchi merci e speciali | 6.271 | 6.535 | 6.508 | 6.365 | 6.414 | 6.476 | 6.465 | 6.520 | 6.539 | 6.381 |
| Motocicli | 14.551 | 14.024 | 13.973 | 14.295 | 15.727 | 17.894 | 19.690 | 21.305 | 23.142 | 24.793 |
| Motocarri e motoveic. speciali | 935 | 899 | 852 | 817 | 796 | 743 | 711 | 678 | 650 | 619 |
| Altri | 0 | 0 | 0 | 33 | 33 | 33 | 33 | 32 | 32 | 32 |
| TOTALE | 247.124 | 242.571 | 244.666 | 244.980 | 251.724 | 255.697 | 260.649 | 264.410 | 269.502 | 274.158 |

Fonte: A.C.L.

Tale dato, il cui trend può essere facilmente esteso alla maggior parte delle realtà Italiane e dell'Unione Europea, rende evidente l'importanza sempre maggiore di considerare la categoria dei TWD nella analisi della sicurezza stradale. Pertanto, di seguito, si riporta l'analisi dell'incidentalità di tale categoria di veicoli.

1.3 MOTOCICLISTI UTENTI DEBOLI

Se si analizzano i dati riportati nel Rapporto di Bilancio Intermedio [5] per categoria di utenti, di veicoli o per tipo di incidenti, si osserva come l'evoluzione non sia uniforme.

Infatti, per quanto riguarda il tipo di categoria di utente si evince che:

- i pedoni (5'400 vittime) e i ciclisti (2'000 vittime) continuano ad essere particolarmente vulnerabili;
- i mezzi pesanti sono coinvolti nel 6% di tutti gli incidenti, ma nel 16% degli incidenti mortali. Per contro, il coinvolgimento negli incidenti di tali veicoli diminuisce più rapidamente del numero di incidenti in generale;
- il numero di motociclisti morti è aumentato del 5.6% fra il 2000 e il 2003, mentre, nello stesso periodo, il totale delle vittime della strada è diminuito del 12%.

In particolare, si osserva che la percentuale di motociclisti, in termini assoluti fino al 1996, è rimasta relativamente stabile intorno al 9.5% per poi registrare un aumento progressivo sino ad arrivare al 14% nel 2003.

Tali cifre sono allarmanti se si pensa che il numero di utenti a due ruote che hanno perso la vita sulle strade in Italia è aumentato progressivamente del 40%, così come in Belgio del 39%, in Svezia del 21% e nel Regno Unito del 15%.

Ciò è spiegabile alla luce di quanto osservato in precedenza, ossia il crescente aumento del numero di veicoli a due ruote sulle strade europee che si inserisce come conseguenza dell'aumento della domanda di trasporto. Infatti, l'evoluzione di tale domanda ha portato al rapido aumento di traffico di macchine, e quindi, alla congestione, ed ai ritardi cronici. Le dimensioni relativamente ridotte ed i bassi costi di gestione permettono a ciclomotori, scooter e motocicli di inserirsi agilmente nel traffico ed in spazi ridotti rispetto ad altri veicoli, offrendo un senso di libertà. Di fatto un elemento chiave dell'incremento dei veicoli a due ruote si rivela proprio la necessità del singolo di mantenere la sua flessibilità in un sistema congestionato.

A ciò corrisponde, come si vedrà, anche un aumento, purtroppo sempre crescente, del numero di morti e feriti. Infatti dai dati incidentali non solo europei ma anche italiani, riportati nel seguito, si desume come i motociclisti detengano un infelice primato per la scarsa sicurezza confrontata con quella degli altri veicoli.

Ad esempio, in Inghilterra, sebbene i motociclisti costituiscano meno del 1% del parco veicolare circolante, rappresentano il 14% delle morti totali e dei feriti gravi nelle strade inglesi.

Si comprende, quindi, come l'inserire i motociclisti nella categoria degli utenti deboli risponda ad una corretta analisi della realtà.

Una prima considerazione può essere effettuata sul concetto di utente debole o forte: una moto può a buon diritto essere considerata "forte" rispetto ad una bicicletta o un pedone, ma risulta subito evidente come sia "debole" se confrontata ad un'auto o addirittura ad un veicolo pesante. Si tratta quindi di un concetto relativo.

Appare evidente, infatti, come un veicolo a due ruote possa, a ragione, essere definito "un utente debole" nei confronti delle quattro ruote, non solo per la mancanza di una

“carrozzeria” esterna, ma anche per le particolari caratteristiche dinamiche: ad esempio la guida di una moto richiede molta più abilità che la guida di un'auto, necessitando anche di coordinamento fisico e di equilibrio.

1.3.1 I dati europei

Nel 2003 sono morti, in 14 paesi dell'Unione Europea (EU 15 meno la Germania), 5'325 motociclisti e ciclomotoristi, con un calo del 3.7% rispetto ai 5'528 del 2002 (tabella 1.10). Tale diminuzione, certamente positiva, è però minore di quella registrata in generale per tutti gli utenti della strada.

Tabella 1.10 - Incidenti mortali TWD, per paese– Unione Europea, 1994-2003 [11]

| | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| BE | 234 | 187 | 174 | 193 | 199 | 198 | 184 | 210 | - | - |
| DK | 76 | 63 | 49 | 46 | 60 | 67 | 71 | 55 | 62 | 68 |
| EL | 572 | 628 | 541 | 506 | 569 | 561 | 496 | 503 | 396 | 363 |
| ES | 860 | 865 | 844 | 899 | 928 | 902 | 866 | 831 | 784 | 758 |
| FR | 1.387 | 1.341 | 1.310 | 1.416 | 1.428 | 1.473 | 1.420 | 1.543 | 1.450 | 1.277 |
| IE | 55 | 57 | 58 | 68 | 37 | 43 | 40 | 50 | 44 | 55 |
| IT | 1.329 | 1.187 | 1.192 | 1.221 | 1.191 | - | - | - | - | - |
| LU | 5 | 4 | 6 | 3 | 7 | 5 | 8 | 6 | 0 | - |
| NL | 210 | 208 | 198 | 180 | 165 | 182 | 196 | 154 | 191 | 189 |
| AT | 159 | 152 | 131 | 169 | 120 | 151 | 156 | 144 | 135 | 156 |
| PT | 758 | 793 | 733 | 680 | 554 | 494 | 425 | 399 | 359 | 345 |
| FI | 32 | 33 | 33 | 24 | 25 | 21 | 19 | 23 | 29 | 35 |
| SE | 41 | 41 | 54 | 49 | 52 | 48 | 49 | 47 | 49 | - |
| UK | 454 | 454 | 447 | 525 | 509 | 556 | 612 | 594 | 628 | - |
| EU-14 | 6.172 | 6.013 | 5.770 | 5.979 | 5.844 | 5.892 ³ | 5.733 ³ | 5.751 ³ | 5.528 ³ | 5.325 ³ |
| Yearly change | - | -2,6% | -4,0% | 3,6% | -2,3% | 0,8% | -2,7% | 0,3% | -3,9% | -3,7% |

Source: CARE Database / EC
Date of query: August 2005

La tabella 1.11 mostra invece il numero di motociclisti e ciclomotoristi morti per milione di abitanti nei vari paesi dell'Unione, in un arco di tempo che va dal 1994 al 2003.

Tabella 1.11 - Motociclisti morti, per milione di abitanti – Unione Europea, 1994-2003 [11]

| | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
|-------|------|------|------|------|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| BE | 23,2 | 18,5 | 17,2 | 19,0 | 19,5 | 19,4 | 18,0 | 20,5 | - | - |
| DK | 14,6 | 12,1 | 9,3 | 8,7 | 11,3 | 12,6 | 13,3 | 10,3 | 11,5 | 12,6 |
| EL | 54,4 | 59,3 | 50,7 | 47,1 | 52,6 | 51,7 | 45,5 | 46,0 | 36,1 | 33,0 |
| ES | 21,9 | 22,0 | 21,4 | 22,7 | 23,4 | 22,7 | 21,6 | 20,5 | 19,1 | 18,2 |
| FR | 24,1 | 23,2 | 22,6 | 24,4 | 24,5 | 25,2 | 24,2 | 26,1 | 24,4 | 21,4 |
| IE | 15,3 | 15,8 | 16,0 | 18,6 | 10,0 | 11,5 | 10,6 | 13,0 | 11,3 | 13,9 |
| IT | 23,4 | 20,9 | 21,0 | 21,5 | 20,9 | - | - | - | - | - |
| LU | 12,5 | 9,9 | 14,6 | 7,2 | 16,6 | 11,7 | 18,5 | 13,7 | 0,0 | - |
| NL | 13,7 | 13,5 | 12,8 | 11,6 | 10,5 | 11,5 | 12,4 | 9,6 | 11,9 | 11,7 |
| AT | 20,1 | 19,1 | 16,5 | 21,2 | 15,1 | 18,9 | 19,5 | 18,0 | 16,7 | 19,3 |
| PT | 75,9 | 79,2 | 73,0 | 67,5 | 54,8 | 48,6 | 41,7 | 38,9 | 34,8 | 33,2 |
| FI | 6,3 | 6,5 | 6,4 | 4,7 | 4,9 | 4,1 | 3,7 | 4,4 | 5,6 | 6,7 |
| SE | 4,7 | 4,7 | 6,1 | 5,5 | 5,9 | 5,4 | 5,5 | 5,3 | 5,5 | - |
| UK | 7,8 | 7,8 | 7,6 | 8,9 | 8,6 | 9,4 | 10,3 | 9,9 | 10,5 | - |
| EU-14 | 21,4 | 20,8 | 19,9 | 20,5 | 20,0 | 20,1 ³ | 19,5 ³ | 19,5 ³ | 18,6 ³ | 17,9 ³ |

Source: CARE Database / EC, Eurostat
Date of query: August 2005

La tabella 1.12 illustra la percentuale di motociclisti e ciclomotoristi morti rapportati al numero totale di morti per incidente stradale.

Tabella 1.12 - Percentuale dei motociclisti morti, sul numero totale di decessi per incidente stradale – UE, 1994-2003 [11]

| % | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
|-------|------|------|------|------|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| BE | 13,8 | 12,9 | 12,8 | 14,1 | 13,3 | 14,2 | 12,5 | 14,1 | - | - |
| DK | 13,9 | 10,8 | 9,5 | 9,4 | 12,0 | 13,0 | 14,3 | 12,8 | 13,4 | 15,7 |
| EL | 25,4 | 26,0 | 25,1 | 24,0 | 26,1 | 26,5 | 24,3 | 26,8 | 24,2 | 22,6 |
| ES | 15,3 | 15,0 | 15,4 | 16,0 | 15,6 | 15,7 | 15,0 | 15,1 | 14,7 | 14,0 |
| FR | 15,4 | 15,1 | 15,3 | 16,8 | 16,0 | 17,4 | 17,6 | 18,9 | 18,9 | 21,1 |
| IE | 13,6 | 13,0 | 12,8 | 14,4 | 8,1 | 10,4 | 9,6 | 12,1 | 11,6 | 16,2 |
| IT | 18,7 | 16,9 | 17,9 | 18,2 | 18,9 | - | - | - | - | - |
| LU | 7,7 | 5,7 | 8,5 | 5,0 | 12,3 | 8,6 | 10,5 | 8,6 | 0,0 | - |
| NL | 16,2 | 15,6 | 16,8 | 15,5 | 15,5 | 16,7 | 18,1 | 15,5 | 19,4 | 18,4 |
| AT | 11,9 | 12,6 | 12,8 | 15,3 | 12,5 | 14,0 | 16,0 | 15,0 | 14,1 | 16,8 |
| PT | 30,3 | 29,3 | 26,9 | 27,0 | 26,1 | 24,7 | 22,9 | 23,9 | 21,5 | 22,4 |
| FI | 6,7 | 7,5 | 8,2 | 5,5 | 6,3 | 4,9 | 4,8 | 5,3 | 7,0 | 9,2 |
| SE | 7,0 | 7,2 | 10,1 | 9,1 | 9,8 | 8,3 | 8,3 | 8,1 | 8,8 | - |
| UK | 11,9 | 12,1 | 12,0 | 14,0 | 14,2 | 15,6 | 17,1 | 16,5 | 17,5 | - |
| EU-14 | 16,8 | 16,4 | 16,5 | 17,2 | 16,9 | 17,4 ³ | 17,3 ³ | 17,7 ³ | 17,5 ³ | 17,9 ³ |

Source: CARE Database / EC, Eurostat
Date of query: August 2005

Tale tabella, insieme alla figura 1.8, indica che, fra il 1994 ed il 2003, la percentuale di mortalità dei TWD è diminuita del 16% (da 21.4 nel 1994 a 17.9 nel 2003) mentre la diminuzione della mortalità degli occupanti dei veicoli a 4 ruote è stata del 19%. Il Portogallo è il Paese che mostra il più elevato miglioramento negli ultimi dieci anni, mentre la Finlandia, la Svezia ed il Regno Unito riportano una diminuzione sotto il livello Europeo.

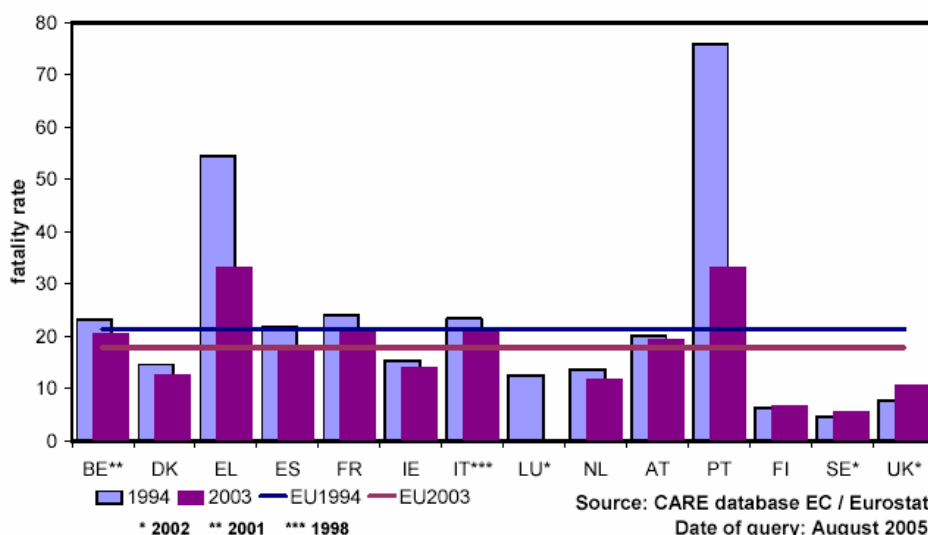


Figura 1.8 - Motociclisti morti, per milione di abitanti – UE, confronto 1994-2003 [11]

In Grecia, Portogallo e Francia più del 20% del numero totale di incidenti nel 2003 riguarda i TWD, come riportato nella tabella precedente.

Invece per il Lussemburgo, la Svezia e la Finlandia gli incidenti dei motocicli e ciclomotori rappresentano meno del 10% degli incidenti totali.

Una diminuzione del numero di incidenti che coinvolgono i TWD, combinata con un incremento percentuale del numero di incidenti, implica che la diminuzione di incidenti negli altri sistemi di trasporto è più alta che per i veicoli a due ruote, come riportato nella figura 1.9.

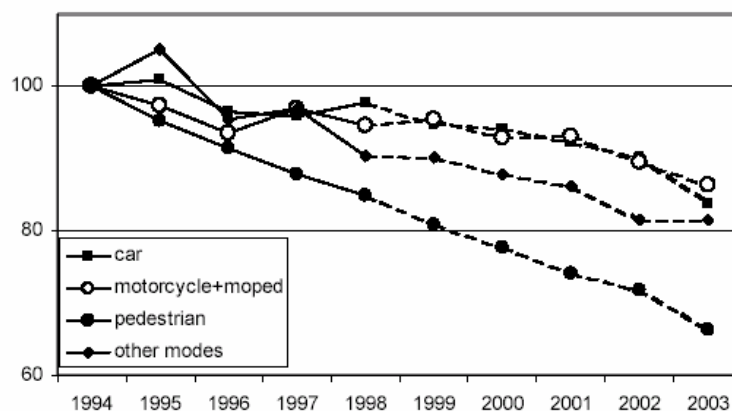


Figura 1.9 – Indice (1994=100) degli incidenti dei motocicli e ciclomotori comparati con gli altri modi di trasporto, 1994-2003 [11]

In altre parole se il calo di decessi per incidenti stradali si è verificato, è stato comunque minore per motociclisti e ciclomotoristi (Tabella 1.14).

La tabella 1.13 riporta l'andamento in tutti i 25 paesi membri della Unione Europea (EU25).

Tabella 1.13 – Modalità di trasporto nell'entroterra divise per paesi in EU25-2003 (% pkm)[21]

| | Passenger cars | Passenger cars % | Powered Two - Wheelers | Powered Two - Wheelers % | Bus | Bus % | Urban rail (tram + metro) | Urban rail (tram + metro) % | Railways | Railways % | TOTAL |
|----------|----------------|------------------|------------------------|--------------------------|-------|-------|---------------------------|-----------------------------|----------|------------|---------|
| BE | 109.4 | 82.1% | 1.1 | 0.8% | 13.7 | 10.3% | 0.9 | 0.7% | 8.3 | 6.2% | 133.3 |
| DK | 61.0 | 79.5% | 0.8 | 1.1% | 9.0 | 11.7% | 0.1 | n.a | 5.8 | 7.6% | 76.7 |
| DE | 854.1 | 83.3% | 17.9 | 1.7% | 67.5 | 6.6% | 14.8 | 1.4% | 71.3 | 7.0% | 1,025.6 |
| EL | 64.0 | 57.2% | 22.3 | 19.9% | 22.5 | 20.1% | 1.4 | 1.3% | 1.7 | 1.5% | 111.9 |
| ES | 346.0 | 79.6% | 14.6 | 3.4% | 49.3 | 11.3% | 5.6 | 1.3% | 19.3 | 4.4% | 434.8 |
| FR | 738.6 | 83.9% | 12.4 | 1.4% | 42.7 | 4.9% | 11.4 | 1.3% | 74.9 | 8.5% | 880.0 |
| IE | 24.0 | 73.8% | 0.4 | 1.2% | 6.5 | 20.0% | n.a | n.a | 1.6 | 5.0% | 32.5 |
| IT | 711.0 | 76.5% | 69.8 | 7.5% | 97.6 | 10.5% | 5.9 | 0.6% | 45.2 | 4.9% | 929.5 |
| LU | 6.0 | 80.8% | 0.1 | 0.9% | 1.0 | 13.5% | n.a | n.a | 0.4 | 4.8% | 7.4 |
| NL | 146.1 | 86.1% | 0.9 | 0.5% | 7.4 | 4.4% | 1.5 | 0.9% | 13.8 | 8.1% | 169.7 |
| AT | 81.3 | 74.8% | 1.6 | 1.5% | 14.8 | 13.6% | 2.8 | 2.5% | 8.2 | 7.5% | 108.7 |
| PT | 97.0 | 81.1% | 8.0 | 6.7% | 10.5 | 8.8% | 0.8 | 0.7% | 3.3 | 2.8% | 119.6 |
| FI | 59.6 | 82.8% | 0.9 | 1.2% | 7.7 | 10.7% | 0.5 | 0.7% | 3.3 | 4.6% | 72.0 |
| SE | 96.3 | 81.0% | 1.0 | 0.8% | 10.5 | 8.8% | 2.0 | 1.7% | 9.1 | 7.7% | 118.9 |
| UK | 677. | 87.0% | 5.0 | 0.6% | 47.0 | 6.0% | 8.3 | 1.1% | 41.1 | 5.3% | 778.4 |
| Total EU | 1,54,071.4 | 81.4% | 156.8 | 3.1% | 407.7 | 8.2% | 55.9 | 1.1% | 307.3 | 6.1% | 4,999.0 |
| CZ | 68.6 | 73.6% | n.a | n.a | 9.4 | 10.1% | 8.6 | 9.2% | 6.6 | 7.1% | 93.2 |
| EE | 10 | n.a | n.a | n.a | 2.3 | 18.5% | 0.1 | n.a | 0.2 | 1.4% | 12.6 |
| CY | 3.2 | n.a | n.a | n.a | 0.7 | n.a | n.a | n.a | n.a | n.a | 3.9 |
| LV | 10 | 73.0% | n.a | n.a | 2.6 | 19.0% | 0.3 | 2.2% | 0.8 | 5.8% | 13.7 |
| LT | 19.4 | n.a | n.a | n.a | 2.6 | 11.6% | n.a | n.a | 0.4 | 1.8% | 22.4 |
| HU | 46.4 | 59.6% | n.a | n.a | 18.7 | 24.0% | 2.5 | 3.2% | 10.3 | 13.2% | 77.9 |
| MT | 1.5 | n.a | n.a | n.a | 0.2 | n.a | n.a | n.a | n.a | n.a | 1.7 |
| PL | 172.4 | 77.7% | n.a | n.a | 30.0 | 13.5% | 4.5 | n.a | 19.6 | 8.8% | 222.0 |
| SI | 15.5 | 89.3% | n.a | n.a | 1.1 | 6.3% | n.a | n.a | 0.8 | 4.3% | 17.4 |

Nello stesso documento, European Road Statistics del 2006, viene riportata la percentuale di incidenti stradali ripartiti per modalità di trasporto (figura 1.10).

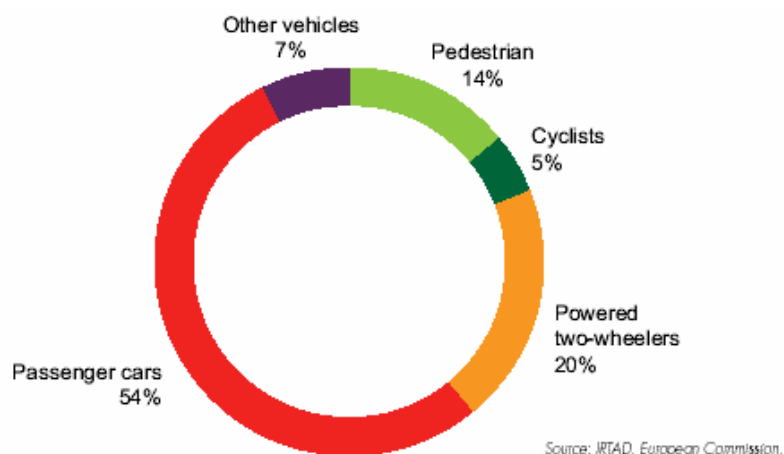


Figura 1.10 – Incidenti stradali mortali per tipologia di veicolo in EU15 – 2004 [21]

Da tali dati risulta lampante come i motociclisti, che rappresentano una percentuale molto bassa del traffico su strada rispetto ai veicoli a quattro ruote, soffrano invece il 20% dei morti e dei feriti gravi provocati dagli incidenti stradali.

Infatti, i risultati di tutte le ricerche riportate in letteratura confermano che i conducenti di motocicli e di ciclomotori sono gli utenti della strada più a rischio di incorrere in incidenti fatali. In particolare, il coefficiente di pericolosità per un motociclista risulta essere molto superiore di quello degli automobilisti: il rapporto rilevato va da 1:10, 1:20 fino ad arrivare a 1:50, a seconda del Paese e della ricerca considerata.

Il rapporto statistico annuale del 2004, prodotto dall'ufficio di statistica del Dipartimento dei Trasporti del Governo Inglese, intitolato "Transport Statistic Bulletin" [19], nella sezione intitolata "Compendium of Motorcycling Statistics" riporta una serie di dati statistici sull'incidentalità stradale, relativi all'anno 2003, presentati in figura 1.11.

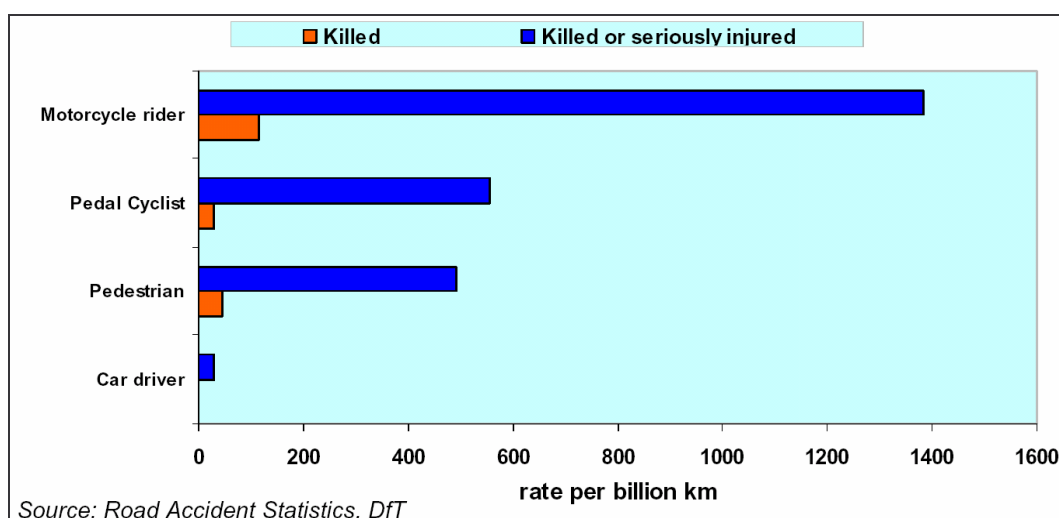


Figura 1.11 - Incidenti stradali: rischio per tipo di utente – Inghilterra, 2003 [19]

In tale documento si riferisce che “...i motociclisti sono sottoposti ad un rischio di infortunio molto maggiore rispetto agli altri utenti della strada; i dati indicano come il rischio di rimanere uccisi o seriamente feriti (KSI - Killed or Seriously Injured), per chilometro percorso, è più di dodici volte quello dei ciclisti, e almeno 50 volte quello degli automobilisti”.

Già nel 2001, in un altro rapporto annuale sulla sicurezza stradale commissionato dallo stesso Dipartimento dei Trasporti inglese, intitolato “Road Safety Research Report” [7], nella sezione intitolata “In-depth Study of Motorcycle Accidents”, si leggeva che nel 2000 tale rapporto era di 1:12 nei confronti dei ciclisti e di 1:16 nei confronti degli automobilisti.

Il più recente documento prodotto dal Dipartimento dei Trasporti inglese che riporti informazioni utili al riguardo è il Libro Bianco intitolato “The Future of Transport - a network for 2030” [19]. Nel capitolo “Safety and security: protecting people and networks” è presentato il grafico di figura 1.12 estratto dai dati rilevati da cui emerge l'elevata vulnerabilità che caratterizza i motocicli e i ciclomotori.

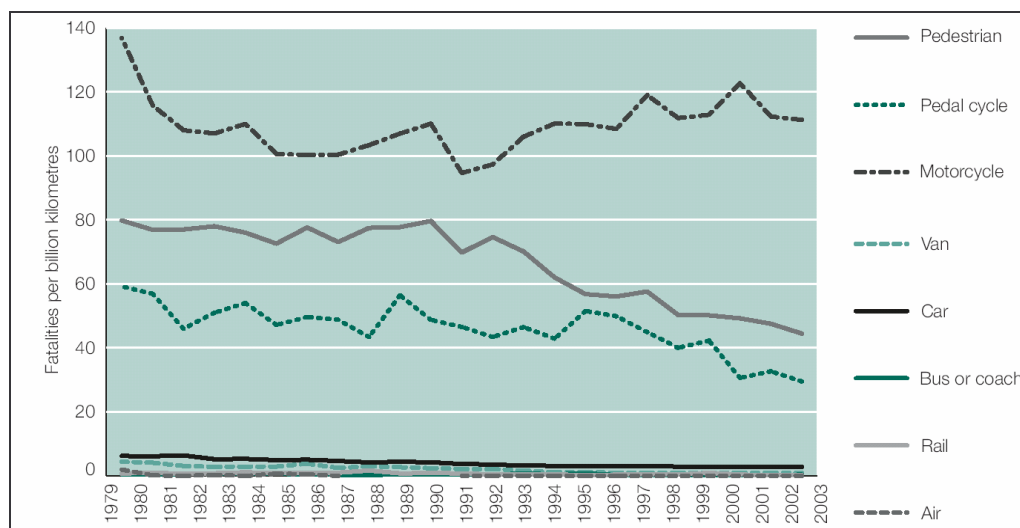


Figura 1.12 - Morti, per tipo di trasporto – Inghilterra, 1979-2003 [19]

Come prova che tale andamento è rappresentativo di quello dei dati di tutta Europa si riportano i dati relativi agli anni 1997 (periodo I), tabella 1.14 e 1999 (periodo III), tabella 1.15, tratti da uno studio condotto da Cafiso, Lamm, Ruscher e La Cava [156].

Tabella 1.14 – Incidenti degli utenti della strada – 1997

| Fatalities for Road User Groups for the Time Period I | | | | | | | |
|---|---------|-------------|------------|--------------|---------------|----------------|-----------------|
| Country | Overall | Pedestrians | Bicyclists | Moped-Riders | Motorcyclists | Passenger-Cars | Truck-Occupants |
| | [-] | [%] | [%] | [%] | [%] | [%] | [%] |
| A | 2057 | 24,2 | 6,1 | 10,9 | 6,1 | 50,1 | 2,6 |
| DK | 793 | 20,0 | 13,0 | 12,2 | 8,6 | 42,0 | 4,3 |
| F | 13013 | 18,2 | 4,8 | 13,1 | 7,2 | 54,6 | 2,1 |
| G | 14119 | 25,3 | 9,2 | 6,0 | 8,7 | 49,1 | 1,9 |
| I | 8614 | 23,0 | 8,1 | 10,7 | 8,9 | 43,3 | 6,1 |
| NL | 2262 | 15,0 | 20,0 | 10,5 | 5,4 | 46,8 | 2,4 |
| CH | 1269 | 27,1 | 5,9 | 10,5 | 10,0 | 42,3 | 4,1 |
| Σ WE | 42127 | 22,0 | 8,0 | 9,9 | 8,0 | 49,7 | 3,0 |

Tabella 1.15 – Incidenti degli utenti della strada – 1999

| Fatalities for Road User Groups for the Time Period III | | | | | | | |
|---|---------|-------------|------------|--------------|---------------|----------------|-----------------|
| Country | Overall | Pedestrians | Bicyclists | Moped-Riders | Motorcyclists | Passenger-Cars | Truck-Occupants |
| | [-] | [%] | [%] | [%] | [%] | [%] | [%] |
| A | 1150 | 16,4 | 6,2 | 4,5 | 9,7 | 59,9 | 3,3 |
| DK | 496 | 16,3 | 12,2 | 5,4 | 6,3 | 53,3 | 6,7 |
| F | 8700 | 11,6 | 3,9 | 5,6 | 10,9 | 65,1 | 3,0 |
| G | 7955 | 13,5 | 8,3 | 1,9 | 11,8 | 61,3 | 3,2 |
| I | 4468 | 19,5 | 9,0 | 15,1 | 12,2 | 35,6 | 8,6 |
| NL | 1108 | 10,3 | 19,7 | 8,0 | 7,6 | 49,6 | 4,9 |
| CH | 572 | 20,6 | 8,2 | 3,9 | 13,6 | 51,2 | 2,5 |
| Σ WE | 24449 | 14,1 | 7,4 | 6,2 | 11,2 | 56,9 | 4,2 |

Sulla base dei dati sopra esposti, risulta importante non sottovalutare l'elevata vulnerabilità che caratterizza i motocicli e i ciclomotori.

1.3.2 I dati italiani

In analogia con i dati Europei dalle statistiche italiane si rileva la criticità del fenomeno delle due ruote.

Iniziamo confrontando i dati di lesività rilevati in Italia per categoria di veicolo dall'istituto ISTAT, riferendoci alla tabella 1.16 relativa l'anno 2004.

Tabella 1.16 - Morti e feriti, per tipo di veicolo – Italia, 2004 [11]

| Categorie veicoli | Morti | Feriti |
|-----------------------|-------|---------|
| Automobili | 3'298 | 196'959 |
| Veicoli pesanti | 424 | 15'232 |
| Motocicli/Ciclomotori | 1'580 | 90'787 |
| Biciclette | 300 | 11'766 |
| Altri | 23 | 1'886 |
| Totale | 5'625 | 316'630 |

Nel 2004 sono morte più di 1'500 persone che utilizzavano un veicolo motorizzato a due ruote, pari a circa il 28% del totale dei decessi, mentre più di 90'000 sono rimaste ferite.

Naturalmente si contano più morti e feriti per quanto riguarda conducenti e passeggeri delle auto, ma questo è prevedibile se si pensa alla quantità maggiore di auto circolanti sulle strade italiane: come si è visto (§1.2) l'analisi dei dati ISTAT sul parco veicoli motorizzati circolante in Italia, riferito al 2003, evidenzia infatti come, su un totale di quasi 44 milioni di veicoli, quasi 34 milioni siano autovetture, mentre 4.5 milioni circa siano i motocicli (figura 1.13).

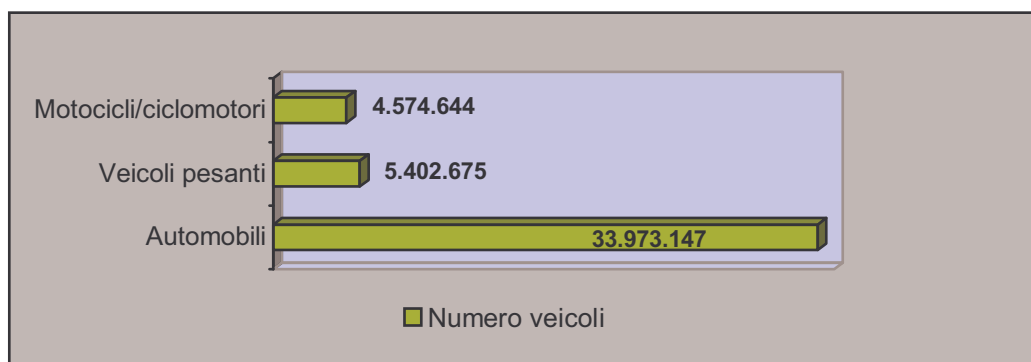


Figura 1.13 - Parco veicoli motorizzati – Italia, 2003 [7]

Si osserva, quindi, che la categoria dei veicoli motorizzati su due ruote, che rappresenta circa il 10% del parco circolante in Italia, conta invece circa il 25% delle vittime totali: la sproporzione è evidente, ed indica come, riguardo agli incidenti stradali, siano più vulnerabili i motociclisti rispetto ai conducenti di automobili.

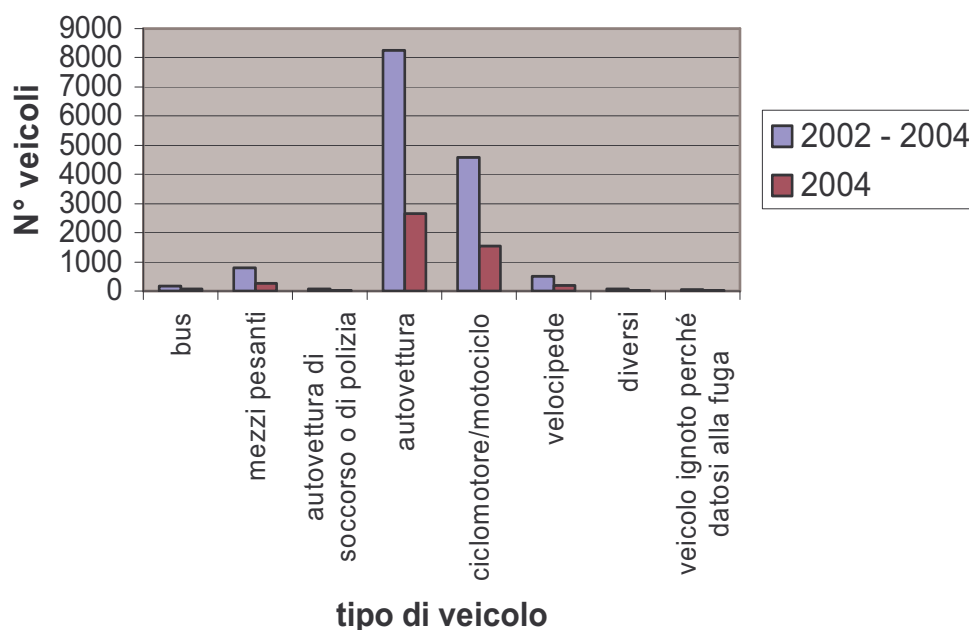
Inoltre risulta molto interessante analizzare la tabella 1.17 che riporta i dati degli incidenti stradali per tipo e numero di veicoli coinvolti nel 2005 nella città di Bologna.

Appare subito evidente come i motocicli siano stati coinvolti in 228 incidenti contro i 334 delle autovetture, numero enorme considerando l'esposizione delle due categorie. Inoltre, anche negli incidenti che coinvolgono due o più veicoli i motocicli mantengono un tragico primato.

Tabella 1.17 [150]

| Incidenti stradali per tipo e numero di veicoli coinvolti nell'incidente nel 2005 | | | | | |
|--|-------------------|-------------------|----------------------------------|----------------------|-------------------|
| Tipi di veicoli | | | Incidenti con infortunati (1) | Persone morte (2) | Persone ferite |
| Veicolo 1 | Veicolo 2 | Veicolo 3 | | | |
| Un veicolo coinvolto | | | 536 | 13 | 635 |
| Autovettura | | | 286 | 7 | 334 |
| Mezzo pesante (3) | | | 51 | 3 | 55 |
| Bicicletta | | | 9 | 0 | 9 |
| Motociclo (4) | | | 182 | 3 | 228 |
| Altro veicolo | | | 8 | 0 | 9 |
| Due veicoli coinvolti | | | 1,806 | 10 | 2,245 |
| Autovetture | | | 437 | 1 | 673 |
| Autovettura | mezzo pesante (3) | | 131 | 0 | 192 |
| Autovettura | bicicletta | | 102 | 2 | 100 |
| Autovettura | motociclo (4) | | 873 | 5 | 968 |
| Autovettura | altro veicolo | | 18 | 0 | 26 |
| Mezzi pesanti (3) | | | 11 | 1 | 13 |
| Mezzo pesante (3) | bicicletta | | 24 | 0 | 26 |
| Mezzo pesante (3) | motociclo (4) | | 94 | 1 | 95 |
| Mezzo pesante (3) | altro veicolo | | 3 | 0 | 3 |
| Bicicletta | motociclo (4) | | 23 | 0 | 32 |
| Bicicletta | altro veicolo | | 6 | 0 | 6 |
| Motocicli (4) | | | 64 | 0 | 89 |
| Motociclo (4) | altro veicolo | | 20 | 0 | 22 |
| Tre veicoli coinvolti | | | 329 | 4 | 535 |
| Autovetture | | | 132 | 1 | 256 |
| Autovettura | autovettura | mezzo pesante (3) | 52 | 0 | 87 |
| Autovettura | autovettura | bicicletta | 7 | 0 | 9 |
| Autovettura | autovettura | motociclo (4) | 59 | 1 | 66 |
| Autovettura | autovettura | altro veicolo | 3 | 0 | 3 |
| Autovettura | mezzo pesante (3) | mezzo pesante (3) | 17 | 0 | 36 |
| Autovettura | mezzo pesante (3) | bicicletta | 2 | 2 | 1 |
| Autovettura | mezzo pesante (3) | motociclo (4) | 15 | 0 | 19 |
| Autovettura | mezzo pesante (3) | altro veicolo | 3 | 0 | 6 |
| Autovettura | bicicletta | bicicletta | 3 | 0 | 6 |
| Autovettura | bicicletta | motociclo (4) | 5 | 0 | 7 |
| Autovettura | motociclo (4) | motociclo (4) | 18 | 0 | 24 |
| Autovettura | motociclo (4) | altro veicolo | 3 | 0 | 3 |
| Mezzi pesanti (3) | | | 5 | 0 | 6 |
| Mezzo pesante (3) | mezzo pesante (3) | altro veicolo | 1 | 0 | 1 |
| Mezzo pesante (3) | motociclo (4) | motociclo (4) | 1 | 0 | 1 |
| Mezzo pesante (3) | motociclo (4) | altro veicolo | 1 | 0 | 1 |
| Bicicletta | bicicletta | altro veicolo | 1 | 0 | 1 |
| Bicicletta | motociclo (4) | motociclo (4) | 1 | 0 | 2 |
| In complesso | | | 2,671 | 27 | 3,415 |
| Dati provvisori completi elaborati a cura dell'Ufficio di Statistica del Comune di Bologna, comprendenti anche gli incidenti rilevati dalla Polizia Stradale trasmessi direttamente all'Istat. | | | | | |
| (1) Dalla rilevazione sono esclusi gli incidenti senza morti o feriti. | | | | | |
| (2) Decessi verificatisi entro il trentesimo giorno dall'incidente. | | | | | |
| (3) Comprende autobus-filobus e mezzi pesanti. | | | | | |
| (4) Comprende ciclomotori e motocicli. | | | | | |

Il grafico di figura 1.14 [27] conferma quanto affermato. Infatti si osserva che i veicoli maggiormente coinvolti in incidenti a Bologna sono le autovetture che costituiscono circa il 55% del totale, con un calo costante nei tre anni, mentre i motocicli e i ciclomotori vedono il 30% dei veicoli coinvolti, con un lieve trend in crescita di circa 50 incidenti tra il 2002 ed il 2004.



| | bus | mezzi pesanti | autovettura di soccorso o di polizia | autovettura | ciclomotore/motociclo | velocipede | diversi | veicolo ignoto | totale veicoli | totale incidenti |
|--------------------|-----|---------------|--------------------------------------|-------------|-----------------------|------------|---------|----------------|----------------|------------------|
| 2002 - 2004 | 180 | 785 | 73 | 8254 | 4581 | 507 | 76 | 38 | 14494 | 7564 |
| 2004 | 65 | 259 | 27 | 2663 | 1551 | 183 | 24 | 15 | 4787 | 2505 |

Figura 1. 14 – Veicoli coinvolti in incidenti stradali a Bologna [27]

Da tali dati si evince come il circolare su un veicolo a due ruote motorizzato comporti una probabilità di incorrere in un incidente più alta rispetto a quella degli altri veicoli.

Ciò è confermato anche dal Piano Direttore della Sicurezza Stradale del Comune di Bologna [27] che rileva come le percentuali di morti e feriti tra i motociclisti siano paragonabili a quelle degli altri utenti deboli, pedoni e ciclisti (figura 1.15).

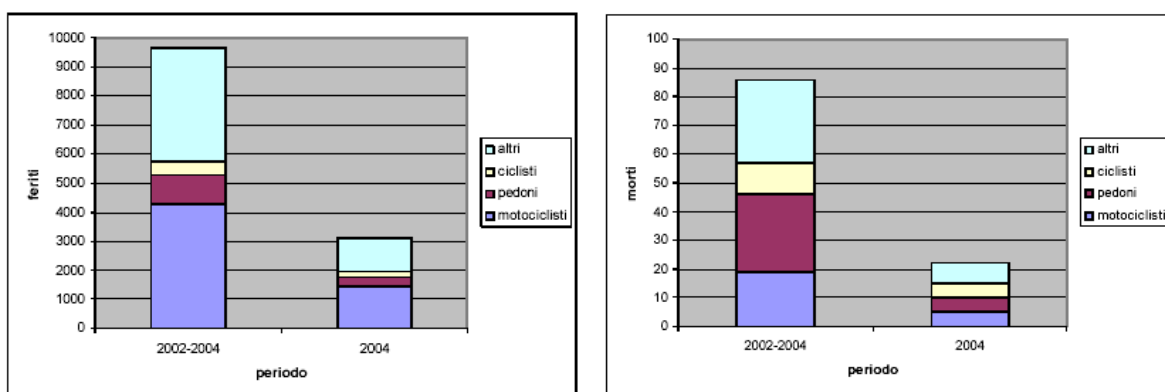


Figura 1.15 – Morti e feriti utenti deboli, Bologna [27]

E addirittura si deduce che, mentre l'indice di mortalità è relativamente basso, grazie alle protezioni che, seppur scarse se relazionate a quelle di un veicolo a quattro ruote, sono comunque alte rispetto pedoni e ciclisti, l'indice di lesività è intermedio fra quello dei pedoni e quello dei ciclisti (tabella 1.18).

Pertanto si può affermare che, anche grazie alla Normativa sul casco obbligatorio ed altri interventi mirati a migliorare la sicurezza dei motoveicoli, essi sono i veicoli maggiormente coinvolti in incidenti stradali (4581 nel periodo 2002 – 2004) ma il cui indice di mortalità è il più basso.

Tabella 1.18 [27]

| Periodo | motociclisti | pedoni | ciclisti | altri | totali |
|------------------|--------------|--------|----------|-------|--------|
| 2002-2004 | 4581 | 955 | 507 | | 7564 |
| 2004 | 1454 | 324 | 183 | | 2505 |
| 2002-2004 | 4291 | 987 | 454 | 3890 | 9622 |
| 2004 | 1448 | 336 | 163 | 1175 | 3122 |
| 2002-2004 | 19 | 27 | 11 | 29 | 86 |
| 2004 | 5 | 5 | 5 | 7 | 22 |
| 2002-2004 | 937 | 1034 | 895 | | 1272 |
| 2004 | 996 | 1037 | 891 | | 1246 |
| 2002-2004 | 4,15 | 28,27 | 21,70 | | 11,37 |
| 2004 | 3,44 | 15,43 | 27,32 | | 8,78 |

| |
|-----------|
| Incidenti |
| Feriti |
| Morti |

| |
|-----------|
| Lesività |
| Mortalità |

1.4 NECESSITA' DI NUOVI STRUMENTI PER L'ANALISI DELLA SICUREZZA STRADALE

Quanto riportato fino ad ora, rende evidente come il problema della sicurezza stradale riguardi direttamente la totalità del territorio dell'Unione Europea.

In particolare, dai dati sopra riportati, si evince come sia fondamentale tenere in considerazione, al fine di uno studio sulla sicurezza stradale, anche i TWD il cui parco veicolare è in continua crescita e la cui incidentalità percentuale aumenta progressivamente, in contro tendenza alla graduale diminuzione che si riscontra per le altre categorie di veicoli motorizzati.

Nel presente studio si procede analizzando i modelli esistenti in letteratura e gli strumenti con cui la Commissione Europea propone di gestire la sicurezza stradale, al fine di comprendere il più possibile la dinamica di un traffico eterogeneo, composto prevalentemente da veicoli a quattro e due ruote, ed individuare tramite un modello matematico interventi in grado di ridurre l'incidentalità dei TWD.

CAPITOLO 2: STRUMENTI EUROPEI PER LA GESTIONE DELLA SICUREZZA E LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO

2.1 COMPETENZE E INIZIATIVE DELL'UNIONE EUROPEA IN MATERIA DI SICUREZZA STRADALE

L'analisi dell'incidentalità Europea illustrata ha mostrato come l'intraprendere iniziative a favore della sicurezza stradale sia non solo un dovere, ma soprattutto una necessità, considerando le ripercussioni a livello sociale ed economico delle cifre riportate.

Lo schema di figura 2.1, tratto dalla Valutazione di impatto del Programma di Azione Europeo sulla Sicurezza Stradale [12], illustra le relazioni esistenti fra le misure intraprese per il miglioramento della sicurezza stradale e gli effetti socio economici che ne derivano.

In particolare si evince come le conseguenze della sicurezza siano principalmente di due tipi:

- dirette dovute alle misure relative al miglioramento della sicurezza;
- indirette dovute al conseguente cambiamento sulla mobilità.

Tale schema è alla base dell'analisi costi – benefici attuate per valutare una misura intrapresa a livello nazionale o comunitario.

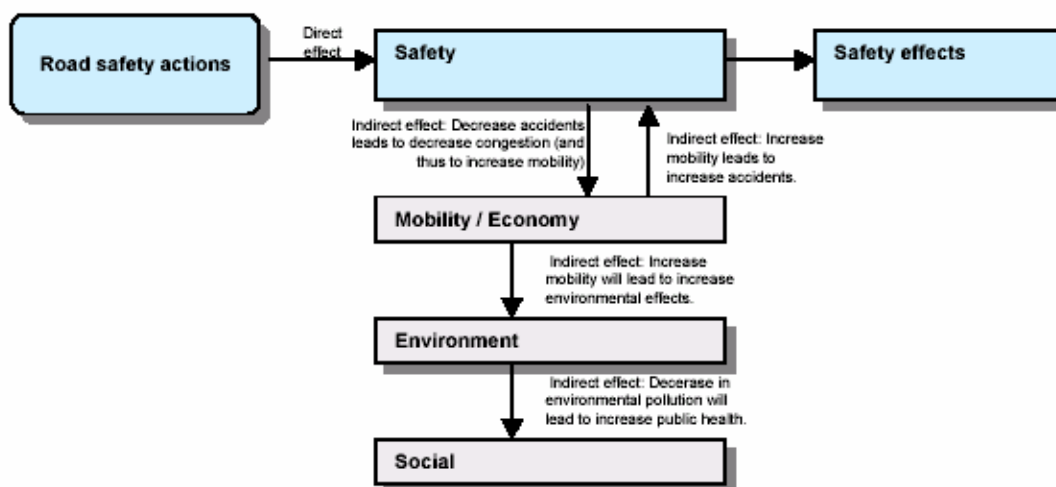


Figura 2.1 – Relazione fra le misure per la sicurezza stradale e gli effetti socio-economici [12]

È bene fare presente che gli interventi della Comunità Europea, fino agli anni Novanta, sono stati limitati alla normalizzazione tecnica delle dotazioni e delle componenti delle automobili, come ad esempio l'uso obbligatorio delle cinture di sicurezza, la regolamentazione del trasporto di merci pericolose e il controllo tecnico per tutti i veicoli, in quanto essa mancava di competenze in materia di sicurezza della strada.

Solo con l'articolo 71 del Trattato di Maastricht¹, l'Unione europea ha acquisito i mezzi giuridici per stabilire il quadro generale e per adottare le necessarie misure in materia di sicurezza stradale.

Le principali competenze possono essere così riassunte:

- il potere legislativo al fine di promuovere misure atte a migliorare la sicurezza dei trasporti, nei limiti della sussidiarietà, con particolare riferimento all'armonizzazione tecnica delle norme relative ai veicoli, così come ai requisiti di sicurezza della rete stradale transeuropea, e ad alcuni aspetti della formazione del conducente;
- il sostentamento finanziario di proposte e di iniziative per sensibilizzare le istituzioni, i professionisti e il grande pubblico ai principali problemi della sicurezza e alle loro soluzioni;
- la redazione di guide d'orientamento, da utilizzare su base volontaria;
- la promozione della raccolta e dell'analisi dei dati relativi agli incidenti ed ai danni fisici delle persone, come già realizzato con il database Care (Community database on Accidents on the Roads in Europe) e con il progetto di ricerca Stairs (Standardisation of Accident and Injury Registration Systems);
- il rafforzamento delle attività di ricerca, in particolare nell'ambito del Sesto programma quadro di ricerca;

¹ Il Trattato sull'Unione Europea, noto come Trattato di Maastricht, venne firmato nella cittadina olandese sulle rive della Mosa di Maastricht il 7 febbraio 1992 dai 12 paesi membri dell'allora Comunità Europea, oggi Unione Europea, ed è entrato in vigore il 1 novembre 1993.

- la definizione di un sistema flessibile per l'introduzione negli Stati membri di agevolazioni fiscali volte ad incoraggiare l'investimento dei privati e delle imprese nella sicurezza e promuovere la diffusione di infrastrutture e di veicoli più sicuri;
- l'introduzione di criteri armonizzati di sicurezza stradale nell'ambito degli appalti pubblici.

Inoltre con il Piano Nazionale della Sicurezza Stradale (L. 17 luglio 1999, n.144) è stata recepita l'esigenza segnalata nella Prima Relazione al Parlamento sullo Stato della Sicurezza Stradale 1998 "... di predisporre un piano nazionale per la sicurezza stradale consistente in un sistema articolato di indirizzi, di misure per la promozione e l'incentivazione di piani e strumenti per migliorare i livelli di sicurezza da parte degli enti proprietari e gestori di reti stradali, di interventi (infrastrutturali, di prevenzione e controllo, normativi e organizzativi), di strumenti per migliorare la conoscenza dello stato della sicurezza stradale e della sua evoluzione".

Il Piano, predisposto dal Ministero delle infrastrutture e dei trasporti ed approvato dal CIPE (Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica) con delibera del 29 novembre 2002, n. 100, è finalizzato a creare le condizioni per una mobilità sicura e sostenibile, riducendo il drammatico tributo di vittime imposto quotidianamente dagli incidenti stradali e gli ingenti costi sostenuti dallo Stato, dal sistema delle imprese e dalle famiglie a causa di tali incidenti. L'obiettivo di riferimento recepisce le indicazioni del secondo programma per la sicurezza stradale elaborato dalla Commissione europea [2].

La strategia fondamentale del Piano può essere riassunta in tre punti:

- sviluppo di un'azione immediata in relazione alle situazioni a maggior rischio e dove sussistono le condizioni tecniche e organizzative per poter avviare subito gli interventi;
- rafforzamento delle strutture tecniche e della strumentazione necessaria per gestire efficacemente la sicurezza stradale;
- coinvolgimento delle imprese e delle parti sociali nell'attuazione del Piano e nella verifica dei risultati delle azioni intraprese.

Per la sua strategia il Piano Nazionale della Sicurezza Stradale definisce complessivamente una novantina di azioni specifiche, da realizzarsi nell'arco di un decennio, che, per raggiungere l'obiettivo fissato dal libro Bianco, richiedono un fabbisogno finanziario complessivo di 19'500 milioni di euro circa, in linea con il volume di investimenti in sicurezza stradale realizzato dalla maggior parte dei Paesi dell'UE.

Tale fabbisogno potrà essere soddisfatto in parte attraverso investimenti aggiuntivi (12'000 milioni di Euro) e in parte attraverso la rifinalizzazione verso interventi di miglioramento della sicurezza stradale della spesa in reti e servizi di trasporto (7'500 milioni di Euro)

A fronte di tale spesa si stima un beneficio economico, derivante dalla riduzione dei costi sociali determinati dagli incidenti stradali, di oltre 30'000 milioni di Euro. Confrontando tale "beneficio" con l'ammontare degli investimenti aggiuntivi nel periodo (12'000 milioni di Euro) si determina un saldo positivo di circa 18'000 milioni di Euro.

Rifacendosi allo schema di figura 2.1, si conferma come il miglioramento della sicurezza stradale costituisca un impegno (obbligo) etico, sociale ed economico.

Dalla approvazione dello stesso molti altri Paesi europei, tra cui anche l'Italia [38] [39], hanno redatto un proprio "Piano Nazionale" finalizzato alla sicurezza stradale. Lo stato di fatto in molti paesi prima del PNSS, era caratterizzato dalla mancanza di una cultura tecnica della sicurezza stradale consolidata e condivisa; era d'uso affidarsi al buon senso o a criteri e parametri tradizionali, generalmente accettati ma non per questo efficaci.

Inoltre, solitamente di fronte a problemi di sicurezza stradale, risultato di concause di diversa natura (carenze dell'infrastruttura, inadeguata regolamentazione del traffico, scarsi controlli sui comportamenti di guida, etc.), si tendeva a dare interpretazioni e risposte settoriali, alla luce delle proprie competenze tecniche di settore, con risultati non sempre soddisfacenti.

Tali Piani Nazionali vengono inoltre incentivati e sostenuti anche dal VII Programma Quadro di ricerca, sviluppo tecnologico e dimostrazione [16] che sarà operativo dal 1° gennaio 2007 definitiva. L'iter di preparazione del Programma Quadro, iniziato in realtà già nel 2003 tramite una serie di studi preliminari e valutazioni di impatto, ha preso forma concreta il 6 aprile 2005 con la pubblicazione della Proposta per una decisione del Parlamento Europeo e del Consiglio riguardo il Settimo Programma Quadro della Comunità Europea. [15].

Il principale strumento individuato dalla Commissione Europea è pertanto, ancora una volta, quello della ricerca collaborativa, fornendo un contributo determinante alla realizzazione dello Spazio Europeo della Ricerca, processo già avviato con il VI Programma Quadro [6] con l'obiettivo di rafforzare la competitività scientifica dell'Europa, in linea con quanto indicato a Lisbona nel 2000 e successivamente a Barcellona nel 2002².

In particolare con tale programma si intende promuovere la cooperazione tra università, imprese, centri di ricerca ed autorità pubbliche dell'Unione Europea ed anche del resto del mondo. L'obiettivo principale è quello di conquistare la leadership nelle aree scientifiche e tecnologiche chiave attraverso lo svolgimento di attività di ricerca e di contribuire allo sviluppo sostenibile.

Tale Piano pone, per la prima volta, un approccio integrato che collega tutti i differenti modi di trasporto: aereo, ferroviario, su strada e per vie navigabili. Infatti fra le 9 tematiche in cui si articola, una di queste e precisamente la tematica 7 ha per oggetto lo sviluppo dei sistemi paneuropei di trasporto integrati più ecologici ed «

² Consiglio di Barcellona 2002 durante il quale si decise che gli stanziamenti globali per il settore Ricerca devono aumentare progressivamente fino a raggiungere il 3% del Pil entro il 2010 tra investimenti privati (due terzi) e risorse pubbliche (un terzo).

intelligenti » a vantaggio dei cittadini e della società nel rispetto dell'ambiente e delle risorse naturali.

Tra gli obiettivi c'è quello di rendere più sicuro il trasporto.

Vengono anche prese in considerazione attività di particolare interesse per le PMI e le valutazioni di impatto, e maggiore attenzione è accordata all'attività delle piattaforme tecnologiche e alle loro agende strategiche di ricerca.

I programmi di ricerca elaborati dalle piattaforme tecnologiche europee confermano la tendenza ad adottare una prospettiva nuova dei trasporti che può essere sviluppata soltanto a livello europeo.

Proprio per far fronte alle esigenze dell'Europa, le varie piattaforme tecnologiche istituite nei differenti campi (ACARE - Advisory Council for Aeronautics Research in Europe - per l'aeronautica e il trasporto aereo, ERRAC - The European Rail Research Advisory Council - per il trasporto ferroviario, ERTRAC - European Road Transport Research Advisory Council- per il trasporto su strada, WATERBORNE - Waterborne technology Platform - per il trasporto per vie navigabili e la piattaforma Idrogeno e celle a combustibile) hanno formulato proiezioni a lungo termine e agende strategiche di ricerca che rappresentano un contributo importante alla definizione del tema e integrano le esigenze dei responsabili politici e le aspettative della società.

Per il trasporto su strada assume una notevole importanza l'attività della ERTRAC i cui documenti, fra cui in particolare il recente Research Framework 2007-2015 [17], sono finalizzati ad affrontare la competitività europea mediante una applicazione coordinata ed efficiente delle risorse per la ricerca. I membri dell'ERTRAC rappresentano ad alto livello tutti i settori relativi al trasporto stradale inclusi i consumatori, i produttori di veicoli, i fornitori di componenti, gli operatori delle infrastrutture stradali, i service provider, i fornitori di energia, le organizzazioni di ricerca, le città, le regioni e le autorità pubbliche sia a livello dell'Unione Europea che nazionale.

In tale contesto si inserisce la Proposta di Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture viarie [6] finalizzata ad avviare un'azione formativa, centrata sullo studio delle "best practices" europee, sul confronto diretto con i tecnici che hanno realizzato tali esperienze e al miglioramento della qualità relativa alla gestione della sicurezza stradale in tutto il territorio dell'Unione Europea.

Infatti, è stato stabilito un Gruppo di lavoro sulla sicurezza delle infrastrutture nel 2002, composto da 11 Stati Membri (Austria, Belgio, Danimarca, Germania, Finlandia, Grecia, Italia, Norvegia, Portogallo, Svezia e Inghilterra), che hanno dato indirizzi dettagliati sulle procedure adottate nei loro paesi e nell'aprile-maggio 2006 è stata avviata dalla Commissione Europea una consultazione pubblica sull'approccio alla gestione della sicurezza delle infrastrutture.

In particolare, la Proposta fa seguito all'invito del Parlamento Europeo rivolto alla Commissione a fornire linee guida per la gestione dei punti neri e per l'audit della sicurezza stradale [4].

Nonostante emerga dai dati statistici come le caratteristiche dell'infrastruttura e del progetto contribuiscano per un fattore di uno a tre negli incidenti mortali, e nonostante la richiesta degli Stati Membri di un alto livello di sicurezza delle

infrastrutture, nelle Linee Guida della rete stradale Transeuropea (TEN) [1], pochissimi sono stati gli sforzi tesi al miglioramento delle caratteristiche dell'infrastruttura stessa.

L'obiettivo della proposta è quello di fare in modo che la sicurezza stradale sia tenuta in considerazione durante tutte le tappe relative alla gestione delle infrastrutture, dalla progettazione all'esercizio delle stesse, mediante l'adozione di una serie di procedure, descritte nel seguito, atte ad assicurare che l'infrastruttura collabori alla riduzione dell'incidentalità.

Nel 2004, la rete tematica RISER (Roadside Infrastructure for Safer European Roads) ha condotto una ricerca sugli incidenti che hanno coinvolto un solo veicolo. Secondo tale studio l'infrastruttura gioca un ruolo fondamentale negli incidenti in quanto il 27% degli incidenti avvenuti è il risultato di un impatto contro un elemento marginale della carreggiata come un albero, un palo della luce, e il 24% di tutti gli incidenti è il risultato di un impatto contro una barriera di sicurezza.

2.2 METODOLOGIA PER LA GESTIONE DELLA SICUREZZA

La Proposta di Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture viarie [6], introdotta nel precedente paragrafo, mira ad instaurare un sistema di gestione armonizzata dei punti pericolosi e di Audit della sicurezza delle infrastrutture facenti parte della rete TEN.

In particolare la Direttiva parte dalla constatazione della importanza del fattore infrastruttura negli incidenti stradali mortali e della necessità di intervenire per un miglioramento di tutta la rete Transeuropea.

La situazione attuale vede contrapporsi da una parte la tendenza a diminuire i finanziamenti alle infrastrutture stradali da parte degli Enti gestori, dall'altra la sempre maggiore attenzione al livello di sicurezza della rete stradale, da parte degli utenti.

Le autorità si vedono condotte a provvedere ad adeguare le infrastrutture secondo gli ultimi standard di sicurezza, sotto evidenti limiti economici.

Molti sono gli interventi da intraprendere, soprattutto nell'Europa Centrale e Orientale, dove è sempre più importante costruire nuove strade o adeguare quelle esistenti; in tali paesi appare opportuno esportare le migliori tecniche adottate nella EU15 (tabella 1.1).

Infatti, le attuali infrastrutture sono il frutto di progetti vecchi, e con molti anni di manutenzione alle spalle, progettate in anni in cui la sicurezza non era sempre tenuta in considerazione, e spesso realizzate per condizioni di traffico mutate nel tempo.

Si deve, inoltre, far presente che è pratica comune assumere che la sicurezza sia garantita semplicemente attraverso l'adesione alle prescrizioni relative al tracciato ed al progetto, nonostante sia ormai evidente come il seguire tali prescrizioni non sia spesso sufficiente per evitare eventi incidentali.

L'obiettivo della proposta di Direttiva è, pertanto, quello di assicurare che la sicurezza sia garantita in tutte le fasi della progettazione, dal disegno alla realizzazione di una infrastruttura, al fine di assicurare che la sicurezza di una determinata strada sia giudicata nella sua correttezza e separatamente dalle analisi economiche e ambientali.

Per realizzare ciò la Commissione Europea intende prima di tutto fornire agli Enti gestori gli strumenti necessari a rafforzare la sicurezza, al fine di rendere le conseguenze delle decisioni più trasparenti e di ottimizzare l'uso dei fondi disponibili; in secondo luogo intende aumentare la sicurezza delle infrastrutture attraverso continui adattamenti e portare ad un alto livello la sicurezza delle strade in tutti gli Stati membri dell'Unione; infine propone di creare una consapevolezza della sicurezza al fine di fornire decisioni consistenti sui progetti e di stabilire un costante scambio di *best practice*, per permettere la raccolta e la distribuzione delle conoscenze al fine di divulgare i risultati della ricerca.

Sostanzialmente il sistema globale di gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali proposto dalla Direttiva si basa sulle seguenti procedure:

- I. **Valutazioni di impatto della sicurezza stradale** (Road Safety Impact Assessment);
- II. **Audits della sicurezza stradale** (Road Safety Audits);
- III. **Gestione della sicurezza nelle sezioni ad alto rischio della rete** (Network Safety High-Risk Road Section Management);
- IV. **Ispezioni di sicurezza** (Road Safety Inspections)

In alcuni Stati membri della Unione Europea tali procedure già esistono e sono operative, sia pur con diversi livelli di applicazione; la Proposta è volta a diffondere queste misure in tutto il territorio comunitario, senza tuttavia definire nel dettaglio le relative norme tecniche, lasciando così gli Stati liberi di mantenere le procedure esistenti o crearne di nuove.

Nella tabella di figura 2.2 è riportato lo stato, al gennaio 2006, della diffusione degli strumenti proposti dalla Direttiva in esame nella Unione Europea (EU25). In grassetto e ombreggiato sono indicati gli Stati Membri in cui tali procedure sono in uso.

| | | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Road Safety Impact Assessment | AT | BE | CY | CZ | DE |
| | DK | EE | EL | ES | FI |
| | FR | HU | IE | IT | LT |
| | LU | LV | MT | NL | PL |
| | PT | SE | SI | SK | UK |
| Road Safety Audits | AT | BE | CY | CZ | DE |
| | DK | EE | EL | ES | FI |
| | FR | HU | IE | IT | LT |
| | LU | LV | MT | NL | PL |
| | PT | SE | SI | SK | UK |
| Network Safety + High-Risk Road Section Management | AT | BE | CY | CZ | DE |
| | DK | EE | EL | ES | FI |
| | FR | HU | IE | IT | LT |
| | LU | LV | MT | NL | PL |
| | PT | SE | SI | SK | UK |
| Road Safety Inspections | AT | BE | CY | CZ | DE |
| | DK | EE | EL | ES | FI |
| | FR | HU | IE | IT | LT |
| | LU | LV | MT | NL | PL |
| | PT | SE | SI | SK | UK |

Figura 2.2 – Diffusione degli strumenti proposti negli stati Membri (EU25) [6]

2.2.1 Road Safety Impact Assessment

La prima procedura indicata è il Road Safety Impact Assessment, ossia la valutazione di impatto della sicurezza stradale finalizzata ad agevolare la presa di

decisioni strategiche in merito alle implicazioni per la sicurezza, legate alla costruzione di nuove strade o a modifiche sostanziali di strade già esistenti.

Ad oggi l'approvazione dell'iter di nuove infrastrutture o i lavori di manutenzione valuta i dati economici, gli effetti ambientali, l'impatto sul traffico, ma di rado tiene in considerazione le implicazioni sulla sicurezza del progetto.

Tale procedura mira a far sì che in tutti gli Stati membri tale procedura sia condotta su tutti i progetti o varianti prima dell'approvazione. Questo strumento può risultare importante, poiché, indicando il motivo della approvazione di una particolare scelta progettuale, fornisce così elementi importanti per l'analisi costi-benefici fra diverse varianti.

La Direttiva si prefigge, pertanto, con la valutazione di impatto della sicurezza stradale, di creare una consapevolezza generalizzata sulla sicurezza in ogni fase del processo decisionale. Un approccio simile è stato utilizzato, con successo a livello europeo con la Direttiva sulla Valutazione dell'Impatto Ambientale³ finalizzata a far sì che le conseguenze di un qualsiasi progetto a livello ambientale siano tenute in conto prima dell'autorizzazione.

L'implementazione di tale Direttiva a tutti gli Stati Membri ha portato una consapevolezza diffusa relativa all'ambiente al fine di proteggere la salute umana.

Inoltre la proposta di una specifica procedura di valutazione dell'impatto di un progetto stradale, in termini di sicurezza per l'utente, intende superare alcune carenze della V.I.A. tradizionale.

Tuttavia non vi sono molte esperienze a cui fare riferimento: infatti, solo un ristretto campo di paesi è attivo in tale senso (figura 2.1). In Inghilterra, in Norvegia e in Italia la valutazione di impatto della sicurezza stradale è una fase iniziale del Road Safety Audit. Analogamente in Germania ed in Svezia una valutazione di impatto indipendente è assunta nel Road Safety Audit anche se non è stata resa obbligatoria, mentre è stata resa cogente in Danimarca per tutti i nuovi progetti di una certa consistenza.

Anche dal punto di vista economico tale procedura può essere confrontata con quella di V.I.A. i cui costi si attestano su un valore inferiore allo 0.5% del costo totale del progetto.

Inoltre poiché si prevede un'implementazione parallela all'iter progettuale, non si prevedono ritardi aggiuntivi.

2.2.2 Road Safety Audit

La seconda procedura proposta è il Road Safety Audit, ossia la revisione della sicurezza stradale, rivolta a consentire un controllo indipendente, nonché la formulazione di raccomandazioni per la verifica tecnica del progetto, sia che si tratti di costruzione di una nuova strada, sia che si tratti dell'ammodernamento di una strada già esistente.

³ Council Directive 85/337/EEC of 27 June 1985 on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment

Infatti, le revisioni di sicurezza sono uno strumento con cui è possibile individuare la presenza, in un tracciato stradale, di situazioni di rischio potenziale per la circolazione, affrontando il problema dal punto di vista dell'utenza e cercando di indagare, avvalendosi dell'ausilio di apposite *check list* ed attraverso un processo di confronto fra i giudizi espressi da un gruppo di esperti, le modalità con cui lo spazio stradale viene percepito, interpretato ed utilizzato dai diversi utenti che ne fruiscono nei diversi modi.

La Direttiva impone agli Stati Membri di garantire che tale procedura venga applicata a tutti i progetti ed in tutte le fasi di progettazione.

In realtà la revisione della sicurezza stradale è già in uso in vari Stati Membri; ad esempio:

- Inghilterra è stato reso obbligatorio su tutte le strade nazionali, sulle strade nuove e sulla manutenzione di quelle esistenti dal 1990, dove però la revisione è di diretta responsabilità dell'Ente gestore e quindi di livello molto variabile;
- in Belgio, la revisione della sicurezza è sotto l'autorità delle amministrazioni regionali;
- in Danimarca il Road Safety Audit è analogo a quello Inglese, sebbene sia obbligatorio solo per le strade di nuova costruzione;
- in Svezia, invece, tale procedura è parte del controllo ordinario di qualità del progetto di ciascuna strada;
- in Portogallo ed in Finlandia la revisione della sicurezza, ad oggi, è solo nella fase di implementazione;
- in Italia le analisi di sicurezza stradale sebbene non abbiano ancora assunto carattere cogente, vengono tuttavia contemplate all'interno della Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 3699 dello 08/06/2001 "Linee guida per le analisi di sicurezza delle strade".

Per quanto riguarda il lato economico, la "Direttiva" prevede che tale procedura sia svolta in parallelo con l'iter progettuale, e che quindi non comporti ritardi aggiuntivi a questo, e che abbia un costo minore dello 1% del costo totale dell'intero progetto, secondo quanto stimato da RIPCORDER-ISEREST (Road Infrastructure Safety Protection – Core-Research and Development for Road Safety in Europe).

2.2.3. Network Safety High-Risk Road Section Management

La terza procedura indicata è il Network Safety High-Risk Road Section Management, ossia la gestione della sicurezza nelle sezioni ad alto rischio della rete, finalizzata a stabilire misure correttive da applicare a quelle sezioni stradali che registrano una forte densità di incidenti, come ad esempio i classici punti neri.

Tale procedura si basa sull'idea che, andando a migliorare la sicurezza stradale dei punti critici, si possa ottenere un generale miglioramento della intera rete stradale.

La Direttiva prescrive ai vari Stati di classificare le sezioni stradali della rete Transeuropea appartenenti ai loro territori in base al rischio, e di avvisare gli utenti in relazione alla pericolosità di un determinato tronco stradale.

L'individuazione delle sezioni ad alto rischio tiene conto del numero di incidenti mortali e di incidenti con feriti gravi che sono accaduti negli anni precedenti per unità di lunghezza di strada nel caso di archi, mentre nel caso di nodi tiene conto del numero di incidenti analoghi avvenuti per ubicazione della intersezione.

Le fasi di tale procedura sono:

- delimitazione della sezione stradale;
- individuazione possibili reports già esistenti per quella sezione;
- scrittura reports dell'incidentalità;
- analisi del numero di incidenti mortali o con feriti gravi avvenuti nei precedenti tre anni;
- proposta di misure correttive da realizzarsi in un anno, come ad esempio la rimozione o la protezione di ostacoli fissi, o interventi sulla velocità limite;
- proposta di misure correttive da realizzarsi in più di un anno, come ad esempio il rifacimento della pavimentazione o la riprogettazione dei dispositivi di sicurezza.

Il costo di tale procedura è stato stimato da RIPCORD-ISEREST intorno ai 600-1.000 € per km di autostrada.

La gestione della sicurezza della rete in esercizio è una procedura relativamente nuova nel contesto dell'Unione Europea. La Germania sta conducendo dei progressi nel campo della sicurezza stradale nelle aree considerate ad alto rischio, basandosi sulle linee guida tedesche per l'analisi della sicurezza delle rete stradale. Gli incidenti per chilometro di strada sono convertiti in perdite economiche annuali, che forniscono un'indicazione sul risparmio ottenuto dalla realizzazione di infrastrutture in accordo con i criteri nazionali della progettazione stradale.

Nel Regno Unito è stata introdotta una sorta di guida operativa, ossia una strategia di sicurezza stradale supportata da documenti per la gestione dell'incidentalità nei tronchi della rete, che permette di analizzare in tutti i suoi aspetti, non solo quelli legati all'alto rischio, una considerevole quantità di dati, ed adottare un approccio sistematico per la pianificazione.

Le priorità sono di incoraggiare il traffico su strade appropriate caratterizzate da limiti di velocità idonei.

Risulta a questo punto interessante confrontare le diverse definizioni di "sezioni ad alto rischio" nei vari Paesi dell'Unione.

Il Portogallo, la Norvegia, la Germania e l'Austria danno un'esatta definizione di cosa significhi "sezione ad alto rischio", ma tale definizione varia da Paese a Paese.

In Portogallo una sezione ad alto rischio è un tratto di strada di lunghezza massima 200 m, dove sono accaduti nell'ultimo anno, 5 incidenti con un indice di severità pari a 20, dove tale indice è definito dall'espressione:

$$(100 \times \text{persone morte}) + (10 \times \text{persone gravemente ferite}) + (3 \times \text{persone ferite lievi}).$$

L'analisi costi/benefici è applicata per determinare misure appropriate che sono descritte nelle linee guida per il trattamento delle sezioni ad alto rischio.

Un approccio simile esiste in Belgio dove, ad esempio, le zone ad alto rischio sono definite dal seguente indicatore:

$$(5 \times \text{persone morte}) + (3 \times \text{persone gravemente ferite}) + (3 \times \text{persone ferite lievi})$$

e dove un indicatore più alto di 15 costituisce una priorità.

La Germania definisce “ad alto rischio” i punti in cui è stato rilevato un elevato numero di incidenti in un certo periodo. L’analisi distingue fra nodi, archi e aree, e risulta, in tale procedura, fondamentale l’analisi costi benefici.

In Inghilterra, invece, il monitoraggio dei dati degli incidentali permette di ottenere un’analisi dettagliata dei luoghi incidentali e questo, insieme all’analisi costi benefici, permette di definire gli interventi da realizzare, così com’è in Svezia dove la procedura è stata avviata nel 1960 e molti punti neri sono già stati trattati con successo.

In Finlandia tale procedura consiste nel monitoraggio di una sezione stradale, di lunghezza circa 20-50 km, che è stata classificata secondo la densità degli incidenti mortali. Tale fattore, definito fatalità/100 km/anno, è assunto come indicatore degli investimenti da attuare per migliorare la rete stradale.

In altri paesi è stata adottata la semplice procedura di segnalazione delle zone ritenute pericolose.

Ad esempio in Austria, nella città di Graz, è stato installato un determinato segnale in 11 diversi punti. Con riferimento all’ultimo biennio ha permesso di rilevare una diminuzione del 28% di incidenti nei primi due anni dopo l’installazione.

Un’esperienza simile è stata condotta in Polonia dopo il 1998, dove l’analisi before/after (§2.3.1) ha permesso di osservare una riduzione del 23% dei morti e del 28% dei feriti.

2.2.4 Road Safety Inspections

L’ultima procedura proposta dalla Direttiva si identifica nelle Road Safety Inspections, ossia le “Ispezioni di Sicurezza” che si rivelano importanti per rilevare le criticità esistenti anche nei tronchi di rete stradale che non vantano un’elevata incidentalità, che sono oggetto, invece, della precedente procedura.

La Direttiva prescrive che siano effettuate periodicamente nell’ambito della regolare manutenzione stradale, al fine di consentire la riduzione, in via preventiva, dei rischi di incidenti, grazie all’applicazione di particolari misure. Infatti, le ispezioni sono uno strumento in grado di individuare sia dove è più probabile che accada un evento incidentale, sia il tipo di intervento più adeguato. Inoltre, attraverso l’analisi del rischio, è possibile stabilire delle correlazioni fra un certo tipo di criticità e l’evento incidentale, al fine di associare certe sezioni stradali ad un determinato tipo di intervento, il tutto con costi analoghi a quelli di una tradizionale ispezione di sicurezza.

Appare evidente, quindi, come l’analisi costi-benefici applicata a tale procedura restituisca risultati estremamente positivi.

La Germania ha istituito un programma di ispezioni della sicurezza da attuarsi ogni due anni in tutte le aree urbane, extraurbane e nelle autostrade, e ogni quattro anni nelle strade di quartiere.

In Portogallo, in Italia, in Grecia ed in Austria tale procedura ricade all’interno di quella della manutenzione stradale sotto la responsabilità dei diversi enti gestori della strada, che la gestiscono a loro discrezione.

Nel 2003 la rete tematica ROSEBUD ha intrapreso un'analisi di impatto relativa alla presente proposta ed alle procedure indicate. Tale rete (Road Safety and Environmental Benefit – Cost and Cost - Effectiveness Analysis for Use in Decision-Making) è un progetto della Comunità Europea finalizzato alla costituzione di una rete tematica dell'Unione per valutare l'efficienza delle misure per la sicurezza stradale; in considerazione dell'esiguità delle risorse pubbliche disponibili, mira ad evidenziare le misure in grado di ridurre maggiormente il numero e la gravità degli incidenti con costi contenuti

Dallo studio condotto da ROSEBUD è emerso come, in conseguenza dell'implementazione sulla rete stradale Transeuropea della metodologia proposta, composta dalle quattro procedure, sia possibile una riduzione di più di 600 incidenti mortali, corrispondente al 12%-16% del totale, e di circa 7000 incidenti con feriti all'anno corrispondente al 7%-12% del totale.

Pertanto ROSEBUD stima che con l'applicazione delle 4 procedure alle autostrade e alle principali strade della Unione Europea si potrebbe ottenere una riduzione di 1300 morti ogni anno.

2.3 MODELLI ESISTENTI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO

La metodologia proposta dalla Commissione Europea individua un sistema globale di gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali, basato su quattro procedure e finalizzato ad assicurare che la sicurezza sia tenuta in considerazione in tutte le fasi della progettazione.

Accanto alla descrizione di tale metodologia si ritiene importante analizzare i principali strumenti, esistenti in letteratura, con cui poter valutare e prevedere il livello di rischio di una infrastruttura.

In particolare i modelli che verranno presi in considerazione sono i seguenti:

- 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 previsionali, basati sull’interpretazione dei rapporti di causa/effetto che determinano il sinistro (hazard analysis e reti neurali);
- metodi basati sulla realtà virtuale.

Nel seguito ognuno di tali modelli viene preso in esame.

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.

Uno dei principali limiti di tale modello, consiste nel non permettere di individuare l’intervento più efficace per migliorare le criticità specifiche di una infrastruttura, è stata superata 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

I modelli deterministici si basano sull'assunto di considerare l'evento incidentale come il risultato di un meccanismo di natura deterministica.

Tali metodi consistono nell'analizzare in dettaglio l'incidente stradale e modellare l'evento con una serie di equazioni strutturali atte a descrivere le tre componenti base del fenomeno incidentale, ossia il comportamento dell'utente, le caratteristiche del veicolo e le condizioni stradali.

Una volta individuate le cause originarie del processo che ha condotto all'incidente è possibile decidere il tipo di intervento da adottare e verificarne l'efficacia.

Proprio per la metodologia di cui si compongono è denominato "in-depth analysis" o studio clinico degli incidenti [90].

Per alcuni tipi di incidente, come ad esempio quelli aerei, questo modello è l'unico atto a determinare le probabili cause e ad identificare i corretti interventi di prevenzione [97].

Inoltre tale modello si è dimostrato 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).

La complessità di tale modello è data dal fatto che per la ricostruzione dell'evento sono necessari numerosi dati di dettaglio, di solito non sono disponibili nei tradizionali database e che, quindi, devono essere rilevati direttamente sul luogo dell'incidente.

Tuttavia alcune esperienze inglesi si basano anche su indagini di incidenti simili accaduti in passato, di cui sono note le cause, detti "retrospective studies" [8].

2.3.3 Modello previsionale

Le tecniche previsionali 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.

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

L'hazard analysis, o analisi del rischio, ha lo scopo di valutare le probabilità di accadimento elementari che concorrono a determinare l'evento incidentale.

Tale modello può pertanto essere definito probabilistico in quanto mira a valutare se l'evento incidentale si può verificare in un determinato elemento infrastrutturale, in funzione delle caratteristiche geometriche e di traffico, che contraddistinguono l'elemento stesso.

Si ricostruisce, quindi, la catena di eventi elementari che producono l'incidente in modo da ottenere una valutazione attraverso la stima quantitativa delle probabilità elementari intercettate dai "percorsi critici".

In particolare 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. Si assume che 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 dell'"albero degli eventi" (figura 2.2), 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.

Di seguito, in figura 2.3, si riporta come esempio un "albero degli eventi" relativo alla manovra dei sinistri per distanziamenti insufficienti.

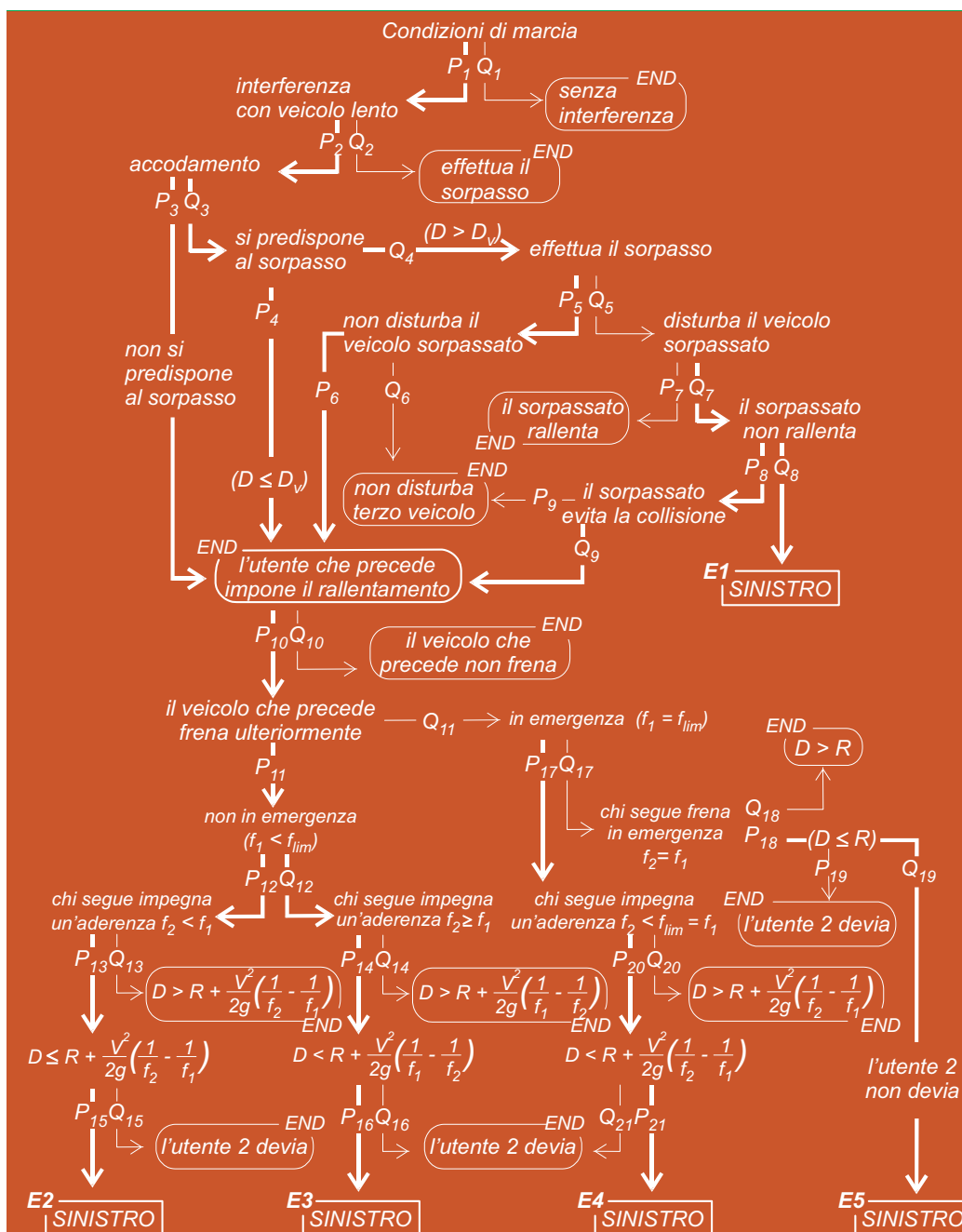


Figura 2.3 – Albero degli eventi, manovra dei sinistri per distanziamenti insufficienti [82]

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

Una fase critica del processo di analisi del rischio 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 l'originalità della 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'utenza è impiegato per determinare la probabilità di accadimento degli eventi elementari.

2.3.3.2 Modello di Intelligenza Artificiale

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 2.4.

Tali reti neurali 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 l'architettura di rete ed il processo di apprendimento hanno valore solo per l'applicazione in esame e, pertanto, non possono essere generalizzati.

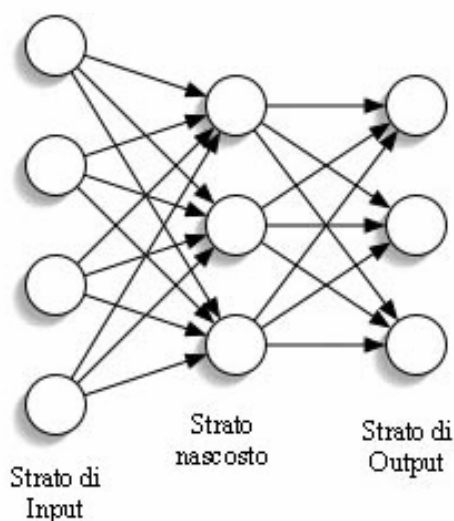


Figura 2.4 – Schema rete neurale [177]

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.

2.3.4 Modello in realtà virtuale

Una metodologia molto recente per affrontare il tema della sicurezza stradale è costituito dalla simulazione in realtà virtuale dell'ambiente stradale e delle condizioni di guida (figura 2.5).



Figura 2.5 [80] [142]

Il metodo consiste nel proiettare su uno schermo il tracciato stradale simulando diverse condizioni di traffico e ambientali, e nell'utilizzare dei campioni di utenti della strada che si fanno guidare all'interno dell'abitacolo di una autovettura il cui volante, acceleratore e freno sono collegati al computer di simulazione, figura 2.5.

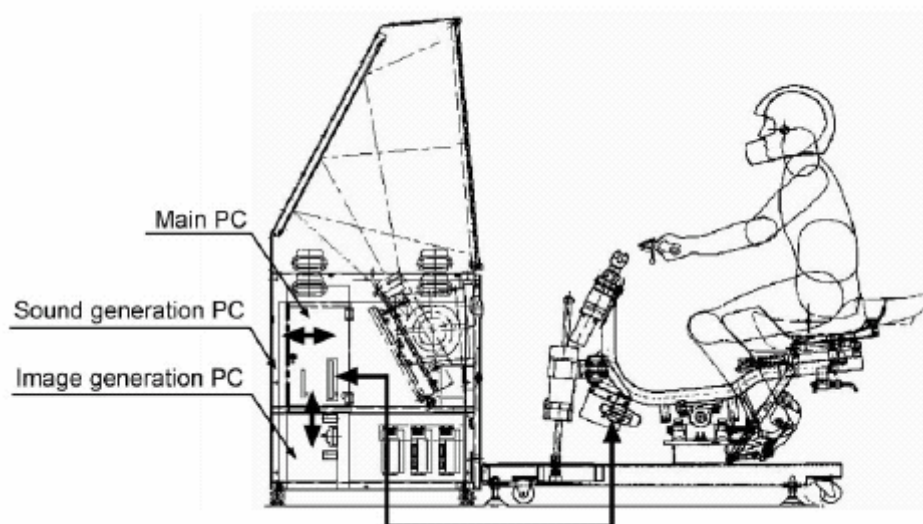


Figura 2.6 [142]

Con questa strumentazione gli utenti, agendo sui dispositivi di guida, dovrebbero essere in grado di riprodurre condizioni simili a quelle che si hanno sulla strada in modo tale che si possa correlare i parametri rilevati durante la simulazione (velocità,

traiettorie, etc) con i dati incidentali precedentemente raccolti relativi al tratto in esame.

Infatti tale procedura consente di:

- studiare i condizionamenti psico - fisiologici indotti dalla strada,
- analizzare su base statistica le manovre elementari,
- valutare gli effetti indotti dalle interferenze veicolari,
- verificare la qualità del progetto nelle sue future condizioni di esercizio.



Figura 2.7 [175]

In figura 2.6 si riportano il “Riding Simulator” ed il “Riding Trainer”. Questo ultimo è un sistema innovativo, molto più semplice, funzionando con un semplice personal computer; è stato inserito come strumento didattico nella Carta Europea per la sicurezza stradale, ed è stato realizzato sfruttando i risultati della ricerca Maids, studio europeo commissionato dall’ACEM (Associazione Costruttori Europei di Motocicli) di cui si parlerà nel seguito [118].

Le simulazioni in realtà virtuale ad oggi sono adottate in pochissimi paesi, soprattutto per l’elevato costo della strumentazione poiché, come appare evidente, i risultati ottenuti sono tanto più accettabili quanto più è veritiera la realtà virtuale riprodotta.

2.4 RICERCA DI NUOVI CRITERI PROGETTUALI ALLA LUCE DELLE RECENTI DISPOSIZIONI EUROPEE

La Proposta di Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture viarie mira a fare in modo che la sicurezza sia tenuta in considerazione durante tutte le tappe relative alla gestione delle infrastrutture, al fine di assicurare che l'infrastruttura collabori alla riduzione dell'incidentalità, cambiando pertanto la situazione attuale che vede l'infrastruttura come una delle cause principali di un incidente grave su tre.

Si ritiene che ciò sia dovuto in gran parte alla caratteristica comune delle misure di sicurezza stradale, e alle diverse normative nel panorama europeo, di essere rivolte esclusivamente ad utenti a quattro ruote, mentre negli ultimi anni sta diventando sempre più pressante l'esigenza di considerare una corrente veicolare non omogenea, composto da veicoli differenti che interagiscono nel medesimo spazio.

Pertanto, tale ricerca, partendo dalla valutazione della sicurezza relativa ai veicoli a due ruote motorizzati, e dalla analisi della dinamica incidentale, si propone di studiare una relazione fra le caratteristiche dell'infrastruttura e la sua sinistrosità al fine di determinare soglie e priorità di intervento. Tale relazione verrà espressa attraverso un modello matematico-statistico (§2.3.1) atto a determinare il rapporto fra la sicurezza di un'infrastruttura e specifici parametri specifici relativi al rischio delle due ruote risultati dalla ricerca condotta, di una intersezione semaforizzata, in condizioni di traffico eterogeneo.

CAPITOLO 3: STUDIO DELLA SICUREZZA DEI MOTOVEICOLI

3.1 DEFINIZIONE DI SICUREZZA

L'obiettivo del presente studio si concretizza nel riuscire a valutare il grado di sicurezza di un veicolo a due ruote che percorre una determinata infrastruttura. Risulta pertanto fondamentale definire cosa si intende per sicurezza dei motoveicoli: "il numero di incidenti di un certo tipo che si presume possano avvenire su un determinato tratto in un certo periodo, per unità di tempo" [71]; in tale definizione si assume che:

- per "tipo di incidente" si intendono categorie fra loro anche molto differenti come gli incidenti isolati o quelli che coinvolgono più veicoli che verranno trattati in seguito nello specifico (capitolo 6);
- il termine "entità viaria" indica uno specifico tratto di strada o una determinata intersezione ma anche gruppi specifici come l'insieme di tutte le intersezioni semaforizzate;
- è indispensabile specificare il periodo temporale di riferimento in quanto la sicurezza di ciascun elemento può variare notevolmente nel tempo.

Una volta definito cosa si intende per sicurezza è possibile procedere alla sua valutazione.

Per ottenere ciò è necessario prendere in considerazione tre grandezze principali [76]:

- il grado di esposizione, proporzionale, ad esempio, al tempo trascorso sulla strada dall'utente o dalla categoria di utenti considerati;
- il rischio di incidente, che rappresenta la probabilità di accadimento dell'evento incidentale, a parità di esposizione, di un determinato gruppo o insieme preso in considerazione;
- le conseguenze dell'incidente, relative al fenomeno incidentale quando questo è già avvenuto.

Tali grandezze coprono i tre principali campi su cui si può operare per modificare le condizioni di sicurezza. Il cambiamento di una di queste può modificare l'intera situazione.

In particolare possiamo utilizzare la seguente espressione:

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

Il grafico di figura 3.1 illustra il significato di questa relazione: sugli assi cartesiani sono riportate le tre grandezze fondamentali in gioco, in modo che il volume sia proporzionale al numero di feriti o di morti, mentre l'area della faccia laterale sia proporzionale al tasso di mortalità.

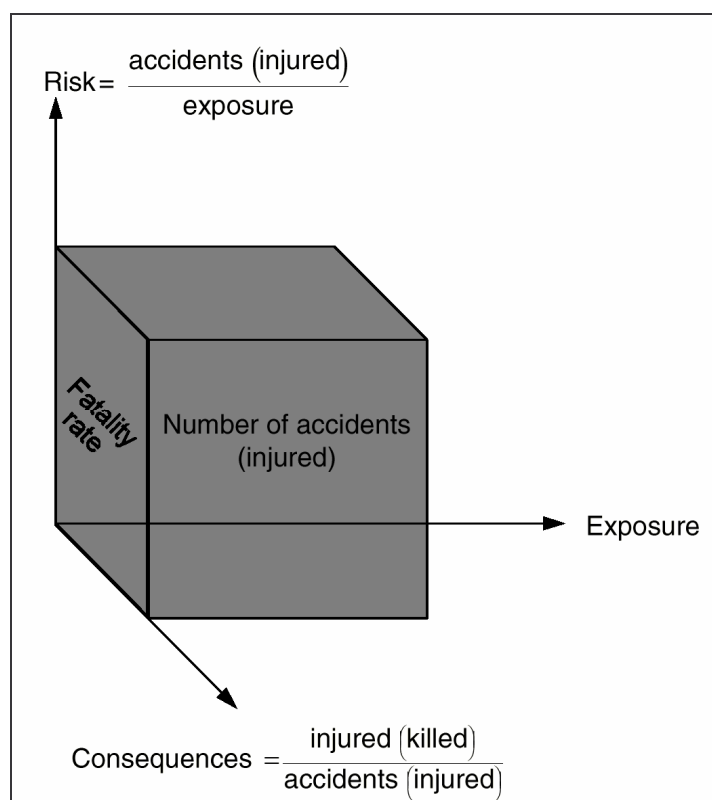


Figura 3.1 - Sicurezza stradale = f (Esposizione x Rischio x Conseguenze) [76]

La teoria descritta può essere illustrata mediante un grafico a tre dimensioni [91] che rappresenta la situazione della sicurezza del trasporto in Svezia per diverse tipologie di utenti della strada (figura 3.2).

I dati di incidentalità si riferiscono al numero medio di morti e feriti nel triennio 1990-1992 ed i dati di esposizione al rischio si riferiscono alla stima del numero medio di km percorsi per ciascun utente e per ciascun modo di trasporto nell'anno 1992.

I volumi sono proporzionali al numero di morti, forniti fra parentesi nel grafico, mentre le altezze rappresentano il numero totale di feriti per milione di km percorsi, ossia sono un indice del rischio per quel determinato modo di trasporto, mentre la larghezza è proporzionale al grado di esposizione; 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 a quello totale di feriti (morti inclusi). I motociclisti risultano gli utenti con il maggiore indice di rischio (maggiore altezza) e con il secondo indice di gravità (profondità) dopo i pedoni, confermando i dati riportati nel capitolo 1.

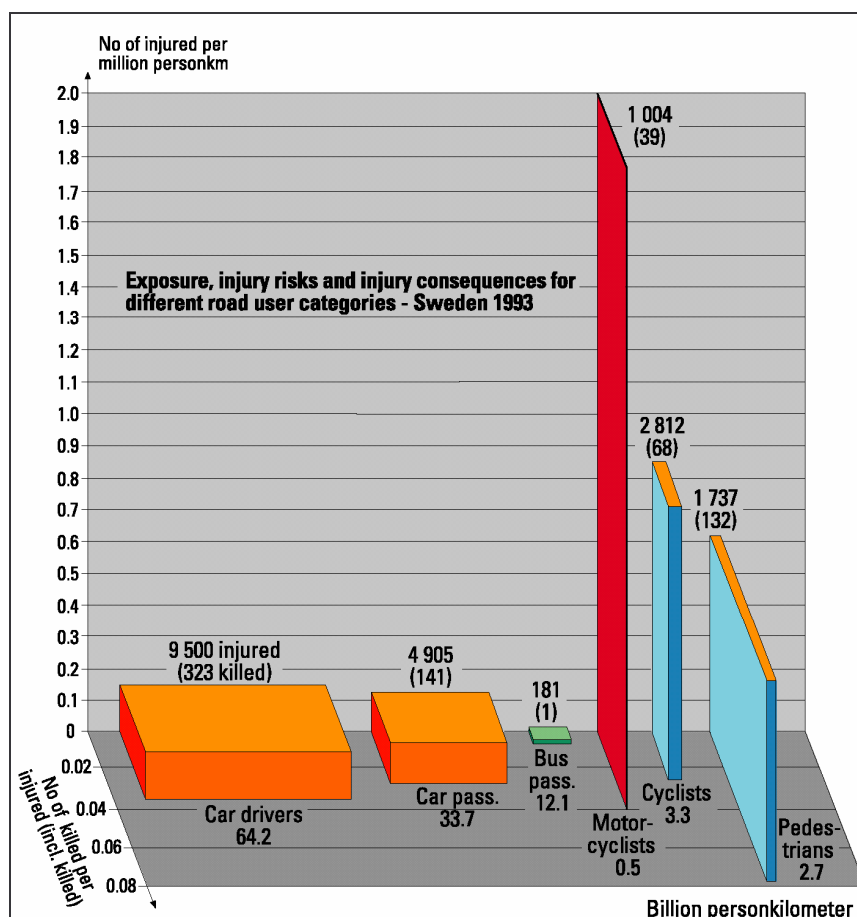


Figura 3.2 - Numero medio annuale di morti per differenti modi di trasporto in Svezia (1990-1992) [91]

Di seguito verrà riportata una breve analisi di ciascuno di questi tre fattori (esposizione, conseguenze e rischio) per poi focalizzare l'attenzione su quello ritenuto maggiormente significativo per l'analisi della sicurezza dei TWD, ossia il rischio.

3.2 ESPOSIZIONE

L'esposizione è fondamentale in quanto permette di stimare il "peso" di un determinato fattore, al fine di poter confrontare le diverse situazioni e di riuscire in qualche modo a classificare i problemi legati alla sicurezza stradale.

La comparazione statistica tra popolazione di incidenti e popolazione esposta al rischio permette di stimare se e quanto un fattore di rischio è sopra o sotto-rappresentato nel database di incidenti; ad esempio se nel 20% degli incidenti studiati la moto è di colore rosso, mentre il dato di controllo indica che le moto di questo colore sono il 50% di tutte quelle in circolazione, allora si può concludere che le moto rosse hanno una minore probabilità di essere coinvolte in un incidente (sono sottorappresentate); se, al contrario, le moto rosse coinvolte in incidenti fossero sempre il 20%, mentre quelle complessivamente in circolazione fossero il 10% del totale, allora si potrebbe concludere che la probabilità di incidente per queste moto sarebbe certamente maggiore (sovra-rappresentazione).

La misura dell'esposizione può essere effettuata in diversi modi, quali, ad esempio:

- il conteggio dei veicoli;
- il rilievo dei flussi veicolari;
- le indagini sulle abitudini di viaggio su una popolazione campione;
- le stime indirette del grado di esposizione tramite l'analisi del consumo di benzina.

Appare evidente come, da tali dati, sia possibile ricavare un elevato 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.

Ad esempio, mediante la valutazione del traffico giornaliero medio TGM (oppure dell'Annual Average Daily Traffic AADT), è possibile determinare la "sicurezza" in differenti sezioni stradali calcolando 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. L'esposizione risulta dalla seguente espressione:

Esposizione totale = (Numero dei veicoli) x (Stima dell'esposizione media)

In sostituzione del conteggio del numero di incidenti può essere utilizzata la tecnica dei conflitti di traffico.

Tale 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.

Si basa sul rilievo mediante telecamere da cui si ottiene:

- le caratteristiche dell'incidente nel punto nero, (il numero di veicoli coinvolti, i tipi di veicoli, la severità, il periodo, le condizioni atmosferiche, le cause degli incidenti)
- l'osservazione del veicolo nei punti neri,
- la stima del tempo dell'incidente per valutare se una collisione sia potenzialmente pericolosa o meno.

Il tipo di conflitto viene poi diagrammato ed i movimenti pericolosi degli utenti sono costruiti in un diagramma dei movimenti pericolosi di cui in figura 3.3 si riporta un esempio.

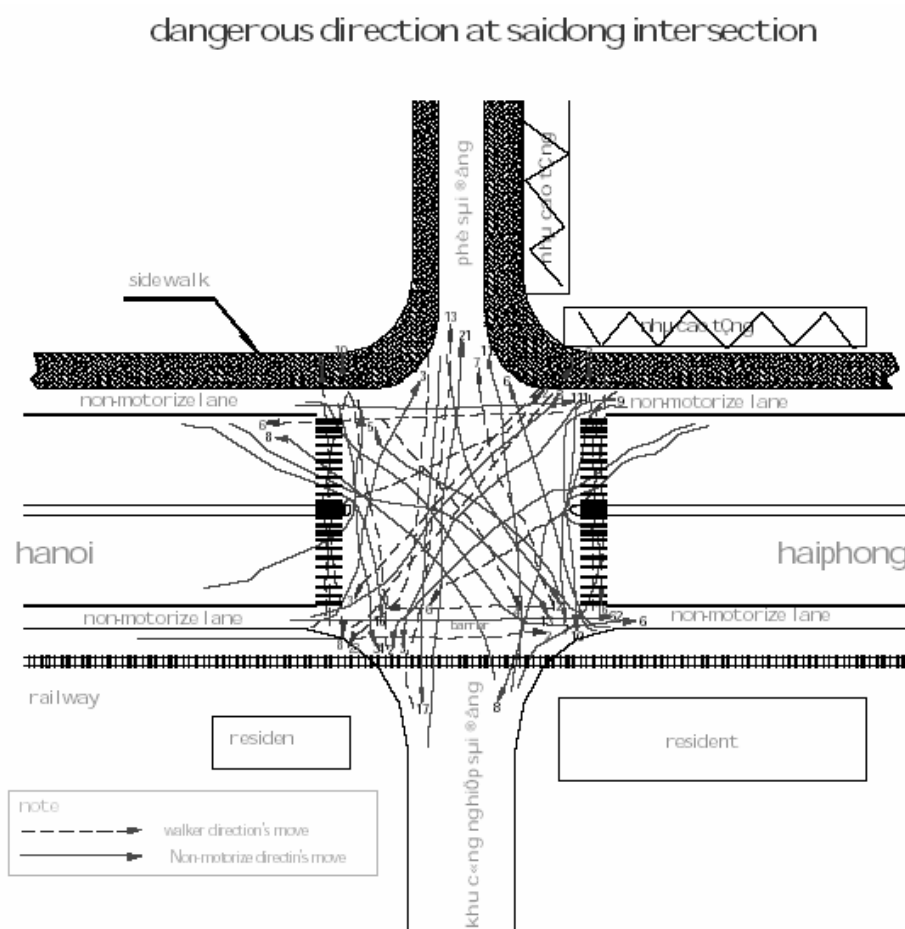


Figura 3.3 – Diagramma dei movimento più pericolosi, intersezione Saigon [101]

Questa metodologia parte dal presupposto che le collisioni gravi siano il risultato di una rottura nell'interazione fra l'uomo, il veicolo e l'ambiente.

L'azione di rottura può essere rappresentata da una frenata, ma anche da una deviazione o da una accelerazione. Il limite fra una collisione grave ed una lieve è mostrato in figura 3.4.

L'intervallo di tempo, che rimane fra l'azione "riparatrice" e la collisione, può portare ad un impatto se il motociclista mantiene la sua velocità e la sua direzione, ossia se non reagisce in tempo ed in modo appropriato alla situazione di crisi intervenuta.

Tale intervallo di tempo viene stimato sulla base della distanza D dal potenziale punto di collisione e della velocità V al momento della azione “evasiva”. Una volta scelto il sito di indagine i risultati di tale tecnica sono poi uniti con i risultati di sondaggi rivolti ad utenti e ad abitanti.

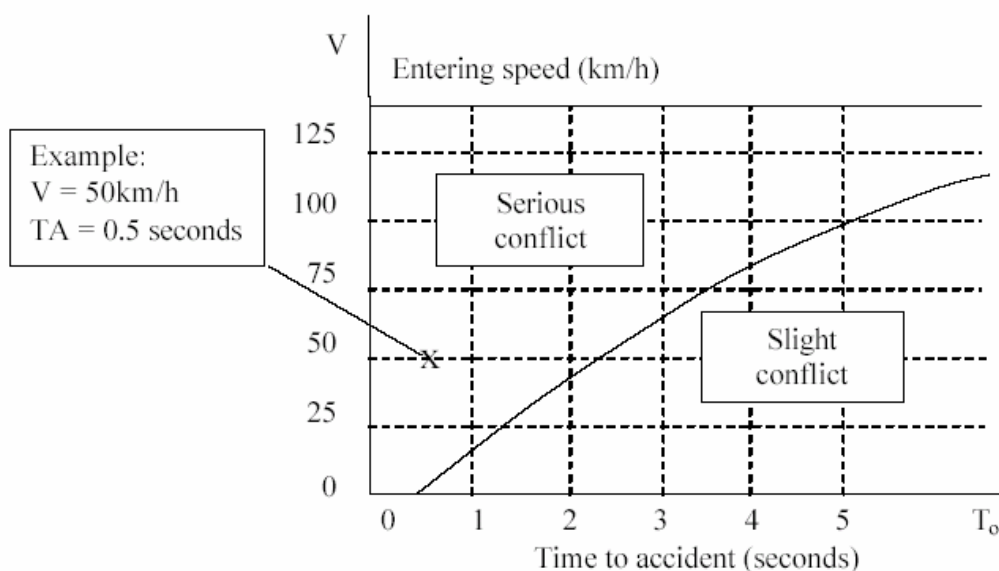


Figura 3.4 – Gravi e lievi conflitti basati sul tempo dell’incidente

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 incidentale.

Al fine di valutare il numero di incidenti dal numero dei conflitti vengono utilizzati degli opportuni coefficienti riduttori.

3.3 CONSEQUENZE

Le conseguenze sono legate al fenomeno incidentale una volta che esso sia avvenuto, e possono essere definite come un indice di gravità o di severità dell'incidente stesso, fondamentale quindi, per lo scopo del presente studio di migliorare la sicurezza dei TWD agendo sull'evento incidentale ritenuto più pericoloso.

In relazione alla valutazione delle conseguenze delle varie tipologie di evento incidentale si ritiene utile esaminare, seppur brevemente, le principali configurazioni di impatto da cui hanno origine le conseguenze stesse.

Per semplicità verrà analizzato il solo caso incidentale fra più veicoli in cui il motoveicolo impatta con un altro veicolo, generalmente a quattro ruote. La dinamica del motoveicolo è molto più articolata di quella delle quattro ruote, come verrà illustrato nel seguito.

Tale complessità contraddistingue anche la fase dell'impatto in cui la traiettoria di un motociclista è sicuramente più variabile di quella di un occupante di un veicolo a quattro ruote.

Infatti, appare evidente che il motociclo, essendo generalmente più leggero dell'oggetto contro cui impatta, perde la stabilità nel momento in cui entra in collisione con esso, tendendo a ruotare attorno al punto di collisione e rendendo così difficile l'individuazione della effettiva traiettoria da esso seguita.

Pertanto nasce il problema di come ricostruire la dinamica dell'impatto trattato di seguito.

3.3.1 Tecniche di ricostruzione di un impatto

La ricostruzione di un impatto può essere effettuata attraverso le dichiarazioni dei conducenti e dei testimoni relative alla la frenata (tempo e modalità, inizio e fine), ai tentativi di evitare lo scontro ed a una stima approssimata della velocità.

Tuttavia, tali dati spesso non sono attendibili in quanto risentono delle diverse capacità percettive e degli stati emotivi delle singole persone.

Come prova di ciò si riporta un test effettuato sulla base delle risposte ad un questionario su quali fossero le tre principali cause di incidente per un motoveicolo. Un totale di 141 persone rispondenti ha concentrato le sue risposte su 35 fattori che possono essere racchiuse in 5 categorie: poca attenzione, ambiente circostante, inesperienza, mancata istruzione stradale e della sicurezza, presa di rischi.

In figura 3.5 seguente è indicata un confronto fra le cause percepite e quelle realmente intervenute da cui appare evidente la notevole discordanza fra esse.

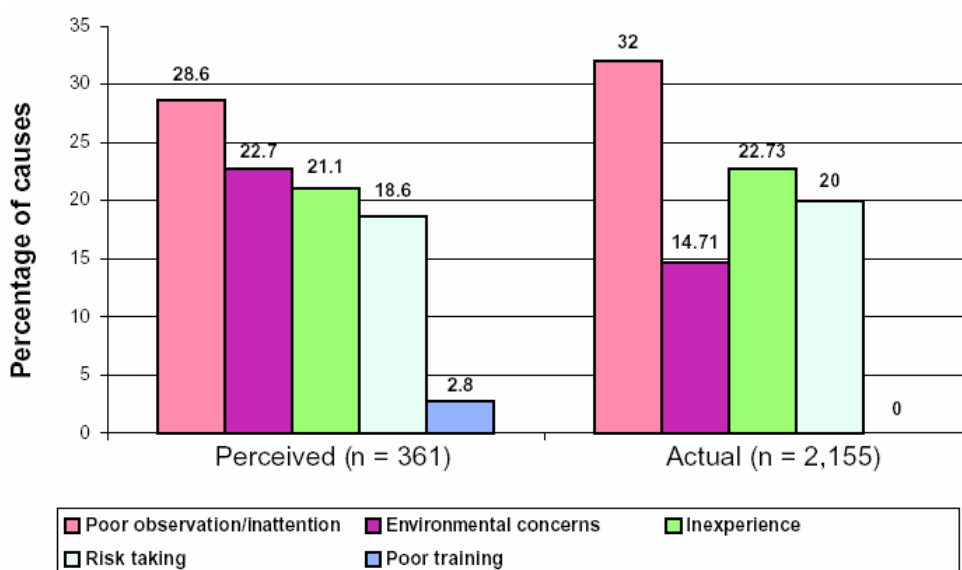


Figura 3.5- Confronto fra le cause percepite e quelle realmente intervenute

Tale problema può essere risolto mediante l'adozione di codici di calcolo appositamente dedicati che permettono di studiare l'evento incidentale e la configurazione di impatto mediante simulazioni numeriche. Gli strumenti più utilizzati sono il *PC-Crash*, il *WinCRASH* e l'*EDCRASH* i cui procedimenti di ricostruzione si basano essenzialmente su due metodologie [135]:

- 1) l'analisi della traiettoria;
- 2) l'analisi del danno.

Si riporta una breve descrizione di queste due metodologie.

3.3.1.1 Analisi della traiettoria

L'analisi della traiettoria, sulla base dei dati rilevati sulla scena dell'incidente (figura 3.6), relativi ai segni della frenata, alle posizioni di arresto finale dei veicoli e dei corpi degli occupanti, all'attrito locale, al punto di collisione ed altri elementi, permette di ottenere la velocità del sistema dei veicoli coinvolti nello scontro e di determinare le velocità prima dell'impatto (pre-impatto) e quelle di separazione (post-impatto).



Figura 3.6 - Alcuni importanti elementi della scena dell'incidente

Inoltre, noti i dati geometrici dei veicoli, è possibile disegnare il percorso e le rotazioni di ogni vettura coinvolta nell'incidente in base ai segni lasciati dai pneumatici, e rilevando l'attrito della pavimentazione nelle stesse condizioni ambientali del momento della collisione e conoscendo la traiettoria dopo l'urto, è possibile calcolare la velocità post-impatto.

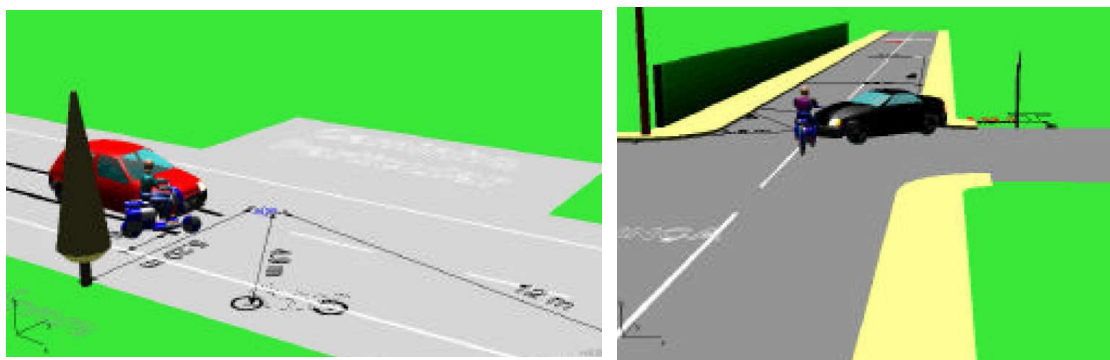


Figura 3.7 - Esempi di ricostruzione di incidenti con motocicli e ciclomotori

Tale procedimento abbisogna di un attento studio della la scena dell'incidente per renderne una ricostruzione accurata e precisa, in quanto appare evidente che se non si conosce la traiettoria successiva all'impatto è molto difficile verificare i risultati della ricostruzione ed il programma non è in grado di riprodurre le dinamiche precedenti la collisione, rendendo così impossibile qualsiasi risultato.

3.3.1.2 Analisi del danno

L'analisi del danno utilizza misurazioni dettagliate della deformazione strutturale dei veicoli coinvolti negli incidenti, per giungere ad una stima dell'energia necessaria per produrre tali danni. Al fine di svolgere correttamente un'analisi del danno è necessario conoscere le dimensioni dei veicoli coinvolti nella collisione, i profili del danno ed i relativi coefficienti di rigidezza. Per quanto riguarda l'acquisizione dei profili del danno per un motoveicolo, è necessaria la rilevazione dell'ammaccatura residua del veicolo mediante una o più misure a seconda dalle parte deformata, per definire la compenetrazione delle lamiere verso il baricentro in seguito all'impatto sia in direzione longitudinale che trasversale, e la valutazione del danno agli occupanti del motociclo (presenza di ammaccatura residua sul casco, segni di abrasione sulla tuta o sugli indumenti, lacerazioni e ferite) per stabilire i punti di contatto con gli altri veicoli e con la pavimentazione stradale. Per quanto riguarda i valori corretti e aggiornati dei coefficienti di rigidezza, sia dei veicoli a quattro ruote che di quelli a due ruote, fondamentali per definire la curva forza-danno, è necessario il calcolo mediante *crash test*.



Figura 3.8 - Crash test con motociclo

Il problema è che non solo questi sono effettuati solo su alcune marche e modelli di veicoli, ma inoltre la realizzazione di un *crash test* per un veicolo a due ruote è più complessa rispetto al caso degli autoveicoli, in quanto per poter conferire la corretta traiettoria di pre-impatto al motociclo è necessario vincolare le ruote ad un binario inferiore ed ancorare il sistema formato dalla moto e dal conducente ad una "slitta" metallica (figura 3.8) in modo che il veicolo mantenga durante il moto un assetto verticale ed il dummy conservi la postura corretta.

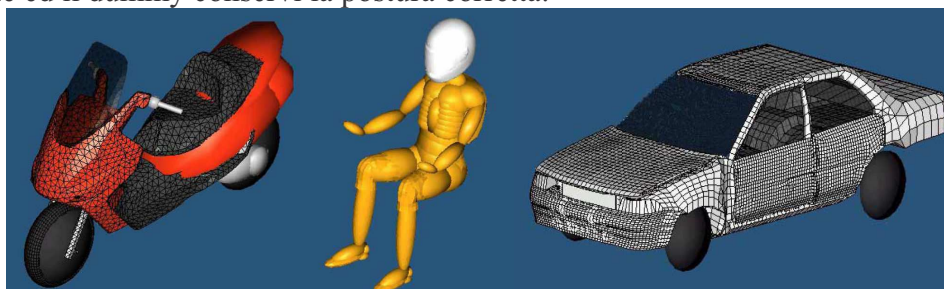


Figura 3.9 - Modelli

Inseriti quindi i valori di rigidezza nei modelli degli autoveicoli e dei motocicli coinvolti nell'incidente (figura 3.9) la ricostruzione col modello di collisione permette di valutare con elevata precisione la variazione delle grandezze dinamiche e cinematiche caratterizzanti il sistema di veicoli negli istanti immediatamente precedenti all'impatto, successivi al contatto e di arresto (figura 3.10).

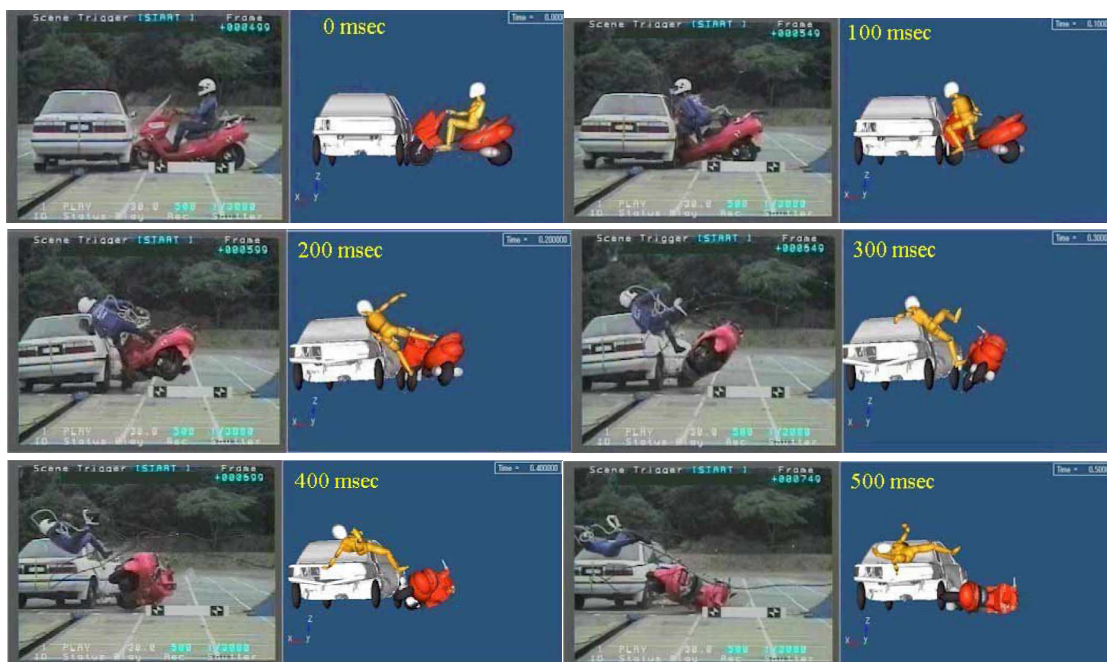


Figura 3.10 - Comparazione tra incidente e simulazione FEM [141]

Un vantaggio di tale procedimento rispetto al precedente è la facilità, nella maggioranza dei casi, di misurare il profilo dell'ammaccatura, a fronte delle difficoltà di raccogliere dati dalla scena dell'incidente.

Nella figura 3.11 ad esempio si osserva la deformazione di alcuni elementi del ciclomotore coinvolto in un dinamica incidentale mediante una simulazione FEM.

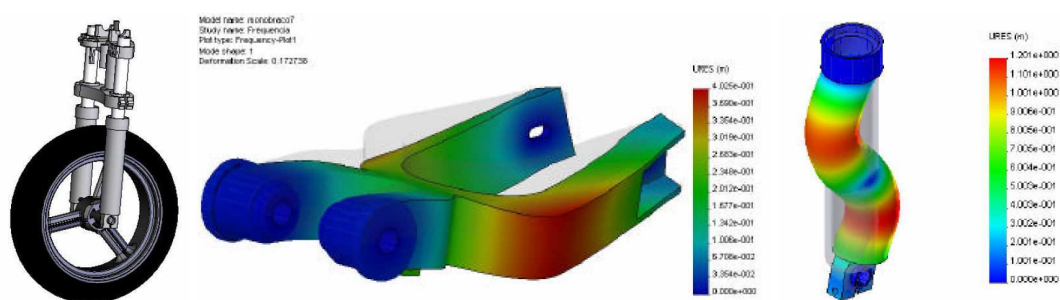


Figura 3.11 - Simulazione FEM della deformazione di una forcella e di una sospensione

3.3.2 Conseguenze delle diverse configurazioni di impatto

Una volta che si è ricostruito l'evento incidentale si può procedere alla analisi delle conseguenze sulla base del tipo di collisione.

Otte [128] ha individuato le diverse tipologie di lesione caratteristiche per vari tipi di impatto.

Il suo studio ha preso in esame un campione di 402 incidenti nel traffico ad Hanover, catalogandoli in base alla tipologia, alla locazione e la gravità (espressa dall'indice AIS, *Abbreviated Injury Severity*, e MAIS, *Maximum Abbreviated Injury Scale*), e confrontandoli con i dati dedotti dal database COST 327. Da tale analisi ha rilevato le configurazioni di impatto più frequenti (l'impatto obliquo frontale o posteriore 23.7%, quello frontale 16% e l'impatto laterale al 5.2%) come riportato in figura 3.12 e le relative tipologie di lesione (figura 3.13).








| Frequency by Collision Type and Distribution of Head Injury Severity by AIS and MAIS | | | | | | | | |
|---|-----------|-------------------|-------|-------|----------|-------------------|-------|-------|
| Collision Types | ARU / MUH | | | | COST 327 | | | |
| | n=400 | AIS Head | | | n=60 | AIS Head | | |
| | | 0 | 1 | 2+ | | 0 | 1 | 2+ |
| | n=402 | MAIS Motorcyclist | | | n=61 | MAIS Motorcyclist | | |
| | 0 | 1 | 2+ | | 0 | 1 | 2+ | |
| | 100% | -----100%----- | | | 100% | -----100%----- | | |
| 1  | 4.6% | 85.3% | 12.1% | 2.6% | 1.7% | 100% | - | - |
| | 4.5% | - | 76.2% | 23.8% | 1.6% | | 100% | |
| 2  | 16.0% | 85.9% | 8.2% | 5.9% | 6.7% | - | 25.0% | 75.0% |
| | 16.2% | - | 71.0% | 29.0% | 8.2% | - | 25.0% | 75.0% |
| 3  | 5.2% | 88.0% | 4.8% | 7.2% | 16.7% | 70.0% | 10.0% | 20.0% |
| | 5.1% | - | 84.1% | 15.9% | 16.4% | - | 77.8% | 22.2% |
| 4  | 23.7% | 74.1% | 13.2% | 12.7% | 31.7% | 57.8% | 21.1% | 21.1% |
| | 23.9% | 3.7% | 62.4% | 33.9% | 31.1% | - | 50.0% | 50.0% |
| 5  | 12.3% | 80.1% | 16.0% | 3.9% | 5.0% | 33.3% | 66.7% | - |
| | 12.2% | 6.0% | 68.3% | 25.7% | 4.9% | - | 100% | |
| 6  | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 7  | 38.2% | 83.6% | 7.6% | 8.8% | 38.3% | 26.1% | 30.4% | 43.5% |
| | 38.1% | 11.3% | 60.3% | 28.4% | 37.8% | 4.5% | 40.9% | 54.6% |

Figura 3.12 – Categoria di tipologie di collisione [128]

Si fa presente che i principali tipi di lesioni sono schematizzati in base alla tipologia di collisione considerando che, poiché i motociclisti spesso riportano più lesioni insieme, il numero totale di lesioni nel corpo può essere più del 100%.








| Collision Types | total n=60 | Injured Body Regions of Motorcyclists | | | | | | |
|---|---------------|---------------------------------------|-------|--------|-------|---------|--------|-------|
| | | Head | Neck | Thorax | Arms | Abdomen | Pelvis | Legs |
| 1  | 1.6% | - | - | - | 100% | - | - | 100% |
| 2  | 8.2% | 100% | 25.0% | 50.0% | 50.0% | 25.0% | 50.0% | 50.0% |
| 3  | 16.4% | 30.0% | 20.0% | 30.0% | 60.0% | - | 20.0% | 100% |
| 4  | 31.1% | 42.1% | 31.7% | 36.8% | 68.4% | 10.5% | 26.3% | 100% |
| 5  | 4.8% | 66.7% | 66.7% | 33.3% | - | 33.3% | - | 33.3% |
| 6  | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 7  | 37.8% | 73.9% | 17.4% | 43.5% | 65.2% | 13.0% | 17.4% | 82.6% |

Figura 3.13





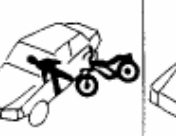


Da tale studio si evince che nelle collisioni frontali è molto frequente la lesione alla testa, mentre nelle collisioni di tipo 3 e 4 sono molto frequenti le lesioni agli arti inferiori.

Anche l'EEVC riporta, sulla base di sette tipologie di collisione con un veicolo a quattro ruote, le tipologie di lesione, come illustrato in figura 3.14.

Innanzitutto si osserva che durante l'impatto è raro che il motociclista scavalchi la macchina senza impatto (8.8%), mentre nel 11.4 % dei casi avviene che il motociclista arresti il suo volo sul lato frontale della macchina.

Nei casi IV, V, VI che sono circa il 54% del totale è presente un impatto diretto. Si fa presente che tali schemi sono solo illustrativi e che l'impatto considerato può essere sia frontale, che posteriore che laterale.

Nella categoria VII si schematizza il caso in cui il motociclista abbia già impattato contro un alto veicolo.

| | | | | | | |
|---|---|---|---|--|---|---|
|  |  |  |  |  |  |  |
| I | II | III | IV | V | VI | VII |
| Flight without impact | Slipped off the collision partner | Thrown upon the collision partner | Impact on the collision partner with change in direction | Impact on the collision partner without change in direction | Direct impact and seated | Indirect collision |
| 8.8 | 3.3 | 11.4 | 25.4 | 16.9 | 11.8 | 21.2 |

% frequency

Figura 3.14

In generale si evince come le lesioni agli arti inferiori succedano quando l'angolo di impatto fra il veicolo a due ruote e quello a quattro ruote è acuto e il motociclista rimane intrappolato, e nell'impatto frontale o posteriore quando c'è contatto diretto fra l'arto ed il veicolo.

Le lesioni alla testa invece si verificano quando l'impatto avviene con un angolo di 90 gradi e il motociclista è sbalzato al di là del veicolo.

È chiaro che le lesioni alla testa ed agli arti inferiori siano le più gravi, mentre le lesioni alle braccia, pur comportando serie invalidità sono meno gravi.

Il report EEVC, European Experimental Vehicles Committee, riporta come nel 90% dei casi i danni più gravi sono arrecati dal contatto con il veicolo a quattro ruote, e solo il 10% dei danni è provocato dall'impatto con la superficie stradale o un altro elemento.

Ciò offre molte speranze di riuscire a diminuire le conseguenze dell'impatto.

3.4 RISCHIO

Nonostante che il fenomeno incidentale relativo ai TWD non sia confrontabile con quello dei veicoli a quattro ruote, in quanto determinato da una serie di variabili non facilmente prevedibili che dipendono dal comportamento del singolo guidatore e dalla sua percezione del rischio, come verrà illustrato nel capitolo seguente, tuttavia si cerca di analizzarlo adottando la stessa procedura esistente in letteratura, basata sulla considerazione che il sistema stradale è imperfetto in quanto lo sono le sue componenti principali: il veicolo, l'ambiente e l'uomo. Per dedurre la quota parte di ciascuno di essi è possibile avvalersi delle indagini condotte dall'autorità pubblica (Polizia stradale, Carabinieri, Polizia provinciale o Polizia municipale) intervenuta sul luogo dell'incidente. Nell'individuazione delle circostanze alle quali far risalire l'incidente, l'autorità considera tutti gli elementi di cui è a conoscenza al momento in cui si è verificato, indipendentemente dalle deduzioni che potranno emergere in seguito.

Riferendoci al 2004 i dati raccolti dall'Istat, che non si discostano da quelli rilevati negli anni precedenti, sono riportati nel grafico di figura 3.15.

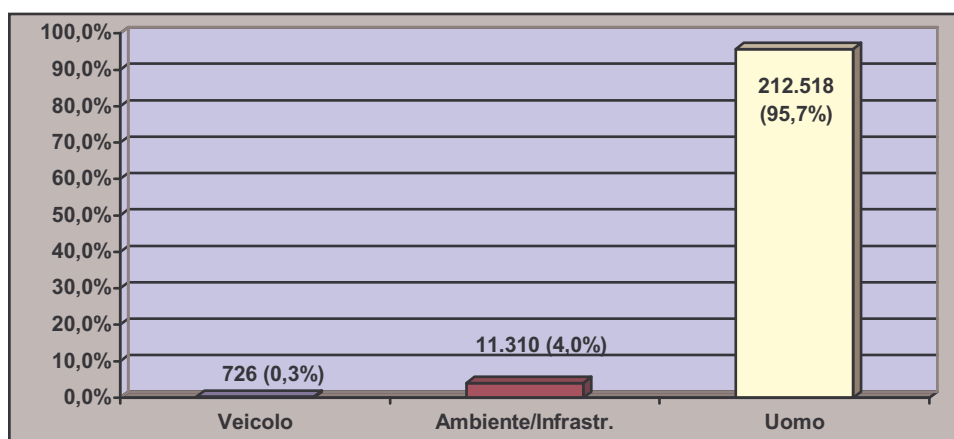


Figura 3.15 - Cause accertate di incidente stradale (totale: 224.553) – Italia, 2004 [22]

Dal tale grafico si evince che lo stato delle infrastrutture pesa per il 4 % dei casi, e che addirittura soltanto in 726 casi, che pesano per lo 0.3 % sul totale, sono stati difetti o avarie del veicolo ad aver causato gli incidenti.

Problemi meccanici sono registrati nel 5.1% dei casi, la maggior parte dei quali relativi ai pneumatici e alla loro manutenzione (3.7%).

Dai dati statistici si è rilevato che le manomissioni sul veicolo per incrementarne le prestazioni incidono nel 17.8% dei veicoli coinvolti in incidenti, mentre il campione di controllo mostra solo il 12.3% di manomissione.

Inoltre pochi sono stati i casi riscontrati in cui l'alta velocità ha costituito una delle cause primarie dell'incidente; infatti, in letteratura [133] si evidenzia come la velocità di impatto, in genere, sia bassa e attestantesi sui 30 km/h, sebbene sia ovvio come la gravità aumenti con l'aumento della velocità.

In particolare, uno studio che ha esaminato incidenti in area urbana ed extraurbana, per tutte le categorie di veicoli a due ruote, ha rivelato velocità di crociera e d'impatto piuttosto basse, solitamente al di sotto dei 50 km/h, come si può osservare dalla figura 3.16.

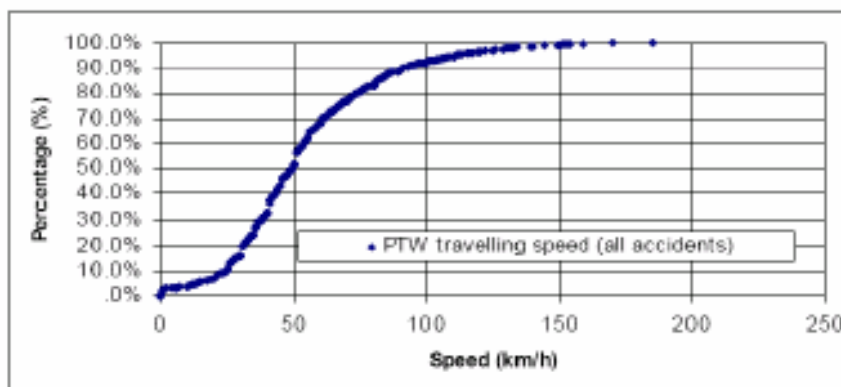


Figura 3.16 - Distribuzione della velocità dei motoveicoli coinvolti in incidenti [118]

Anche Otte [129] riporta che la velocità media è di 40 km/h e che l'80% delle collisioni avviene a 62 km/h o meno. Inoltre sottolinea la presenza di un secondo impatto, spesso di maggiore gravità, che nell'80% dei casi avviene a meno di 40 km/h.

Il fattore che assume un peso preponderante, con il 95.7%, è il fattore umano. In letteratura esso è spesso suddiviso in "errore" e "violazione" [158].

L'"errore" è definito quando avviene il fallimento delle proprie intenzioni, e può essere ricondotto ad un errore nella percezione, nella comprensione, nella decisione, e nell'azione.

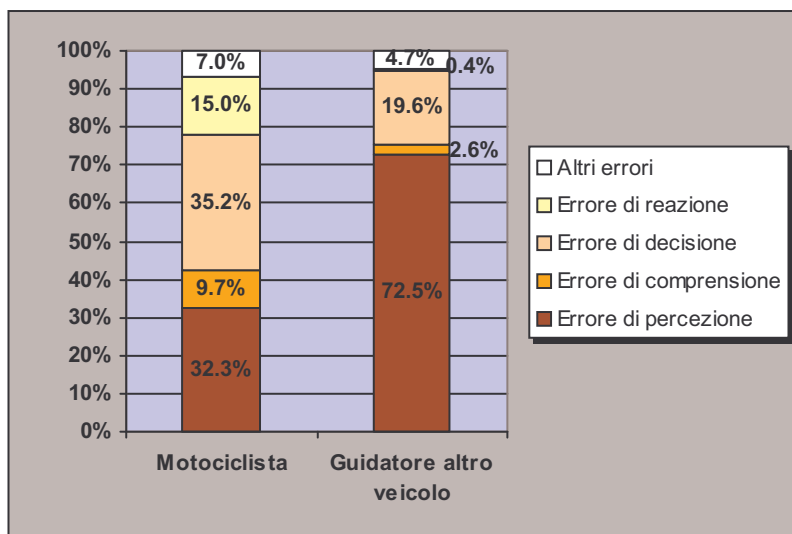


Figura 3.17 - Distribuzione errori di comportamento dei conducenti [118]

Dai dati raccolti si osserva che la maggior parte delle volte vi è un errore di percezione da parte del conducente del veicolo opponente dovuto alla mancanza d'attenzione, alla temporanea ostruzione della visuale o alla scarsa visibilità del veicolo a 2 ruote (figura 3.18). Al secondo posto tra le cause umane vi è l'errore di decisione da parte del conducente del motociclo, figura 3.20. Infatti, come già definito nel paragrafo precedente e come illustrato in figura 3.18, il 90% degli incidenti avviene frontalmente al motociclo e quindi nello spazio potenzialmente sotto controllo del conducente.

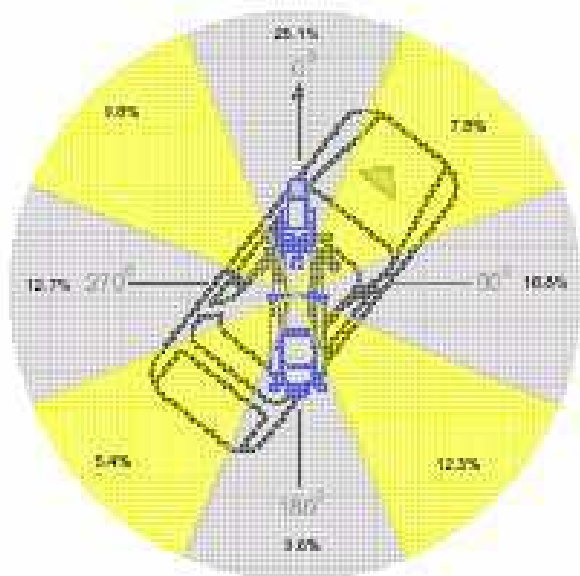


Figura 3.18 – Distribuzione dell'angolo di collisione fra il motoveicolo e il veicolo a quattro ruote

Si rileva come il 73.1% di tutti i conducenti di moto ha tentato una qualche forma di manovra per evitare la collisione immediatamente prima dell'impatto, ed il 32% di questi ha perso il controllo del veicolo durante questa manovra. Inoltre, si riscontra che i conducenti d'auto con esperienza di guida anche sulle moto hanno una migliore capacità di accorgersi delle moto nel traffico, rispetto a quelli che non hanno un'esperienza su 2 ruote.

I risultati ottenuti sono in perfetto accordo con quelli relativi all'età e al genere di motociclisti maggiormente coinvolti: si ha un picco nell'età tra i 15 e 19 anni e tra gli utenti occasionali.

La "violazione", invece, è definita quando si presenta una volontaria scelta di contravvenire alle consuete pratiche ritenute necessarie per mantenersi in sicurezza. Nel fenomeno incidentale si rilevano diverse violazioni al Codice della Strada, sia da parte del motociclista (8%) che da parte dei conducenti dell'altro veicolo (18%). Infatti, i comportamenti illegali, come la guida senza patente di veicoli per i quali è richiesta, aumentano significativamente il rischio di coinvolgimento in incidenti. Ma nella violazione rientrano anche i comportamenti errati di guida, come la guida

distratta (15.1 % dei casi) o l'eccesso di velocità (12.2 %) o al mancato rispetto della distanza di sicurezza (4 %), così come la guida sotto uno stato psico-fisico alterato, che pur non rappresentando una percentuale elevata del totale dei casi (2 %), è caratterizzato da tre cause fondamentali: l'ebbrezza da alcool (4.140 casi pari al 72 % della categoria) ed il sonno, che con 1.095 casi, pesano per il 19 %.

Tali dati, relativi al fenomeno incidentale generale, sono coerenti ai risultati ottenuti dallo studio sull'incidentalità dei motocicli e delle moto noto come ricerca Maids [118]. Tale ricerca, condotto in un arco di tempo che va dal 1998 al 2004, ha studiato circa 1.000 incidenti, l'11% dei quali mortali, in aree europee prese a campione (in Italia, Francia, Germania, Olanda e Spagna), realizzando una ricostruzione degli eventi, attraverso tutti i dati possibili, mediante ispezione dei veicoli, interviste ai testimoni, referti medici, ottenendo una precisa identificazione del fatto incidentale finalizzato a comprendere la natura e l'origine degli incidenti dei TWD. Da tale studio è emerso come le cause di incidente dipendenti dal fattore umano, dal fattore ambientale e da quello meccanico siano distribuite come indicato in figura 3.19, dove sotto il fattore uomo è compreso sia il guidatore del veicolo a quattro ruote che quello a due ruote.

I dati mostrano come il fattore umano sia preponderante, con l'87.5% dei casi, rispetto ai fattori ambientale (7.7% dei casi) e meccanico (solo lo 0.7% dei casi). Le modalità della ricerca hanno permesso di distinguere ulteriormente il fattore umano, rivelando che la responsabilità degli incidenti ricade in larga parte sui conducenti degli altri veicoli coinvolti, mentre gli errori commessi dal motociclista risultano solo la seconda causa principale.

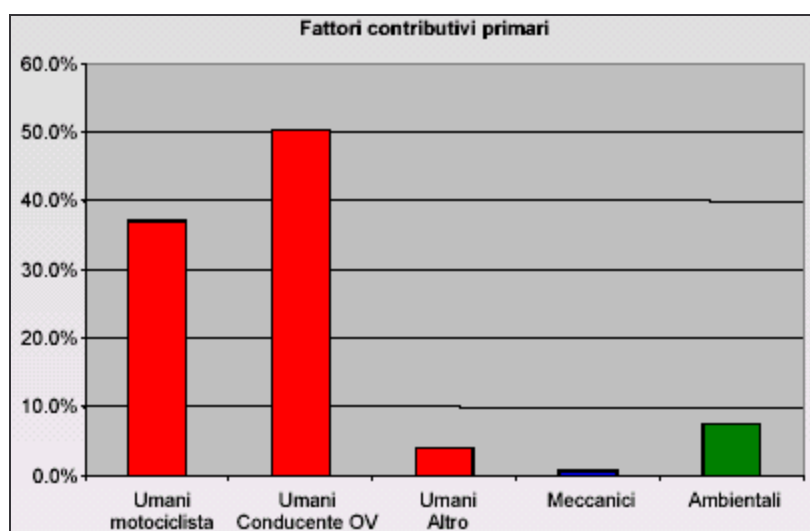


Figura 3.19 - Cause accertate incidente [118]

In particolare dalla tabella 3.1 si rileva come le cause di incidente che hanno registrato una crescita nel 2004 rispetto al 2003 siano quelle relative allo stato delle infrastrutture (+1.0 %) e allo stato psico-fisico del conducente (+0.3 %), mentre

come siano in lieve diminuzione le cause relative al comportamento scorretto del conducente (-1.3 %).

Tabella 3.1 – Cause accertate o presunte di incidente stradale, anni 2003-2004

| CAUSE DI INCIDENTE | 2003 | 2004 |
|---|-------|-------|
| Comportamento scorretto del conducente alla guida | 92,4 | 91,1 |
| Comportamento scorretto del pedone | 2,6 | 2,6 |
| Stato delle infrastrutture | 3,0 | 4,0 |
| Stato psico-fisico del conducente | 1,7 | 2,0 |
| Stato psico-fisico del pedone | 0,0 | 0,0 |
| Difetti o avarie del veicolo | 0,3 | 0,3 |
| Totale | 100,0 | 100,0 |

Come già affermato, poiché si ritiene che il fattore rischio sia maggiormente significativo nella valutazione della sicurezza delle due ruote motorizzate, si procede con un'analisi più approfondita di esso.

CAPITOLO 4: ANALISI DEI FATTORI DI RISCHIO PER I TWD

4.1 PREMESSA

Di seguito vengono analizzati i principali fattori di rischio per i TWD considerando complessivamente:

- il veicolo, sia dal punto di vista del mezzo, che dal punto di vista dell'utente;
- l' ambiente;
- l' infrastruttura sia dal punto di vista della progettazione, che dal punto di vista delle opere complementari.

4.2 VEICOLO

Il fattore veicolo nello studio dell'incidentalità delle due ruote assume una grande importanza, non solo in quanto la sua stessa morfologia comporta un alto livello di rischio, mancando di una "carrozzeria" esterna, ma anche per le sue particolari caratteristiche dinamiche. Appare evidente, ad esempio, come la guida di una moto richieda molta più abilità che la guida di un'auto, necessitando anche di coordinamento fisico e di equilibrio.

Da ciò si deduce come nel fattore veicolo giochino un ruolo fondamentale non solo le caratteristiche meccaniche del mezzo, ma anche quelle del motociclista e la sua condotta di guida come risultato della interazione uomo - veicolo.

Pertanto, di seguito, si riporta una breve sintesi dei fattori di rischio delle due ruote, legati sia al veicolo che al motociclista, facendo rientrare in tali categorie, di volta in volta, anche l'interazione fra questi.

4.2.1 Meccanica del veicolo

Dal punto di vista del veicolo le due ruote differiscono in molti aspetti da quelli a 4 ruote. Prima di andare ed approfondire tale considerazione è bene precisare che nel presente studio, si prende in considerazione in generale la categoria dei veicoli a due

ruote motorizzati, che comprende quindi sia i ciclomotori (mopeds, scooter) di cilindrata inferiore ai 50 cm^3 , che i motocicli (motorcycle) leggeri, di cilindrata fra i $50 \div 250 \text{ cm}^3$, e pesanti di cilindrata superiore a 250 cm^3 , raggruppandoli sotto il nome di motoveicoli o TWD.

Si ritiene importante, per chiarezza, riportare le dimensioni di progetto di un tale veicolo, tabella 4.1 e figura 4.1.

Tabella 4.1 – Dimensioni di progetto di un veicolo [119]

| Characteristics | PTW cylinder capacity $\leq 50 \text{ cm}^3$ (mopeds /scooters) | PTW cylinder capacity $51 \text{ cm}^3 < 250 \text{ cm}^3$ (scooter) | PTW cylinder capacity $250 \text{ cm}^3 < 2295 \text{ cm}^3$ (motorcycle) |
|-----------------|---|--|---|
| Length | 1850 mm | 2240 mm | 2530 mm |
| Width | 685 mm | 785 mm | 995 mm |
| Weight | 85 kg | 210 kg | 375 kg |
| Height | 1140 mm | 1440 mm | 1410 mm |
| Seat | 765 mm | 785 mm | 890 mm |

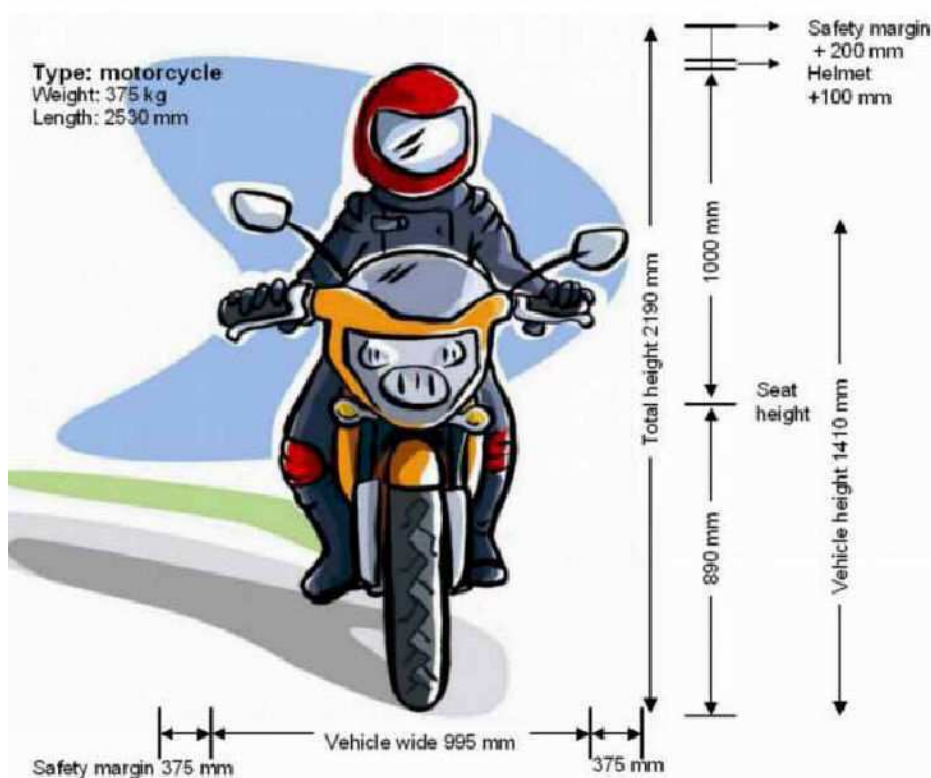


Figura 4.1 – Dimensioni di progetto di un motociclo [119]

4.2.1.1 Mancanza di carrozzeria

Innanzitutto è evidente la maggiore vulnerabilità di tale categoria di veicoli dovuta al fatto di non avere una gabbia protettiva del guidatore.

In figura 4.2 si riporta il prototipo di un modello di veicolo a due ruote, il BMW C1, la cui struttura base è quella di un motoveicolo, ma dotato di “tetto” ed un’intelaiatura sul retro e sul davanti che comprende il parabrezza ed attrezzato con cinture di sicurezza.

L’obiettivo di tale modello è di rendere il motociclista meno vulnerabile sia nei confronti degli agenti atmosferici che nei confronti di un eventuale impatto.

Test e simulazioni hanno rivelato come tale mezzo permetterebbe una riduzione significativa delle sollecitazioni dovute ad impatto fino al 50% di quelle ottenute attraverso i crash test su veicoli a due ruote, pur mantenendo le caratteristiche di flessibilità e praticità che caratterizzano il mezzo a due ruote.

Tuttavia, tale modello non viene molto utilizzato, e ad oggi non è più in produzione, in quanto la morfologia di questo modello è tale per cui la posizione più elevata del baricentro compromette la stabilità del veicolo in condizioni già critiche, come a esempio durante una curva o anche in rettilineo in presenza di vento.

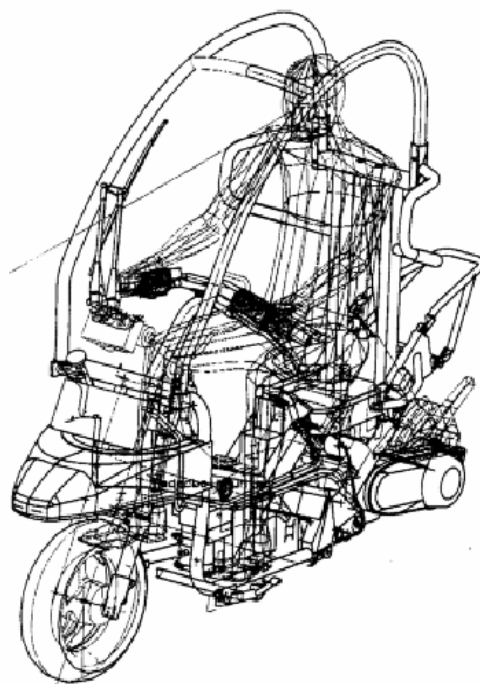


Figura 4.2 [99]

Un altro espediente per diminuire la vulnerabilità del conducente del veicolo a due ruote è l’Airbag posto sulla moto o a corredo di speciali giubbotti nei quali l’attivazione avviene attraverso lo strappo di un cavetto assicurato alla moto pochissimi istanti prima dell’impatto, figura 4.3, di recente realizzazione che permette la protezione della schiena in caso di impatto.

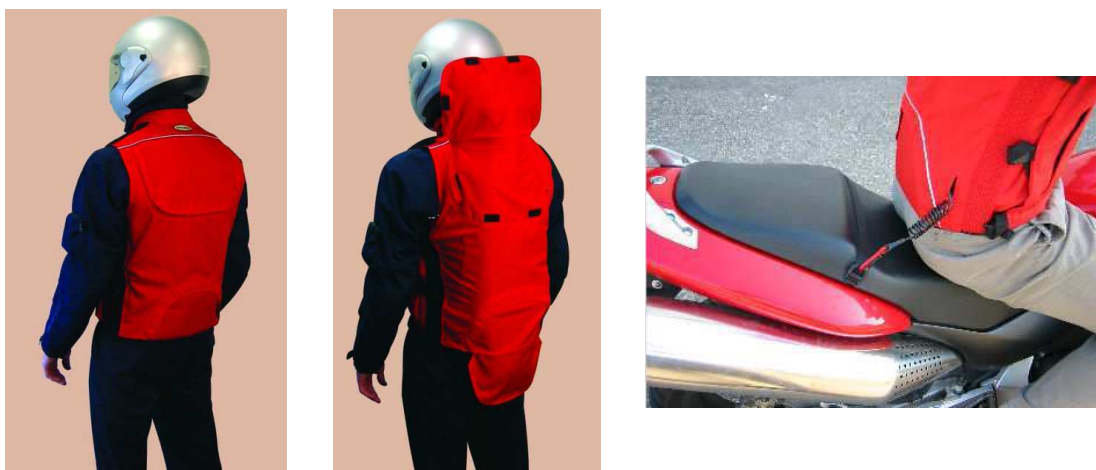


Figura 4.3 [176]

In ogni modo, per quanto riguarda il fattore tecnico legato al veicolo il settore motociclistico ha accumulato una ventina d'anni di ritardo rispetto alle quattro ruote in termini di protezione attiva e passiva, come ad esempio per l'introduzione dell'ABS, che è presente attualmente in un numero limitato di veicoli a due ruote.

4.2.1.2 Stabilità

Insieme all'aspetto legato all'assenza di carrozzeria, si fa presente un altro fattore evidente, ma non per questo meno importante, ossia quello di avere solo 2 punti di contatto con la superficie e quindi, per rimanere in equilibrio, di necessitare di una forza di bilanciamento esplicata direttamente dal conducente.

Questi primi due aspetti scontati ci permettono di confermare quanto affermato in precedenza, ossia come la guida di un veicolo a due ruote sia strettamente legata al guidatore che subisce direttamente qualsiasi manchevolezza nella condotta di guida.

Infatti, la stabilità del motociclo è garantita dalla rotazione delle ruote attorno ad un asse perpendicolare a quello di rollio, ma questo provoca la creazione dei momenti giroscopici transitori e costanti che forniscono contributi di natura destabilizzante.

Tale effetto, detto effetto giratorio, aumenta con l'aumentare della velocità. Fino ai 20 km/h l'effetto giratorio è piccolo e comporta una minima stabilità. Dopo i 40 km/h l'effetto giratorio è abbastanza forte da rendere stabile il veicolo.

Ma a ciò fa da contrappeso il fatto che l'effetto di sterzata dovuto allo spostamento del peso è amplificato dalla velocità. Un piccolo spostamento del corpo a 90 km/h sposta la ruota più velocemente che a passo d'uomo. Appare quindi evidente come la stabilità del veicolo dipenda dal bilanciamento fra la velocità del veicolo e l'abilità di guida dell'utente.

Un altro aspetto non trascurabile dal punto di vista dell'analisi del rischio di questa categoria di utenti è che i veicoli a due ruote hanno una potenza enorme rispetto alla loro massa. Ne consegue un'accelerazione maggiore della macchina e, quindi, ovviamente, una maggiore pericolosità, soprattutto considerando che molto spesso tali veicoli sono guidati da persone non esperte.

Inoltre è necessario tenere in conto della diversa posizione del baricentro.

Un motociclo cade se si trova fermo e privo di appoggi, poiché il suo baricentro non si trova mai esattamente all'interno della proiezione delimitata sulla pavimentazione dalle due ruote; visto il ridotto profilo dell'impronta dei pneumatici sulla superficie, tale proiezione può in effetti considerarsi in prima approssimazione la linea che congiunge le due ruote (figura 4.4). Per i veicoli dotati di quattro ruote, come le automobili, il problema non si pone, in quanto l'area delimitata sulla pavimentazione dai quattro appoggi è molto più grande, e a meno di situazioni limite il baricentro del veicolo cade certamente all'interno dell'area stessa.

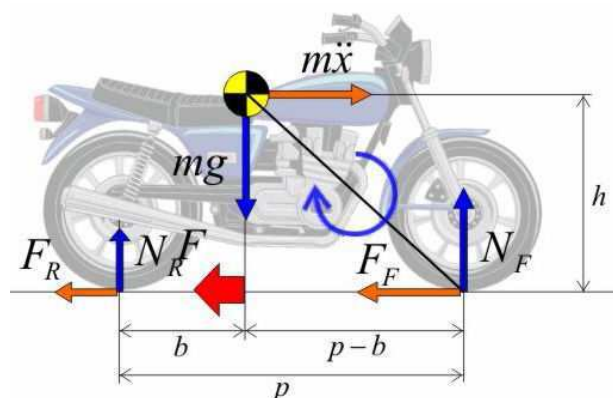


Figura 4.4 [84]

Inoltre, la particolare geometria del veicolo, caratterizzata dalla posizione elevata del baricentro, comporta un elevato trasferimento di carico sull'asse anteriore a scapito della stabilità del mezzo; ciò è importante in quanto ci si rende conto come gli spazi di frenata siano strettamente correlati alla capacità del conducente di percepire tali condizioni ed agire coerentemente a queste. Inoltre poiché la maggior parte dello sforzo di frenata, e tutto l'organo di controllo, sono affidati alla parte anteriore del veicolo ne consegue che l'utente tende ad evitare le manovre di sterzo e di frenata contemporanee, limitando quindi le possibilità dinamiche del veicolo.

La particolare dinamica del mezzo a due ruote implica anche che esso vari la configurazione del suo assetto tra rettilineo e curva.

L'equilibrio dei momenti attorno al punto di contatto fornisce l'angolo di inclinazione in funzione della velocità di percorrenza e del raggio della curva. Ciò ha come conseguenza la differenza fra le traiettorie in curva fra un motoveicolo ed un automobilista, che verrà trattata in seguito. Infine l'assenza nei veicoli a due ruote motorizzati¹ di particolari dispositivi che impediscono, in caso di frenate improvvise, il blocco delle ruote, dispositivi presenti invece nei veicoli a quattro ruote, comporta una notevole disparità nel rischio di ribaltamento fra le due tipologie di veicoli, figura 4.5.

¹ Recentemente sono stati messi sul mercato modelli di ciclomotori dotati di sistema Abs (Antilock brake system), ma le stesse case produttrici ammettono un livello minore di efficacia rispetto ai dispositivi simili utilizzati dalle automobili.



Figura 4.5 [142]

4.2.1.3 Aderenza

Un altro fattore molto importante per la stabilità del veicolo è l'aderenza del pneumatico alla superficie stradale che, insieme all'effetto giratorio, permette l'equilibrio del veicolo.

L'aderenza è quel fenomeno fisico grazie al quale una ruota in movimento trasferisce al suolo forze di contatto in direzione normale, trasversale e longitudinale al moto [83].

In particolare le forze di contatto si generano tra la gomma del pneumatico e le asperità del conglomerato bituminoso dello strato di usura che si distinguono in microrugosità (scabrezza del singolo aggregato) o macrorugosità (porosità superficiale intergranulare del manto stradale), figura 4.6.

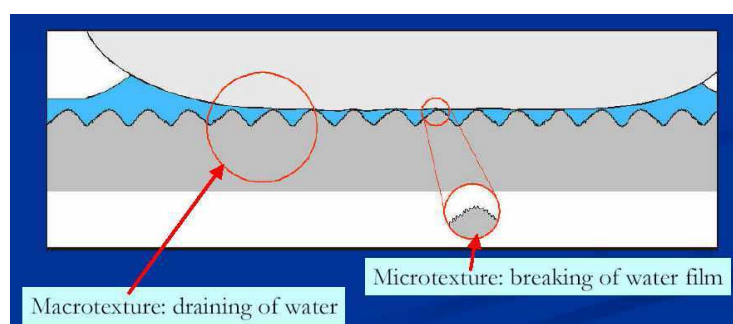


Figura 4.6 – Microrugosità e macrorugosità [116]

È evidente come sia importante che il rapporto ruota-terreno sia ottimale. Sono stati pertanto avviati una serie di studi atti a comprendere il fenomeno della perdita di aderenza.

Le ricerche hanno consentito di ipotizzare che l'effetto lubrificante sia dovuto ad un'alterazione della microrugosità dovuta all'ostruzione delle asperità da parte delle particelle di polvere che si depositano sulla pavimentazione, dove per polvere si intendono tutti i contaminanti costituiti da pulviscolo atmosferico, detriti prodotti dal logoramento della pavimentazione e dei pneumatici, residui di combustione dei motori, oli, grassi e particelle organiche.

Bocci e Cerni [88] hanno indagato l'influenza delle polveri sull'aderenza di una pavimentazione confrontandone i valori in due fasi, prima e dopo una radicale pulizia ottenuta con l'impiego di acqua ed una spazzola a setole dure. I risultati ottenuti hanno evidenziato che i valori di aderenza relativi alla seconda fase sono superiori o uguali a quelli ottenuti sulla superficie non pulita. Il differenziale tra le due misurazioni esprime la riduzione dell'aderenza dovuta alle polveri e nello stesso tempo può fornire un indice quantitativo sulla loro presenza sulla pavimentazione. Da una prima disamina dei risultati è possibile osservare come per i siti più soggetti al traffico i valori del differenziale di aderenza siano superiori a quelli ottenuti su aree poco trafficate; si intuisce in tal modo l'esistenza di una relazione diretta tra l'intensità del traffico e la riduzione dell'aderenza a causa dell'accumulo di polveri. La maggior parte dei contaminanti proviene infatti dal logoramento della pavimentazione e dei pneumatici, nonché dall'inquinamento atmosferico prodotto dal traffico. E' stato poi possibile trovare conferma all'ipotesi che l'azione lubrificante delle polveri e la conseguente diminuzione dell'aderenza stradale sia dovuta soprattutto al riempimento delle microrugosità della pavimentazione, dal momento che si è evidenziata una proporzionalità diretta tra lubrificazione massima e microrugosità.

Fondamentale è quindi la manutenzione della pavimentazione, in quanto grazie al contatto ruota-terreno si generano le forze fondamentali per il moto del veicolo stesso: la sostentazione, la guida, la trazione e la frenata.

In particolare per un'infrastruttura stradale si parla di aderenza trasversale e longitudinale: nel primo caso, valido ad esempio in approccio ad una curva, il peso del veicolo si combina con forze trasversali; il secondo, invece, che si verifica ad esempio in accelerazione o frenata, risulta dall'unione del peso del mezzo con forze dirette nella direzione del moto. Si individuano così due distinti coefficienti di aderenza (trasversale e longitudinale) che, sommati vettorialmente, determinano quello complessivo.

L'analisi dell'andamento della forza tangenziale (T) agente al contatto pneumatico-pavimentazione in funzione dello spostamento reciproco (x) evidenzia due tratti (figura 3.8): uno iniziale (OA), in cui persiste il mutuo contatto tra le due entità, ed uno finale (AB) nel quale si instaura il reciproco slittamento. è così possibile definire il coefficiente di attrito di primo distacco (f^*) che risulta dalla formula:

$$f^* = \frac{T_{\max}}{P}$$

(1)

dove (figura 4.7):

T_{\max} rappresenta la forza tangenziale massima applicabile mantenendo il contatto tra pneumatico e strada;

P è il peso applicato sulla ruota.

Dal tratto AB di figura 3.7 si ricava inoltre il coefficiente di attrito cinetico in condizioni di slittamento:

$$f_1 = \frac{T_1}{P}$$

(2)

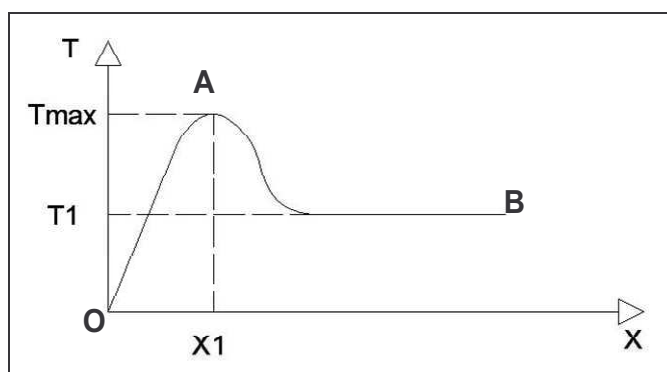


Figura 4.7 - Andamento della forza tangenziale (T) in funzione dello spostamento (x) [71]

Il grafico di figura 4.8 è valido per materiali simili al conglomerato bituminoso, per i quali si verifica la condizione $f^* > f_1$; in caso di pavimentazioni viscide a causa di fango o acqua il coefficiente di aderenza complessivo cala fino a valori anche inferiori a f_1 .

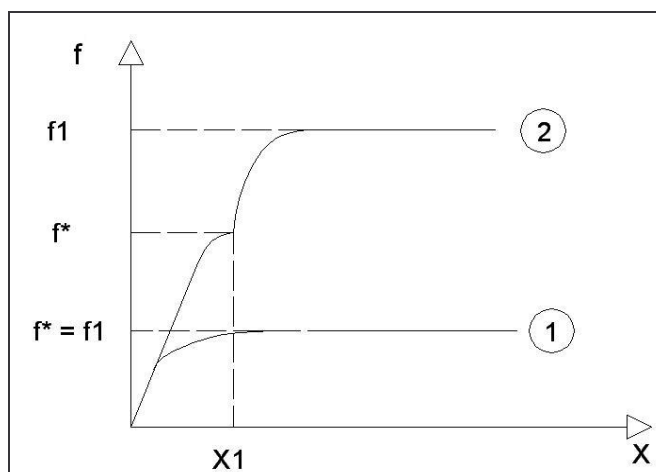


Figura 4.8 - Andamento del coefficiente di aderenza in caso di fango (1) e pioggia (2) [71]

Risulta difficile poter dire, nel caso di ruota reale, se e quando si verificano le condizioni di aderenza o quelle di slittamento.

Nel caso di veicoli a due ruote la situazione si complica ulteriormente, poiché il pneumatico si deve adattare a carichi di direttrice estremamente variabile.

Il pneumatico deve trasmettere alla pavimentazione forze orizzontali di trazione (quindi di accelerazione e di frenata) e forze laterali indispensabili per il corretto equilibrio del mezzo a due ruote.

Si vedano, al riguardo, le successive figure 4.9 – 4.10, che mostrano schematicamente le forze che il sistema veicolo-motociclista scambia con la pavimentazione sul piano trasversale alla direzione del moto.

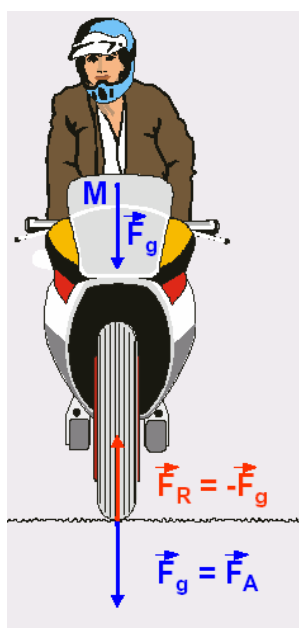


Figura 4.9 – rettilineo [116]

In rettilineo, la forza F_A che il veicolo trasmette alla pavimentazione attraverso la ruota è risultante della sola forza verticale F_g generata dalla gravità applicata alla massa M , sicché la forza di reazione F_R del terreno, uguale ma contraria alla F_A , è anch'essa verticale.

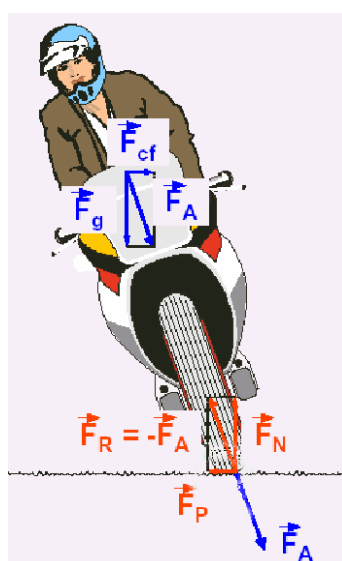


Figura 4.10 – curva [116]

In curva, sul sistema veicolo-motociclista interviene anche la forza centrifuga F_{cf} che, combinandosi con la F_g , fornisce una risultante F_A non più verticale, ma inclinata; la reazione F_R , uguale e contraria alla F_A , è anche essa obliqua, e dunque oltre alla componente verticale F_N possiede anche una componente trasversale F_P , evidenziata in figura, che deve essere fornita dall'aderenza.

Il motociclo viene inclinato dal pilota per contrastare la forza centrifuga, e il veicolo rischia di slittare se l'aderenza della pavimentazione è insufficiente. E' chiaro quindi che il contributo fornito dall'aderenza in caso di necessità deve essere più grande possibile: poiché tale contributo è proporzionale all'area di contatto tra le superfici coinvolte, risultano certamente più svantaggiati i veicoli dotati di sole due ruote anziché quattro, poiché possono disporre di un'area di contatto totale minore.

Inoltre in un veicolo a due ruote, il punto di contatto pneumatico - superficie stradale non è fisso, ma varia lungo la sezione trasversale e la circonferenza del pneumatico seguendo l'angolo di sterzo (steer angle) e quello di inclinazione (lean angle) del mezzo (figura 4.11).

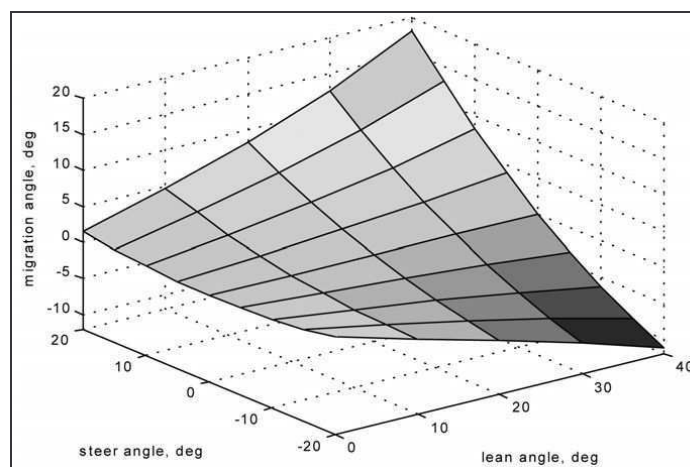


Figura 4.11 - Spostamento lungo la circonferenza del punto di contatto [71]

La forma dell'impronta del pneumatico in posizione verticale è simmetrica ed ellittica sulla sede viaria (figura 4.12). In condizioni di ruota inclinata, invece, il percorso della particella di gomma è diverso: il contatto con la strada genera la deformazione del pneumatico e si sviluppa così una forza laterale crescente all'aumentare dell'angolo di rollio.

La forza dovuta al rollio è legata quindi alla forma ed alle dimensioni dell'area di contatto, le quali dipendono dalle caratteristiche geometriche del pneumatico (raggio e sezione) e dalle rigidità laterale e radiale del pneumatico.

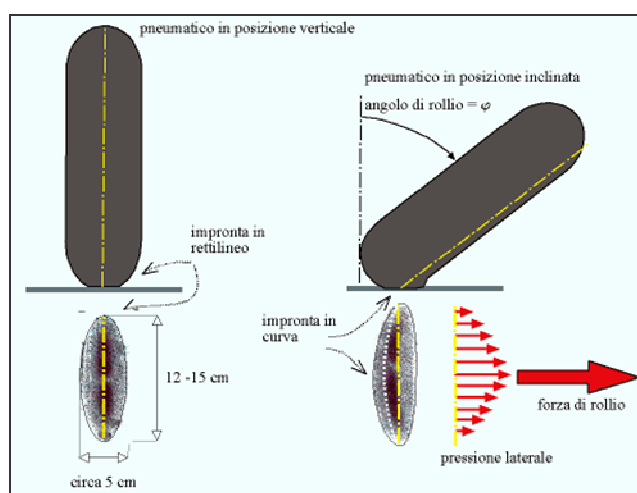


Figura 4.12 - Impronta del pneumatico sul piano stradale rispettivamente in posizione verticale e inclinata [123]

Il fattore di rischio legato all'aderenza tra pneumatico e piano viabile dipende da numerosi aspetti:

- la velocità di percorrenza dei veicoli: risultati sperimentali evidenziano che l'aderenza diminuisce all'aumentare della velocità. Questo decremento è contenuto nel caso di pavimentazione asciutta e può raggiungere valori elevati in presenza di velo idrico sul piano viabile;
- le specifiche del pneumatico, in termini di pressione di gonfiaggio, geometria e scolpitura;
- lo stato di usura della pavimentazione: le sollecitazioni trasmesse dal traffico producono una progressiva levigatura degli inerti con conseguente modifica della tessitura della superficie viaria;
- la pulizia della pavimentazione: nel caso in cui sul piano viabile si accumulino sabbia, terra, polveri o altri contaminanti l'aderenza diminuisce drasticamente;
- le condizioni meteorologiche.

In particolare le condizioni meteorologiche influiscono in modo determinante sull'aderenza stradale. In particolare si distinguono diversi fenomeni fisici coinvolti a seconda dei tipi di contatto pneumatico-strada in funzione dello spessore del velo idrico presente.

In presenza di un velo idrico elevato, maggiore di 1 mm, l'acqua presente davanti al pneumatico genera una pressione tale da superare in modulo il valore di quella di contatto. La ruota rimane sollevata da terra e si verifica il caso di aquaplaning dinamico (figura 4.13).

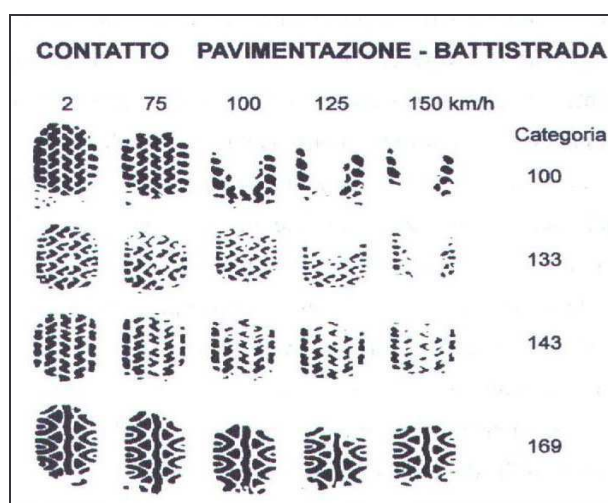


Figura 4.13 - Aree di contatto nelle condizioni di aquaplaning dinamico al variare della velocità [71]

Se sulla sede stradale è presente un velo idrico modesto, l'acqua è aspirata attraverso le scanalature del battistrada e si interpone fra il pneumatico e la parte alta delle asperità del manto di usura. Questo è il caso dell'aquaplaning viscoso, così chiamato perché all'aumentare della velocità di scorrimento, tra la superficie del pneumatico e quella del manto di usura si crea una pressione viscosa. Si manifesta anche per velocità molto basse (figura 4.14).

Quando lo spessore del velo idrico è compreso tra 0.1 ed 1 mm, allora si possono sviluppare entrambi i fenomeni contemporaneamente.

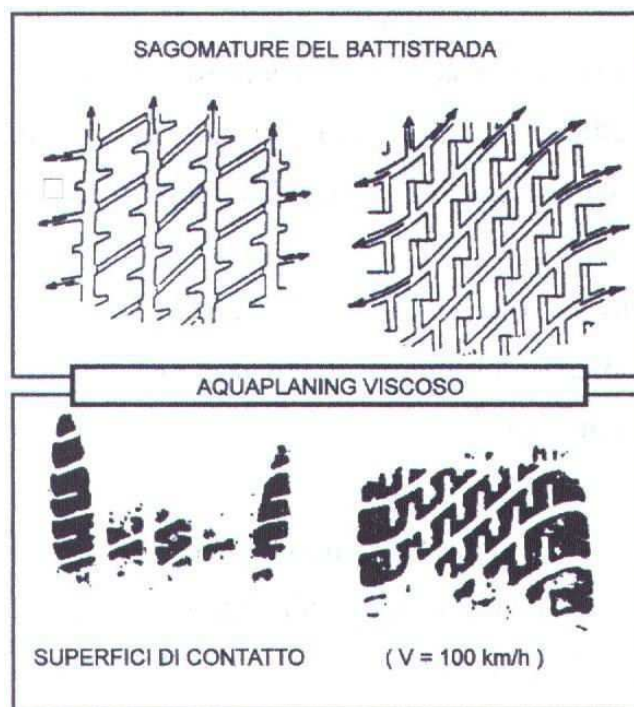


Figura 4.14 - Prestazioni di due pneumatici con diversa sagomatura del battistrada in condizioni di aquaplaning viscoso [71]

Comunemente si attribuisce un rischio maggiore all'aquaplaning dinamico, mentre molti degli incidenti per perdita di aderenza in presenza di acqua sono dovuti ad un rivestimento appena bagnato, quindi in presenza di contatto umido. Risulta perciò fondamentale definire lo spessore del velo idrico, distinguendo tra la parte di acqua contenuta al di sotto della sommità delle asperità superficiali dello strato di usura e quella ricadente al di sopra. Solo questa ultima percentuale è importante per la riduzione dei fenomeni di aderenza.

Il contatto tra pneumatico in movimento e superficie stradale può essere suddiviso in tre zone secondo la teoria di Gough e Moore (figure 4.15 e 4.16).

- zona di penetrazione (P): l'acqua è gradatamente espulsa attraverso le scolpiture del battistrada e la macrotessitura del rivestimento. In questa zona il pneumatico non è a contatto diretto con il piano viabile con aderenza praticamente nulla;
- zona di transizione (T): in questo tratto permane ancora una sottile pellicola d'acqua ed inizia il contatto del pneumatico con la rugosità dello strato superficiale di usura;
- zona di contatto (C): in questa zona si verifica un contatto asciutto tra pneumatico e strada, ottenuto tramite la rottura del velo idrico grazie alle alte pressioni di contatto ed alle asperità del piano viabile. L'aderenza si crea per la massima parte in questa zona.

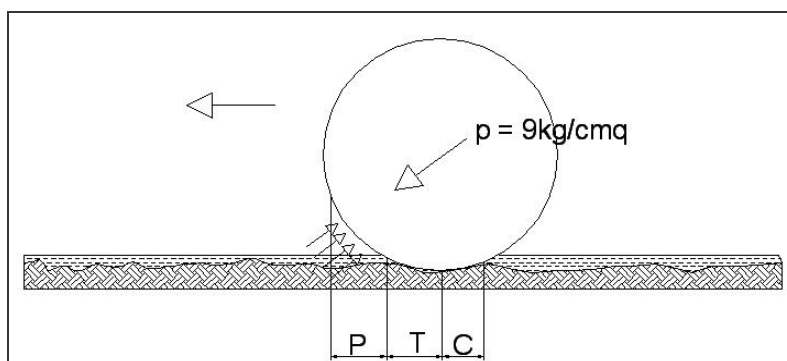


Figura 4.15 - Teoria delle tre zone secondo Gough e Moore [71]

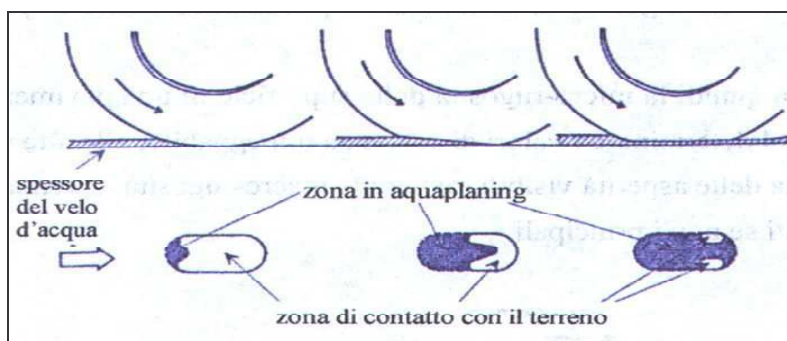


Figura 4.16 - Progressiva riduzione della zona di contatto [71]

Come già sottolineato il pneumatico di una motocicletta ha esigenze ulteriori rispetto a quello di un'automobile. La scolpitura, in particolare, deve funzionare alla massima efficienza quando il motociclo è inclinato di 20-30° sulla verticale (questa è solitamente la condizione limite per la guida sotto la pioggia).

La maggior parte delle gomme da strada sono caratterizzate da una scolpitura che consiste principalmente in canali che si muovono attraverso l'impronta di contatto con la minima interruzione ed assicurano la presenza di rigide parti di battistrada in sicuro contatto con lo strato di usura.

La scolpitura si estende di 20° per parte dalla linea di mezzzeria.

La ruota anteriore ne ha una maggiore rispetto a quella posteriore, proprio nei pressi della linea di mezzzeria.

Inoltre nel computo l'analisi dei fattori di rischio è necessario inserire le responsabilità dell'utente nel processo di formazione dell'incidente per aquaplaning, individuate da diversi studi sperimentali [87].

Infatti, non vengono riconosciute come pericolose le condizioni che possono portare all'innescò dell'aquaplaning e perciò l'utente tende a mantenere una velocità più alta del dovuto.

Inoltre, quando si presenta la necessità di una frenata di emergenza per evitare un qualsiasi ostacolo, non sempre il guidatore è all'altezza della situazione, sia come riflessi sia come addestramento.

La tecnica moderna è venuta in aiuto agli utenti realizzando sistemi che evitano il bloccaggio delle ruote, il che permette una maggior efficienza in frenata e il mantenimento della direzionalità del veicolo.

Rifacendosi ad una pubblicazione di Vavryn e Winkelbauer dell'Austrian Road Safety Board [110], possiamo notare che i veicoli leggeri a quattro ruote dotati delle più moderne tecnologie possono raggiungere decelerazioni di 10 m/s², mentre i mezzi pesanti riescono a frenare fino a 8 m/s².

Da misurazioni effettuate con fotocellule, la decelerazione media di un campione rappresentativo di motociclisti sul proprio veicolo è risultata essere compresa tra 6 e 6,5 m/s², mentre il 13% del campione si attesta a 5 m/s²: necessitano quindi di uno spazio di frenata doppio di una vettura.

Ai partecipanti è stato chiesto, per confronto, un veicolo dotato ed uno sprovvisto di ABS: la media delle decelerazioni si è attestata tra i 7 e gli 8 m/s².

4.2.2 Motociclista

Le condizioni di guida di un veicolo a due ruote sono funzione della condotta del motociclista. Ad esempio il motoveicolo, a differenza dell'automobile, richiede una strategia specifica per ogni condizione ambientale. Sebbene molti siano i fattori di rischio per le due ruote, dipendenti da diversi elementi legati al veicolo, all'infrastruttura, alla dinamica del flusso, risulta molto importante in particolare il comportamento dell'utente [157].

Per questo, già da tempo sono state promosse iniziative che rendano consapevoli i giovani dei rischi di una guida sotto l'effetto di sostanze alcoliche e stupefacenti, responsabili di un incremento anormale della *borderline* e di una percezione alterata della realtà. Uno studio recente ha analizzato i risultati positivi di un Piano a lungo termine promosso in Asia per la sicurezza dei motociclisti, il Motorcycle Safety Programme, MSP indirizzato proprio alla sicurezza dei TWD in tutti i suoi aspetti compresi quelli comportamentali e di abbigliamento[147].

Infatti, affinché le conseguenze traumatiche siano le minori possibili, è importante che i motociclisti indossino il casco, possibilmente integrale, adottino a protezione della schiena le tipiche conchiglie in gomma ed usino ginocchiere e paragoniti.

4.2.2.1 Visuale

Visuale del motociclista è diverso da quella del veicolo a 4 ruote.

Innanzitutto la postura diversa richiesta dai due veicoli è ben diversa. Infatti, mentre l'utente del veicolo a 4 ruote s'inclina all'indietro appoggiandosi allo schienale, in genere il motociclista s'inclina in avanti, in posa aerodinamica, restringendo la visuale (figura 4.17).

L'entità della riduzione del campo visivo dipende dalla postura del motociclista.

Inoltre è da tenere presente che una variazione significativa della visibilità è data dall'assetto adottato dal motociclo nelle diverse situazioni di marcia; ad esempio la posizione piegata che il motociclista assume nell'affrontare una curva riduce la sua visibilità, soprattutto di notte quando il fascio luminoso del faro viene drasticamente ridotto dall'inclinazione del veicolo.

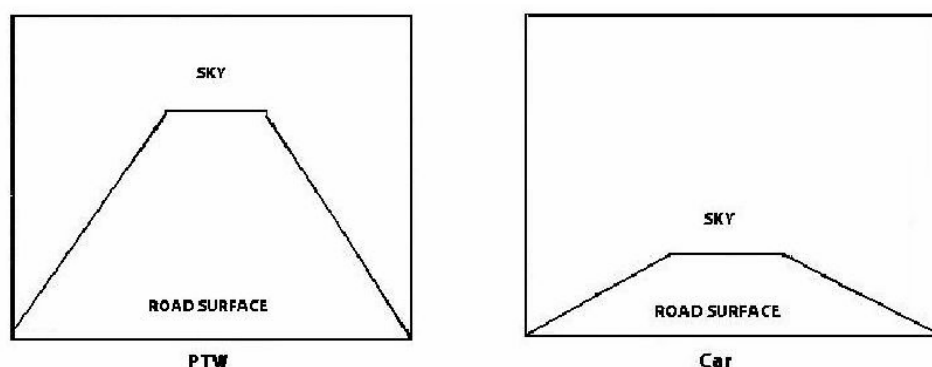


Figura 4.17 – Confronto fra la visuale di un motociclista e di un utente a quattro ruote [119]

A ciò si aggiunge la considerazione generale che, con l'aumentare della velocità, il campo di vista diventa sempre più limitato, figura 4.18.

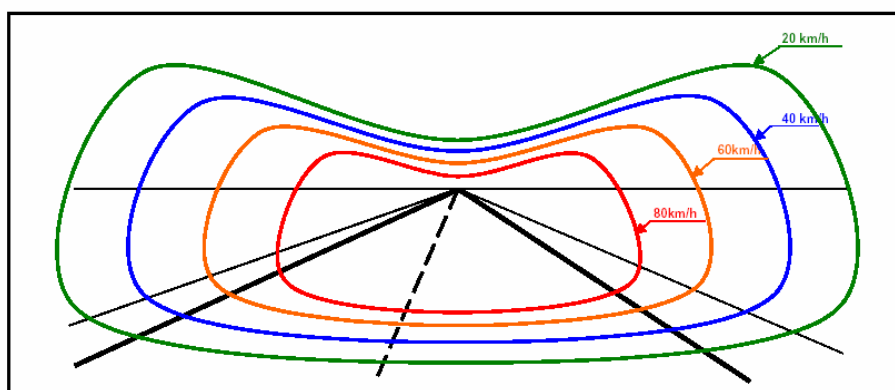


Figura 4.18 – Campo di vista al variare della velocità [119]

Infine l'uso del casco, per quanto fondamentale, tende a ridurre parzialmente il campo visivo laterale del conducente che lo indossa.

4.2.2.2 Mancata percezione

Un fattore di rischio proprio delle due ruote è la mancata percezione [127].

La scarsa visibilità dei motociclisti è stata identificata come uno dei principali fattori degli incidenti che coinvolgono gli utenti a 2 ruote.

Ciò può essere spiegato, innanzitutto considerando che una moto ha un'area frontale molto più piccola di quella di un veicolo a 4 ruote.

Questo comporta non solo l'alta probabilità che essi non vengano percepiti, anche a causa della imprevedibilità delle traiettorie seguite soprattutto in città (sorpassi da destra, slalom tra le vetture in accodamento, etc...), ma anche che gli utenti a quattro ruote non riescano a calcolare il tempo di approccio; ciò è dovuto al fatto che il cervello umano stima la velocità sulla base della differenza di dimensioni.

A causa delle ridotte dimensioni, può succedere che la sagoma del motociclo non sia percepita correttamente dagli altri utenti della strada. E' il caso, ad esempio, nel quale la strada principale, in corrispondenza dell'intersezione con una strada secondaria, è affiancata da una corsia di decelerazione che corre parallelamente alla sua destra: un veicolo dalla sagoma di dimensioni notevoli che percorra la corsia di uscita dalla strada principale potrebbe coprire (figura 4.19) un motociclo che invece prosegue lungo la direzione principale, impedendone l'individuazione da parte di un veicolo che si immetta provenendo dalla strada secondaria; allo stesso modo il motociclista potrebbe non vedere il veicolo che si immette sul suo percorso, in tempo utile per poterlo evitare.

Tuttavia fa riflettere il dato ricavato da studi recenti, analizzati nel dettaglio nel prossimo capitolo, secondo il quale nella maggioranza dei casi l'incidente all'incrocio avviene principalmente perché un'autovettura non ha concesso la precedenza al motociclo.

Spesso infatti il problema è quello, comunemente chiamato "Looked but did not see" (LBDNS) [124] ossia che il guidatore, nonostante abbia guardato nella direzione del

motociclista, non lo realizza. Se si potesse eliminare questo problema si ridurrebbe del 25% la percentuale degli incidenti totali.

Ci sono vari fattori da cui ciò può dipendere. Ad esempio da alcuni studi [125] è risultato che spesso il guidatore tende a rivolgere lo sguardo oltre l'intersezione, trascurando tutto ciò che è in primo piano. Un altro aspetto deriva dal fatto che il guidatore in arrivo ad un incrocio, in generale percepisce la totalità della la zona circostante, senza considerare l'eventualità dell'arrivo di un mezzo distante ma molto veloce.



Figura 4.19 [119]

Il lavoro di Mack e Rock [126] con la teoria “*inattention blindness*” (cecità da disattenzione) mostra che un qualsiasi oggetto è percepito con minore probabilità se il soggetto guarda a lui direttamente anziché se esso cade al di fuori del centro del campo visivo. Purtroppo non è facile quantificare precisamente la distanza necessaria perché il motociclista sia visto.

In letteratura si afferma che la cecità da disattenzione è condizionata da 4 fattori principali: l'evidenza, l'aspettativa, il carico di lavoro e l'abilità. Ossia la non percezione del veicolo a due ruote deriva dalla sua visibilità e dalla sua prevedibilità, ma anche dal carico di lavoro del guidatore del veicolo a quattro ruote e dalla sua condotta di guida.

Pertanto si è concluso che sebbene dai dati statistici si riscontri una diminuzione della visuale totale diminuisce con l'età, individuando un'età limite di 65 anni, tuttavia gli incidenti per mancata precedenza sono influenzati da 4 fattori non dipendenti dall'età del conducente.

La principale misura di sicurezza adottata è stata l'obbligo di accendere i fari anche di giorno unito all'abitudine di indossare abiti riflettenti. Tali misure però hanno permesso di prevenire solo una piccola parte di incidenti per scarsa visibilità, quali ad esempio quello dovuto alla mancata precedenza [154] [155]. Tuttavia nelle aree urbane risulta impossibile ridurre il sovraccarico di informazioni derivante dalla complessità dell'ambiente urbano, intrinsecamente legata alla densità della popolazione e alle attività proprie di una città, che contribuiscono alla scarsa percezione dei motociclisti.

In corrispondenza dei nodi stradali è necessario che i conducenti dei veicoli valutino contemporaneamente numerosi aspetti che riguardano il proprio veicolo e quelli che convergono nell'incrocio; alcune situazioni sono particolarmente complesse, e richiedono ai conducenti di compiere scelte corrette in tempi molto ridotti: è il caso in cui, ad esempio, vengano coinvolte più correnti di traffico, magari anche pedonale, con numerose svolte a sinistra, nel quale possono verificarsi numerosi punti di conflitto. Più che in altri tratti della strada, negli incroci vengono inoltre sollecitate maggiormente le capacità dei conducenti, la loro esperienza e la conoscenza delle norme che regolano il traffico, come ad esempio le convenzioni che regolano la precedenza.

Inoltre è necessario tenere in considerazione che l'occhio del motociclista è sempre più alto di quello dell'automobilista e ciò significa che la linea di vista ottimale è diversa per i due diversi veicoli e ciò fa sì che il motociclista veda la macchina prima che la macchina veda la moto. Questo trasmette al motociclista l'erronea convinzione di essere stato notato dal conducente dell'altro veicolo, facendolo così sentire libero di proseguire senza esitazioni. Quanto detto non esclude, comunque, che al verificarsi dell'incidente, e alla gravità delle sue conseguenze, contribuisca in modo rilevante anche l'elevata velocità dei veicoli coinvolti.

Lo studio "Motorcyclist conspicuity – related accidents in urban areas: a speed problem?"[118] si esamina la relazione fra la bassa visibilità di questa categoria e l'alta velocità di guida della stessa.

L'ipotesi è quella di correlare l'alta velocità e la scarsa visibilità del veicolo a 2 ruote: considerato un certo intervallo di tempo di potenziale collisione, più è alta la velocità del veicolo, più distante questo deve essere e quindi più piccola deve essere la sua dimensione.

Su 22 casi studiati, raccolti fra il 1995 e il 2003, e con le prerogative di essere accaduti in area urbana, di coinvolgere almeno due utenti della strada di cui almeno 1 motociclista, in Salon de Provence e ad Aix en Provence in France, la mancanza di percezione del motociclista ha giocato un ruolo fondamentale in 8 casi. In tutti i 22 casi la moto aveva i fari accesi, e in tutti i casi il veicolo a 2 ruote rispettava il limite di velocità di 50 km/h. Solo 2 incidenti sono avvenuti di notte, gli altri di giorno.

Il modello proposto dimostra come ci sia una stretta relazione fra il flusso di traffico composto da non motociclisti e il numero di incidenti, arrivando alla conclusione che la regolazione della velocità sulle strade urbane può ridurre di molto gli incidenti dei TWD.

4.3 FATTORE AMBIENTALE

Se si fa riferimento agli studi effettuati dall'Associazione Europea di Costruttori di Motocicli, ACEM, (2003) sintetizzati nel documento intitolato "MAIDS Report on the Project Methodology and Process" [118] relativo agli incidenti che hanno coinvolto motocicli e ciclomotori nel periodo 1999-2000 riferendosi a 5 aree campione europee (Francia, Germania, Italia, Olanda e Spagna), si evince come le condizioni climatiche abbiano rivestito un ruolo importante solo nell'8% delle situazioni osservate (tabella 4.2).

Tabella 4.2 – Condizioni meteorologiche al momento dell'incidente

| | <i>Frequenza</i> | <i>Percentuale</i> |
|----------------------|------------------|--------------------|
| <i>Asciutto</i> | 828 | 89,9% |
| <i>Pioggia</i> | 73 | 7,9% |
| <i>Ghiaccio/neve</i> | 2 | 0,2% |
| <i>Altro</i> | 2 | 0,2% |
| <i>Sconosciuto</i> | 16 | 1,8% |
| <i>Totale</i> | 921 | 100,0% |

Tuttavia dai dati statistici risulta che non sono tanto le condizioni climatiche che rivestono un ruolo importante nel fenomeno dell'incidentalità delle due ruote, quanto la condizione del manto stradale (contaminato alle volte da acqua, neve, fango, ghiaccio, sabbia-ghiaia, olio, etc...) che influisce in modo rilevante nel 15% dei casi. Anche dalla ricerca MAIDS risulta che in 57 casi di incidente la strada presenta difetti strutturali concernenti la geometria, la visibilità, le opere di contorno (in particolare le barriere di sicurezza) e la manutenzione.

I fattori che si concretizzano nel fattore ambientale sono individuate nelle seguenti:

- errore di progettazione (roadway design defect);
- mancanza di manutenzione (roadway maintenance defect);
- rischio intrinseco del traffico (traffic hazard).

La tabella 4.3 riporta la quota parte di ciascun elemento.

Tabella 4.3 - Contributo fattore ambientale negli incidenti stradali dei TWD (o PTW = powered two wheel)

| PTW (pre-)crash path | Roadway design defect | | Roadway maintenance defect | | Traffic Hazard | |
|---|-----------------------|-------|----------------------------|-------|----------------|-------|
| | Frequency | % | Frequency | % | Frequency | % |
| Total of accidents analyzed | 921 | 100% | 921 | 100% | 921 | 100% |
| Factor defect present | 57 | 6.2% | 146 | 15.9% | 56 | 6.1% |
| When factor was present: | | | | | | |
| ▪ It was not a contributory factor | 27 | 47.3% | 113 | 77.4% | 22 | 39.3% |
| ▪ It was a contributory factor | 30 | 52.6% | 33 | 22.6% | 34 | 60.7% |
| When factor was present it was the: | | | | | | |
| ▪ precipitating event | 4 | 7.0% | 8 | 5.5% | 10 | 17.5% |
| ▪ primary contributory factor | 7 | 12.3% | 19 | 13% | 6 | 10.7% |
| ▪ a contributory factor | 19 | 33.3% | 6 | 4.1% | 18 | 32.1% |

Il grafico di figura 4.20 illustra l'andamento della incidentalità con gli standard progettuali e lo stato di manutenzione.

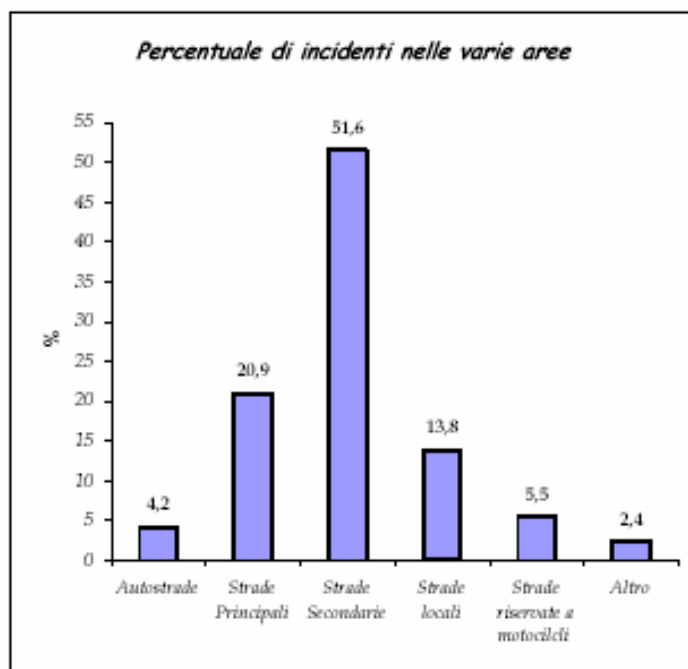


Figura 4.20 - Distribuzione degli incidenti sulle diverse tipologie di strade

E' chiaro che un miglioramento nell'infrastruttura comporta un enorme passo avanti verso l'abbattimento della incidentalità delle due ruote.

Tuttavia si ritiene interessante valutare il dato che il 56% dei casi di incidente la superficie stradale era da ritenere ottimale, mentre nel 38% dei casi la manutenzione del manto era da ritenere non sufficiente, tabella 4.4.

Tabella 4.4 – Condizioni del manto stradale al momento dell'incidente

| | <i>Frequenza</i> | <i>Percentuale</i> |
|--------------------|------------------|--------------------|
| <i>Secco</i> | 780 | 84,7% |
| <i>Bagnato</i> | 73 | 7,9% |
| <i>Neve</i> | 2 | 0,2% |
| <i>Fango</i> | 3 | 0,3% |
| <i>Ghiaccio</i> | 5 | 0,5% |
| <i>Sabbia</i> | 23 | 2,5% |
| <i>Olio</i> | 7 | 0,8% |
| <i>Altro</i> | 26 | 2,9% |
| <i>Sconosciuto</i> | 2 | 0,2% |
| <i>Totale</i> | 921 | 100,0% |

Ciò conferma quanto riportato in alcuni studi [85] che indicano come il comportamento degli utenti sia caratterizzato da una maggiore prudenza al verificarsi di condizioni meteorologiche avverse e che è rilevabile una riduzione del numero di incidenti in presenza di piogge di elevata intensità

Da tali dati risulta come il fattore ambientale, se prevedibile, ad esempio quello atmosferico, è tenuto in considerazione dall'utente a due ruote e, pertanto, non aumenta il rischio di una infrastruttura.

I fattori ambientali che invece influiscono sono quelli "imprevedibili", come ad esempio un macchia d'olio sulla strada o un irregolarità dovute ad una scarsa manutenzione, che colgono l'utente impreparato elevando il rischio dell'infrastruttura.

4.4 FATTORE INFRASTRUTTURA

La progettazione delle infrastrutture rappresenta uno dei principali artefici della sicurezza dei TWD; infatti mediante la realizzazione di infrastrutture dotate di bassa pericolosità e la messa in sicurezza delle strade esistenti, è possibile eliminare quelle criticità che incrementano il rischio incidentale o aggravano le conseguenze sugli occupanti.

Tale obiettivo può essere ottenuto attraverso una corretta scelta ed una idonea organizzazione della sezione stradale, ossia:

- criteri progettuali della geometria del tracciato;
- opere complementari quali elementi d'arredo stradale (dispositivi di ritenuta, impianti di illuminazione, ecc.).

Si tratta, evidentemente, di aspetti generali direttamente ed indirettamente collegati alla sicurezza stradale, sia attiva che passiva.

Nel capitolo precedente è stata illustrata una metodologia atta ad assicurare che l'infrastruttura collabori alla riduzione dell'incidentalità.

Ma risulta importante sottolineare come tale metodologia di gestione proposta debba essere associata a una revisione generale della normativa, mirata a considerare anche i TWD.

Infatti tutte le misure di sicurezza stradale e le norme di progettazione, adottate dalle differenti normative nel panorama europeo, sono principalmente rivolte ad utenti a quattro ruote. Ad esempio una delle procedure indicate dalla Proposta di Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture viarie [6], il Safety Audit, in Italia accenna solamente al problema delle due ruote [36].

In generale, le misure previste comportano un miglioramento della sicurezza anche per i TWD, ma talvolta possono indurre effetti negativi per tale tipologia di utenti stradali [109]. Ciò è vero, non solo per quanto riguarda i criteri progettuali dell'infrastruttura, ma anche per quanto riguarda gli elementi esterni, come le barriere di sicurezza omologate solo per veicoli a quattro ruote.

Sulla base di tali considerazioni si propone un'analisi del rischio per i TWD legata all'infrastruttura sia dal punto di vista della progettazione che dal punto di vista delle opere complementari.

4.4.1 Criteri progettuali

La geometria dell'infrastruttura, elemento morfologico dell'ambiente stradale, riveste quindi molta importanza nella determinazione della sicurezza alla circolazione dei TWD, poiché un adeguato coordinamento plano-altimetrico dei rettifili e delle curve del tracciato comporta una guida rilassata ed un livello di attenzione moderato da parte del conducente; viceversa, il mancato coordinamento plano-altimetrico della strada determina una guida nervosa ed un *work load* elevato che può indurre l'utente in errore.

Facendo riferimento in particolare al contesto italiano si riporta di seguito una breve analisi dei criteri progettuali riportati nella vigente normativa, DM 5/11/2001 [34], andando a verificare la compatibilità di tali criteri con le esigenze di sicurezza dei veicoli a due ruote.

4.4.1.1 Compatibilità DM 5/11/2001 con le caratteristiche dei veicoli a due ruote

Il DM cita come “l’esistenza di opportune visuali libere costituisca primaria e inderogabile condizione di sicurezza della circolazione”. Tuttavia dai risultati della analisi riportata di seguito si evince come le visuali definite dal legislatore non siano compatibili con le caratteristiche dei veicoli a due ruote.

Si verifica, innanzitutto, la compatibilità con le verifiche di visuale libera.

Per distanza di visuale libera si intende la lunghezza del tratto di strada che il conducente riesce a vedere davanti a sé, senza considerare l’influenza del traffico, delle condizioni atmosferiche e di illuminazione della strada.

Lungo il tracciato stradale la distanza di visuale libera deve essere confrontata, in fase di progettazione ed a seconda dei casi successivamente precisati, con le seguenti distanze:

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

La distanza di visibilità per l’arresto si basa su criteri non compatibili fra le due tipologie di veicoli.

Ad esempio si può considerare la differenza fra le caratteristiche di frenatura dei veicoli a quattro e due ruote.

La normativa prende in considerazione un veicolo tipo caratterizzato dalla medesima distribuzione dei carichi su tutte le ruote, prerogativa che non appartiene ai veicoli a due ruote.

Infatti, mentre l’autoveicolo dispone di un solo azionamento della forza frenante, un motociclo o un ciclomotore possiede delle capacità frenanti che risultano condizionate dal trasferimento di carico sull’asse anteriore.

Poiché il motoveicolo dispone di azionamenti della forza frenante indipendenti per ciascun asse, al variare del coefficiente di aderenza impegnabile ed alla intensità della decelerazione varia la ripartizione ottimale della frenata tra gli assi.

In particolare la norma restituisce un diagramma dei coefficienti di aderenza in funzione della velocità prescindendo da ogni considerazione in merito alla categoria del mezzo adottata per la definizione di auto, di moto, o di mezzo pesante.

Mentre si ritiene opportuno che tali coefficienti tengano conto anche della gravità dell’incidente conseguente alla perdita di aderenza, molto diversa fra veicoli a 2 e 4 ruote nelle medesime condizioni (di energia cinetica e di angolo di impatto).

Ma oltre alle caratteristiche della frenatura del veicolo è necessario considerare che anche le condizioni che determinano il tempo psicotecnico di reazione sono sostanzialmente diverse per le due categorie di utenti.

La percezione dell'ostacolo è inficiata dalla rotazione del campo visivo in curva. Tuttavia si ritiene che a livello progettuale possa essere non errato considerare un tempo di reazione costante, ipotizzando che il motociclista presti una maggiore concentrazione alla guida rispetto a quello automobilistico.

Per la determinazione della distanza di arresto si assume che il punto di vista sia pari a 1.1 m di altezza e posto al centro della carreggiata e non vari con gli elementi del tracciato. L'ostacolo è posto al centro della corsia a 0.1 m dal piano stradale.

È evidente che non solo il punto di vista del motociclista ha un'altezza diversa da quello del conducente del veicolo a quattro ruote, ma anche che varia durante la marcia. Nel transito in curva questo è più basso e più vicino al ciglio interno rispetto alla marcia rettilinea sulla medesima traiettoria. In rettilineo alcuni conducenti assumono un assetto più raccolto per ridurre la resistenza aerodinamica.

La modesta sezione del motoveicolo può far risultare questo nascosto nel "range" di visibilità. Inoltre il veicolo a due ruote non ha una posizione determinata all'interno della carreggiata.

Il valore della distanza è ottenuto dal diagramma delle velocità, l'altezza del punto di vista è fissato a 1.10 m e non varia lungo il tracciato, a differenza di quello che è per un motociclista il cui assetto varia con il tracciato.

Anche nella determinazione della distanza di visibilità per il sorpasso esistono delle incompatibilità. Si assume che il veicolo sorraggiungente sia posto al centro della corsia opposta, senza contemplare la possibilità di un posizionamento più sfavorevole nella corsia. Il veicolo che giunge nella corsia opposta potrebbe essere un motoveicolo e transitare in prossimità dell'asse centrale: in questa configurazione il motoveicolo può risultare nascosto.

Inoltre al fine di determinare la distanza di visibilità per il cambio di corsia la norma impone la verifica di visibilità del limite più lontano della corsia adiacente poiché considera una sezione frontale elevata posta in prossimità del ciglio esterno.

Ma la verifica del limite più lontano della corsia opposta a quella impegnata dal conducente non è la più vincolante, in quanto i motoveicoli possono risultare nascosti nel range di visibilità della norma.

Passando ad analizzare il profilo planimetrico si può osservare come gli effetti sull'equilibrio globale del veicolo di pendenze trasversali non adeguate, e quindi da una piattaforma raccordata in maniera errata, siano molto più pericolosi per le due ruote che per le quattro ruote a causa del particolare assetto assunto dal motoveicolo in curva. Inoltre l'equazione di equilibrio globale, alla base della determinazione dei raggi di curvatura (che lega la velocità di percorrenza, l'aderenza impegnabile trasversalmente, il raggio di curvatura e la pendenza trasversale della piattaforma) non è rappresentativa del comportamento del motoveicolo. Al contrario i criteri di dimensionamento delle curve di transizione possono essere considerati compatibili con le caratteristiche dinamiche dei veicoli a due ruote, così come la determinazione della lunghezza massima dei rettifili non presenta anomalie.

Sempre dal punto di vista planimetrico sono molto rischiosi i cambiamenti inattesi della geometria viaria che sono una causa frequente d'incidente, in particolare la

visibilità ridotta impedisce al conducente di vedere correttamente questi tracciati più “complessi”.

Dal punto di vista del profilo altimetrico si possono distinguere due differenti casi. Le caratteristiche del motoveicolo stesso quali le elevate prestazioni e la modesta sezione trasversale rispetto agli autoveicoli, fanno sì che non esistano particolari interferenze in relazione alla lunghezza delle livellette e alle pendenze massime, Tuttavia considerando che la percezione della geometria stradale da parte del motociclista è molto diversa, appare evidente come sui raccordi altimetrici esista il problema della riduzione del campo visivo dovuta al condizionamento dell'illuminazione offerta dal faro anteriore dall'angolo di inclinazione del mezzo in curva.

Oltre al profilo planimetrico e altimetrico è importante considerare il coordinamento plano- altimetrico. La Normativa prescrive di verificare l'assenza di difetti tipici di raccordo tra i vari elementi planimetrici ed altimetrici. Come si è detto dal punto di vista altimetrico, anche dal punto di vista planimetrico esiste una diversa percezione del tracciato a seconda che venga percorso dalle quattro ruote o dalle due ruote. Infatti, sebbene in rettilineo i fenomeni di abbagliamento ed errata percezione delle distanze non varino a seconda della categoria del mezzo interessata, e pertanto, come si è visto, la lunghezza massima dei rettilinei indicata nel DM sia adeguata, appare non appropriato il criterio di definizione dei raggi di curvatura e dell'equilibrio del veicolo. Infatti come si è visto l'equilibrio globale del veicolo è determinato da un'equazione di equilibrio che non è rappresentativa del comportamento del motoveicolo in quanto il suo assetto in curva inclinato è funzione della velocità di percorrenza e del raggio della curva, e l'angolo di inclinazione effettivo non varia significativamente al variare della pendenza trasversale della piattaforma.

Infine secondo il DM succitato la verifica della correttezza della progettazione comporta la redazione del diagramma di velocità per ogni senso di circolazione. Tale Decreto definisce che la distanza di visibilità debba essere maggiore o uguale a quello di transizione che a sua volta deve essere minore a quello di riconoscimento in fase di decelerazione. Il diagramma delle velocità è definito come la rappresentazione grafica dell'andamento della velocità di progetto in funzione della progressiva dell'asse stradale. Si costruisce, sulla base del solo tracciato planimetrico, calcolando per ogni elemento di esso l'andamento della velocità di progetto. Tuttavia la costruzione del diagramma delle velocità si basa sull'adozione di valori di accelerazione e decelerazione pari a 0.8 m/s^2 . Ma appare evidente come tale valore non sia rappresentativo di quelli adottati normalmente dai motoveicoli per una serie di fattori quali il rapporto peso/potenza ed il contributo della resistenza aerodinamica di decelerazione tali da determinare normalmente delle entità di accelerazione e decelerazione maggiori del 0.8 m/s^2 . Questo determina una velocità di percorrenza diversa da quella prevista dal progettista.

Infatti, in molti casi l'evento incidentale avviene non perché il motociclista supera i limiti di velocità imposti, ma perché va troppo forte rispetto a quello che le condizioni esistenti in relazione alla dinamica del veicolo a due ruote richiedono.

4.4.1.2 Curve

Dai dati statistici si evince come uno dei tratti di strada con il maggiore rischio per i TWD siano le curve.

In generale esse rappresentano un punto critico per tutti i veicoli che le affrontano, ma le caratteristiche dinamiche dei motoveicoli li rendono particolarmente vulnerabili in quanto, come si è già descritto, la modalità di guida dei motocicli è diversa da quella dei veicoli su quattro ruote.

Trascurando le situazioni critiche, quando sono in marcia i motocicli sono stabili grazie all'effetto giroscopico delle ruote, in moto rotatorio sul loro asse, che contribuisce a mantenerli in equilibrio, opponendosi alle forze che invece tenderebbero a fare inclinare il veicolo; questo fenomeno, così importante per la marcia dei veicoli a due ruote, può però rappresentare un pericolo in corrispondenza delle curve: il conducente, infatti, per affrontare tale tratto deve necessariamente inclinare il veicolo, ed è contrastato in questo proprio dall'effetto giroscopico che tende invece a raddrizzarlo, e a fargli seguire una traiettoria diversa. Se affrontate senza la dovuta prudenza, quindi, le curve possono diventare molto pericolose proprio a causa delle forze che garantiscono il sostentamento del veicolo a due ruote. Nei veicoli a quattro ruote l'effetto giroscopico può considerarsi ininfluenza sulla stabilità in curva.

Differenze nella sicurezza della guida si manifestano anche nel caso in cui il veicolo, durante il suo cammino, perda improvvisamente l'equilibrio: a meno che il veicolo non si ribalti, e disponendo di spazio sufficiente, un automobilista può recuperare il controllo senza subire gravi conseguenze, mentre la perdita di stabilità da parte di un motociclo difficilmente può essere recuperata dal pilota, e spesso evolve in cadute rovinose. Situazioni di questo tipo possono essere provocate da ostacoli posti sulla superficie stradale o dal cattivo stato della pavimentazione.

È doveroso sottolineare che la mancata manutenzione delle strade, (e conseguentemente l'Ente gestore della strada) compromettendo la stabilità del veicolo a due ruote, è diretta responsabile delle gravi lesioni riportate dai motociclisti causate dall'impatto contro un elemento, non adeguato, posto a margine della carreggiata o dall'impatto, spesso mortale, contro un veicolo sopraggiungente che, a causa della scarsa visibilità del tracciato dovuta al tratto curvilineo, non riesce a evitare lo scontro.

Oltre alle caratteristiche della pavimentazione, fondamentale è la geometria della curva.

Uno studio francese [120] ha dimostrato come il raggio della curva influisca sulla stabilità. I risultati di tale analisi, riportati in figura 4.21, mostrano come la maggior parte delle cadute si verificano per raggi di curvatura minori di 250 metri o maggiori di 400 metri.

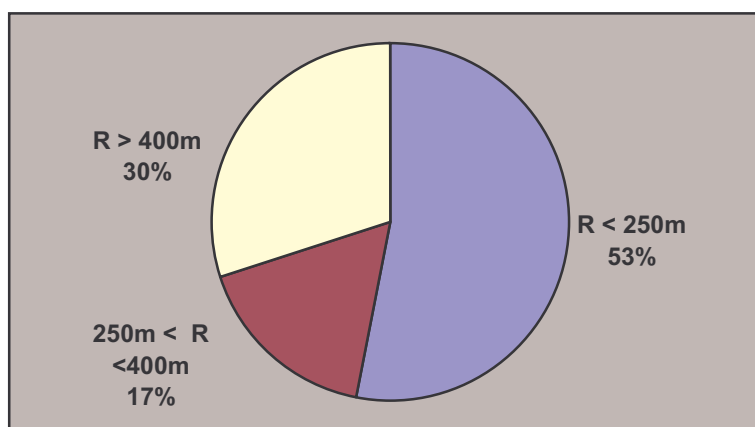


Figura 4.21 - Ripartizione degli incidenti secondo il raggio di curvatura [120]

Per una guida ottimale deve fissare un punto all'orizzonte che coincide con il punto più lontano che riesce a vedere della sua corsia, esattamente al centro di tale corsia. Percorrendo un rettilineo tale punto è lo stesso a lungo. Quindi il motociclista può esaminare una larga parte di tracciato ed adeguare il suo comportamento. In curva il motociclista fissa lo sguardo lungo la linea dell'interno della curva all'orizzonte. Ma essendo una curva tale punto cambierà progressivamente, figura 4.22.

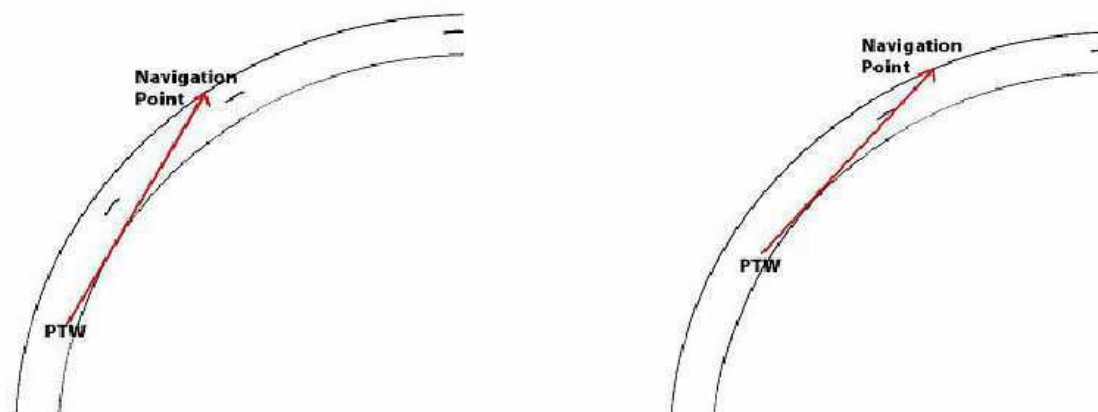


Figura 4.22 – Il punto di navigazione è in continuo cambiamento

Si evince quindi che le curve sinistrorse riportano un rischio maggiore rispetto alle destrorse, in quanto la visuale del motociclista è peggiore poiché la percezione di un eventuale rischio può non essere immediata per un utente che è portato a tenere fisso lo sguardo all'interno della curva, come illustrato in figura 4.23.

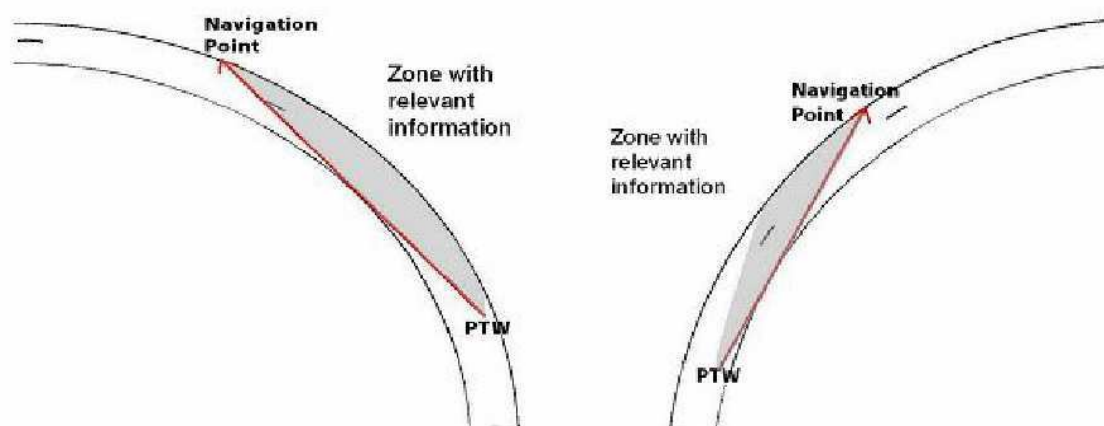


Figura 4.23 – Diversa visuale nella curva destrorsa e sinistrorsa

Inoltre se anche la curva è destrorsa ma il raggio della curva non è costante, si ha un alto rischio. Infatti il motociclista deve modificare la traiettoria del veicolo per rimanere in corsia, ma se il cambio di direzione è troppo brusco, si possono provocare slittamenti delle ruote sulla pavimentazione.

Il motociclista affronta la curva “standard” impostando una traiettoria corretta e una velocità adeguata; quando si trova a percorrere una curva “cieca” con un improvviso cambio di curvatura se non riesce ad adeguare la sua velocità e la sua traiettoria in tempo, rischia di finire fuori strada ed una brusca manovra di correzione fatta all’ultimo momento potrebbe provocare una caduta [95], figura 4.24.

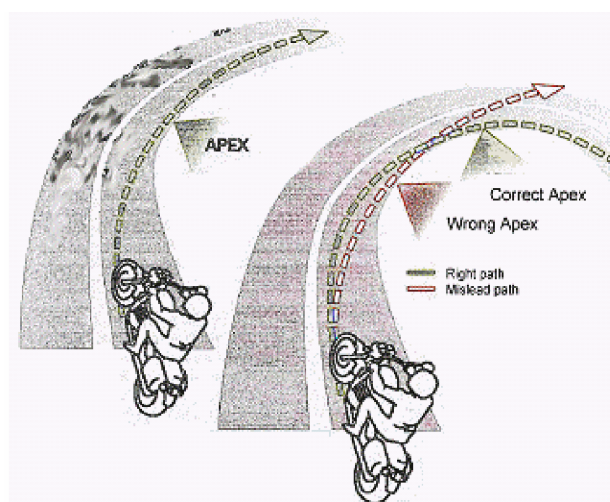


Figura 4.24 - Curva “standard” a sx e Curva “cieca” a dx [95]

Se la curva è destrorsa e non è presente alcuna barriera in mezzzeria, il rischio maggiore è che il motociclista, sbalzato dal veicolo, impatti contro i veicoli che procedono in direzione opposta sulla corsia adiacente; se la curva è sinistrorsa, il motociclista rischia di finire al di fuori della sede stradale, con conseguenze derivanti dall’impatto contro ciò che si trova sulla sua strada: guardrails, alberi, sassi, pareti con rocce sporgenti, burroni, figura 4.25.

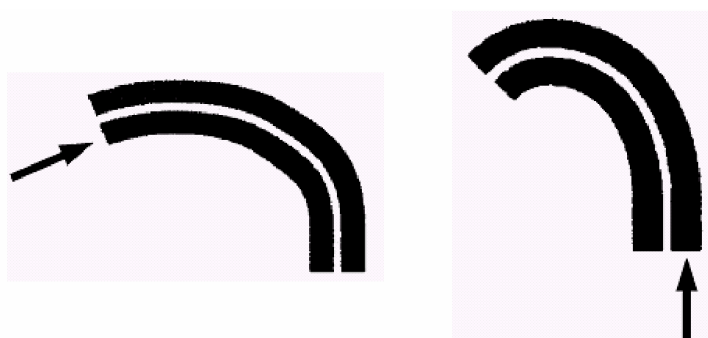


Figura 4.25 [86]

Inoltre un importante riduzione del campo visivo delle due ruote può derivare da qualsiasi oggetto posto all'interno della curva, sia esso cartellonistica stradale o vegetazione, figura 4.26, che riducono la visibilità del motociclista impedendogli di vedere come il tracciato prosegue davanti a lui. In questi casi, anche una curva di per sé non pericolosa lo può diventare provocando al motociclista gli stessi pericoli visti nel punto precedente.



Figura 4.26

Indagini [120] realizzate per studiare gli incidenti avvenuti in curva hanno indicato come sia necessario preoccuparsi più di ciò che si trova sul suo lato esterno che al suo interno.

Infatti, in caso di caduta, il corpo del motociclista, strisciando sull'asfalto secondo l'ultima direzione tenuta prima della caduta, tende a dirigersi verso la parte esterna, e questo indifferentemente per curve verso destra o verso sinistra, come mostrato nel grafico di figura 4.27.

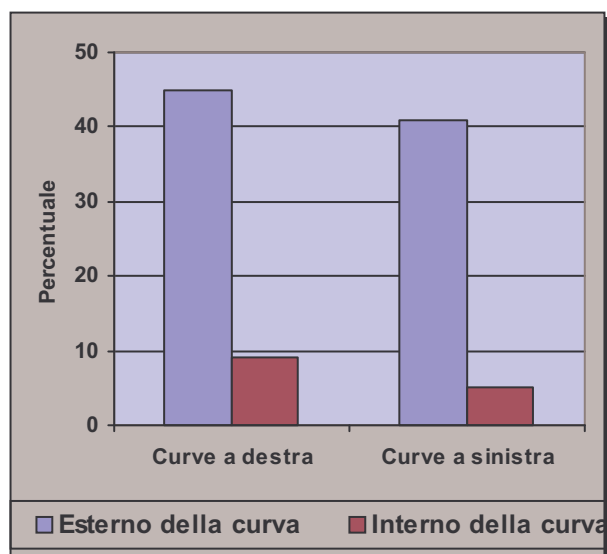


Figura 4.27 - Direzione dell'uscita di strada, secondo il senso della curva [110]

4.4.1.3 Intersezioni

Un altro elemento da tenere in considerazione, oltre alle curve, sono le intersezioni. È evidente che se uno dei rami della curva è costituito da una curva, come quella rappresentata in figura 4.28 l'intersezione sarà caratterizzata da un alto livello di rischio.

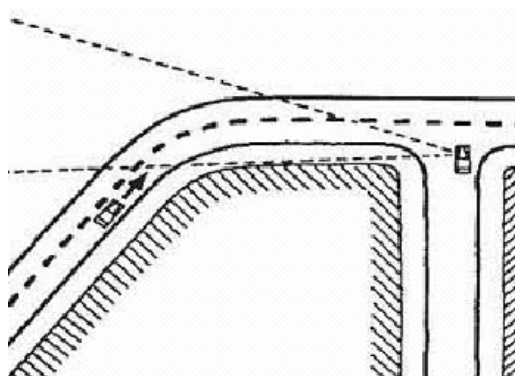


Figura 4.28 – Perdita di visibilità [79]

In letteratura si ritrovano una serie di studi condotti per comprendere la relazione fra la geometria dell'infrastruttura e la sicurezza.

Ad esempio un recente studio [119] analizza come le caratteristiche geometriche di una intersezione (larghezza e numero corsie, larghezza banchine) influiscano sulla valutazione dell'incidentalità della stessa.

La ricerca condotta dimostra come il rischio per i TWD che attraversano una intersezione è direttamente proporzionale al numero di corsie nella strada principale e all'aumento della larghezza delle banchine, oltre che all'entità del flusso di traffico a quattro ruote della corrente principale ed all'alta velocità di approccio.

Inoltre lo studio afferma che un alto flusso di traffico a quattro ruote aumenta il rischio di incidente, mentre la presenza di intersezioni semaforizzate ne diminuisce il rischio.

Anche nelle intersezioni a rotatoria si individuano dei fattori di rischio per le due ruote. Infatti, sebbene in genere non siano caratterizzate da un'alta incidentalità, la percentuale di incidenti che coinvolgono TWD è abbastanza alta.

In particolare seri rischi per i motociclisti si presentano se la corsia di approccio non è adeguatamente disegnata e se i messaggi di riduzione della velocità non sono ben chiari. Infatti sia un largo angolo di immissione, che porta ad un'elevata velocità, che un basso angolo di immissione che porta ad una riduzione della visuale, sono molto rischiosi (figura 4.29).

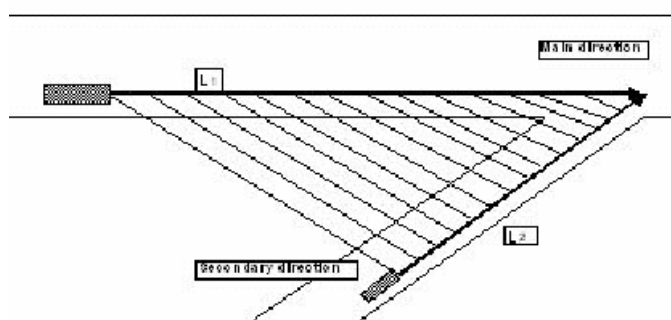


Figura 4.29 – Visibilità in rotatoria [119]

Buona norma è quella di lasciare libera da ostacoli anche l'isola centrale della rotatoria²: spesso lo spazio viene utilizzato per installazioni dell'impianto di illuminazione, ma molte volte nell'isola centrale vengono collocati sostegni di antenne per la telefonia o installazioni artistiche, come quelle mostrate in figura 4.30 e potrebbero certamente essere evitate. Per lasciare libera la via di fuga ai motociclisti caduti è consigliabile anche impiegare bordi non troppo alti per i marciapiedi e l'isola centrale, in modo che non rappresentino un pericolo eccessivo in caso di impatto.



Figura 4.30

² Questo si rende necessario in particolare per le rotatorie di dimensioni ridotte, le quali devono inoltre essere sopraelevate rispetto al livello stradale mediante cordoli inclinati e non bordi rialzati: in caso di emergenza, ad esempio per evitare un veicolo che non abbia concesso la precedenza, deve essere infatti permesso ai veicoli di passare sopra l'isola centrale.

4.4.1.4 Sezione stradale

Per aumentare la sicurezza dei TWD risulta importante anche prevedere una distribuzione “ottimale” delle diverse categorie di veicoli.

Proprio a tale scopo sono state intrapresi una serie di interventi che possono essere distinti in [99]:

- integrazione fra le categorie di veicoli con caratteristiche simili;
- interventi di separazione fra le diverse correnti veicolari.

Nel primo caso si cerca di aumentare la sicurezza attenuando l’eterogeneità della corrente veicolare.

Ad esempio in alcune paesi europei, quali Belgio, Germania e Paesi Bassi, per eliminare il rischio associato alla differenza di velocità fra la corrente veicolare e i ciclomotori, è ammesso che i ciclomotori viaggino, a velocità ridotta, sui percorsi ciclabili. In Italia, così come in altri paesi Europei quali la Norvegia, la Svezia, la Spagna e la Svizzera, è tollerato che i TWD transitino nella corsia degli autobus, figura 4.31.



Figura 4.31 – Corsia mista autobus - TWD (regolato da cartello) [119]

Per quanto attiene al secondo caso la separazione degli utenti mira ad aumentare la sicurezza eliminando il più possibile i punti di conflitto.

In Europa alcuni governi locali hanno adottato approcci innovativi per ridurre la congestione del traffico realizzando corsie riservate ai TWD. Tali interventi si sono dimostrati positivi anche sul lato della sicurezza, in quanto i punti di conflitto vengono drasticamente ridotti [40].

Fondamentalmente possono essere individuati diversi tipi di corsie dedicate ai TWD, a seconda del grado di separazione.

Ad esempio, esistono le “inclusive motorcycle lane” che si sviluppano dentro una carreggiata esistente ed in genere sono situate sul lato sinistro della carreggiata, figura 4.32.

Esse, in genere, sono separate fisicamente da cordoli, contrassegni sulla pavimentazione o barriere di sicurezza, al fine di definire correttamente la separazione. Tuttavia tale tipo di corsia presenta lo svantaggio di mantenere dei punti di conflitto con le altre correnti veicolari, sia nelle intersezioni che negli attraversamenti, soprattutto nel caso in cui questa non sia separata da elementi divisorii o demarcatori, ma sia semplicemente costituita da una banchina pavimentata.



Figura 4.32 – Inclusive motorcycle lane [111]

Sicuramente molto più efficiente è la corsia riservata ai TWD che separa fisicamente questi dalle altre componenti veicolari e di solito gode del diritto di precedenza. Non è ricavata, come la precedente, da una carreggiata di una strada già esistente, ma è una struttura indipendente, realizzata ex-novo, e dotata di sottopassi per ridurre i punti di conflitto nelle intersezioni, figura 4.33.



Figura 4.33 – Corsia riservata [111]

L'effetto positivo [152] [153] della realizzazione di una corsia dedicata ai motociclisti è stata dimostrata lungo un tratto fra l'Aeroporto Internazionale di Subang e le città di Shah Alam e Klang, in Malaysia, dove si è riscontrata una significativa riduzione del 39% degli incidenti dei TWD conseguente all'apertura della strada [89].

Fino ad ora esistono esclusivamente criteri per dimensionare le corsie dei veicoli a 4 ruote e per le biciclette, ma nulla è stato studiato per progettare una corsia riservata alle due ruote motorizzate.

Il dimensionamento di tale corsia è importante in quanto ne pregiudica la validità. Infatti se una corsia riservata ha una larghezza eccessiva potrebbe non solo diventare troppo costosa, ma soprattutto incoraggiare l'invasione dei veicoli di dimensioni più elevate nella corsia e mettere in pericolo i motociclisti.

D'altro canto una dimensione ridotta della larghezza potrebbe creare un disagio ai motociclisti e, quindi, portare ad un più alto rischio di incidente durante la manovra di sorpasso. Infatti, è bene tenere presente che l'adozione di corsie riservate deve essere accompagnata da un attento studio della geometria, della segnaletica e dell'arredo urbano [159].

Recenti studi [151] [111] sono stati condotti per stimare il dimensionamento ottimo di una corsia riservata ai TWD.

In particolare Hussain e al. [148] hanno definito lo spazio statico e operativo dei motoveicoli, deducendoli da filmati, figura 4.34.

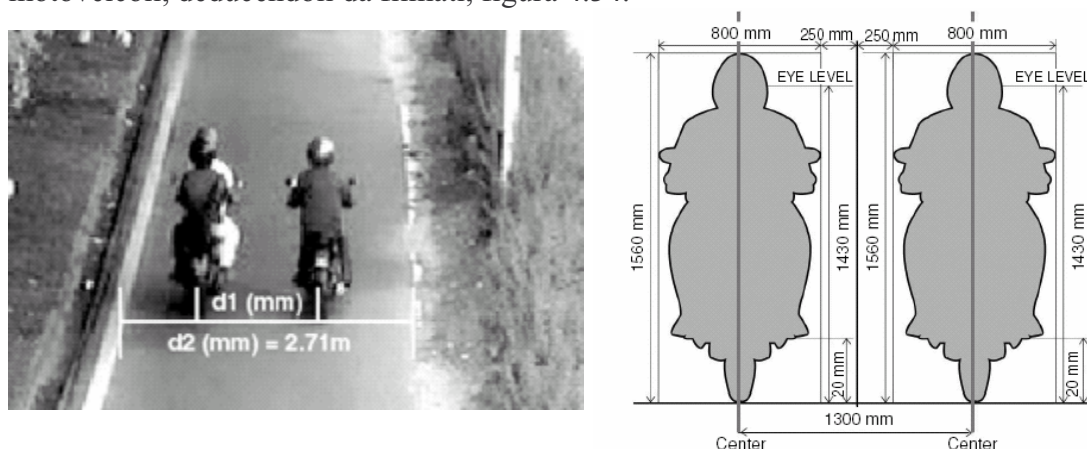


Figura 4.34 – Corsia riservata [148]

Tale studio, definendo le caratteristiche fondamentali come le dimensioni medie statiche di un motoveicolo (0.8 m di larghezza e 2.0 m di lunghezza) ha individuato lo spazio fisico occupato da un motoveicolo, pari a 1.6 m², con un'altezza del campo visivo pari a circa 1.4 m ed un'altezza totale pari a 1.6 m; sulla base di tali risultati, definendo uno spazio operativo pari a 1.3 m a 60 km/h, si ottiene una larghezza minima di una corsia a file parallele di 1.6 m.

Da tali considerazioni è stato possibile evincere che, semplificando, per corsie di larghezza maggiore ai 1.7 m i motoveicoli si dispongono in più di una fila, sia in condizioni di bassa che di alta densità di traffico.

In tabella 4.5 si riportano le diverse caratteristiche di marcia dei TWD per diverse larghezze della carreggiata e sotto condizioni di densità sia elevata che bassa.

Tabella 4.5 – Caratteristiche marcia dei motoveicoli

| Site | Total lane width (m) | Low volume condition (Flow < 1900 mc/hr/ln) | | | High volume condition (Flow > 2500 mc/hr/ln) | | | Motorcyclists riding manner |
|---------|----------------------|---|--------------------|----------------------|--|--------------------|----------------------|-----------------------------|
| | | Mean flow rate (mc/hr/ln) | Mean speed (km/hr) | Nos. of lines formed | Mean flow rate (mc/hr/ln) | Mean speed (km/hr) | Nos. of lines formed | |
| FO2 | 3.3 | 902 | 61 | 2 | - | - | - | Space concept |
| FO2 | 3.0 | 1799 | 51 | 2 | - | - | - | |
| FO2 | 2.4 | 1343 | 52 | 2 | - | - | - | |
| FO2-Exp | 2.0 | 1381 | 46 | 1 | - | - | - | |
| LPM-Exp | 1.9 | - | - | - | 2804 | 34 | 2 | |
| LPM-Exp | 1.7 | - | - | - | 3108 | 25 | 1 | Lane or Headway concept |
| FO2-Exp | 1.6 | 1048 | 45 | 1 | - | - | - | |
| LPM-Exp | 1.5 | - | - | - | 2845 | 11 | 1 | |
| FO2-Exp | 1.4 | - | - | - | 2548 | 11 | 1 | |

Infine la sezione stradale dovrebbe prevedere delle “*safety zones*”, ossia zone franche al di fuori della piattaforma stradale nelle quali non è consentito il posizionamento di elementi funzionali all’infrastruttura. In alcuni paesi è contemplata, al più, la presenza di piantumazioni basse in grado di ridurre ulteriormente le energie cinetiche in gioco. In figura 4.35 è riportata una sezione stradale dotata di *safety zone*.

Esse derivano dal più ampio tema delle “*Forgiving Roads*” per il quale l’infrastruttura deve essere in grado di “perdonare” l’utente in svio.

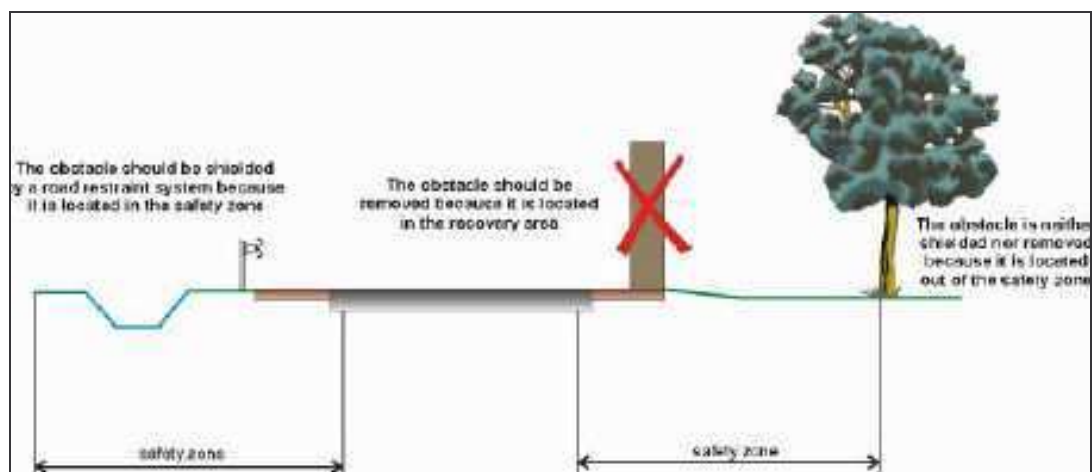


Figura 4.35 - Definizione schematica delle Road Safety Zones

I criteri per il dimensionamento delle *safety zones* sono facilmente intuibili e si riconducono a variabili quali la velocità di progetto, il tipo di strada, la pendenza delle scarpate laterali, il flusso veicolare, l'andamento plano-altimetrico della strada. In alcuni paesi si parla anche di *Recovery zones*, generalmente identificate con ampie banchine pavimentate e delimitate da segnaletica orizzontale ove i veicoli erranti possono ridurre le velocità di svio e, se possibile, riprendere la marcia normale (figura 4.36).

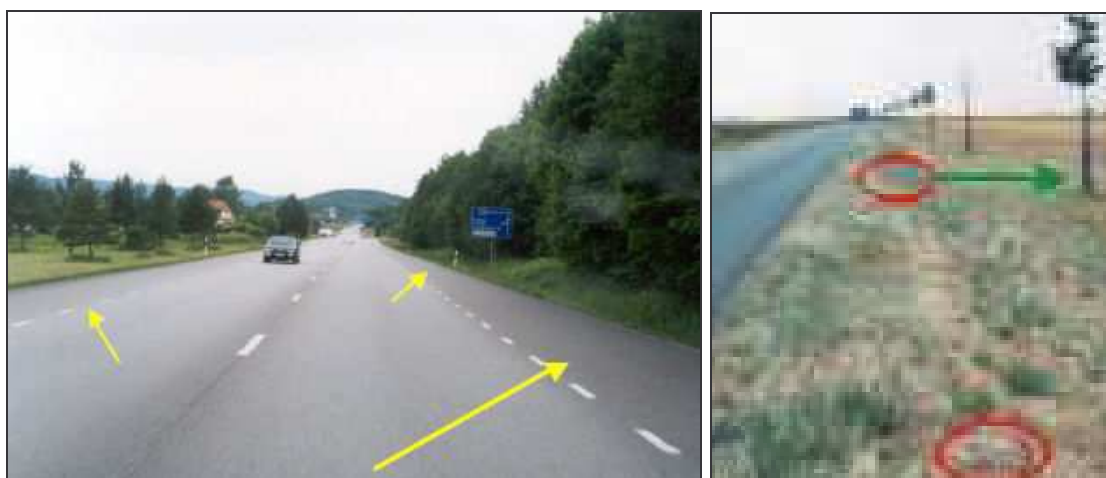


Figura 4.36 - Recovery Zones: banchine allargate e piantumazioni spostate in Francia

Il Ministero dei trasporti francese, ad esempio, ha individuato [121], come zone da equipaggiare con dispositivi *moto-friendly*, le curve con un raggio minore di 250 metri (400 sulle autostrade), e i tratti di strada inclinata; nei tratti analoghi, ma per infrastrutture di nuova costruzione, è indicato come obbligatorio il rispetto di una zona di sicurezza e una di recupero: nella prima, ampia almeno quattro metri, tutti gli ostacoli o elementi pericolosi che non possono essere evitati devono essere protetti con dispositivi di tenuta, come i guardrail; nella seconda, più interna della zona di

sicurezza e ampia almeno due metri, gli ostacoli sono vietati, come indicato nella figura 4.37.

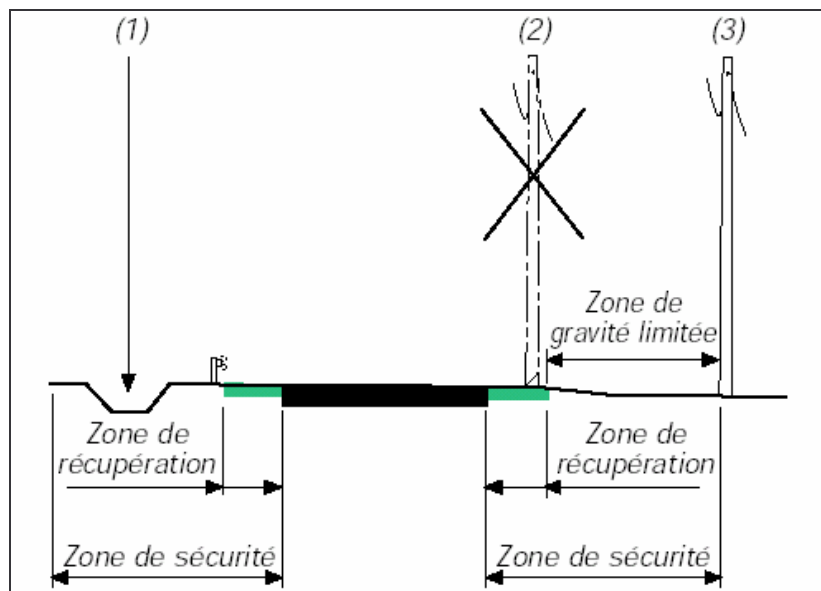


Figura 4.37

In particolare, si evince che gli ostacoli o gli elementi pericolosi devono:

- essere protetti da dispositivi di ritenuta nella zona di sicurezza (ma fuori da quella di recupero).
- essere eliminati nella zona di recupero.
- non essere eliminati né protetti al di fuori della zona di sicurezza.

Le dimensioni previste dalla direttiva per queste due aree sono diverse a seconda del livello gerarchico della strada che si sta esaminando: esse sono state decise sulla base di indagini finalizzate a valutare la distanza tra gli ostacoli e il bordo della strada nei casi di incidenti mortali che abbiano visto coinvolti degli ostacoli posizionati fuori dalla sede stradale, i cui risultati sono riportati nel grafico 4.38.

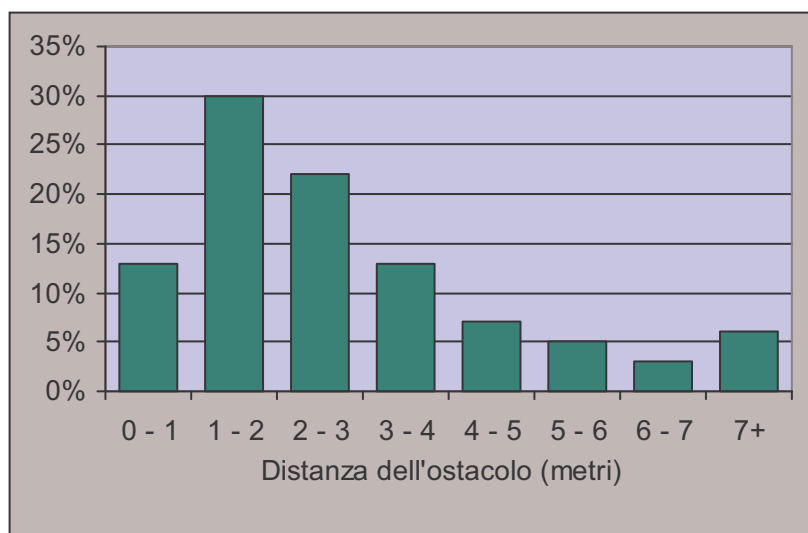


Figura 4. 38 - Ripartizione incidenti mortali contro ostacoli fissi, secondo la distanza tra l'ostacolo e il bordo della strada – Francia, 2000

In particolare per i veicoli a due ruote è necessario prestare attenzione alle condizioni del terreno poiché più è molle e maggiore è la possibilità di affondamento dei pneumatici e conseguentemente maggiore è la probabilità di caduta di quelli a due ruote.

Infatti nel caso dei motocicli l'affondamento della ruota anteriore nel terreno genera un momento angolare attorno all'asse di beccheggio responsabile del sollevamento della ruota posteriore: il veicolo può cappottare sbalzando in avanti gli occupanti, che vengono così a trovarsi lungo la traiettoria della moto.

Un'altra situazione che può causare il ribaltamento del veicolo è rappresentata dall'incremento brusco della pendenza trasversale del rilevato che causa l'aumento repentino del momento angolare attorno all'asse di rollio.

4.4.2 Opere complementari

Oltre al tracciato è importante considerare anche le opere complementari di arredo dell'infrastruttura.

L'eterogeneità delle categorie abilitate a circolare sulla strada rendono il problema della sicurezza maggiormente complesso poiché interventi finalizzati a diminuire il danno da impatto sugli occupanti di un veicolo a quattro ruote, non sempre risultano efficaci quando nell'incidente vengono coinvolti TWD.

Infatti come si è visto nel paragrafo precedente i criteri progettuali delle infrastrutture hanno validità solo per i veicoli a 4 ruote.

4.4.2.1 Elementi a margine della carreggiata

Un aspetto di cui il progettista dovrebbe occuparsi è il dimensionamento dei margini centrali interni (spartitraffico) e di quelli esterni di pertinenza (laterali o bordi) [71].

Tali elementi della piattaforma assumono, infatti, un ruolo importante nella definizione della sicurezza stradale nel caso di un veicolo a due ruote in svio, poiché sono spazi che costituiscono la base dei dispositivi di ritenuta che condizionano il comportamento dell'utente (prima che si verifichi l'incidente).

Quando un motociclo abbandona ad esempio la carreggiata in seguito ad una perdita accidentale di traiettoria, è soggetto ad una fuoriuscita incontrollata dalla piattaforma stradale a causa della quale alcuni elementi compositivi progettuali e costruttivi del corpo stradale, posti ai margini degli spazi pavimentati, costituiscono potenziali fattori di rischio per gli utenti. Il progettista dovrà quindi considerare le scarpate degli scavi, lo spartitraffico, gli oggetti fissi e rigidi, gli specchi o corsi d'acqua e le altre infrastrutture intersecate e fiancheggiate, come elementi pericolosi che possono causare in seguito all'impatto forti traumi agli occupanti del veicolo a due ruote.

Inoltre è bene far presente che la fuoriuscita di questo dalla sede stradale può dipendere dalla percezione visiva dello spazio stradale.

Infatti studi sperimentali hanno permesso di verificare che un oggetto a margine della carreggiata sottende, nel campo visivo del conducente, con l'asse focale dell'occhio un certo angolo. Se la variazione nel tempo di tale angolo è superiore al valore di soglia, il conducente vede scorrere l'immagine visiva dell'ostacolo in tempi ragionevoli e non modifica la traiettoria; in caso contrario l'oggetto viene percepito come un elemento ubicato lungo la traiettoria ed il veicolo comincerà a spostarsi lateralmente per evitarlo, col rischio di pregiudicare il livello di servizio e la sicurezza dell'infrastruttura.

Tale sensazione di disturbo prodotta da un ostacolo a margine della carreggiata dipende quindi dalla distanza trasversale dell'oggetto dal bordo della pavimentazione e dalla velocità di percorrenza della strada.

Se le aree poste ai margini laterali della carreggiata fossero ampie, pianeggianti e senza ostacoli di sorta (alberi, muri, ecc.), la probabilità di alterazioni della percezione visiva per effetto di elementi intrusivi quasi si annullerebbe e le conseguenze di una fuoriuscita accidentale potrebbero ridursi in maniera drastica.

Nelle infrastrutture esistenti le tipologie d'intervento che il tecnico può tentare di intraprendere, per incrementare la sicurezza dei margini stradali, sono lo spostamento o la rimozione degli ostacoli laterali o la riduzione della pericolosità di quello che non è conveniente o possibile spostare.

Spesso i primi tipi d'intervento non sono possibili a causa della presenza di vincoli allo spostamento degli ostacoli e della ridotta larghezza della fascia di rispetto delle infrastrutture stradali; sovente l'unico intervento attuabile è quindi la protezione di ostacoli con dispositivi di ritenuta.

Spartitraffico

Un alto livello di rischio è dovuto ad alcune tipologie di spartitraffico, come ad esempio, quella riportata in figura 4.39 costituita da elementi in calcestruzzo nella parte inferiore discontinui e da tubi metallici nella parte superiore.



Figura 4.39 – Spartitraffico pericoloso

Anche alcuni elementi adottati per delimitare corsie possiedono un alto livello di rischio per i TWD, figura 4.40. Casi emblematici sono le piccole isole rialzate realizzate all'interno della carreggiata per consentire l'installazione di pali della luce o di segnali stradali.



Figura 4.40 - Cordolo utilizzato per isolare una corsia preferenziale destinata ai veicoli pubblici

Marciapiedi

Elementi a margine della carreggiata come i marciapiedi si rivelano molto rischiosi per la stabilità di motocicli e ciclomotori, figura 4.41.

Non di rado in città a fianco della carreggiata vi sono marciapiedi di separazione e gradini posti in posizioni particolarmente rischiose, o dotati di forma e disegno non immediatamente percepibili da parte degli utenti della strada.



Figura 4.41

Sebbene questi siano indispensabili per garantire la sicurezza dei pedoni e dei ciclisti possono essere fonte di rischio in caso di caduta. Infatti essi sono realizzati in pietra o in calcestruzzo e hanno forma prismatica con spigoli ben evidenti.

I pericoli in caso di impatto possono essere anche molto gravi. Infatti essi non solo possono essere la causa della caduta, ma possono anche risultare di danno se impattati dal corpo del motociclista caduto per altre cause.

Questo è vero soprattutto nelle aree urbane, dove molti incidenti avvengono a velocità ridotta e non avrebbero quindi conseguenze molto gravi se il corpo del motociclista, o più frequentemente del ciclomotorista, potesse scivolare sulla pavimentazione stradale per quei pochi metri necessari a dissipare l'energia cinetica posseduta dopo essere stato sbalzato dal mezzo: la presenza di elementi sopraelevati dotati di bordi spigolosi riduce sensibilmente lo spazio disponibile per la decelerazione del corpo, e aggrava le conseguenze di incidenti che potrebbero essere lievi.

Non è necessario che il margine del marciapiede sia troppo alto perché risulti evidente la separazione tra il traffico veicolare e la zona destinata ai pedoni, figura 4.42.



Figura 4.42 – Differenti cordoli

La soluzione più immediata è quella di smussare gli spigoli o di ricorrere a materiali deformabili come per esempio gomma riciclata dai pneumatici dismessi.

Inoltre si possono utilizzare margini dai profili più smussati, come quelli mostrati nelle figure 4.43; dato il costo maggiore di elementi provvisti di tale accorgimento, si può almeno prevedere il loro utilizzo in quei tratti di strada dove risulti più alta la probabilità di cadute o incidenti che vedano coinvolti i ciclomotori, quali le curve, le rotatorie e gli incroci più delicati.

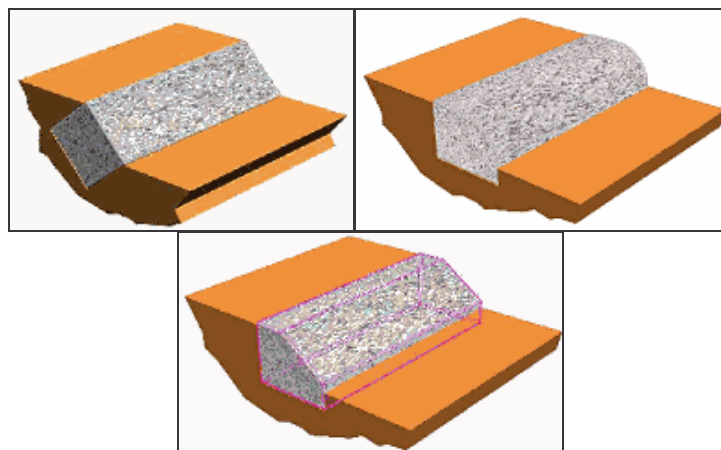


Figura 4.43

In analogia con la procedura di Network Safety High-Risk Road Section Management, illustrata nel capitolo precedente, le situazioni nelle quali i bordi rialzati si trovino in posizioni particolarmente pericolose, possono essere segnalate tempestivamente, piazzando a distanza adeguata dei cartelli stradali che avvertano del pericolo. Possono essere adottati sia elementi catarifrangenti, preferibili anche perché più visibili nelle ore notturne, sia i sistemi di delineazione lineare Lds, pannelli retroriflettenti ad altissima resa fotometrica, che sfruttano la tecnologia dei microprismi, e possono essere installati anche per evidenziare altri ostacoli, come mostrato nella figura 4.44.



Figura 4.44 - “3M Lds”, sistema di delineazione lineare

Riuscire a percepire in anticipo la presenza di ostacoli sul proprio tragitto, o la svolta esatta di una curva, o l'angolo di ingresso di una bretella autostradale consente di avere il tempo per reagire, adattando la propria velocità e andatura alle reali condizioni della infrastruttura.

Segnaletica verticale

Cartelli stradali troppo grandi o collocati in posizioni sfavorevoli, possono coprire i veicoli che si avvicinano all'incrocio, in particolare i motocicli e i ciclomotori che possiedono una sagoma minore.

I pali e i sostegni posti ai lati delle strade chiudono la via di fuga ai veicoli incidentati e ai corpi dei motociclisti che, sbalzati dal veicolo, scivolano sull'asfalto, comportandosi a tutti gli effetti come i montanti dei guardrail. In particolare, essi rappresentano ostacoli fissi nei quali si concentra la forza d'impatto nel caso in cui vengano colpiti: se il corpo collidente è un'automobile, o un veicolo pesante, le conseguenze dell'urto possono limitarsi a danni materiali al veicolo, a meno che non proceda a velocità eccessiva; nel caso in cui il corpo che impatta sul palo sia invece quello di un motociclista, anche a velocità ridotta le conseguenze potrebbero facilmente risultare fatali.

Un caso frequente, ad esempio, è quello dei cartelli che segnalano una curva pericolosa, posti anche alla fine di tale curva, come quelli della figura 4.45.



Figura 4.45

I pali che segnalano questa curva pericolosa sono posti in modo tale da rappresentare essi stessi un grave pericolo, dato che impedirebbero al corpo di un motociclista caduto sull'asfalto di terminare la sua corsa nel campo a lato della strada, con conseguenze probabilmente modeste.

Di larga diffusione negli Stati Uniti sono i cosiddetti “break-away roadside elements”, atti a ridurre la gravità di un impatto, attuato non schermando l’elemento pericoloso, ma modificandone la compatibilità con il corpo impattante. In sostanza, si progetta l’elemento funzionale di bordo strada in modo tale che, se impattato, generi minori sollecitazioni.

Un classico esempio è costituito dai pali della segnaletica o dell’impiantistica cedevoli perché vincolati tramite flange imbullonate in grado di rompersi durante l’urto (figura 4.46).

Tali sistemi sono ad oggi studiati in particolar modo per gli impatti da parte di veicoli dotati di abitacolo e in alcuni casi possono costituire comunque un pericolo per i motociclisti in svio.

Anche in questo caso è auspicabile una ricalibrazione dell’approccio alla sicurezza in modo tale che un dispositivo studiato appositamente per la salvaguardia delle autovetture e dei suoi occupanti non risulti poi più dannoso per gli utenti a due ruote.

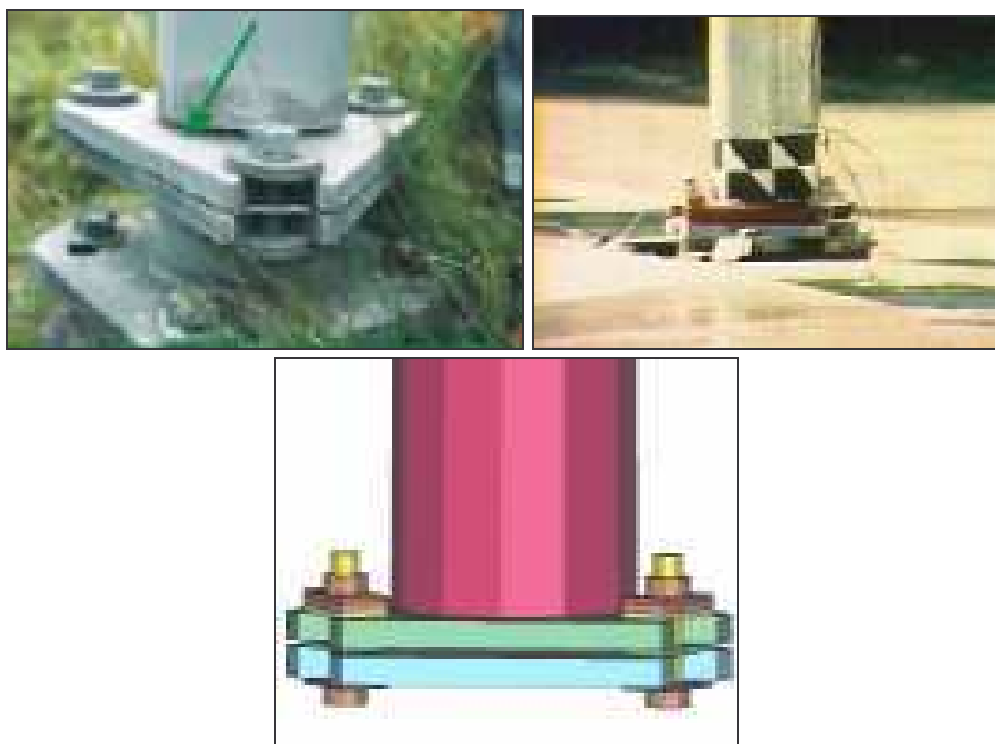


Figura 4.46 - Break-away roadside poles

Una delle principali cause degli incidenti, la guida distratta e indecisa, può infatti in molti casi essere diretta conseguenza dell’assenza o inadeguatezza della segnaletica stradale, della sua scorretta collocazione o della mancata manutenzione.

Può succedere che alcune minacce riguardino in particolare la sicurezza dei TWD, ma non siano segnalate perché non rappresentano grave pericolo per gli altri veicoli: in questi casi possono rendersi utili delle segnalazioni specifiche proprio per i motociclisti, come in figura 4.47, perché riducano la velocità e siano pronti a frenare in caso di improvvise situazioni di emergenza.

Tali segnali possono rendersi utili anche per sollecitare i conducenti degli altri veicoli affinché facciano attenzione alla presenza dei motocicli, ad esempio in quei tratti di strada dove alcuni ostacoli possono nascondere le loro sagome ridotte.



Figura 4.47

Dove sono stati collocati segnali di questo tipo, soprattutto in Germania e nei paesi scandinavi, è stato registrato un calo di incidenti che abbiano visto coinvolti i motociclisti.

Le barriere di sicurezza

Le barriere di sicurezza sono finalizzate a ritenere e ridirezionare i veicoli in svio, contenendo i danni al veicolo ed ai suoi occupanti, nonché agli altri utenti della strada.

Sono in genere poste, quindi, ai lati della strada (barriere per i bordi laterali, anche su opere d'arte quali i ponti) ed in mezzzeria (barriere spartitraffico, per evitare pericolosissimi salti di corsia).

La normativa europea di riferimento per l'omologazione di dispositivi stradali di ritenuta è la EN 1317.

Tale normativa non menziona i TWD. A tale proposito la Federazione Europea delle Associazioni dei Motociclisti (FEMA) ha richiesto una revisione della norma con l'introduzione di uno specifico test per i TWD.

Ciò è un fatto essenziale per la sicurezza dei TWD, in quanto le barriere di sicurezza stradali rappresentano attualmente un ostacolo pericoloso, a volte più pericoloso dell'elemento schermato o dell'assetto stradale per cui sono poste in essere.

La progettazione delle barriere di sicurezza e lo studio delle conseguenze di impatto da parte di un corpo umano non è stato ad oggi un tema predominante della ricerca nel campo della sicurezza stradale. Secondo la Federazione Europea delle Associazioni dei Motociclisti (FEMA) ciò è una conseguenza dell'ignoranza circa i pericoli esistenti sulla strada per i motociclisti e di una non percepita priorità del problema. Nonostante diversi paesi europei stiano iniziando a prendere in seria considerazione la grave situazione, resta il fatto che non esiste ancora una normativa ufficiale specifica sul tema.

La maggior parte delle ricerche condotte sull'interazione corpo umano-barriera di sicurezza risale agli anni '80 e '90. Tuttavia, la pubblicazione nel 1996 delle norme ISO 13232 "Motorcycles - Test and analysis procedures for research evaluation of rider crash protective devices fitted to motorcycles", seppur rivolta ai sistemi di sicurezza passivi vincolati al mezzo o al conducente, rappresenta un notevole passo avanti nell'intento di risolvere i problemi descritti, indirizzando l'attenzione anche sulla progettazione dei sistemi di ritenuta e sullo studio della loro collocazione ottimale (figura 4.48).

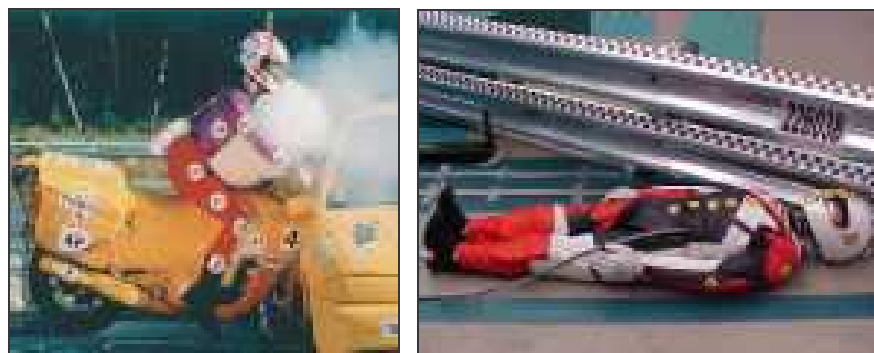


Figura 4.48 - Norma ISO 13232 per lo studio dei dispositivi di sicurezza passivi [46]

Il report di Uwe Ellmers (BAST) del 1998 ha provato la gravità delle ferite per i motociclisti coinvolti in incidenti contro barriere di sicurezza, dimostrando che la

probabilità di essere uccisi cresce dal 2.2% al 10.9% quando il bordo strada è attrezzato con barriere di sicurezza.

Per chiarire i risultati di tale analisi si passano in rassegna alcune tipologie di sistemi di ritenuta esistenti nelle infrastrutture europee.

I guardrail metallici tradizionali, in genere prodotti in acciaio Fe360 o Fe430, sono composti da una serie di elementi collegati fra loro; di questi, quelli che maggiormente creano preoccupazione per i motociclisti sono i montanti ed i nastri:

- montanti: sono i sostegni verticali che sorreggono gli altri elementi della barriera e la fanno aderire al terreno; sono costituiti in genere da un profilato metallico ad I (IPE 100), sono deformabili e funzionano quindi da dissipatori di energia, sebbene questa venga prevalentemente assorbita dal terreno e dai nastri e dissipata nell'attrito barriera/veicolo.
- nastri: sono lamiere sagomate a più onde (tradizionalmente a singola o doppia onda, a tripla onda quando si prevedono urti più gravosi) che collegano i montanti, resistono all'impatto e si deformano in modo tale da avvolgere il veicolo e accompagnarlo durante l'urto.

I montanti hanno spigoli che a velocità superiori a 30 km/h si comportano come rasoi (figura 4.49); il profilato più pericoloso è quello a doppio T in quanto presenta spigoli vivi esposti ma anche quelli a S, C e a Ω (figura 4.50) restano assai pericolosi per un motociclista in caduta in quanto gli sforzi applicati sul corpo umano superano spesso i limiti biomeccanici.



Figura 4.49 - Montanti stradali visti dal punto di vista dei motociclisti.

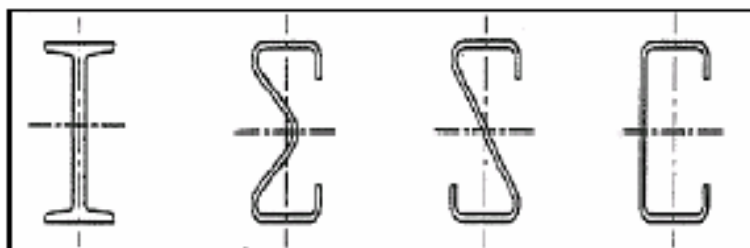


Figura 4.50 - Sezioni di montanti metallici.

I nastri sono pericolosi in quanto nei guardrail tradizionali, pensati per auto e veicoli pesanti, la parte inferiore di esso è spesso troppo elevata, e non sono rari i casi di motociclisti che, scivolando sulla sede stradale, siano passati con il corpo sotto i guardrail, finendo contro gli ostacoli da cui dovevano essere protetti (vedi figura 4.51), o addirittura nella corsia opposta quando i guardrail sono posti in mezzeria. Purtroppo sono numerosi anche i casi di lesioni degli arti, verificatisi proprio nel passaggio del corpo del motociclista sotto il nastro, nell'urto con il bordo inferiore tagliente.



Figura 4.51

Discorso analogo può essere fatto per le barriere speciali e terminali (attenuatori e dissipatori) le quali alle volte presentano elementi sporgenti e forme pericolose per le due ruote (figura 4.52).



Figura 4.52

La barriera a funi metalliche figura 4.53 è diffusa soprattutto nel nord Europa e nei paesi scandinavi, e deve il suo successo al costo minore rispetto alle normali barriere di sicurezza, ed è stata perciò installata ai bordi e nella mezzeria di numerose strade.

Dai motociclisti è considerata il sistema di trattenuta più pericoloso, in quanto i montanti sono esposti e troppo ravvicinati, così da rendere sicuro l’impatto col corpo di un motociclista che scivoli sulla pavimentazione stradale dopo un incidente; anche l’impatto con le funi della barriera può diventare rovinoso, e per questo l’effetto della barriera viene assimilato a quello di un “coltello che tagli il burro”.



Figura 4.53

Di tale tipologia di barriera si riporta il calcolo del grado di pericolosità dell’impatto calcolato attraverso simulazione MADYMO. Questo, stimato sulla base delle ferite per il motociclista indica che l’aggressività di tale tipo di barriera è molto elevato, indipendentemente dalla velocità del veicolo e dalla sua inclinazione. In ognuna delle simulazioni vi è l’intrappolamento di parti di veicolo o di estremità del conducente tra i cavi del dispositivo con più gravi conseguenze per il motociclista. La figura 4.54 mostra alcuni fotogrammi presi dalla simulazione descritta.



Figura 4.54 - Fotogrammi della simulazione MADYMO dell’impatto con barriera a cavi [112]

Per comprendere il rischio associato ad una barriera di sicurezza per i TWD sono state avviate una serie di ricerche, tra le quali si riportano i risultati di uno studio del 2002 [108] condotto su una banca dati incidentale francese ed austriaca. Tale banca dati indicava che fra tutti gli incidenti con coinvolti i motociclisti il 4.7% era legato ad impatti contro sistemi di ritenuta stradali ed il 15% di questi era risultato fatale. Nel 51% dei casi l’urto è avvenuto con il conducente ancora a bordo del veicolo, mentre il 45% dei casi è avvenuto con il sistema veicolo-conducente a terra. Il restante 4% dei casi corrisponde a situazioni intermedie.

Sulla base di tali dati sono state prese in considerazione quattro configurazioni riportate in figura 4.55 facendo uso dello stesso tipo di veicolo e di dummy. Per

valutare il rischio di lesione a danno del conducente, si sono presi in considerazione i cinematismi durante l'evento.

In particolare è stato considerato l'impatto "primario" contro il sistema di ritenuta, quello "secondario" con il suolo ed il movimento lungo il sistema di ritenuta. A tale fine sono stati misurati i carichi agenti sul dummy e visionati i filmati ad alta velocità.

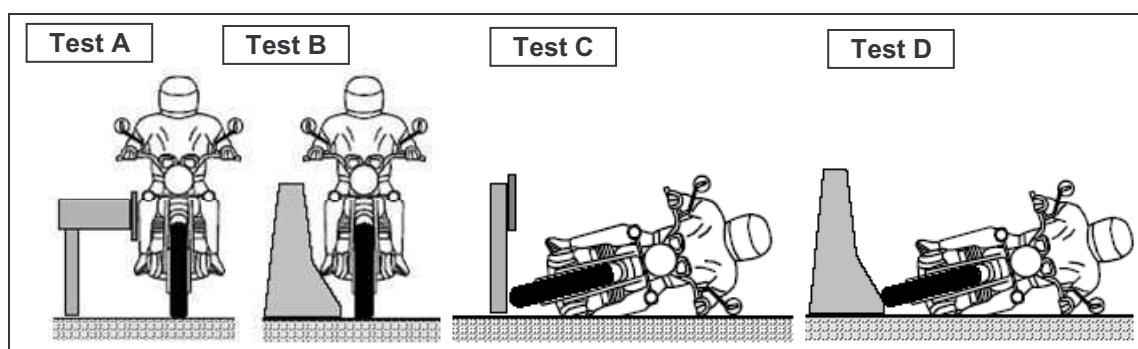


Figura 4.55 – Le configurazioni per crash-test [108]

I risultati dei crash-test sono di seguito sinteticamente descritti con fotogrammi ripresi per ciascuno dei test condotti.

Nel Test A, figura 4.56, il dummy urta la barriera e scorre sulla sua parte superiore procurandosi gravi lesioni, specialmente al petto, alle spalle ed al ventre a causa dei ripetuti impatti con le parti scoperte rigide del sistema di ritenuta. I carichi misurati sul dummy corrispondenti agli impatti "primario" e "secondario" non superano i limiti biomeccanici del corpo umano.



Figura 4.56 - Fotogramma crash-test 1

Nel Test B, figura 4.57, il dummy scavalca la barriera in seguito all'urto e termina la sua traiettoria oltre il sistema di ritenuta. Anche in tale caso i carichi misurati non risultano letali pur restando le azioni sul femore destro significative. Dal filmato è risultato che né il veicolo, né il conducente risultano decelerati durante il primo contatto con la barriera. Il fatto che il conducente venga sbalzato oltre la barriera è poi pericoloso nel caso in cui questa sia posta tra due carreggiate adiacenti.



Figura 4.57 - Fotogramma crash-test 2

Nel Test C, figura 4.58, la motocicletta urta direttamente un montante e si blocca al di sotto della barriera. Il dummy si separa dal mezzo e urta un montante a 5 m di distanza. I carichi misurati risultano letali per il conducente essendo questi superiori ai limiti posti per la testa. Durante l'impatto il giunto della spalla del dummy si è lacerato.



Figura 4.58 - Fotogramma crash-test 3

Nel Test D, figura 4.59, i carichi misurati sul dummy sono tutti elevati a testimonianza di un impatto ad elevato rischio di letalità. In particolare, il dummy soffre di carichi alla testa ben oltre il limite biomeccanico.



Figura 4.59 - Fotogramma crash-test 4

Da tale esempio si ricava che gli studi scientifici recenti confermano quanto sostenuto dalle associazioni di motociclisti, ovvero che i dispositivi di sicurezza presenti sulle strade non sono compatibili con i motociclisti. Ciò significa che le conseguenze degli eventi incidentali con urto contro barriere di sicurezza sono, nella maggior parte dei casi, ben più gravi dell'evento incidentale stesso.

Partendo dalla considerazione che la pericolosità delle barriere deriva in gran parte dalla ridotta superficie di impatto dei montanti che fa sì che l'energia cinetica venga dissipata concentrandosi in punti singolari, provocando forti urti e deformazioni agli arti dei motociclisti, si sono cercate soluzioni al problema.

Una soluzione potrebbe essere quella di sostituire tali barriere con altre barriere continue che possiedono una superficie di impatto ampia e liscia che può procurare alcuni vantaggi rispetto ai guardrail. Innanzitutto non presentano parti affilate o taglienti.

Purtroppo le barriere continue, soprattutto se in cemento come i diffusi “new jersey”, presentano degli effetti negativi evidenti: essendo in genere progettate per contenere un grosso carico, quale quello di auto o camion, risultano estremamente rigide e diventano esse stesse degli ostacoli pericolosi se colpite con velocità ed angoli di impatto elevati. Questo vale a maggior ragione per il corpo di un motociclista che, non protetto da alcuna carrozzeria, assorbirebbe nell’impatto quasi tutta l’energia cinetica, con gravi conseguenze fisiche, e verrebbe il più delle volte rimbalzato all’interno della carreggiata, creando così ulteriore pericolo per sé e per i veicoli in arrivo.

Non tutte le barriere continue sono realizzate in cemento: laddove si ritenga opportuno (e si possiedano i finanziamenti necessari, visto il costo maggiore) si possono scegliere barriere di materiale diverso, in grado di assorbire una maggiore quantità di energia, come quelle mostrate in figura 4.60; in questo caso occorre fare attenzione affinché non venga meno la capacità di contenimento della barriera, soprattutto rispetto ai veicoli più gravosi quali le automobili e soprattutto i veicoli pesanti.



Figura 4.60 - barriera continua in lamiera di acciaio

Un’altra possibilità è quella di rendere il più possibile continue le barriere esistenti installando un nastro nella parte inferiore, come mostrato nella figura 4.61. Il meccanismo è chiamato “motorail”, e dove è stato utilizzato è stata riconosciuta la sua importanza nel ridurre la gravità delle lesioni subite dai motociclisti, impedendo loro di superare il guardrail passandovi sotto o di urtare i montanti, permettendo invece la distribuzione dell’energia di impatto su una superficie maggiore. Perché sia efficace, il nastro supplementare deve essere installato ad una altezza massima di cinque centimetri rispetto alla pavimentazione, e non deve essere collegato ai montanti, ma alla parte inferiore del nastro ordinario: esso, infatti, non deve toccare i montanti, in modo da garantire una reazione elastica in caso di impatto.



Figura 4.61 - Motorail

Nel “Mototube” il nastro a copertura dei montanti non è fatto di plastica, ma è composto per circa il 70% da materiale riciclato: esso si mostra quindi come un tubo soffice che si sviluppa lungo un'ampia porzione di guardrail, in modo da attutire l'urto del corpo dei motociclisti senza provocare gravi lesioni. Più spesso, il Mototube è formato da una coppia di tubi in serie di polietilene riciclato, che si montano nella parte inferiore del guardrail, come mostrato nella figura 4.62.



Figura 4.62 – Mototube in questo caso a due elementi; disegno tecnico ed esempi di utilizzo.

Come visto, sono molte le misure applicabili ai guardrail per diminuire la minaccia rappresentata dai montanti: in alcuni paesi questi dispositivi già vengono installati in quei tratti di strada riconosciuti come a maggior rischio di cadute da parte dei motociclisti, ma il loro utilizzo è ancora troppo modesto. Certo, un freno alla loro diffusione è rappresentato dai costi elevati, sia di montaggio che di manutenzione, che però subirebbero un abbattimento se questi dispositivi fossero utilizzati su scala maggiore.

Un'ultima soluzione è quella spesso adottata in alcuni paesi come Germania, Francia e Austria che consiste degli appositi attenuatori di impatto, composti di schiume particolari (polistirene, poliuretano e materiali simili), che avvolgono i montanti evitando il contatto con gli spigoli taglienti e assorbono parte dell'energia dell'impatto (figura 4.63). Sono semplici da installare anche su guardrail già esistenti dopo averne smontato momentaneamente i nastri, e sono prodotti in modelli differenti per potersi adattare ai diversi profili dei montanti. Dispositivi simili possono essere utilizzati anche su barriere a funi metalliche per ricoprire i montanti.

Va da sé che tale intervento, comunque, non riduce il pericolo rappresentato dalle funi metalliche.

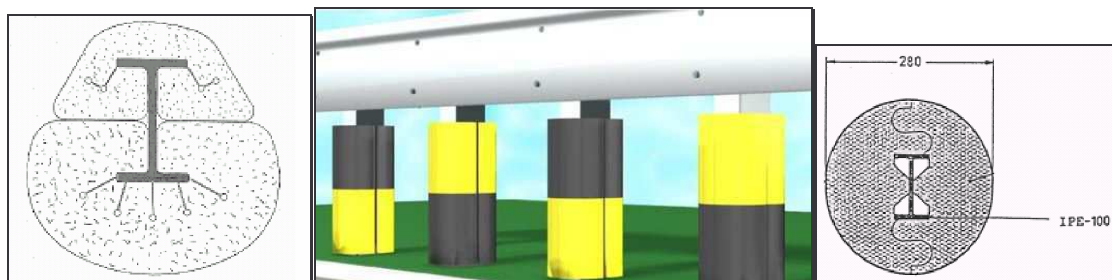


Figura 4.63 - modelli di attenuatori di impatto installati sui montanti Ipe 100 di un guardrail.

Tali dispositivi sono finalizzati a limitare i danni nei casi in cui il corpo dei motociclisti impatti contro i montanti

Molteplici sono gli studi atti ad individuare nuovi materiali in grado di ridurre le conseguenze di un impatto contro sistemi di ritenuta od elementi funzionali stradali.

Si cerca di mettere a punto un materiale in grado di modulare le proprie capacità di attenuazione ad un qualsiasi livello, attraverso la modifica di forma, spessori, numero di strati, etc. Si studiano anche materiali compositi.

Tuttavia, se da un lato la durabilità può risultare superiore a quella delle comuni schiume di polistirene, dall'altro i costi possono divenire antieconomici; ne consegue la tendenza all'utilizzo di materiali di riciclo come le gomme dai pneumatici o gli alluminio dalle lattine.

In figura 4.64 sono riportati due esempi di materiali ad alto assorbimento di energia.

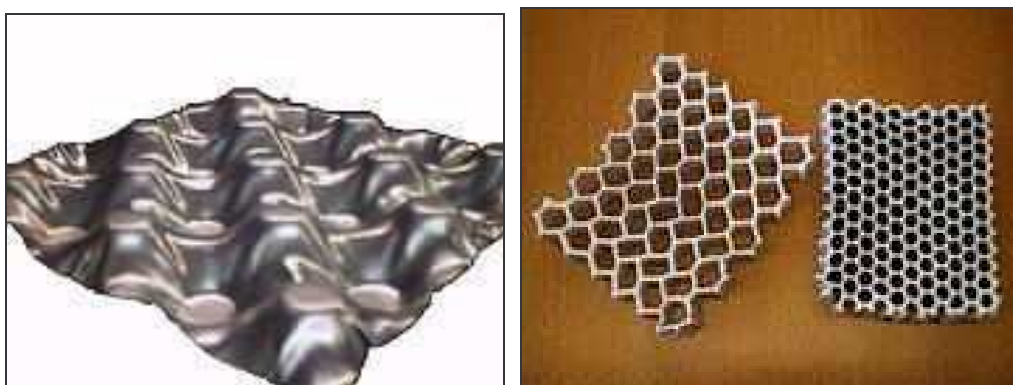


Figura 4.64 - Nuovi materiali per l'assorbimento di urti

Da ultimo è importante sottolineare che quando un guardrail viene coinvolto in un episodio incidentale, si deforma e perde efficacia, ed è necessario un tempestivo intervento manutentivo per ripristinarne le condizioni (figura 4.65).

Una tardiva manutenzione o sostituzione rappresentano un grave pericolo in caso di impatti successivi e un aggravamento delle lesioni a causa degli elementi deformati che sporgono in modo irregolare.



Figura 4.65

Inoltre è evidente la necessità di sostituire le barriere degradate e non adeguate, soprattutto nei punti del tracciato particolarmente critici (figura 4.66).



Figura 4.66

In via teorica sarebbe possibile intervenire su tutti i guardrail presenti sulla rete stradale, in modo tale da renderli meno pericolosi per i motociclisti: naturalmente questo non è realizzabile dal punto di vista economico.

Se però è vero che un incidente può avvenire ovunque, è altrettanto vero che esistono zone più pericolose di altre, e proprio da queste si può iniziare ad intervenire. L'individuazione di tali zone non è univoca e dipende da numerose variabili, tuttavia già si sono indicati come punti critici le curve, in particolare quelle a raggio minore, e le intersezioni.

Valutazione della opportunità dell'elemento protettivo a margine

Da quanto detto appare evidente che uno dei principali problemi della messa in sicurezza di una infrastruttura sia la valutazione dell'opportunità di inserire o meno un elemento protettivo al margine della carreggiata.

In alcune situazioni la scelta appare obbligata (figura 4.67) ma non sempre la scelta risulta così netta.

Infatti l'eterogeneità della corrente veicolare rende complesso il problema in quanto gli interventi finalizzati a ridurre l'impatto sugli occupanti di un veicolo a quattro ruote non sempre sono validi per i TWD. In particolare le barriere di sicurezza sono uno degli elementi della strada per i quali maggiori sono le discordanze tra le esigenze di sicurezza che riguardano i motociclisti e quelle previste per gli automobilisti.

Un esempio di come procedere alla valutazione della opportunità è riportato in relazione alla messa in sicurezza dello spazio di margine di una strada esistente in rilevato [71]. In tale caso la scelta parte necessariamente dalla determinazione della pericolosità del rilevato, ai fini della fuoriuscita del veicolo, a due e quattro ruote.

Infatti, se per i TWD, come si è visto in precedenza, indipendentemente dalla pendenza della scarpata, la soluzione "rilevato senza barriera" è caratterizzata da una pericolosità inferiore a quella "rilevato con dispositivo di ritenuta", d'altra parte tale intervento incrementa il danno da collisione sugli occupanti di un veicolo a quattro ruote a causa del *rollover*.

È necessario, pertanto, determinare la severità dell'impatto, per ciascuno scenario ipotizzato, avvalendosi della curva di isoseverità.

Essa è il frutto di una ricerca condotta negli Stati Uniti [93] sugli incidenti per fuoriuscita dal bordo rilevato sulle autostrade senza pedaggio e da test realizzati con veicoli a quattro ruote in scala reale su rilevati piani.

Tale curva, dividendo l'area dell'abaco di figura 3.66 in due parti, rappresenta quelle combinazioni tra altezza e pendenza del rilevato che causano incidenti di gravità pari all'urto contro una barriera di sicurezza; infatti la parte superiore è caratterizzata da una severità dell'impatto maggiore nel caso di assenza di barriera, mentre quella sottostante indica situazioni in cui l'utilizzo dei sistemi di ritenuta apporta danni più gravi rispetto alla caduta da un rilevato.

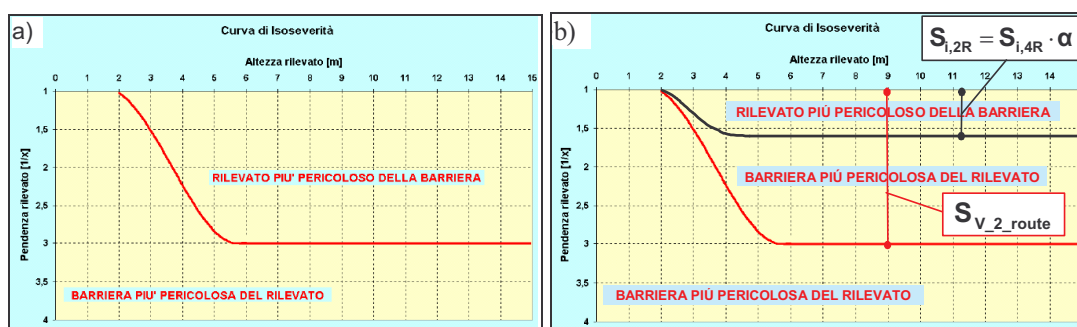


Figura 4.67 - Curve di isoseverità - a) veicoli a quattro ruote - b) veicoli a due ruote

Nello stabilire la realizzazione o meno dei dispositivi di ritenuta deve tenere quindi conto della percentuale α di veicoli a due ruote in rapporto a quelli con quattro ruote, che contribuisce a formare il TGM (Traffico Giornaliero Medio) dell'infrastruttura

viaria; egli dovrà tracciare conseguentemente per la strada in esame una nuova curva di isoseverità ottenuta moltiplicando ciascuna ordinata S_i per il coefficiente α dato dal rapporto fra il numero di utenti a due ruote rispetto a quelli a quattro ruote che transitano mediamente ogni giorno attraverso la generica sezione della strada presa in esame.

Il risultato finale è una curva di isoseverità spostata verso l'alto rispetto alla prima, che conferisce un maggior peso all'intervento "rilevato senza barriera" rispetto a quello "rilevato privo di barriera" in base alla percentuale di cicli, ciclomotori e motocicli costituenti il traffico complessivo.

4.4.2.2 Elementi interni alla carreggiata

Moderatori di velocità

È stato descritto come studi recenti abbiano individuato la riduzione della velocità come uno degli interventi atti a diminuire il rischio delle infrastrutture per i TWD.

Per questo motivo nelle città si è assistito ad una rapida diffusione di diversi dispositivi il cui scopo è quello di moderare la velocità dei veicoli per ridurre la probabilità di incidente e le possibili conseguenze.

Le varie tipologie di dispositivi utilizzati possono essere ricondotte a bande sonore, dossi di larghezza ridotta, dossi estesi (anche per 8.00 m) e cuscini (gli anglosassoni distinguono i tre tipi di dossi con i termini bump, hump, cushion; figura 4.68).

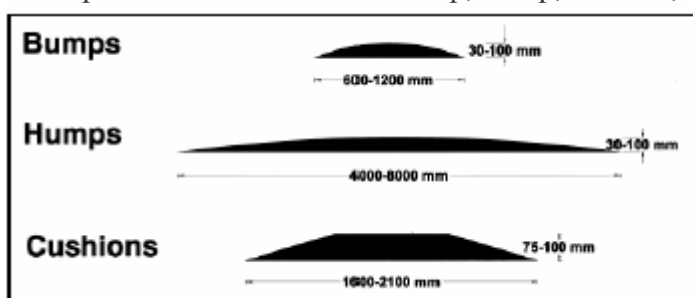


Figura 4.68 - Dispositivi attenuatori di velocità.

Dagli studi effettuati su alcuni dossi artificiali si è potuto concludere che invece che moderare la velocità il primo tipo di dosso spesso induce comportamenti pericolosi. Infatti dalle osservazioni sul campo si è rilevato che i conducenti di auto, ma soprattutto i motociclisti, tendono a invadere l'altra corsia oppure a sfruttare le corsie preferenziali o lo spazio di parcheggio in modo da ridurre il più possibile il disturbo indotto dal dispositivo. Inoltre, qualora il dispositivo sia montato correttamente in tutte e due le direzioni di marcia ed esteso alle corsie preferenziali, si è osservato che se, le velocità sono mediamente alte, il conducente non tende a rallentare in quanto il disturbo indotto alle alte velocità è inferiore.

Altri studi [96] [97] hanno evidenziato la pericolosità di tali dispositivi, nei confronti dei veicoli motorizzati a due ruote. Se infatti delle brusche accelerazioni verticali possono provocare tutt'al più dei danni materiali alle automobili o ai veicoli pesanti, esse possono far perdere il controllo ad un motociclista, con conseguenze di una

gravità sproporzionata all'infrazione commessa. Se si considera, inoltre, anche la scivolosità della superficie degli attraversamenti pedonali, appare evidente la criticità della situazione; per tentare di ovviare a questo inconveniente sono disponibili sul mercato dei passaggi pedonali rialzati costituiti da elementi modulari rimovibili, come quelli mostrati nella figura 4.69 che, per aumentare la sicurezza dei veicoli che vi passano sopra, soprattutto di quelli a due ruote, sono dotati di cuspidi in rilievo finalizzate a garantire un'adeguata aderenza, e con inserti in laminato elastoplastico ad elevata rifrangenza e antiscivolosità.



Figura 4.69 - passaggio pedonale rialzato, dotato di accorgimenti a tutela dei TWD

Un ultimo fattore di rischio è che molto spesso questi dispositivi sono mal segnalati e, soprattutto di notte, scarsamente visibili costituendo di fatto un ostacolo imprevisto che può indurre nei conducenti frenate brusche e manovre rischiose aumentando la probabilità di caduta.

Manto stradale compromesso

Come si è visto la sporcizia, soprattutto in corrispondenza delle curve e delle intersezioni stradali, riduce sensibilmente e in modo inaspettato l'aderenza, creando così tratti molto pericolosi.

Viste le particolari caratteristiche operative dei TWD, il rischio maggiore è proprio per questa categoria di veicoli, le cui esigenze di sicurezza devono essere considerate quando viene realizzata la manutenzione delle strade: un gran numero di incidenti sarebbe evitato se le strade fossero pulite meglio, o se almeno fossero segnalati i tratti di strada più rischiosi, perché i motociclisti siano avvertiti con sufficiente anticipo del pericolo presente nel tratto di strada successivo.

Difetti nella regolarità o cambi improvvisi nell'aderenza della pavimentazione, come ad esempio buche, dossi, asfalto scivoloso o giunti, possono dunque essere molto insidiosi in prossimità degli incroci, e provocare il blocco delle ruote dei motocicli, strisciate, cadute, o comunque la perdita del controllo del veicolo da parte del conducente (figura 4.70).

Numerose possono essere le insidie che riducono l'aderenza della superficie stradale; in particolare si citano:

- la perdita di materiale dai camion diretti, che può verificarsi soprattutto in curva o agli incroci, e, quindi, proprio nei tratti di strada più pericolosi;
- il terriccio caduto sulla pavimentazione dalle scarpate ai lati della strada se non adeguatamente protette, o trascinato dall'acqua in occasione di piogge abbondanti;
- la sabbia ed il fango provenienti da lavori di manutenzione o dalla pulizia dei fossetti posti a lato delle strade;
- le foglie cadute dagli alberi;
- gli olii, la benzina ed il gasolio rilasciati dagli scarichi dei veicoli, polveri rilasciate dal traffico soprattutto in prossimità degli incroci, dove sono più frequenti accelerazioni e frenate brusche.



Figura 4.70 - Strada resa scivolosa dall'accumulo di detriti e da crepe longitudinali

Segnaletica orizzontale

Un altro fattore di rischio è rappresentato dalla segnaletica orizzontale; le vernici e i materiali utilizzati, ad esempio, per segnalare i passaggi pedonali, riducono infatti in modo notevole le proprietà di aderenza della pavimentazione stradale, che diventa particolarmente insidiosa in condizioni bagnate, figura 4.71.

Secondo la normativa UNI EN 1436 la resistenza al decapaggio minima per ciascuna classe vale (tabella 4.6):

Tabella 4.6 - Valori di SRT previsti da normativa

| Classe | Valore SRT minimo |
|--------|-------------------|
| S0 | Nessun requisito |
| S1 | $SRT \geq 45$ |
| S2 | $SRT \geq 50$ |
| S3 | $SRT \geq 55$ |
| S4 | $SRT \geq 60$ |
| S5 | $SRT \geq 65$ |

Per SRT si intende la metodologia riportata nel B.U. CNR 105/85 [68].



Figura 4.71 – [116]

Inoltre è necessario che esista un corretto abbinamento della classe della segnaletica orizzontale con l'aderenza reale della sovrastruttura per non creare aree ad aderenza differenziata che potrebbero ingannare il guidatore.

Naturalmente i rischi maggiori si presentano se le discontinuità improvvise nell'aderenza della pavimentazione si verificano in tratti di strada dove già l'equilibrio dei veicoli a due ruote è precario, cioè in corrispondenza degli incroci e delle curve, figura 4.72.



Figura 4.72

Caditoie e chiusini

Le misure precauzionali indicate per la segnaletica orizzontale sono da adottare anche per i tombini e le loro coperture in ghisa o acciaio, che spesso sono collocati all'interno della carreggiata. Anche questi elementi sono infatti dotati di aderenza molto ridotta, soprattutto in condizioni bagnate, e rappresentano notevoli insidie per le ruote di motocicli e ciclomotori.

Inoltre in corrispondenza di questi il manto stradale si sgretola, come rappresentato in figura 4.73.

Il rischio è evidentemente maggiore nei tratti di strada dove l'equilibrio dei veicoli a due ruote è già problematico, ed è quindi buona norma non collocarli in corrispondenza delle curve e delle intersezioni stradali.



Figura 4.73 – Tombini [119]

Laddove le condizioni lo permettano, inoltre, è consigliabile collocare le condutture sotterranee, e quindi i pozzetti, i tombini e i loro chiusini che raggiungono la superficie, al di fuori della sede stradale: nella gran parte delle strade italiane ciò non è possibile, poiché lo spazio disponibile ai lati della strada è troppo ridotto, ma in molti paesi del nord Europa questa abitudine è molto più diffusa. L'utilità del far passare le condutture al di fuori della sede stradale, anziché sotto, si manifesta in due aspetti principali: innanzitutto, come detto, vengono ridotti i punti critici rappresentati dalle superfici scivolose dei chiusini; in secondo luogo viene in questo modo limitato il disagio al traffico, che non deve essere periodicamente interrotto quando si rendano necessari lavori di manutenzione.

Ultimamente sono state avviate una serie di ricerche per ovviare a tale problema, tra cui si cita lo studio dei pannelli di livellamento in gomma riciclata che permettono di riposizionare a giusta quota le caditoie ed i chiusini, figura 4.74.



Figura 4.74 – Installazione di pannelli di livellamento [173]

4.5 INTRODUZIONE FATTORE DI RISCHIO “TRAFFICO ETEROGENEO”

L'analisi dei principali fattori di rischio relativi al veicolo a due ruote motorizzato ha evidenziato notevoli punti critici non solo dal punto di vista dei criteri progettuali dell'infrastruttura, ma anche da quello della dinamica del veicolo a due ruote.

Tuttavia da diversi studi, fra cui si cita quello condotto dal Dipartimento dei trasporti di Londra, del novembre 2004, “Road Safety Research Report N°54, In-depht study of motorcycle accidents” [121] è emerso come per aumentare la sicurezza dei TWD non sia sufficiente analizzare la dinamica del veicolo a due ruote “isolato”, ma sia fondamentale comprendere l'interazione con gli altri veicoli, esaminando il comportamento degli altri utenti della strada.

Questo deriva dalla considerazione che per l'analisi dell'incidentalità delle due ruote ha notevole importanza la composizione della corrente veicolare: una volta assunto di analizzare i veicoli a due ruote, diventa necessario esaminare l'interazione di veicoli differenti, per dimensioni e caratteristiche dinamiche, che interagiscono nel medesimo spazio e che formano un traffico di tipo eterogeneo.

Pertanto, nel capitolo seguente si riportano i punti principali della ricerca condotta.

CAPITOLO 5: INDIVIDUAZIONE DEI PARAMETRI CRITICI DI UN TRAFFICO ETEROGENEO

5.1 PREMESSA

Nel capitolo precedente sono stati analizzati i principali fattori di rischio per i TWD, legati alle componenti principali del sistema stradale: veicolo, infrastruttura, ambiente. Tuttavia, come si è detto, per analizzare il rischio, e quindi la sicurezza dei TWD non è sufficiente considerare le componenti classiche del sistema stradale, costituite dal veicolo, dall'ambiente e dall'infrastruttura, ma è necessario considerare anche il fattore "traffico eterogeneo" in cui confluiscono tutte le problematiche relative alla complessa dinamica del veicolo a due ruote ed alle interazioni esistenti fra veicoli non omogenei. Un alto rischio è individuato nel fatto che molti utenti non hanno ancora preso completamente coscienza del proprio ruolo e delle proprie responsabilità nella guida in un traffico eterogeneo, costituito da diverse tipologie di veicoli. Tale aspetto ha assunto un'importanza sempre crescente a partire dalla fine degli anni '90 con la grande diffusione degli scooter che ha contribuito in modo significativo all'incremento dei motoveicoli circolanti, ed ha introdotto un'utenza spesso impreparata. Infatti nella maggior parte degli eventi incidentali oltre al motociclo rimane coinvolto anche un altro veicolo, come indicato in figura 5.1.

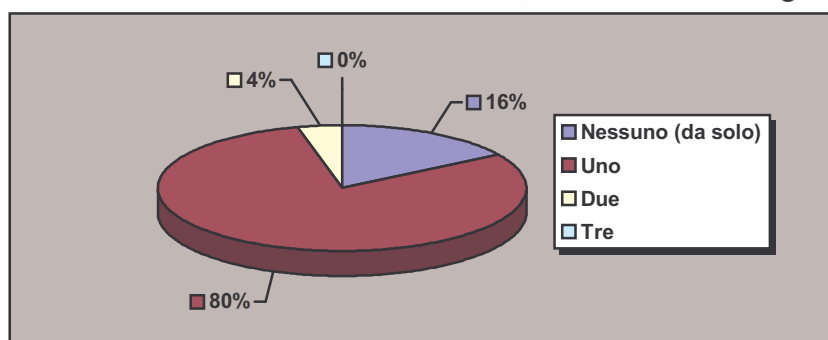


Figura 5.1 - Altri veicoli coinvolti nell'incidente [118]

Di seguito vengono trattate le problematiche che caratterizzano un flusso di traffico eterogeneo, andando in particolare ad analizzare le problematiche relative alle differenti condizioni di marcia dei veicoli a due ed a quattro ruote.

5.2 RELAZIONE FRA VELOCITÀ – FLUSSO - INCIDENTI PER UN TRAFFICO ETEROGENEO

5.2.1 Funzioni di performance

Dalla letteratura si evince che la relazione funzionale fra la frequenza incidentale e la portata veicolare, definita “funzione di performance della sicurezza” (Safety Performance Function), figura 5.2, ha un andamento che esprime come per un certo tratto stradale la frequenza incidentale “attesa” vari al variare del flusso veicolare, considerando costanti tutte le altre condizioni al contorno che influenzano il rischio incidentale.

È evidente che in tale grafico il periodo temporale per il quale è valutata la frequenza incidentale debba essere lo stesso del flusso.

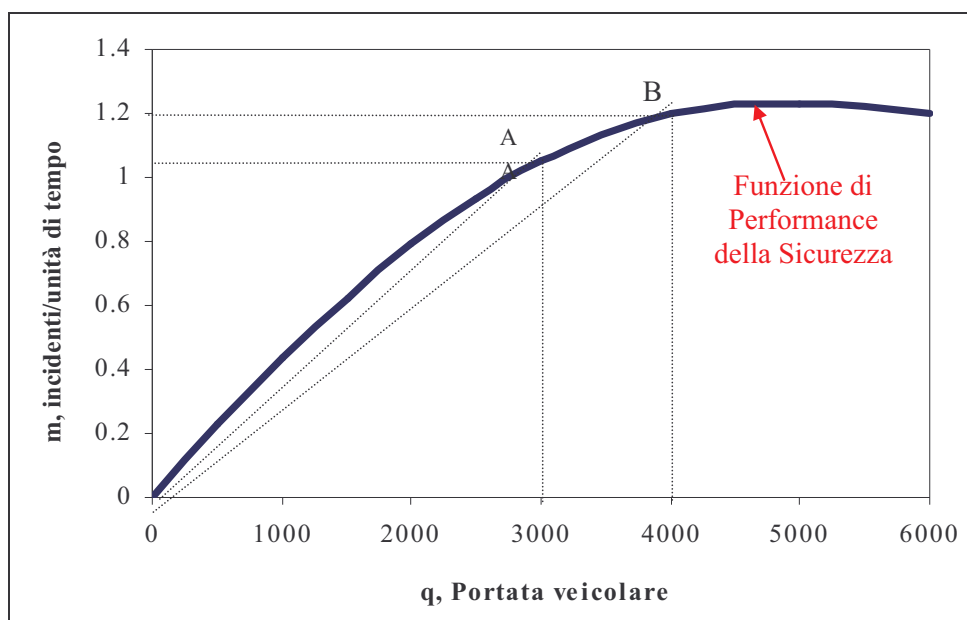


Figura 5.2- Relazione tra portata veicolare e frequenza incidentale [71]

Naturalmente la frequenza incidentale può essere funzione anche di più flussi. Se, infatti, si considerano gli scontri frontali è necessario tenere in considerazione i flussi che si oppongono, così come se si considerano le collisioni fra pedoni ed il traffico che svolta a sinistra è necessario considerare il flusso pedonale, il flusso che procede dritto e il flusso svoltante a sinistra.

Tuttavia le relazioni tra flusso, velocità ed incidenti diventano più complesse, e richiedono un maggiore livello di dettaglio, nel caso si analizzino flussi eterogenei composti da veicoli pesanti, veicoli leggeri, motocicli, ciclomotori, biciclette e pedoni.

5.2.2 Funzioni di performance traffico eterogeneo

Dall'analisi dei dati incidentali riportata nel capitolo 1 si è dedotto che l'eterogeneità del flusso veicolare ha delle dirette conseguenze sulla sicurezza stradale in generale ed in particolare sul numero degli incidenti mortali. Ciò è evidente anche osservando illustra la relazione intercorrente fra la percentuale di utenti non motorizzati morti, NMV *non-motorized vehicles fatalities*, (pedoni e ciclisti) e la percentuale modale, MV *motorized vehicles trips*, per diverse località (figura 5.3).

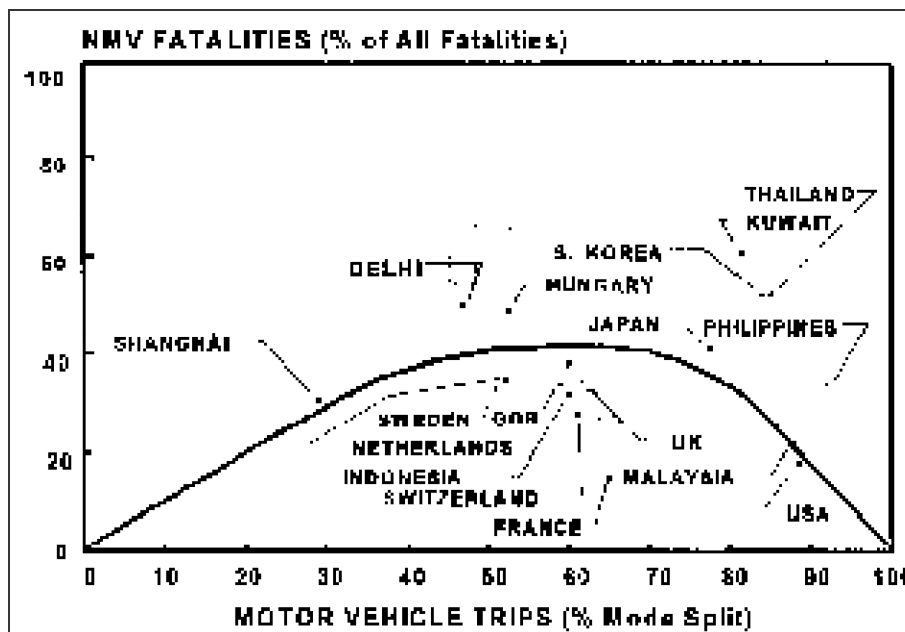


Figura 5.3 - Grado di omogeneità del traffico – incidenti mortali [70]

Da tale grafico si evince come, in teoria, se non ci fossero veicoli a motore sulle strade non ci sarebbero morti tra pedoni e ciclisti e dall'altro estremo, se il 100% degli spostamenti fosse su veicoli a motore, non ci sarebbero morti fra le utenze deboli.

La presenza di veicoli non motorizzati (con conseguente disomogeneità del flusso) determina, inoltre, una certa riduzione delle velocità medie praticate. Rilievi effettuati nella città di Delhi hanno permesso di evidenziare una riduzione della differenza di velocità tra veicoli non motorizzati e motorizzati all'aumentare dell'incidenza di utenze deboli presenti sulla strada. Come conseguenza di questo fatto si evidenzia una riduzione del numero di morti e di feriti. Pertanto, in funzione dell'eterogeneità del traffico, il numero di morti e di feriti può comunque diminuire, pur aumentando il grado di esposizione delle utenze deboli.

Si può, quindi, affermare che i modelli che cercano di stimare il numero di morti, feriti o incidenti, che si basano su relazioni di tipo lineare con il flusso o con i km percorsi, risultano non significativi se non vengono accoppiati ad altre variabili indipendenti come la velocità o la composizione dei flussi.

5.2.3 Definizione di Capacità

Sulla rete stradale urbana di tutte le nostre città ormai convivono almeno sette categorie di veicoli motorizzati e non: veicoli pesanti, furgoni, bus, automobili, motocicli, ciclomotori, biciclette.

Per questo tipo di traffico non è corretto utilizzare il concetto di capacità per singola corsia o carreggiata, in quanto il flusso risulta alquanto indisciplinato. I veicoli sono caratterizzati da dimensioni e da caratteristiche dinamiche fortemente eterogenee che condividono il medesimo “spazio strada”, disponendosi in vario modo sia in senso longitudinale che trasversale.

Nel caso di traffico omogeneo i vari veicoli compongono delle code con un'unica dimensione; nel caso di traffico eterogeneo le code si sviluppano anche in senso trasversale (figura 5.4).



Figura 5.4 - Descrizione delle corsie di canalizzazione per traffico omogeneo ed eterogeneo[91]

Inoltre il concetto di “car following” non è più utilizzabile, in quanto non è più possibile individuare in modo univoco il veicolo che segue da quello che precede (figura 5.5). Le diverse tipologie di veicoli possono circolare affiancate o leggermente sfalsate.

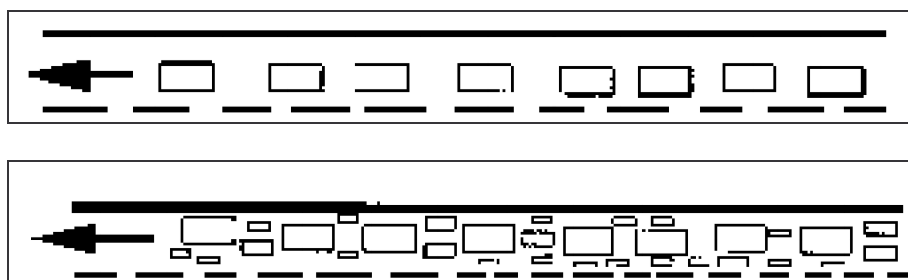


Figura 5.5 - “Car following” per traffico omogeneo ed eterogeneo [91]

Anche il concetto di cambiamento di corsia ed i modelli classici relativi alla manovra di sorpasso perdono di significato (figura 5.6). Il traffico indisciplinato sempre più tipico dei nostri centri urbani è anche intrinsecamente dovuto alle caratteristiche fortemente differenti dal punto di vista geometrico e cinematico delle diverse categorie di veicoli.

Infatti i comportamenti dei vari veicoli sono molto differenti: le 4 ruote si muovono lungo specifiche corsie e qualche volta la cambiano per un sorpasso o per una manovra, ma in modo molto diverso dai TWD che non hanno una corsia preassegnata, e che molto spesso non seguono il veicolo davanti, ma viaggiano di fianco e a zig-zag.



Figura 5.6 - Manovra di cambio di corsia [91]

Proprio per analizzare la dinamica di un traffico eterogeneo sono stati condotti vari studi. In particolare, si accenna di seguito ad alcuni lavori realizzati nella maggior parte nei paesi del Sud Est Asiatico (Indonesia, Malesia, Cina, Taiwan, Thailandia e Vietnam) dove i motociclisti rappresentano una quota parte predominante soprattutto nelle aree urbane e dove, pertanto, è risultato necessario sviluppare strategie per i motocicli.

Tali studi, infatti, possono essere estesi anche alla realtà europea, dove l'analisi dei flussi di traffico e della capacità delle infrastrutture è un problema attuale, e dove l'alta congestione è da ricercarsi anche nel differente comportamento di guida dei TWD tale da ridurre la velocità degli altri veicoli.

Appare evidente che la dinamica del motoveicolo è molto diversa da quella del veicolo a quattro ruote, in quanto il movimento è a due dimensioni, longitudinale e laterale.

Infatti, spesso il loro procedere a zig-zag, ed il mettersi di fianco e davanti ai veicoli quando sono in coda disturba la partenza degli altri veicoli al verde, rallentando sicuramente il flusso di traffico.

Si è tentato, pertanto di analizzare quanto i TWD influenzino la marcia dei veicoli a quattro ruote, e quanto il loro comportamento incida la capacità di una infrastruttura [143].

Uno studio condotto in Giappone, all'Università di Nagaoka [114] ha analizzato il comportamento dei motocicli attraverso riprese video in alcune strade significative per il numero di motociclisti. In particolare sono stati considerati quattro posti in Hanoi, Vietnam, con caratteristiche diverse, e per ognuno è stata definita la relazione velocità-flusso.

L'analisi statistica dei dati empirici ha dimostrato che le caratteristiche del motoveicolo, come la velocità, l'headway (intervallo di tempo fra due veicoli di linea consecutivi sullo stesso percorso) sono dipendenti dal flusso di traffico. Nella relazione individuata risultano assumere una notevole importanza la velocità della

corrente veicolare, la sua composizione (traffico omogeneo o eterogeneo) e la geometria della corsia.

Lo studio è stato realizzato convertendo i diversi veicoli in motoveicoli equivalenti, tenendo conto del fatto che poiché i motoveicoli non si muovono in una sola corsia, non basta confrontare le lunghezze dei veicoli, ma è necessario prendere in considerazione tutta l'area degli stessi, e calcolando la velocità del traffico analizzando il tempo richiesto per percorrere uno spazio conosciuto.

Convertendo questa velocità trovata in km all'ora, e conoscendo l'area è stata ottenuta l'unità di motoveicoli (MCU) mediante un'espressione che tiene conto della velocità (v_{mc} e v_i) e dello spazio occupato (A_{mc} e A_i) tra il veicolo considerato (i) ed il motoveicolo (mc) (5.1).

$$MCU_i = (V_{mc}/V_i) / (A_{mc}/A_i) \quad (5.1)$$

Nelle sezioni considerate significative per l'eterogeneità del flusso di traffico sono stati ricavati i seguenti valori di motoveicolo equivalente (tabella 5.1).

Tabella 5.1 – MCU in due sezioni

| Section | MCU for vehicle type | | | | |
|---------|----------------------|------------|------|---------|-------|
| | Cycle | Motorcycle | Car | Minibus | Bus |
| 3 | 1.65 | 1.00 | 3.86 | 10.58 | 20.27 |
| 4 | 1.67 | 1.00 | 3.60 | 9.50 | 19.64 |

Da tale studio, basato sulla definizione per tutti i siti individuati relazione fra la velocità ed il volume del flusso, ottenuta convertendo i vari mezzi in MCU, si evince che, a parità di flusso di traffico, la velocità della corrente veicolare principale, in una strada a corsia unica ed a traffico eterogeneo, è più bassa che se l'infrastruttura fosse a corsie separate ed a traffico omogeneo.

5.3 CARATTERISTICHE DEL SORPASSO E DELLA MARCIA IN FILE PARALLELE

La diversità nelle caratteristiche statiche e dinamiche fra le varie categorie di veicoli comporta una notevole differenza nel traffico. Infatti, le differenze di dimensioni dei veicoli hanno effetti significativi nelle manovre di sorpasso e di viaggio in file parallele: mentre le auto, i furgoncini, i bus occupano tutta la corsia su cui viaggiano, i TWD possono viaggiare a fianco a fianco nella stessa corsia.

Fino ad oggi è stata posta una scarsa attenzione alle manovre di sorpasso e di viaggio in parallelo dei veicoli a due ruote.

Alcune analisi sono state effettuate sullo stesso argomento da Botma e altri (1991) per analizzare le caratteristiche del sorpasso e del viaggio in parallelo delle biciclette. Tale metodologia è stata utilizzata nell'HCM 2000 (Highway Capacity Manual) per determinare il livello di esercizio dei percorsi ciclabili.

Al fine di raccogliere dati in alcune zone con percorsi ciclabili nei Paesi Bassi, sono state analizzate la posizione, la distanza laterale tra la bicicletta che esegue il sorpasso e quella che è sorpassata, e lo spazio longitudinale nella manovra di sorpasso.

Un altro studio è stato effettuato da Khan e altri (2001) al fine di identificare il comportamento e le manovre dei ciclisti. Sulla base dei dati raccolti mediante telecamere in Colorado, Stati Uniti, si è potuto definire l'entità dello spazio laterale durante le manovre di sorpasso, la correlazione fra lo spazio laterale e la velocità delle biciclette, la relazione fra la velocità della bicicletta sorpassata e di quella che sorpassa.

Tuttavia tali esperienze non hanno compreso alcuno studio sulle caratteristiche delle corsie dei motociclisti, siano esse dedicate che non dedicate.

Si riportano quindi i risultati di uno studio Giapponese [113], che, considerando un'alta percentuale di veicoli a due ruote, mira a comprendere le caratteristiche del sorpasso e del viaggio in parallelo.

I dati per l'analisi sono stati desunti sulla base di riprese video in due siti ad Hanoi in Vietnam.

Il sito 1 è a sei corsie, tre per ogni senso di marcia costituite da una corsia per veicoli non motorizzati, una per TWD (2.75 m) e una per le quattro ruote (3.75 m). Il sito 2 è carreggiata unica, senza corsie dedicate (figura 5.7).



Figura 5.7 – Composizione de traffico, sito 1 (sx) e sito 2 (dx) [113]

Nella analisi delle caratteristiche del sorpasso sono stati tenuti in considerazione i dati di traffico, le velocità durante il sorpasso, le distanze longitudinali e quelle trasversali tra i due veicoli (figura 5.8).

Partendo dalla constatazione che la manovra di sorpasso si verifica quando un motoveicolo ha davanti un altro motoveicolo che avanza nella sua stessa direzione con velocità inferiore, appare evidente come al fine di descrivere la manovra di sorpasso sono stati fondamentali (figura 5.8):

- la velocità del singolo motoveicolo e la differenza di velocità tra il sorpassato e il sorpassante;
- la posizione laterale reciproca e la distanza laterale;
- la posizione longitudinale reciproca e la loro distanza longitudinale.

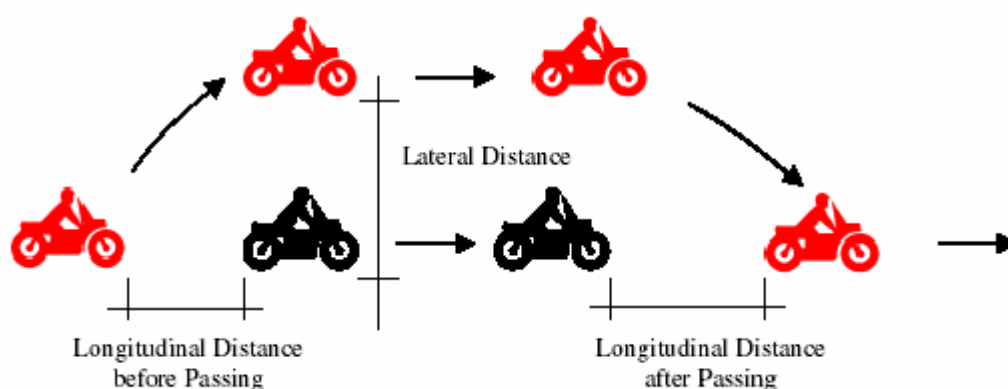


Figura 5.8 – Manovra di sorpasso [113]

Sulla base di tali dati è stata condotta un'analisi che ha permesso di comprendere come, a parità di velocità di sorpasso fra due motoveicoli, la distanza laterale della corsia dedicata è più alta di quella della corsia non dedicata.

Ciò è facilmente spiegabile col fatto che, nella corsia mista, il motoveicolo ha uno spazio ridotto per eseguire la sua manovra di sorpasso di quella che avrebbe in una corsia dedicata, sorpassando un altro motoveicolo. Inoltre, per evitare di impattare contro la corrente veicolare in direzione opposta i TWD tendono a ridurre sia dal punto di vista spaziale che temporale la loro manovra (figura 5.9).

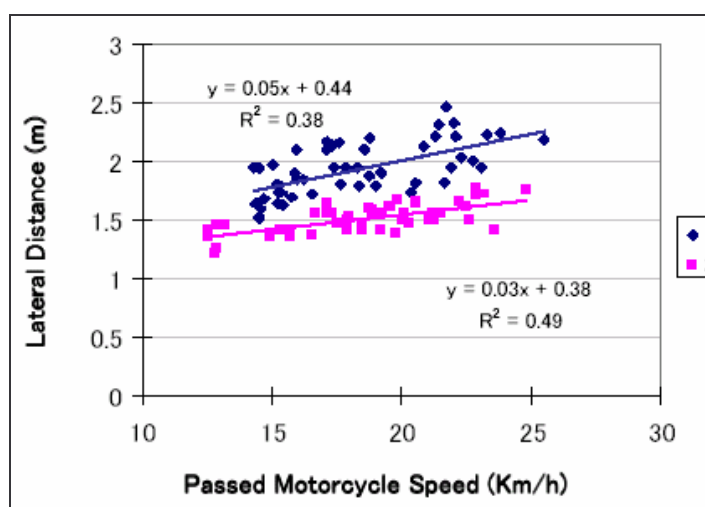


Figura 5.9 – Relazione fra velocità e distanza laterale [113]

Inoltre è stato dimostrato che le caratteristiche geometriche di una infrastruttura influenzano anche l'entità della distanza longitudinale fra il veicolo sorpassante ed il veicolo sorpassato.

In analogia con il valore della distanza laterale si evince che la distanza è minore nel caso di carreggiata mista (figura 5.10).

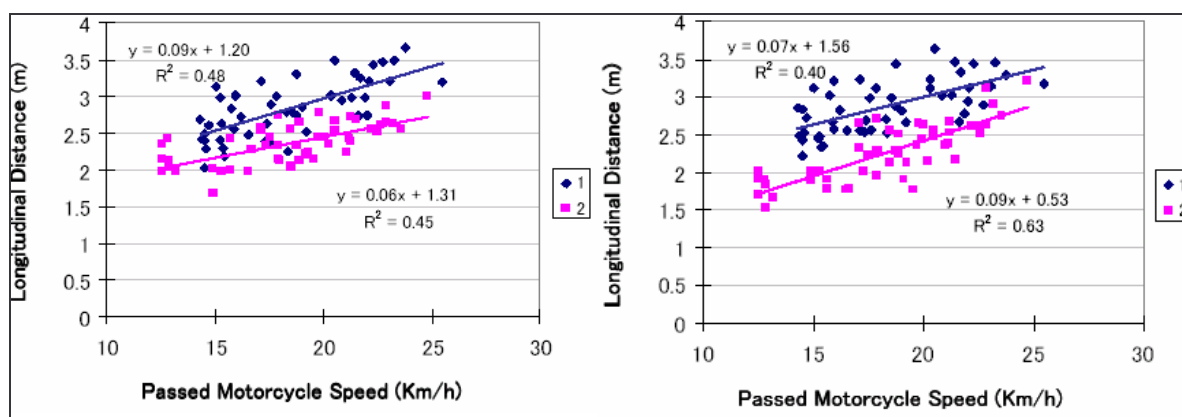


Figura 5.10 – Relazione fra velocità e distanza longitudinale prima (sx) e dopo (dx) il sorpasso [113]

Infine, anche la distanza laterale fra veicoli che marcano in file parallele è maggiore per corsie riservate che in corsie miste, intendendo con marcia in file parallele la situazione in cui i motoveicoli viaggiano per oltre 10 m, ad una distanza di 1.5 m senza fare cenno di volersi superare (figura 5.11).

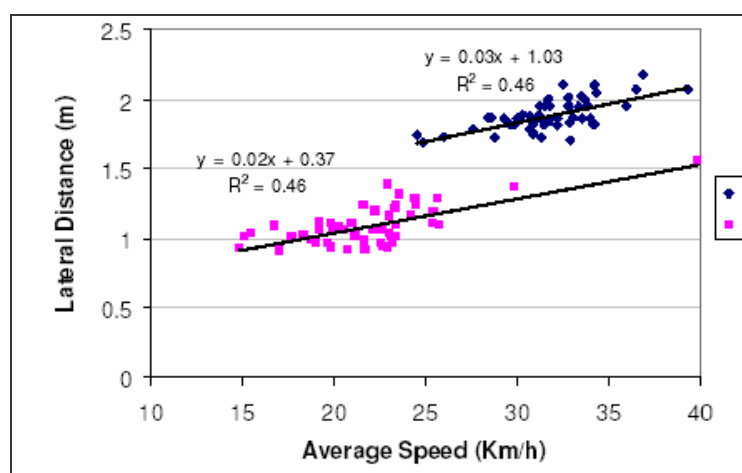


Figura 5.11 – Relazione fra velocità e distanza laterale nella marcia in file parallele [113]

Un recente studio [151] ha dimostrato come il PCU, “l’unità passeggero-macchina”, di un veicolo aumenti linearmente con la larghezza della carreggiata, in quanto al crescere di questa diminuisce l’interdipendenza dei diversi veicoli. In altre parole, la capacità di due corsie aumenta con la larghezza totale della carreggiata poiché a causa della maggiore libertà di movimento i veicoli possono viaggiare alla loro velocità ottima senza essere rallentati dalla restante corrente veicolare.

Pertanto si evince come il livello di servizio relativo ai percorsi motociclistici sia influenzato dalle caratteristiche della infrastruttura, ed in particolare dalla presenza di corsie riservate e separate.

Al fine di approfondire l’aspetto della interazione fra veicoli differenti, si accenna ad un modello realizzato dall’Università di Taiwan [102] che tenta di rappresentare il comportamento delle moto durante l’interazione coi veicoli a 4 ruote in un traffico eterogeneo su corsie da 2.5 m e da 3.5 m, attraverso la dinamica di celle che si spostano secondo regole preassegnate.

Lo studio è interessante, in quanto i modelli di flusso esistenti in letteratura, sia macroscopici (basati sulla corrente di traffico), che microscopici (atti a descrivere i comportamenti dei singoli veicoli con riguardo agli altri veicoli nel traffico) sono rivolti principalmente alle quattro ruote e, quindi, non sono rappresentativi del traffico eterogeneo.

Per realizzare tale modello è stato effettuato un campo prove a Tapei, al fine di conoscere le relative posizioni dei veicoli e le velocità da assegnare.

Sulla base della conoscenza delle dimensioni delle macchine e delle moto, è stato assunto come tempo di step un secondo e come dimensioni della cella unitaria 1.25 m, con il risultato che una moto occupa uno spazio di 2 x 1 unità di lunghezza e larghezza, mentre un passeggero di una macchina occupa 6 x 2 unità in lunghezza e larghezza.

Per esplicitare ciò si riporta in figura 5.12 la schematizzazione delle reciproche posizioni laterali fra un motoveicolo e un altro veicolo, a due o quattro ruote.

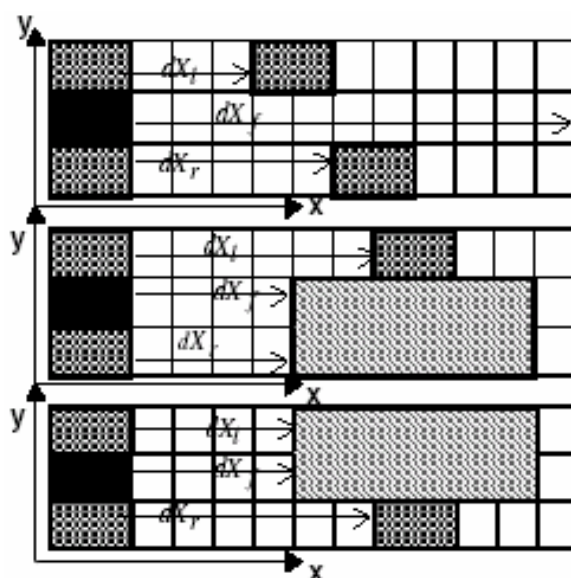


Figura 5.12 – Esempio di reciproche posizioni laterali fra 2 e 4 ruote [102]

In tale studio la massima velocità di un motociclista è settata a 13 unità di celle per tempo di step.

I risultati della prima simulazione mostrano come questo modello permette di ottenere dei risultati compatibili con quelli individuati da altri studi.

Infatti si è ottenuto che, se la percentuale di macchine è minore del 50%, il numero di macchine equivalenti (me) è maggiore nel caso di corsia di larghezza 2.5 m piuttosto che nel caso di corsia di larghezza 3.5 m.

E questo è ragionevole considerando che nel primo caso le moto non possono viaggiare affiancate alle auto, ma solo ad un'altra moto, cosa che possono invece fare nel secondo caso.

Quindi se la percentuale di auto è più alta del 50% il valore di me nel caso di corsia da 2.5 m diminuisce con l'aumentare della percentuale di auto, figura 5.13.

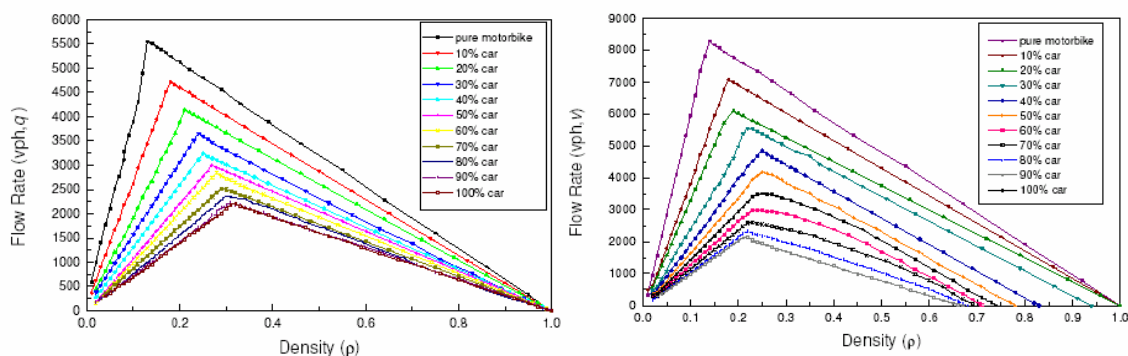


Figura 5.13 – Diagramma flusso-densità corsia 2.5 m (sx) e 3.5 m (dx) [102]

Tale risultato è giustificato dal campo di osservazione da cui si evince che la probabilità di un motoveicolo di superare una macchina è più bassa quanto più esistono auto nella corsia da 3.5 m.

5.4 ANALISI DELLE INTERAZIONI ALLE INTERSEZIONI SEMAFORIZZATE

Un altro aspetto molto importante che condiziona la congestione del flusso di traffico è sicuramente l'interazione del traffico eterogeneo alle intersezioni.

Infatti una buona circolazione nelle intersezioni non dipende solo dalle caratteristiche geometriche dell'intersezione, dal tipo di regolazione, dalle condizioni ambientali, ma anche dal comportamento degli utenti.

Appare evidente, infatti, come ad esempio le manovre a zig-zag e il posizionarsi in testa agli altri veicoli in coda tipico dei motoveicoli crei disturbo alle intersezioni, ritardano la partenza degli altri veicoli.

In letteratura esistono vari studi relativi alle intersezioni semaforizzate, ma pochi hanno preso in considerazione anche un'elevata percentuale dei TWD.

Nakatsuji et al [98] hanno analizzato l'effetto dei motociclisti sulle intersezioni semaforizzate nelle due capitali Hanoi e Bangkok. Il loro studio ha analizzato l'effetto dei motociclisti sulla saturazione del flusso, definendo alcune posizioni relative standard ed applicando una regressione per stimare le differenze fra i modelli in termini di *headway*, e di tempo perso all'avvio (figura 5.14).

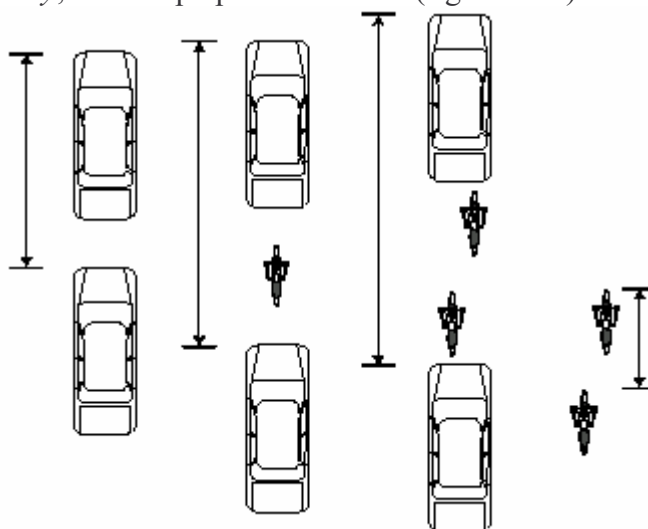


Figura 5.14 – Schema di headway

Analogamente Hai [92] ha stimato l'effetto dei motociclisti sulla saturazione del traffico in due diverse intersezioni.

Ma i risultati di tali lavori sono validi solo nel caso di percentuale di motociclisti bassa rispetto al totale del traffico.

Assume, quindi, particolare rilievo uno studio di Minh e Sano [103] che analizza gli effetti dei motociclisti nel traffico eterogeneo a due intersezioni semaforizzate rispettivamente a Bangkok e ad Hanoi nel Sud Est Asiatico, in cui i veicoli a due ruote costituiscono rispettivamente circa il 20% ed il 90% del parco veicolare

In particolare vengono presi in considerazione gli effetti sulla saturazione del flusso di traffico dovuta alla percentuale di motociclisti nel traffico e al numero di moto collocate davanti alle macchine ai semafori durante la fase di rosso. In tale analisi, al fine di quantificare l'effetto dei motoveicoli sono stati considerati due aspetti relativi

alla saturazione del traffico: il tempo perso all'avvio e la headway, intesa come intervallo fra due successivi veicoli, sia ad Hanoi che a Bangkok.

Dallo studio si evince come i TWD siano un impedimento per gli altri veicoli sulla base dell'esame del tempo perso all'avvio.

I risultati, riportati in figura 5.15, evidenziano la piccola differenza fra le due città nonostante che la percentuale di TWD sia diversa.

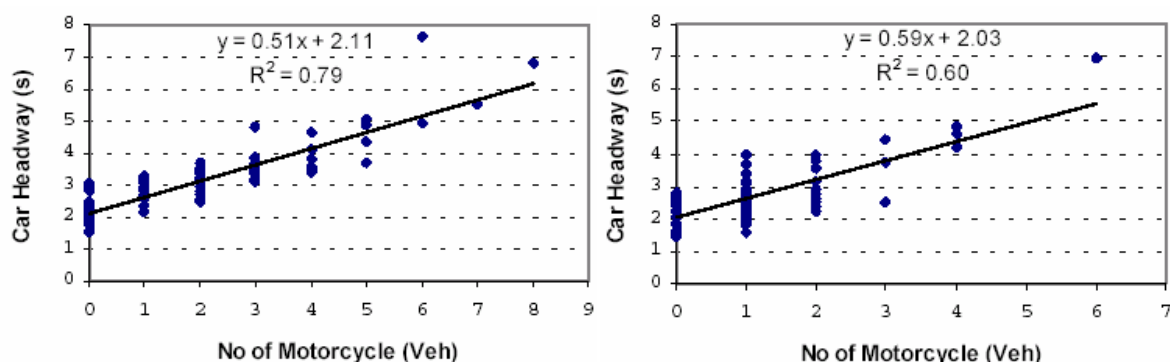


Figura 5.15 – Correlazione fra la headway della auto con il numero di motocicli, a Hanoi (sx) e Bangkok (dx) [103]

La figura 5.16 mostra la relazione fra il numero di motoveicoli posti in coda davanti alle quattro ruote e il tempo perso all'avvio.

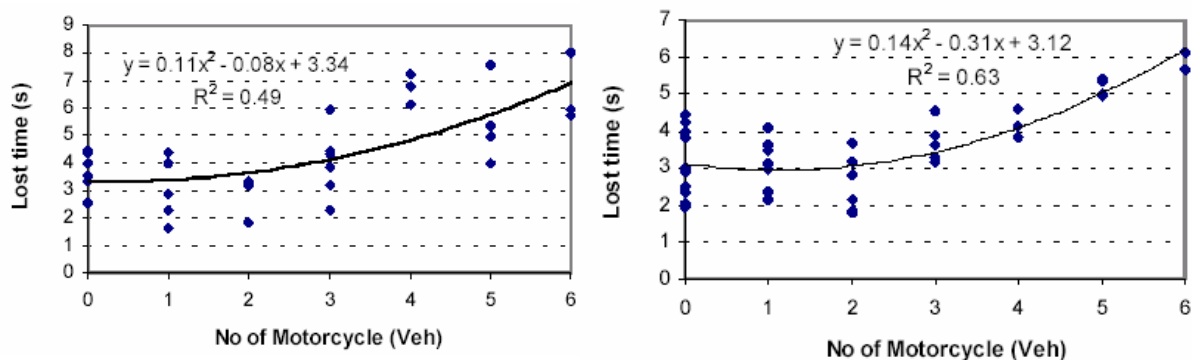


Figura 5.16 – Correlazione fra tempo perso della auto con il numero di motocicli, a Hanoi (sx) e Bangkok (dx) [103]

All'aumentare del numero di motoveicoli, cresce l'influenza sulla percentuale di saturazione del flusso di traffico, indipendentemente dalla percentuale di veicoli a due ruote sul totale del parco circolante, come prova che, nell'ambito di una intersezione semaforizzate, quello che influisce sul livello di congestione è il numero di motoveicoli posta davanti alla corrente veicolare in coda, figura 5.17.



Figura 5.17 – Congestione alla fase di rosso semaforico [139]

Nonostante tali dati, in molti paesi europei l'abitudine dei TWD di porsi davanti ai veicoli in attesa del rosso semaforico è molto comune, se non la regola. Infatti l'Austria ha legalizzato il fatto che i motoveicoli attendano il verde semaforico a destra o a sinistra della linea di stop, superando gli altri veicoli. Lo stesso in Germania per i ciclomotori, ma con la differenza che è concesso solo se realizzato sul lato destro della linea. In Italia, così come nei Paesi Bassi, in Francia ed in Gran Bretagna tale comportamento è tollerato dalle autorità.

Ciò deriva dal fatto che allo scatto del verde semaforico la velocità di crociera media è di circa 10-20 km/h, velocità che non permette uno stabile equilibrio al veicolo a due ruote. Il permettere che tale veicolo, dotato di potenza maggiore, parta per primo può quindi essere un fattore per incrementare la sua sicurezza.

Sulla base di tali considerazioni risulta importante trovare un compromesso fra le esigenze dei veicoli a due ruote e quelle dei veicoli a quattro ruote. Pertanto, in alcune città del Belgio, della Germania e della Svizzera è stata istituita la realizzazione della seconda linea di stop dedicata ai TWD, posta davanti alla corrente veicolare (figura 5.18).



Figura 5.18 – Seconda linea di stop per TWD [119]

L'efficienza di tali interventi in Europa deve essere ancora analizzata; tuttavia si riportano i risultati di uno studio thailandese dove le esigenze legate ad una percentuale del 70% di veicoli a due ruote sul totale del parco veicolare ha incentivato interventi finalizzati alla risoluzione dei conflitti causati dall'eterogeneità del traffico [115] e studi atti a loro validazione.

Tale studio analizza l'influenza sulle caratteristiche del traffico della presenza o meno di una zona di accumulo ubicata davanti alla corrente veicolare ferma al semaforo e dedicata ai TWD.

In particolare sono state scelte due intersezioni una con la linea di accumulo (Prachanukul) e l'altra senza (Chan Nontri) e per ognuna di esse sono state studiate le condizioni di traffico omogeneo e di traffico eterogeneo (figura 5.19).

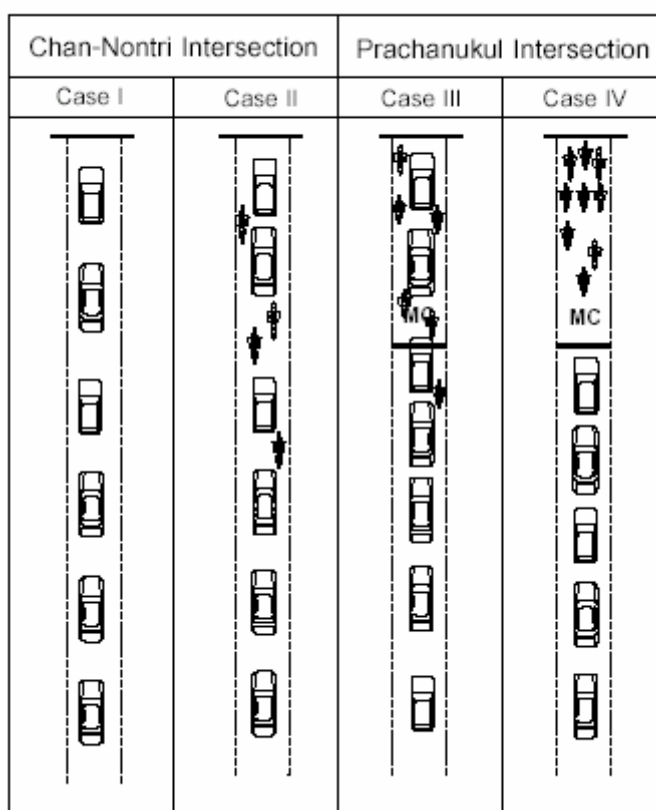


Figura 5.19 – Casi considerati nella analisi [115]

I dati sono stati acquisiti mediante telecamere e da questi sono stati estrapolati:

- scarto dell'headway fra il passeggero della macchina e il motociclista;
- il numero di motociclisti in attesa dello scatto del verde;
- tempo di headway della macchina e del motoveicolo nel punto di riferimento alla linea di accumulo.

Lo scarto di headway è stato utilizzato per identificare la relazione tra il numero di motocicli scaricati in ciascun ciclo semaforico e il tempo perso all'avvio dei passeggeri delle macchine. Inoltre è stata analizzata l'efficacia delle code di accumulo dei motociclisti.

La relazione lineare definita da tale studio, tra il tempo perso all'avvio ed il numero di motociclisti in attesa del verde semaforico, ha evidenziato che l'accumulo dei motoveicoli davanti agli altri veicoli in coda, se da un lato aumenta il tempo perso, dall'altro paradossalmente lo diminuisce, poiché i motoveicoli disimpegnano l'incrocio più velocemente.

Pertanto si può concludere che l'accumulo dei motocicli in testa agli altri veicoli dovrebbe essere valutato sulla base della percentuale di motoveicoli esistenti.

Inoltre una volta deciso di inserire la zona di accumulo dovrebbe essere attentamente analizzata la sua lunghezza, in modo tale da calibrare la quota "fissa" di tempo perso all'avvio dovuto allo smaltimento dei TWD, per non far perdere una buona parte di verde agli altri utenti.

5.5 SINTESI DELLE PROBLEMATICHE DI UN TRAFFICO ETEROGENEO

L'analisi delle problematiche di un traffico eterogeneo condotta ha permesso di comprendere come molti concetti classici come quello di "capacità" di un tronco stradale devono essere rivisti nell'ambito di una corrente veicolare eterogenea, composta da veicoli estremamente diversi non solo per caratteristiche dinamiche, ma anche per caratteristiche geometriche.

Inoltre, analizzando sia le caratteristiche di marcia in file parallele che di accumulo alle intersezioni semaforizzate si è dedotto come le condizioni di marcia di un flusso eterogeneo siano molto complesse e varino in funzione della geometria della sezione e della composizione percentuale delle varie componenti di traffico.

In tale ambito appare evidente che la sicurezza degli utenti più deboli, come i motoveicoli rispetto ai veicoli a quattro ruote, sia notevolmente pregiudicata dall'eterogeneità del flusso e che questo parametro debba essere computato insieme agli altri fattori di rischio individuati nel capitolo precedente.

Pertanto sono auspicabili altri studi, relativi anche alla realtà italiana, per approfondire tali dinamiche e riuscire a diminuire il livello di rischio che esse comportano.

CAPITOLO 6: L'EVENTO INCIDENTALE PER I TWD

Una volta individuati i fattori di rischio per le due ruote si procede all'analisi del fenomeno incidentale che coinvolge i motoveicoli.

Infatti lo studio di come i diversi fattori di rischio individuati interagiscono all'atto dell'evento incidentale permette di individuare gli scenari tipici di incidente per andare poi ad individuare quelli ad alto rischio su cui focalizzare lo studio avviato.

6.1 SCENARI DI INCIDENTE

La Commissione CNR nel documento “Criteri per la classificazione delle strade esistenti ai sensi dell'art. 13, comma 4 e 5 del Nuovo Codice della Strada” [33] definisce degli scenari di incidente raggruppanti secondo una serie di rappresentazioni convenzionali della dinamica (figura 6.1).

Tuttavia molti studi, fra cui citiamo i seguenti, rilevano l'importanza di dare maggior peso al fattore uomo e quindi al comportamento del motociclista.

- “In depth Study of Motorcycle Accidents” del Dipartimento di Trasporti di Londra, Report n° 54 [121];
- la Ricerca Maids (Motorcycle accidents in-depht study), condotto dall'ACEM (Association of European Motorcycle Manufacturers) con il supporto della Commissione Europea ed altri partners [118];
- “Integration of needs of moped and motorcycle riders into safety measures” dell'istituto per la ricerca della sicurezza stradale dei Paesi Bassi [99];
- “A Literature Review on Motorcycle Collisions Final Report” studio condotto dall'Università di Oxford, [140].

Pertanto, sulla base di tali studi si è ritenuto opportuno definire gli scenari di incidente sulla base del numero di veicoli coinvolti distinguendo fra due categorie principali:

- Incidenti a veicolo isolato: coinvolgono un solo veicolo;
- Incidenti multi - veicolo: coinvolgono più veicoli e si distinguono in
 - a) causati da un errore dell'autista;
 - b) da un errore del motociclista.




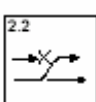
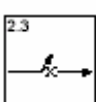
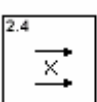
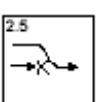
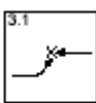
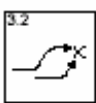
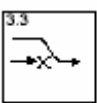















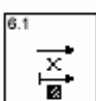
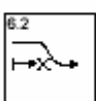
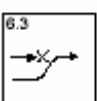






| Categoria schema | Schemi della dinamica dell'incidente |
|---|--|
| 1. INCIDENTE ISOLATO | - senza implicazione di terzi  1.1 - con implicazione di terzi  1.2 |
| 2. INCIDENTE LEGATO AL SORPASSO |  2.1  2.2  2.3  2.4  2.5 |
| 3. INCIDENTE LEGATO A CAMBIAMENTI DI DIREZIONE (in sezione corrente) |  3.1  3.2  3.3  3.4 |
| 4. INCIDENTE IN CORRISPONDENZA DI INTERSEZIONI |  4.1  4.2  4.3  4.4  4.5  4.6  4.7  4.8  4.9  4.10  4.11 |
| 5. INCIDENTE PER TAMPONAMENTO | - veicolo che precede in movimento (inosservanza della distanza di sicurezza)  5.1 - veicolo che precede fermo  5.2 - veicolo che precede effettua marcia indietro  5.3 |
| 6. INCIDENTE PER MANOVRE DI PARCHEGGIO |  6.1  6.2  6.3  6.4 |
| 7. INCIDENTE CON PEDONI |  7.1  7.2  7.3  7.4  7.5 |

Figura 6.1 [33]

6.2 SCENARI DI INCIDENTE NELLE DUE RUOTE

La tabella 6.1 mostra la distribuzione degli incidenti per entrambe le categorie di incidenti.

Tali dati, riportati da Preusser (1992), sono molto simili a quelli ricavati da altri studi, anche più recenti (Otte et al. 1998) [128] che riportano come il 60% degli incidenti avviene con un veicolo a quattro ruote, mentre il 27 % coinvolge un solo motoveicolo.

Tabella 6.1 – Distribuzione dell'incidentalità nei TWD

| Motorcycle crash type | Single-Vehicle | Multiple-Vehicle | All | |
|-----------------------|----------------|------------------|---------|--------|
| | Crashes | Crashes | Crashes | % |
| Ran off road | 831 | 26 | 857 | (41.3) |
| Ran traffic control | | 375 | 375 | (18.1) |
| Oncoming | | 225 | 225 | 10.8 |
| Left turn oncoming | | 176 | 176 | 8.5 |
| Motorecyclist down | 83 | 69 | 152 | 7.3 |
| Run down | | 69 | 69 | 3.3 |
| Stopped/stopping | | 66 | 66 | 3.2 |
| Road obstacle | 49 | 2 | 51 | 2.5 |
| Lane change | | 28 | 28 | 1.4 |
| Cut-off | | 25 | 25 | 1.2 |
| Other/unknown | 33 | 17 | 50 | 2.4 |
| All | 996 | 1078 | 2074 | 100 |

Inoltre dallo studio Maids è emerso come il veicolo con il quale più frequentemente avviene la collisione sia l'automobile, seguito dall'impatto con la sede stradale, inteso sia come conseguenza di una caduta dal motociclo, sia come conseguenza del tentativo di evitare una collisione con altri veicoli, figura 6.2.

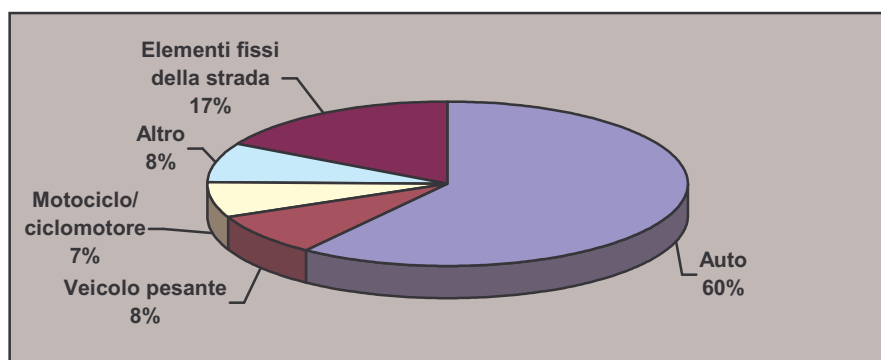


Figura 6.2 - Oggetto impattato nel sinistro [118]

Questo risultato è confermato anche dal recente studio [121] commissionato dal Dipartimento dei Trasporti inglese, che, indagando su quasi 1'800 incidenti di motocicli e ciclomotori avvenuti in Inghilterra ha concluso che quasi nell'80% dei casi la responsabilità del sinistro va addebitata al conducente di un'automobile, come indicato nel grafico di figura 6.3.

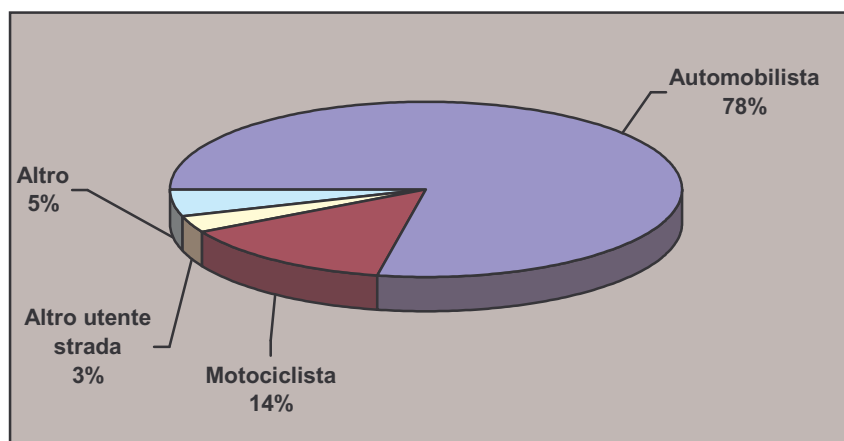


Figura 6.3 - Responsabile dell'incidente – Inghilterra, 2004 [121]

6.2.1 Confronto fra gli incidenti dei motocicli e dei ciclomotori

Prima di entrare nell'analisi dell'incidentalità appare necessario puntualizzare che in letteratura viene di solito eseguita una distinzione fra le diverse categorie di veicoli a due ruote motorizzati, sulla base soprattutto della cilindrata.

Ciò nasce dalla constatazione che il fenomeno incidentale varia a seconda del tipo di motoveicolo. Ad esempio in tabella 6.2 si riporta la percentuale di incidenti in base alla cilindrata del motoveicolo per tre tipologie di incidente: la precedenza, la curva, il sorpasso o il *filtering*.

Tabella 6.2 – Percentuale di incidenti in base alla cilindrata del motoveicolo per tre tipologie di incidente

| M/cycle cc | N | Mean age of rider | Percentage of total | ROWV | Percentage of total | Bend | Percentage of total | OT/filter | Percentage of total |
|------------|------|-------------------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|-----------|---------------------|
| 49–100 | 301 | 30.3 | 19.5 | 125 | 21.6 | 25 | 10.0 | 44 | 16.4 |
| 100–250 | 296 | 25.3 | 19.1 | 121 | 20.8 | 42 | 16.9 | 43 | 16.0 |
| 250–350 | 79 | 30.6 | 5.1 | 30 | 5.2 | 9 | 3.6 | 12 | 4.5 |
| 350–500 | 103 | 30.0 | 6.7 | 38 | 6.6 | 19 | 7.6 | 19 | 7.1 |
| 500–600 | 102 | 35.3 | 6.6 | 42 | 7.3 | 13 | 5.2 | 19 | 7.1 |
| 600–900 | 384 | 33.5 | 24.8 | 140 | 24.2 | 83 | 33.3 | 72 | 26.9 |
| 900+ | 281 | 35.7 | 18.2 | 83 | 14.3 | 58 | 23.4 | 59 | 22.0 |
| Total | 1546 | 31.3 | 100.0 | 579 | 100.0 | 249 | 100.0 | 268 | 100.0 |

Appare evidente come sia importante l'esperienza, tenendo in considerazione che alla guida di veicoli di cilindrata 100-250 cc ci sono sicuramente motociclisti giovani, con molta meno esperienza dei guidatori di veicoli di cilindrata 500 cc.

Una distinzione più sommaria, ma comunque significativa, può essere eseguita fra i ciclomotori ed i motocicli.

Infatti, se da un lato queste due categorie mostrano un parallelismo, dall'altro presentano alcune differenze fondamentali.

Innanzitutto per entrambi la situazione incidentale può essere descritta come segue:

- gli incidenti dei motocicli e dei ciclomotori avvengono principalmente in area urbana;
- la severità dell'impatto nelle aree extraurbane è più alta;
- principalmente le collisioni avvengono con veicoli a quattro ruote;
- gli incidenti in area urbana avvengono principalmente alle intersezioni.

Ma si riscontrano diversità principalmente sulla velocità e sul tipo di collisione.

Infatti, la velocità media di collisione è di 30 km/h per i ciclomotori e di 50 km/h per i motocicli, e l'evento incidentale più frequente è quello dovuto ad un cambio di direzione per il ciclomotore, e da una manovra di sorpasso per i motocicli (figura 6.4).

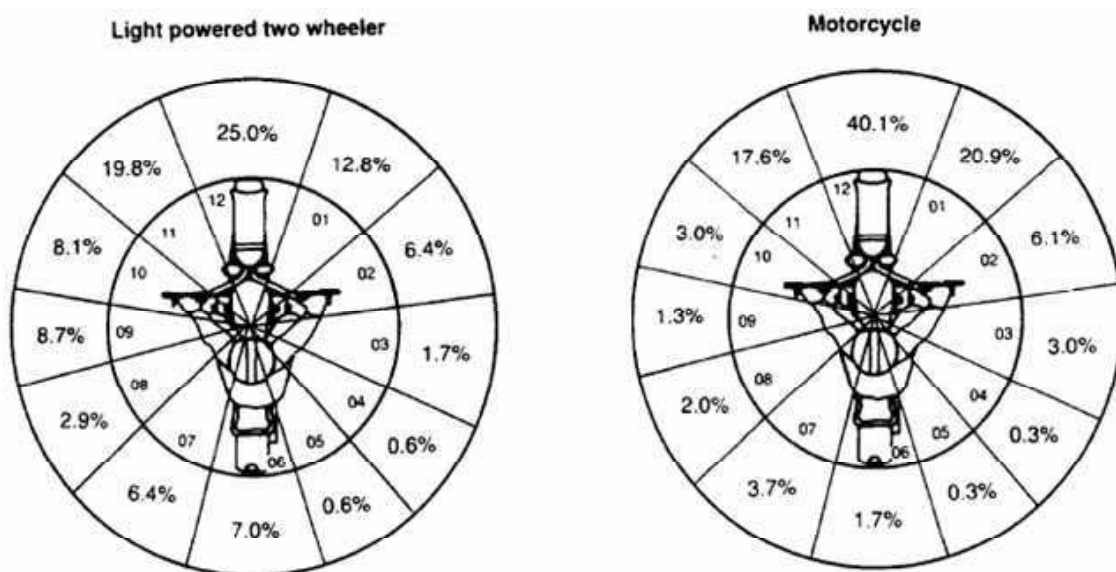


Figura 6.4 – Distribuzione angolare del primo impatto nel ciclomotore (light wheeler) e nel motociclo (motorcycle) [133]

Nella figura 6.5 si riporta la configurazione degli incidenti per entrambe le tipologie di veicoli a due ruote, ciclomotori (L1) e motocicli (L3).

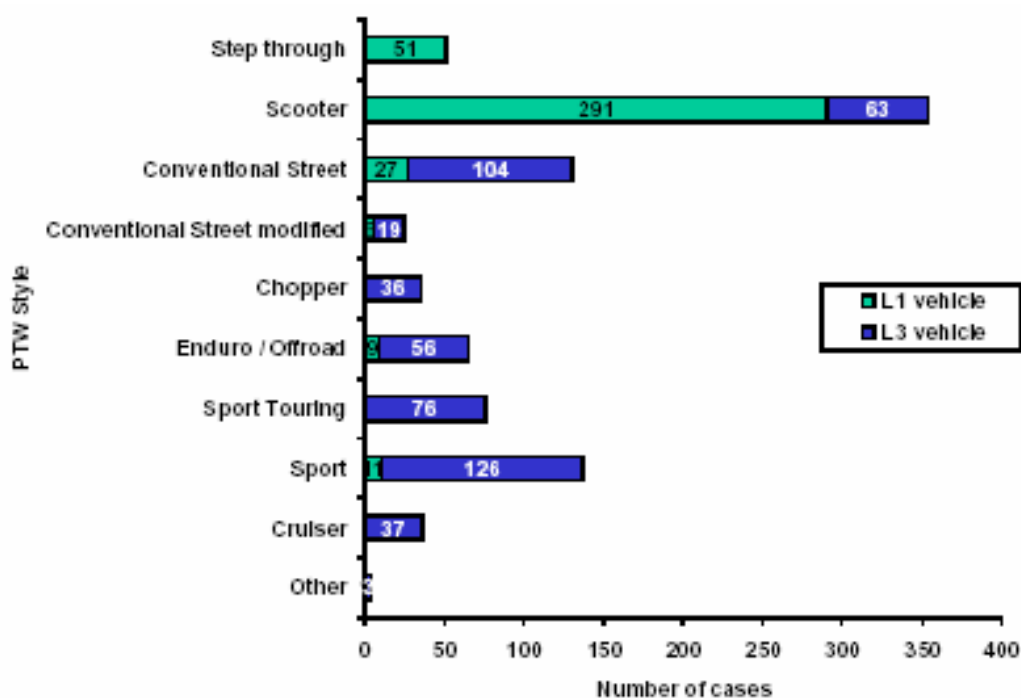


Figura 6.5 – Configurazione incidenti due ruote in base alla classificazione legale [118]

A tal proposito si possono analizzare anche i dati ISTAT relativi agli incidenti che hanno coinvolto TWD nel periodo 1997-2000 su un totale di 20.066 incidenti nel quadriennio (tabella 6.3).

Tabella 6.3

| <i>Natura incidente</i> | <i>bici</i> | <i>ciclomotore</i> | <i>motociclo</i> |
|--|-------------|--------------------|------------------|
| Scontro frontale | 109 | 363 | 151 |
| Scontro frontale-laterale | 555 | 3.038 | 1.094 |
| Scontro laterale | 260 | 882 | 324 |
| Tamponamento | 139 | 465 | 175 |
| Investimento di pedoni | 16 | 397 | 127 |
| Urto con veicolo in fermata o in arresto | 55 | 173 | 44 |
| Urto con veicolo in sosta | 4 | 64 | 13 |
| Urto con ostacolo | 4 | 39 | 27 |
| Fuoriuscita | 9 | 229 | 114 |
| Infortunio per frenata improvvisa | - | 13 | 7 |
| Infortunio per caduta da veicolo | 8 | 35 | 19 |
| Totale | 1.159 | 5.698 | 2.095 |

Pertanto esprimendo tali dati in percentuale rispetto al totale si ottiene, tabella 6.4:

Tabella 6.4

| <i>bici</i> | <i>ciclomotore</i> | <i>motociclo</i> |
|-------------|--------------------|------------------|
| 5.8 | 28.4 | 10.4 |

Nonostante queste differenze, nel presente documento viene trattato il fenomeno dell'incidentalità delle ruote in modo generale, al fine di comprendere tutte le categorie.

6.2.2 Incidenti con veicolo isolato

I principali fattori di rischio legati al fenomeno incidentale del veicolo isolato sono:

- la pavimentazione stradale, in quasi un terzo di tutti gli incidenti;
- la velocità non adeguata al tracciato percorso, anche se sotto i limiti;
- rischio di impatto contro elementi esterni;

Si fa presente, comunque, che circa il 30% degli incidenti in cui rimane coinvolto un solo veicolo non possono essere descritti solo sulla base di un errore del motociclista, perché questi includono situazioni in cui il motociclista ha evitato l'impatto con un altro veicolo.

Si riportano di seguito le principali tipologie di incidente relative al veicolo isolato.

6.2.2.1 Tipologie di incidenti per veicolo isolato

Come si rileva dal diagramma di figura 6.5 le tipologie di incidente relative al veicolo a due ruote isolato sono principalmente:

- perdita di controllo del veicolo (uscita fuori strada e caduta dal veicolo);
- investimento di pedone;
- urto con ostacolo accidentale.

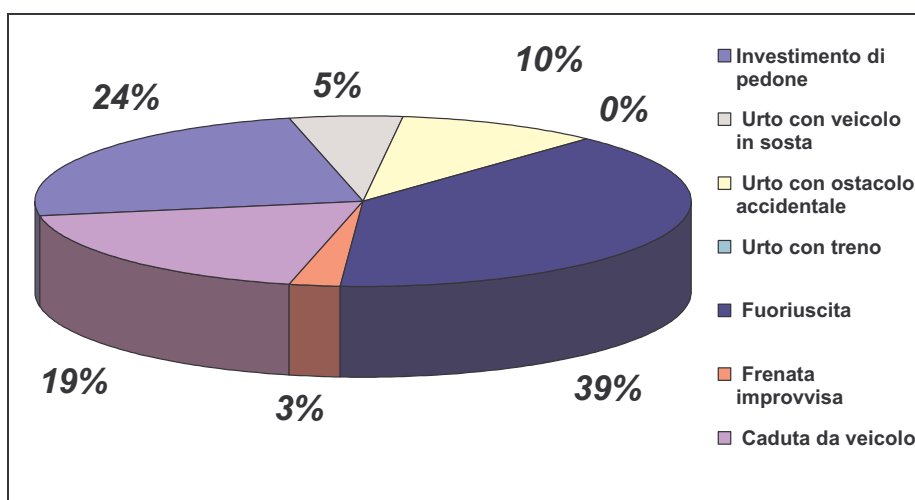


Figura 6.6 - Incidenti a veicoli a due ruote isolati, anno 2002

Perdita di controllo del veicolo:

Quando il conducente perde il controllo del veicolo, senza recuperarlo, si possono verificare due possibilità: in un primo caso il motociclista non è sbalzato dal veicolo e si dirige verso l'esterno della piattaforma stradale a bordo di esso (uscita fuori strada del veicolo); nel secondo il conducente è sbalzato dal veicolo e segue una traiettoria che può essere più o meno coincidente con quella del veicolo stesso, ma comunque verso l'esterno della carreggiata (caduta dal veicolo) e siccome l'esterno della piattaforma stradale coincide con l'esterno della curva percorsa, avviene l'impatto con i sistemi di ritenuta predisposti.

Entrambi questi casi vengono di seguito descritti.

A - Uscita di strada

Tale tipologia di incidente avviene quando il conducente, generalmente inesperto o anziano, alla guida di un veicolo si trova o in prossimità di una curva o di una deviazione di direzione, spesso in condizioni atmosferiche particolari: il conducente effettua la manovra a velocità troppo elevata ed il motoveicolo perde aderenza uscendo così fuori di strada.

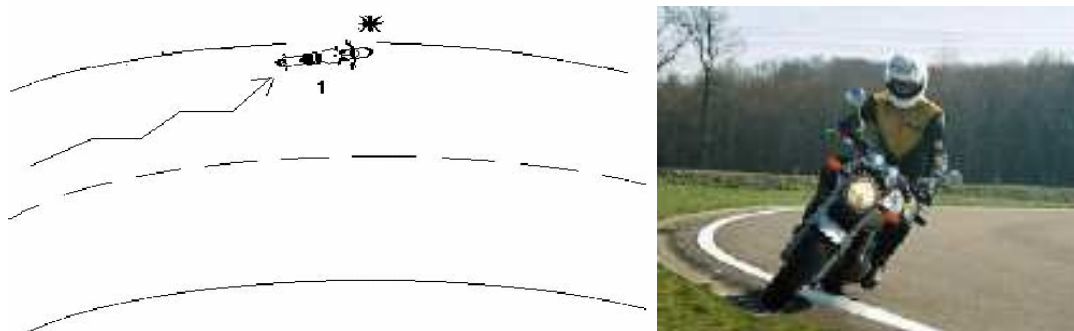


Figura 6.7

Come riportato nel capitolo 3, quasi la metà delle morti o degli incidenti con lesioni gravi avviene per tale tipologia di incidente; questa percentuale è molto più alta di quella misurata per i veicoli a quattro ruote. Se invece si considerano i casi nei quali l'uscita fuori strada del veicolo ha provocato feriti lievi anziché gravi, risulta che le percentuali sono simili per motocicli e per le automobili, attestandosi in entrambi i casi intorno al 30%. Tale dato conferma quanto detto nel capitolo precedente sulla maggiore pericolosità del finire fuori strada per un motociclista che per un automobilista, in quanto l'automobilista può essere in molti casi protetto dalla carrozzeria del veicolo negli urti contro gli ostacoli posti ai margini della sede stradale.

Un recente studio svolto nei paesi del Nord Europa suddivide il numero dei motociclisti deceduti o gravemente feriti, perché finiti fuori strada in seguito ad un incidente, secondo il tipo di ostacolo colpito, figura 6.7.

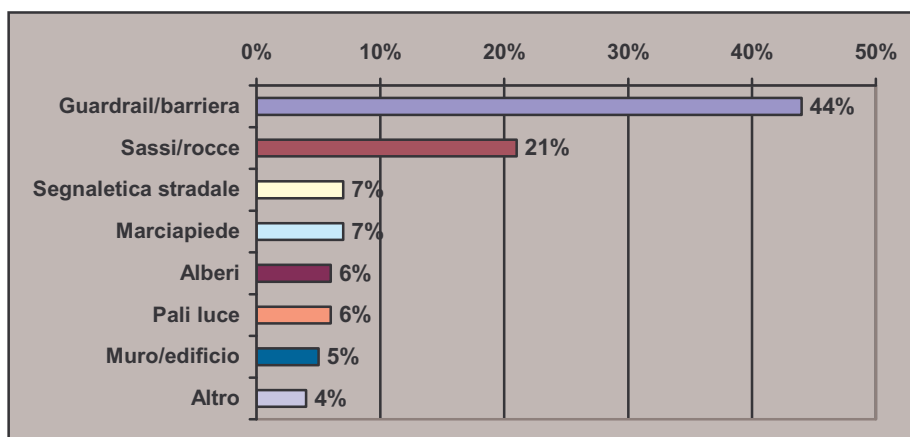


Figura 6.8 - Motociclisti morti, per tipo di ostacolo colpito

Come illustrato nel capitolo 4 vari studi hanno dimostrato la pericolosità delle barriere di sicurezza per i motociclisti [132].

B - Caduta dal veicolo

Gli incidenti dovuti alla caduta dal veicolo sono causati da quei fattori di rischio, individuati nel capitolo 4, che compromettono la stabilità del mezzo. In particolare oltre il 15 % degli incidenti totali avviene per perdita di controllo in curva. Spesso tale incidente avviene con conducenti inesperti a causa o dell'irregolarità del manto stradale o perché il conducente guida con superficialità, ad esempio con una mano sola, o ad una velocità non adeguata al tracciato.

Infatti, come è stato descritto nel paragrafo dedicato, le curve rappresentano il tratto di infrastruttura stradale nel quale i motociclisti sono più vulnerabili in quanto l'assetto tenuto dal veicolo in curva è tale per cui risultano minime le condizioni residue di aderenza e stabilità a disposizione del conducente.

In particolare, dai dati statistici risulta che tale incidente è strettamente legato all'inesperienza del conducente.

Investimento pedone

L'investimento di un pedone è un incidente purtroppo molto frequente, che trova origine dal comportamento spesso imprevedibile di entrambi le categorie di utenti: il pedone e il motoveicolo.

Ad esempio, un evento incidentale di questo tipo accade quando, ad un'intersezione semaforizzata nella fase di rosso per la corrente veicolare, il veicolo a due ruote sorpassa a "zig zag" i veicoli a quattro ruote in coda in senso longitudinale e investe un pedone che, invece di attraversare sulle strisce pedonali, passa anch'esso in mezzo ai veicoli in senso trasversale. Un'altra situazione frequente si ha quando, in presenza di strisce pedonali lungo il tracciato non regolate, un veicolo a quattro ruote si ferma dando la precedenza al pedone ed il motoveicolo lo sorpassa a sinistra senza accorgersi della situazione ed investendo il pedone. Un caso analogo si presenta quando un autobus è fermo sul margine destro della carreggiata, per la discesa e salita dei passeggeri, ed il motoveicolo che sopraggiunge nella stessa direzione, inizia la manovra di sorpasso ed investe i pedoni che attraversano davanti all'autobus.

Urto con ostacolo accidentale

Come descritto nel capitolo precedente, la stabilità del veicolo a due ruote può essere compromessa dall'urto contro un ostacolo accidentale posto sulla sua traiettoria, come ad esempio il carico di un camion accidentalmente caduto o residui di un evento incidentale, ma anche, ad esempio, elementi di arredo urbano non adatti, come cordoli di isole spartitraffico.

Ciò ha una maggiore probabilità di accadere se il veicolo a due ruote marcia a velocità elevata e o in condizioni di scarsa visibilità tali per cui non si accorge della presenza di un ostacolo sulla carreggiata. Il conducente può, quindi, non reagire affatto o reagire tardivamente, impattando in ogni caso contro l'ostacolo.

Tale tipologia di incidente assume gravità maggiore a causa del cosiddetto "secondo impatto", dovuto alla perdita di stabilità del veicolo, che, se avviene contro profili taglienti o superfici eccessivamente rigide, può avere conseguenze fatali.

6.2.3 Incidenti con più veicoli coinvolti

Degli incidenti fra vari veicoli si analizzano quelli che vedono coinvolti almeno un veicolo a due ruote. Di questi il 60% vede coinvolta un'automobile e la percentuale sale se si considerano anche autobus e camion. I tratti più pericolosi sono le intersezioni o le curve ed una delle principali cause è il giudizio errato sulla velocità del motoveicolo e della distanza del motoveicolo. Infatti, solo in un caso su tre il motoveicolo ha torto.

6.2.3.1 Tipologie di incidenti con più veicoli coinvolti

Le tipologie principali di incidenti che coinvolgono più veicoli oltre al mezzo a due ruote sono fondamentalmente riassunte in:

- mancata precedenza;
- manovrabilità errata;
- incidenti frontali;
- tamponamento.

Le configurazioni di impatto, descritte nel capitolo 3, sono classificate dall'ISO 13232 in sette tipologie di impatto, dove, per ognuna, è individuato il punto di collisione del veicolo a quattro ruote, e del veicolo a due ruote, l'angolo di rotazione e la velocità di impatto (figura 6.9).

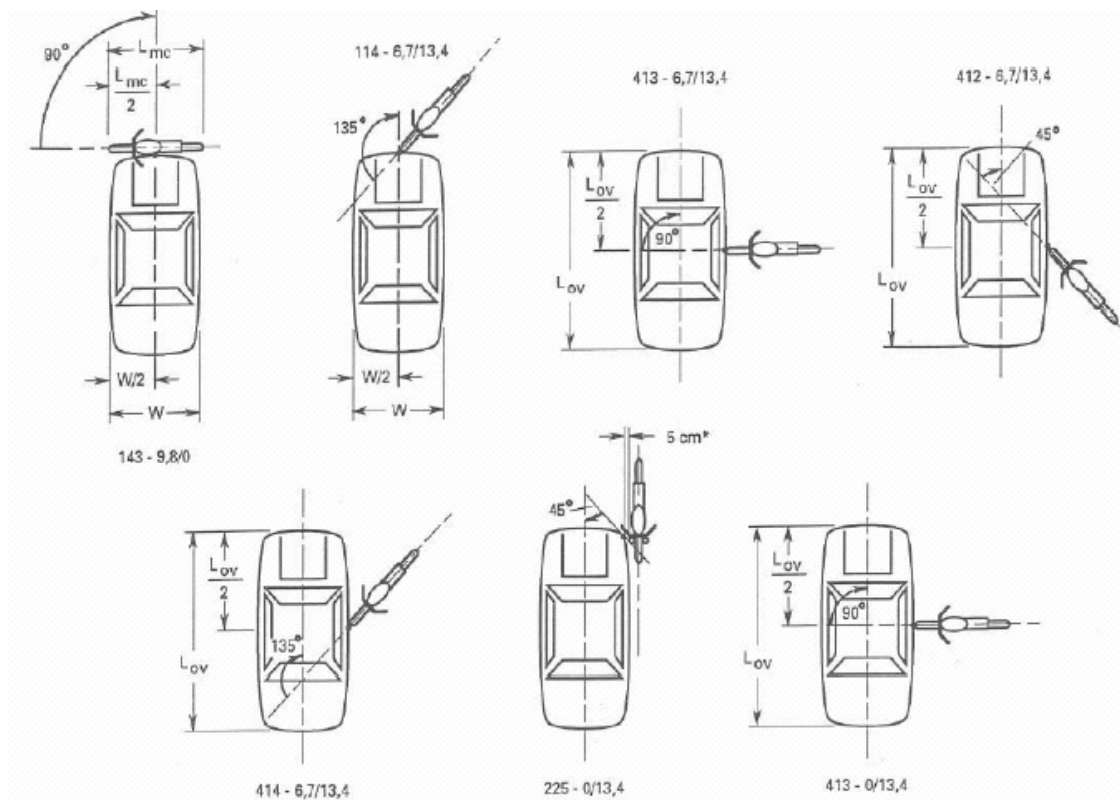


Figura 6.9 – Configurazioni di impatto ISO [141]

Di seguito si analizzano le tipologie incidentali per ciascuna configurazione.

Mancata precedenza

Studi recenti¹ mostrano modalità inattese riguardo questa tipologia di incidenti: quasi nell'80% dei casi appaiono, infatti, provocati dalla precedenza non concessa ai motociclisti da parte dei conducenti delle autovetture. Causa di questo fenomeno, come si è detto, è l'errata percezione del motociclo da parte degli automobilisti, che non riescono a distinguerne in tempo utile la sagoma ridotta.

Il 38% circa degli incidenti che coinvolgono più veicoli avviene per mancata precedenza, tuttavia in meno del 20% di essi la colpa è in parte o totalmente del motociclista. Vari studi permettono di affermare che tali incidenti avvengono in particolare modo alle intersezioni a T non regolate (senza segnaletica di stop o semaforo). La mancata precedenza è la categoria di incidenti più frequenti per i ciclomotori di piccola cilindrata, utilizzati prevalentemente nelle aree urbane, dove sono presenti molte intersezioni. Si è comunque visto che rappresentano una quota rilevante anche tra gli incidenti che vedano coinvolti i motocicli di cilindrata maggiore. Ad esempio, un caso frequente si presenta quando un veicolo con il semaforo verde è disposto all'attraversamento ed è presente un motoveicolo in marcia nella direzione opposta e in procinto di svoltare a sinistra. Il conducente del veicolo o non si accorge del motoveicolo o non valuta correttamente la sua posizione e si ha l'impatto. Caso analogo si ha quando un motoveicolo procede sulla sua carreggiata e viene urtato da un veicolo che si immette da una strada secondaria (figura 6.10).

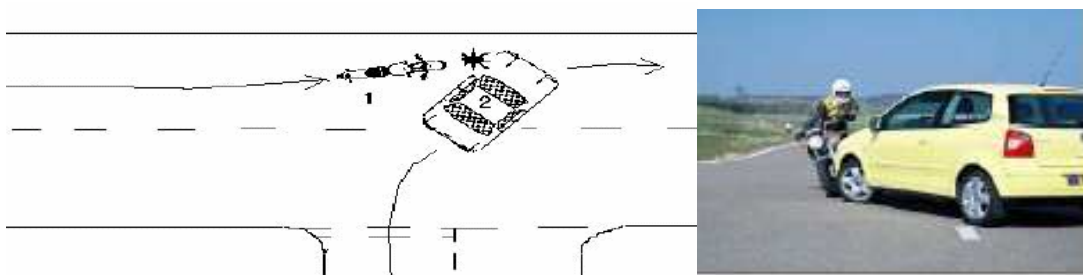


Figura 6.10

Un altro caso abbastanza frequente si verifica quando un veicolo è in attesa di effettuare la propria manovra da una secondaria o da un accesso, si sporge oltre la linea di arresto e impatta contro un motoveicolo che sopraggiunge (figura 6.11).

¹ Al riguardo un esempio è la ricerca Sintef svolta nei paesi scandinavi alla fine del 2000.



Figura 6.11

Manovrabilità errata

Uno dei principali tipi di collisione ha luogo nella manovra di svolta di un veicolo a quattro ruote che impatta contro un veicolo a due ruote che sta sorraggiungendo o che sta sorpassando.

Infatti, in tali incidenti rientrano quelli dovuti alle caratteristiche dinamiche del veicolo a due ruote, dovute al rapporto fra la grande potenza dei veicoli a due ruote e le loro dimensioni, che permettono loro di muoversi in modo non convenzionale fra i veicoli.

Ciò comporta che essi seguano delle traiettorie non prevedibili.

In particolare, molto rischiosa è la manovra detta di “filtering”, che avviene quando il veicolo a due ruote sorpassa i veicoli in coda o che si muovono lentamente.

Dall'osservazione dei dati incidentale emerge che il 16.5% degli incidenti coinvolge un motociclista in fase di sorpasso. È di rilevanza che le fasce di età fra i 20-26 anni e i 31-35 anni siano le maggiori coinvolte in incidenti da sorpasso.

Un altro caso è quello in prossimità di una intersezione o di un accesso, dove un veicolo in marcia si appresta a svoltare a destra o a eseguire un'inversione di marcia, ed un motoveicolo che lo segue non si accorge della manovra del veicolo avanti (figura 6.12).

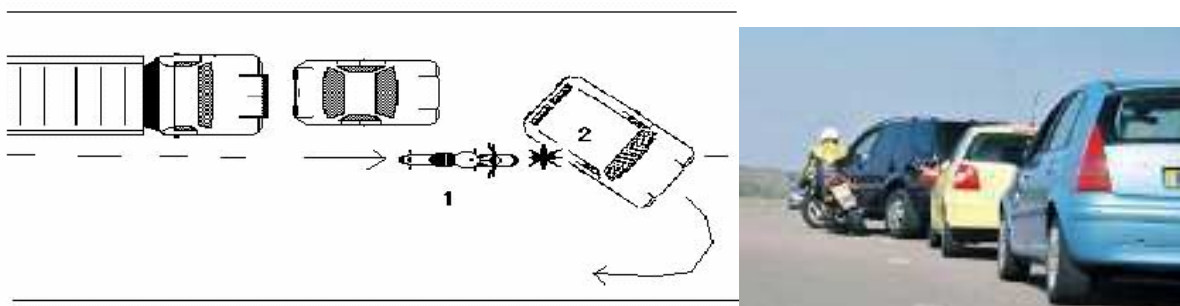


Figura 6.12

Tamponamento

L'incidente dovuto al tamponamento non è raro, ed è dovuto principalmente all'inesperienza del motociclista ed alla scarsa conoscenza del mezzo.

Tale incidente può verificarsi in prossimità di strisce pedonali quando un veicolo che procede si ferma ed il motoveicolo che lo segue non se ne accorge e non si arresta o inizia tardivamente la manovra di frenatura (figura 6.13). Un'altra situazione può verificarsi quando, un conducente inesperto o anziano è alla guida di un motoveicolo ed è presente un veicolo in marcia nella sua stessa direzione ed un veicolo fermo in sosta a bordo strada che invade parte della carreggiata.

Il conducente del veicolo non si accorge che il motoveicolo ha deviato la traiettoria per oltrepassare il veicolo in sosta ed avviene l'impatto. Oppure quando in condizioni di marcia "stop and go", un veicolo riparte ma è costretto subito dopo a rallentare di nuovo ed il motoveicolo che lo segue, che ha abbassato l'attenzione o che ha focalizzato l'attenzione su una informazione secondaria, tampona il veicolo davanti.

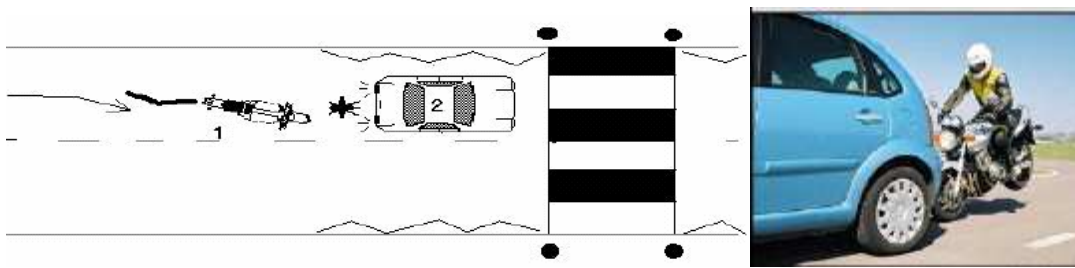


Figura 6.13

Un altro caso può essere quando ci sono dei pedoni sul margine destro della carreggiata, il conducente del motoveicolo che sta sopraggiungendo devia bruscamente la sua traiettoria verso il centro della carreggiata ed il veicolo che lo segue non si accorge della sua manovra e impatta contro di esso (figura 6.14).



Figura 6.14

Incidenti frontali

L'incidente frontale più frequente nelle aree urbane, e coinvolge un gran numero di ciclomotori di piccola cilindrata, ma non è raro anche in strade extraurbane e per motocicli di cilindrata e velocità maggiori, per i quali risulta spesso fatale.

Tale modalità di incidente accade, ad esempio, quando si ha un breve rettilineo in condizioni di scarsa visibilità: un veicolo è in marcia all'interno di un plotone, ed un motoveicolo che sopraggiunge in direzione opposta, o perché non si accorge dell'arrivo del veicolo in direzione opposta o perché non ne valuta correttamente la posizione, esegue la manovra di sorpasso in debito di sicurezza e impatta contro il veicolo sopraggiungente.



Figura 6.15

Un'altra situazione può presentarsi quando il motoveicolo perde la stabilità del veicolo a causa della mancanza di manutenzione o di un ostacolo sulla sede stradale ed al conseguente impatto contro un veicolo sopraggiungente che, magari a causa della scarsa visibilità del tracciato, non riesce a evitare lo scontro.

Naturalmente punti molto critici sono le curve, anche al di fuori dei centri urbani (figura 6.15).

Infine, per completezza, si cita l'incidente dovuto al caso in cui un veicolo si appresta a svoltare a sinistra per immettersi in una strada ad unico senso di marcia ed impatta contro un motoveicolo che procede in senso contrario a quello consentito.

6.3 INDIVIDUAZIONE SCENARIO INCIDENTALE AD ALTO RISCHIO

Sono state fin individuati i possibili scenari di incidente che coinvolgono TWD. Sulla base dei risultati ottenuti, al fine di migliorare il livello di sicurezza di un'infrastruttura per un veicolo a due ruote, risulta fondamentale individuare la tipologia di incidente più frequente e caratterizzata da una maggiore gravità. Infatti, non potendo puntare all'eliminazione totale degli incidenti, per ovvi limiti sia pratici che teorici, è importante riuscire a valutare la maggiore o minore pericolosità di una determinata collisione, per poi riuscire a definire le tipologie e le priorità di intervento.

In figura 6.16 si riportano una media dei risultati conseguiti da studi svolti nei paesi del Nord Europa, ma anche in Francia, Gran Bretagna e Germania, concordanti tra loro.

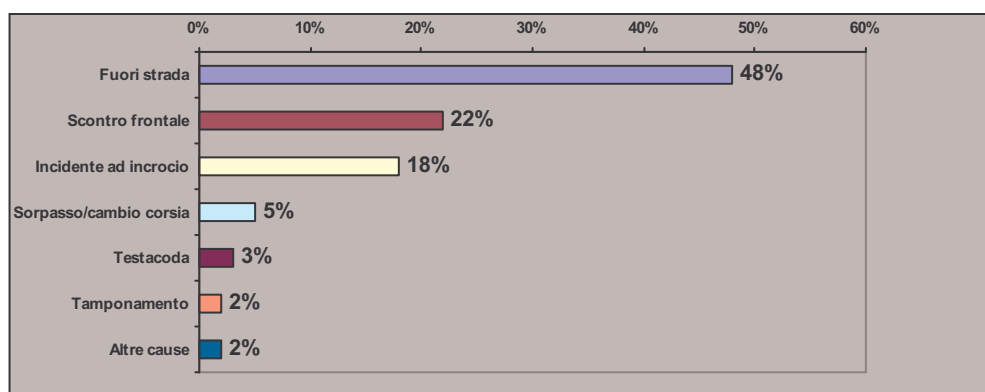


Figura 6.16 - Morti o feriti gravemente, per modalità di incidente²

E' subito evidente che gli incidenti maggiormente ricorrenti tra le cause di grave infortunio dei motociclisti sono i fuori strada, gli scontri frontali e quelli agli incroci, che insieme rappresentano quasi il 75% dei casi rilevati.

Anche i dati Istat relativi all'anno 2003-2004 confermano tali risultati. La tipologia di incidente più diffusa e con conseguenze più gravi è lo scontro frontale-laterale (80'128 casi) con 1.398 morti e 115'432 feriti seguita dal tamponamento che registra 42'737 casi con 572 morti e 68'792 persone ferite, tabella 6.5.

Tabella 6.5 – Incidenti persone infortunate secondo la natura, anno 2004 [179]

² La statistica si riferisce ai motocicli, non ai ciclomotori di piccola cilindrata: per questi, circolanti prevalentemente in aree urbane e a velocità inferiori, sono più frequenti gli incidenti agli incroci o per scontri frontali, mentre la percentuale di fuori strada è molto ridotta.

| NATURA DELL'INCIDENTE | Valori assoluti | | | Valori percentuali | | |
|--|-----------------|-------|---------|--------------------|-------|--------|
| | Incidenti | Morti | Feriti | Incidenti | Morti | Feriti |
| Scontro frontale | 15.529 | 975 | 25.737 | 6,9 | 17,3 | 8,1 |
| Scontro frontale-laterale | 80.128 | 1.398 | 115.432 | 35,7 | 24,9 | 36,5 |
| Scontro laterale | 26.286 | 338 | 33.648 | 11,7 | 6,0 | 10,6 |
| Tamponamento | 42.737 | 572 | 68.792 | 19,0 | 10,2 | 21,7 |
| Urto con veicolo in momentanea fermata o arresto | 7.694 | 135 | 10.405 | 3,4 | 2,4 | 3,3 |
| Totale incidenti tra veicoli | 172.374 | 3.418 | 254.014 | 76,8 | 60,8 | 80,2 |
| Investimento di pedone | 16.280 | 648 | 18.409 | 7,2 | 11,5 | 5,8 |
| Urto con veicolo in sosta | 1.666 | 32 | 1.910 | 0,7 | 0,6 | 0,6 |
| Urto con ostacolo accidentale | 8.061 | 380 | 9.978 | 3,6 | 6,8 | 3,2 |
| Urto con treno | 8 | 3 | 10 | 0,0 | 0,1 | 0,0 |
| Fuoriuscita | 21.985 | 1.076 | 27.829 | 9,8 | 19,1 | 8,8 |
| Frenata improvvisa | 1.077 | 5 | 1.216 | 0,5 | 0,1 | 0,4 |
| Caduta da veicolo | 3.102 | 63 | 3.264 | 1,4 | 1,1 | 1,0 |
| Totale incidenti a veicoli isolati | 52.179 | 2.207 | 62.616 | 23,2 | 39,2 | 19,8 |
| Totale | 224.553 | 5.625 | 316.630 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Inoltre da uno studio recente [170] condotto analizzando 4 database europei, ossia il TNO (Nederlandse Organisatie voor toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek) il DEKRA, il GIDAS (German In-Depth Accident Study) ed il LMU (Ludwig Maximilians Universität München) è risultato quanto schematizzato in tabella 6.6

Tabella 6.6 – Percentuale di diversi scenari in 4 database [170]

| Database | TNO n = 85 | DEKRA n = 157 | GIDAS n = 128 | LMU n = 76 |
|--|---------------|------------------|------------------|---------------|
| Urban. Moped Car Intersection | 49% | 5% | 12% | 4% |
| Urban. Moped Car Straight | 12% | 1% | 3% | 1% |
| Urban. Motorcycle Car Intersection | 21% | 29% | 55% | 42% |
| Urban. Motorcycle Car Straight | 11% | 11% | 21% | 22% |
| Non-urban. Motorcycle Car Intersection | 4% | 38% | 3% | 13% |
| Non-urban. Motorcycle Car Straight | 4% | 16% | 6% | 17% |

Da tale tabella si evince che l'evento incidentale alle intersezioni rappresenta la percentuale maggiore in tutti e quattro i database, considerando sia i ciclomotori che i motocicli.

Pertanto si procede all'analisi dell'evento incidentale nelle intersezioni urbane, caratterizzate fondamentalmente da scenari incidentali di scontro laterale – frontale fra un veicolo a due ruote e uno a quattro ruote.

CAPITOLO 7: MODELLO ANALITICO PREVISIONALE PER L'INCIDENTALITA' DEI MOTOVEICOLI

7.1 MODELLO PREVISIONALE MATEMATICO-STATISTICO

Da quanto riportato fino a questo punto si evince come l'evento incidentale sia il risultato di un numero elevato di cause e fattori esterni che esercitano la loro influenza nello stesso istante e nella stessa posizione.

Come descritto nel capitolo 2, fra i diversi modelli per la valutazione del rischio, quello di tipo matematico-statistico si distingue in quanto interpreta l'evento incidentale come un fenomeno di tipo sistematico identificando l'evento incidentale con una variabile aleatoria e cercando di determinare il rapporto fra la sinistrosità di un'infrastruttura e specifici parametri caratteristici come i criteri progettuali o il comportamento dell'utente. Tali modelli possono essere definiti tramite le *funzioni di performance*, che come riportato nel capitolo 5, descrivono proprio le relazioni matematiche tra il numero d'incidenti medio annuo e alcune variabili caratteristiche del traffico (flussi veicolari, velocità, ecc.). Attraverso queste è possibile comprendere la specifica significatività di ciascuna caratteristica, verificando come al variare di una o più variabili cambi di conseguenza il numero di incidenti.

Nel presente capitolo si analizza un modello analitico atto a definire la funzione di performance per la previsione del livello di incidentalità dei motoveicoli associato alle intersezioni stradali di una rete urbana. In particolare verranno prese in considerazione sia le intersezioni semaforizzate che quelle non semaforizzate, e si cercherà di comprendere quali siano i parametri maggiormente significativi su cui potere agire per aumentare la sicurezza di esse nei confronti dei TWD.

Sebbene consapevoli della maggiore complessità della analisi della sicurezza rispetto ad un ambito extraurbano, dovuta al fatto che il numero degli incidenti non dipende solo dagli elementi geometrici dell'infrastruttura, ma anche dai conflitti che nascono tra i diversi flussi di traffico, si è scelto di analizzare l'ambito urbano. Tale scelta è stata basata sui risultati ottenuti dal presente studio in cui l'ambito urbano è risultato essere caratterizzato da un maggiore rischio nei confronti dei TWD.

7.2 MODELLI ALLE INTERSEZIONI URBANE IN LETTERATURA

Come si è detto l'obiettivo dei modelli previsionali è quello di associare la frequenza incidentale nelle intersezioni ad una serie di variabili, in modo tale che il modello possa essere utilizzato per esaminare l'effetto dei flussi veicolari, pedonali e delle caratteristiche dell'intersezione sulla frequenza degli eventi.

È stata, pertanto, intrapresa una ricerca sulle principali formulazioni esistenti in letteratura; in particolare, data la scarsa presenza nella letteratura italiana di modelli previsionali dell'incidentalità relativi alle intersezioni in ambito urbano, è stata focalizzata l'attenzione sulle principali formulazioni elaborate in ambito internazionale.

Tali modelli, generalmente, sono realizzati mediante l'osservazione e l'acquisizione dei dati relativi ad un determinato fenomeno (come il numero di incidenti, le caratteristiche geometriche, la composizione della corrente veicolare) e la definizione di una relazione di tipo matematico statistico in grado di fornire risultati confrontabili con i dati sperimentali.

Ciò consiste fondamentalmente nel riunire ed esaminare i dati su un diagramma cartesiano, per poi individuare una serie di funzioni che interpolino i dati e costruire, quindi, la funzione di performance della sicurezza.

Le relazioni così individuate si traducono in modelli in cui il tasso di incidentalità atteso su un incrocio urbano è funzione della somma (o del prodotto) dei flussi veicolari convergenti nel nodo stesso; tali modelli previsionali sono frequentemente strutturati in una forma matematica caratterizzata dalla presenza di due fattori di regressione posti, rispettivamente, come moltiplicatore e come esponente della funzione di flusso prescelta.

È importante sottolineare che un modello per la frequenza incidentale è per sua stessa natura multivariato [70] poiché, pur avendo generalmente come principale variabile indipendente la portata (q), è funzione anche di altri fattori quali ad esempio la geometria stradale, l'ora del giorno, il parco veicolare circolante, e le norme di comportamento.

7.2.1 Modelli in presenza di uno o più flussi veicolari

In presenza di un solo flusso veicolare possono essere utilizzate la funzione di potenza o modelli polinomiali per ottenere la frequenza incidentale A :

$$A = \alpha \cdot q^\beta \quad (7.1)$$

$$A = \alpha \cdot q + \beta \cdot q^2 \quad (7.2)$$

A volte può essere utilizzata per la curva di potenza anche la più complessa espressione:

$$A = \alpha \cdot q^{\beta + \gamma \cdot \text{Ln}(q)} \quad (7.1^*)$$

che risulta simile al modello polinomiale (7.2) quando è espressa in forma logaritmica:

$$\text{Ln}(A) = \text{Ln}(\alpha) + \beta \text{Ln}(q) + \gamma (\text{Ln}(q))^2 \quad (7.1^{**})$$

Quando sono importanti due o più flussi veicolari o tipologie di veicoli si utilizza comunemente il prodotto di funzioni di potenza:

$$A = \alpha \cdot q_1^\beta \cdot q_2^\beta \quad (7.3)$$

Di seguito si riportano alcuni esempi presenti in letteratura.

7.2.1.1 Modello di Tanner

Il modello di Tanner [160] è stato tarato su 232 intersezioni a T del Regno Unito ed ha la seguente forma:

$$A = 0.0045 \cdot q_r^{0.56} \cdot Q^{0.62} + 0.0075 \cdot q_l^{0.36} \cdot Q^{0.86} \quad (7.4)$$

dove:

- A = numero di incidenti / anno;
- Q = corrente di traffico sul braccio secondario dell'intersezione a T;
- q_r = somma della corrente di traffico che dal braccio primario svolta a sinistra nel braccio secondario dell'intersezione a T e di quella che dal braccio secondario svolta a destra nel braccio primario dell'intersezione a T;
- q_l = somma della corrente di traffico che dal braccio primario svolta a destra nel braccio secondario dell'intersezione a T e di quella che dal braccio secondario svolta a sinistra nel braccio primario dell'intersezione a T.

7.2.1.2 Modello del TRL (Transport Research Laboratory)

Il Transport Research Laboratory, TRL nel Regno Unito, ha sviluppato dei modelli previsionali per i seguenti tipi di intersezioni [161]:

- a quattro braccia semaforizzata;
- a tre braccia semaforizzata;
- intersezioni con regole di precedenza.

sviluppati su tre livelli:

- 1) incidenti totali/flussi;
- 2) incidenti/flussi per tipo di incidente e ramo dell'intersezione;
- 3) incidenti/flussi/geometria per tipo di incidente e ramo dell'intersezione.

Una delle formulazioni proposte dal TRL relativa al primo livello ha la seguente forma:

$$A = 0.298 (Q_{MA} + Q_{MI})^{0.634} \quad (7.5)$$

dove:

- A = numero di incidenti in un anno;
- Q_{MA} = TGM della strada principale (in migliaia di veicoli al giorno);
- Q_{MI} = TGM della strada secondaria (in migliaia di veicoli al giorno).

7.2.1.3 Modello di Bonneson and McCoy

Questo modello è stato tarato su un campione di 24 intersezioni, in 8 Stati degli USA (California, Colorado, Florida, Kansas, Maine, Maryland, South Carolina e Vermont) [162].

La forma del modello è la seguente:

$$A = R \cdot Q_1^\alpha \cdot Q_2^\beta \quad (7.6)$$

dove:

- A = frequenza di incidenti (incidenti per anno) ad un'intersezione;
- Q_1, Q_2 = valori del TGM sulla strada principale e sulla strada secondaria;
- k, α e β = coefficienti della regressione multipla aventi i seguenti valori:
 $k=0.000379, \alpha=0.256, \beta=0.831$.

Analogamente i modelli di Leong [163] e di Mc Donald [164] hanno la stessa espressione, ma essendo stati calibrati rispettivamente in Australia ed in California riportano diversi valori dei coefficienti k, α e β .

7.2.1.4 Modello di Brude & Hedman

Tale modello svedese stima il tasso di incidentalità (numero medio di incidenti per milione di veicoli confluenti all'intersezione) in ambito urbano nella forma seguente [165]:

$$A = a (I_p + I_s)^b \cdot (I_s / (I_p + I_s))^c \quad (7.7)$$

in cui:

- A = tasso di incidentalità (incidenti/ 10^6 veicoli confluenti);
- I_p, I_s = flussi veicolari sulla strada principale e sulla strada secondaria;
- a, b e c = coefficienti di regressione dipendenti dal tipo di intersezione.

Oltre a tali modelli sono state formulate delle correlazioni che mettono in conto anche le velocità delle correnti confluenti all'intersezione ed il numero di intersezioni presenti lungo il tratto di strada prossimo all'intersezione, come ad esempio quella del PTRC – Stark e quella di Martine Vertet e Thierry Brenac

7.2.1.5 Modello PTRC- Stark

Il modello proposto ha la seguente espressione [166]:

$$A = r \cdot F \cdot \sum_i (g_{1i} + g_{2i} + (g_{1i} \cdot g_{2i})^{1/2}) \cdot V^2 \quad (7.8)$$

in cui:

- A = frequenza di incidentalità;
- F = flusso veicolare totale sulla strada principale
- g_{1i} e g_{2i} = flussi veicolari sui rami delle strade secondarie confluenti all'intersezione;
- V = velocità sulla strada principale;
- r = costante calibrata mediante analisi statistiche.

7.2.1.6 Modello di Martine Vertet & Thierry Brenac

Questo modello è stato dedotto dallo studio di un campione di 118 incroci francesi, ripartiti su 27 dipartimenti studiati per un periodo di cinque anni (1986-1990) ed ha la seguente forma analitica [167]:

$$A = J \cdot (2.73 \cdot 10^{-5}) \cdot (TS^{0.62}) \cdot (TP^{0.51}) \cdot F_{bra} \cdot F_{voie} \cdot F_c \quad (7.9)$$

dove:

- A = numero di incidenti previsto nel periodo preso in esame;
- J = numero di anni compresi nel periodo in esame;
- TS, TP = TGM sulla strada secondaria e sulla secondaria (nei due sensi di marcia, espresso in veicoli/giorno);
- F_{bra} = funzione del numero di diramazioni dell'incrocio; è uguale ad 1 se il numero di diramazioni è pari a 3, mentre è pari a 2.18 se il numero di diramazioni è uguale a 4;
- F_{voie} = funzione del numero di corsie della strada principale; è uguale a 1.63 se la strada principale è a 2 x 2 corsie, mentre vale 1 negli altri casi;
- F_c = coefficiente che tiene conto dell'evoluzione degli incidenti stradali; è costituito dal rapporto tra il tasso medio di incidenti con feriti nel periodo preso in esame ed il tasso medio registrato nel periodo preso in esame.

Il Modello di Martine Vertet e Thierry Brenac ha validità per qualsiasi incrocio tra strade principali (il cui traffico è compreso tra 3000 e 25000 veicoli/giorno) e strade secondarie (con un flusso di traffico compreso tra 500 e 8000 veicoli/giorno). Può anche essere usato, con qualche riserva, per una gamma più ampia di flussi: da 2000 a 40000 veicoli/giorno per la strada con diritto di precedenza e da 0 a 13000 veicoli/giorno per la strada secondaria.

L'aspetto comune a quasi tutti i modelli utilizzati è che sono lineari o possono diventarlo se espressi in forma logaritmica, procedimento spesso attuato per semplificare la valutazione dei parametri.

La funzione di potenza (7.1) è semplice e soddisfa la condizione che nell'origine risulti, per $q = 0$, anche $A = 0$, ma non riesce a descrivere l'andamento della

frequenza incidentale alle alte densità. Infatti se si suppone di analizzare solo gli incidenti che coinvolgono una categoria di veicoli isolata (A_{vi}) per bassi volumi di traffico si può supporre che la frequenza incidentale sia funzione lineare di q . Appena si supera il valore del flusso oltre il quale il singolo motociclo risulta influenzato dagli altri veicoli, non si può più supporre un andamento lineare della funzione $A_{vi} = f(q)$. La logica imporrebbe quindi che vicino all'origine risultasse $\beta = 1$ e che la funzione di performance fosse una linea retta che esce dall'origine, ma tale scelta non sarebbe sicuramente accettabile per alti valori di q . Allo stesso modo se supponiamo che per approssimare al meglio i dati sperimentali deve risultare $\beta = 2$, non sarà possibile ritenere valida la funzione di performance in prossimità dell'origine.

D'altro canto il modello polinomiale (7.2) non soddisfa mai pienamente le condizioni vicino all'origine.

Se il suo vantaggio consiste nel poter incrementare il numero di termini utilizzato (e di conseguenza il numero di parametri da valutare) per modificare a piacimento la forma della funzione, tuttavia a tale libertà di costruzione ne consegue la necessità di aumentare il numero di coefficienti da stimare.

Se i dati suggeriscono che, superato un certo valore della portata, la pendenza della funzione $A(q)$ diminuisce, diventando ad esempio negativa, può essere utile utilizzare un modello diverso che non necessita di molti parametri come il seguente:

$$A = \alpha \cdot q^k \cdot e^{-\beta q} \quad (7.10)$$

A fianco di tali considerazioni assume una notevole importanza il fatto che i modelli fino ad ora analizzati non prendano in considerazione i TWD ed il rischio ad essi associato.

Pertanto, una volta illustrate le principali formulazioni dei modelli analitici atti ad analizzare le funzioni di performance alle intersezioni, si è proceduto con lo studio di una relazione mirata alla sicurezza dei TWD, sulla base di quanto esposto nei capitoli precedenti.

7.3 MODELLO PER MOTOVEICOLI

Negli ultimi sono state avviate una serie di ricerche finalizzate alla determinazione di modelli previsionali specifici per i TWD cercando di individuare i fattori di rischio che più influiscono sull'evento incidentale.

Ad esempio uno studio del 2001 [149] propone un modello lineare (7.12) che considera come variabili il volume di traffico, la larghezza delle corsie e il numero di intersezioni con le strade secondarie.

Il modello utilizzato è il seguente:

$$A = K \cdot Q^a \exp(\sum_j b_j G_j + e) \quad (7.12)$$

Dove:

- A = numero totale di incidenti, che comprendono, quindi, sia i veicoli a quattro che quelli a due ruote;
- Q = TGM;
- exp = esprime la funzione esponenziale per non confonderla con il simbolo "e" che definisce l'errore intrinseco del modello;
- G = caratteristiche geometriche: larghezza corsie numero di intersezioni con l'arteria principale;
- K, a, b = parametri da stimare;
- e = errore intrinseco al modello.

L'analisi condotta riporta come l'incremento del volume di traffico comporti un aumento dell'incidentalità così come è per la riduzione delle dimensioni della corsia di marcia e del numero di accessi presenti.

Anche nel modello sviluppato da Davis [104] e [105], relativo alla collisione fra un pedone ed un veicolo a quattro ruote, emerge come la correlazione fra la probabilità di impatto (direttamente proporzionale alla velocità dei veicoli, alla densità spaziale sulla carreggiata e alla distanza con il punto di conflitto) e la velocità media risulti molto debole rispetto alla correlazione con il volume di traffico.

Inoltre in uno studio del 2002, Quddus [136], analizzando circa 27.500 incidenti accaduti nell'arco di 8 anni nella città di Singapore con il coinvolgimento di motocicli e ciclomotori, ha individuato, fra le 32 prese in considerazione, 10 variabili atte a spiegare il fenomeno incidentale. Tra le variabili ritenute maggiormente significative, quelle che si sono rivelate negative per la frequenza incidentale sono state:

- il TGM;
- il flusso che svolta a destra nelle intersezioni;
- il numero delle fasi nella temporizzazione semaforica;
- la dimensione della banchina spartitraffico;

mentre quelle risultate positive sono state:

- la distanza di visibilità della zona di arresto;
- la distanza dall'intersezione delle fermate del servizio di trasporto pubblico;
- la presenza di corsie di canalizzazione per la svolta a sinistra;
- l'esistenza di corsie di accelerazione per l'immissione;
- la presenza delle telecamere di sorveglianza.

Tuttavia, da quanto emerso dallo studio fin qui condotto, oltre alle caratteristiche geometriche dell'infrastruttura è fondamentale tenere in considerazione il fattore "traffico eterogeneo".

Pertanto è stata focalizzata l'attenzione su una ricerca condotta da R.S. Radin Umar e al. [144] [145] [146], relativa all'analisi della sicurezza dei TWD, alle intersezioni urbane, mediante un modello lineare generalizzato basato su un approccio semi - probabilistico.

È bene sottolineare che alcuni studi [168] [169] sui modelli di incidentalità stradale hanno permesso di dimostrare come l'utilizzo di modelli lineari generalizzati GLM con una struttura dell'errore basata su Poisson o su strutture binomiali negative sia maggiormente adatto, per le caratteristiche intrinseche dell'evento incidentale (es, l'essere discretizzabile, raro e indipendente), dei modelli classici lineari basati su una struttura normale di errore a varianza costante.

Il modello preso in esame è stato realizzato analizzando tutte le tipologie di collisione ricavate dai dati sulla frequenza incidentale fra gli anni 1990-1992 e le caratteristiche di progetto, i dispositivi della regolazione del traffico, i dati sul volume di traffico tratti dal database del Dipartimento di Trasporti della California.

Come si è detto è stato utilizzato l'approccio GLM con una regressione lineare Poissoniana seguita da un modello di regressione binomiale negativo. Il modello è stata stimato mediante il 10% del livello di significatività della t-student dei parametri.

Le variabili assunte sono quelle riportate in tabella 7.1.

Tabella 7.1

| <i>Sigla</i> | <i>Unità misura</i> | <i>Descrizione</i> | <i>Note</i> |
|--------------|-------------------------|---|---|
| QNMm | n°4 ruote/giorno | Flusso non a due ruote sull'arteria principale | |
| QNMn | n°4 ruote/giorno | Flusso non a due ruote sul ramo secondario | |
| QMm | n°2 ruote/giorno | Flusso a due ruote sull'arteria principale | |
| QMn | n°2 ruote/giorno | Flusso a due ruote sul ramo secondario | |
| QPED | n°pedoni/giorno | Flusso pedonale | |
| SPEED | km/h | Velocità approccio arteria principale | |
| LWm | m | Larghezza media corsia arteria principale | |
| LWn | m | Larghezza media corsia ramo secondario | |
| LNm | (corsia/direz.traffico) | Numero di corsie sulla arteria principale | |
| LNn | (corsia/direz.traffico) | Numero di corsie sul ramo secondario | |
| NL | | Numero di braccia | 3 braccia 4 braccia |
| SHDW | m | Larghezza media della banchina sui rami secondario e principale | SHDW = 0.00 $0.00 \leq \text{SHDW} \leq 1.00$ $\text{SHDW} \geq 1.00$ |
| LU | | Destinazione uso | Commerciale Non commerciale |

Il modello analitico ha la seguente espressione:

$$MCA = k_1 \cdot QNMm^{a_1} \cdot QNMn^{a_2} \cdot QMm^{a_3} \cdot QMn^{a_4} \cdot QPED^{a_5} \cdot \exp^z \quad (7.13)$$

dove

$$z = \beta_1 \cdot \text{SPEED} + \beta_2 \cdot \text{LWm} + \beta_3 \cdot \text{LWn} + \beta_4 \cdot \text{LNm} + \beta_5 \cdot \text{LNn} + \beta_6 \cdot \text{NL} + \beta_7 \cdot \text{SHDW} + \beta_8 \cdot \text{LU} + e$$

MCA = il numero di incidenti per anno.

exp = esprime la funzione esponenziale per distinguerla dall'errore intrinseco del modello;

che espresso in termini logaritmici assume l'espressione:

$$\begin{aligned} \ln(MCA) = \ln(k_1) + a_1 \cdot \ln(QNMm) + a_2 \cdot \ln(QNMn) + a_3 \cdot \ln(QMm) + a_4 \cdot \ln(QMn) \\ + a_5 \cdot \ln(QPED) + \beta_1 \cdot \text{SPEED} + \beta_2 \cdot \text{LWm} + \beta_3 \cdot \text{LWn} + \beta_4 \cdot \text{LNm} \\ + \beta_5 \cdot \text{LNn} + \beta_6 \cdot \text{NL} + \beta_7 \cdot \text{SHDW} + \beta_8 \cdot \text{LU} + e \end{aligned} \quad (7.14)$$

7.5 INDIVIDUAZIONE SIGNIFICATIVITA' DEI PARAMETRI

Al modello 7.13 è stata applicata, dagli autori, sia un'analisi multivariata al fine di comprendere quale delle variabili ha una maggiore influenza sulla probabilità degli incidenti fra TWD, sia un'analisi monovariabile per ottenere un quadro completo degli effetti di tutte le variabili sugli incidenti.

Dalla prima si è ottenuto una significatività del 5% di tutti i parametri, mentre dalla seconda si è ricavato che i fattori non significativi al 5% sono il flusso pedonale QPED, la larghezza delle corsie nelle arterie secondarie LNn ed il numero di braccia dell'intersezione NL.

Pertanto i parametri che possono essere considerati nell'analisi dell'incidentalità per i motoveicoli sono i flussi in tutte le arterie, la velocità di approccio (SPEED), la riduzione della larghezza delle corsie (LWm e LWn) e delle banchina pavimentata (SHDW) e la collocazione in zone commerciali (LU).

Per semplicità si riporta di seguito l'analisi della significatività dei parametri principali basata sul modello relativo alla intersezione a quattro braccia semaforizzata.

I risultati riportati sono comunque validi anche per quanto riguarda l'intersezione a tre braccia non semaforizzate.

7.5.1 Flussi

In particolare si è ottenuto che il numero di incidenti per anno è proporzionale al flusso di traffico entrante all'intersezione, appartenente sia ai tronchi principali che secondari (QNMm, QNMn, QMm, e QMn), come indicato dal grafico di figura 7.17.

Ad esempio un raddoppio del flusso di traffico non motorizzato comporta un incremento di circa il 25% degli incidenti. Se tutto il traffico entrante nell'intersezione raddoppiasse si avrebbe un aumento di circa il 45% degli incidenti che coinvolgono motoveicoli.

Si è ottenuto, inoltre, che il flusso non motorizzato entrante nell'intersezione relativo alla strada principale QNMm è la variabile più importante per la probabilità di incidenti.

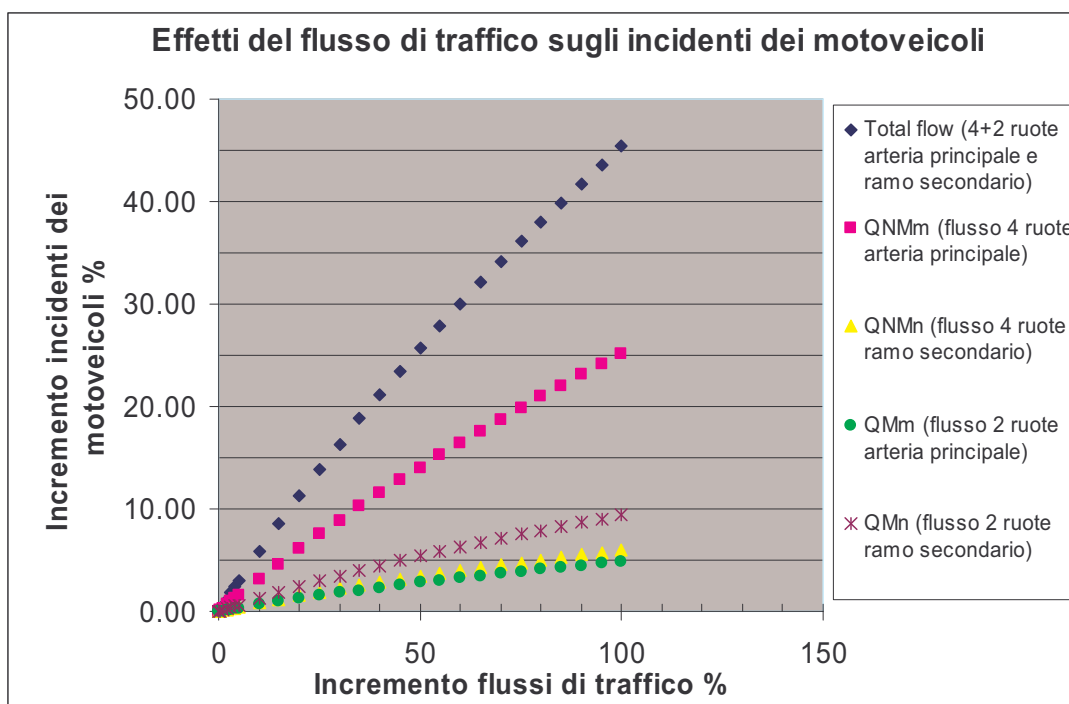


Figura 7.1

7.5.2 Larghezza della banchina

Al fine di analizzare l'influenza del flusso di traffico sull'incidentalità dei TWD è stato preso in considerazione un altro modello, sviluppato sempre in Malaysia dagli stessi ricercatori, che prende assume come variabili solo quelle riportate in tabella 7.33.

Tabella 7.33

| <i>Sigla</i> | <i>Unità misura</i> | <i>Descrizione</i> |
|---------------|---------------------|---|
| Qmajor | veicoli/giorno | Flusso arteria principale |
| Qminor | veicoli/giorno | Flusso ramo secondario |
| SHD | m | Larghezza media banchina dei rami principale e secondario |

Il modello ha la seguente espressione:

$$MCA = k_2 * Q_{major}^{\delta 1} * Q_{major}^{\delta 2} * EXP(\lambda_1 * SHD + e) \quad (7.8)$$

Esprimendo il modello 7.8 in forma logaritmica e assumendo i parametri desunti dalla calibrazione condotta su 51 intersezioni in Malaysia, si ottiene:

$$MCA = \ln(0.0004693) + 0.5948 * \ln(Q_{major}) + 0.2411 * \ln(Q_{minor}) * (-0.0589 * SHD)$$

Da tale modello è possibile verificare l'influenza dell'entità del flusso e della larghezza delle banchine per la valutazione dell'incidentalità dei TWD. Infatti l'aumento del flusso sia nella arteria principale che nel ramo principale è associato all'incremento del numero di incidenti, così come ad un incremento della larghezza delle banchine è associata una riduzione.

Ciò può essere direttamente quantificato mediante il grafico di figura 7.18 che riporta le curve rappresentative, per un incidente l'anno di motoveicoli, del flusso sia nell'arteria principale che nel ramo secondario al variare della larghezza della banchina.

È evidente come all'aumentare della larghezza della banchina il gruppo di curve si allontana dagli assi dimostrando che perché si verifichi la condizione di un incidente l'anno, a parità di flusso nell'arteria principale, il flusso del ramo secondario cresce all'aumentare della larghezza della banchina.

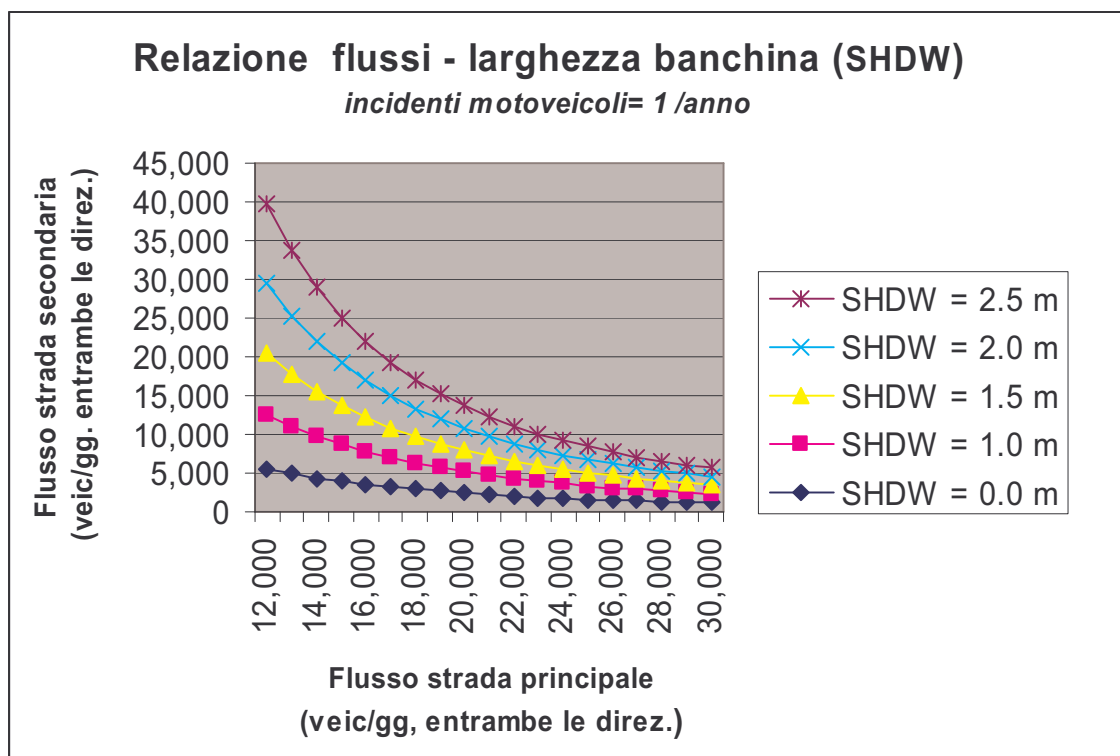


Figura 7.2

7.5.3 Velocità

E' stata condotta un'analisi finalizzata all'individuazione della relazione fra il flusso di traffico e la velocità di approccio. Come si evince dal grafico di figura 7.3 la velocità critica, ossia quella per cui si ha un aumento del numero di incidenti cresce al crescere del flusso Q complessivo di traffico espresso come $Q = Q_M + Q_{NM}$.

Ad esempio perché si abbiano 4 incidenti di motoveicoli all'anno per un flusso pari a Q la velocità deve assumere un valore pari a 105 km/h, per un flusso pari alla metà, $\frac{1}{2} Q$ deve assumere un valore pari a circa 110 km/h mentre per un flusso pari al doppio, $2Q$, basta un valore di velocità pari a 95 km/h.

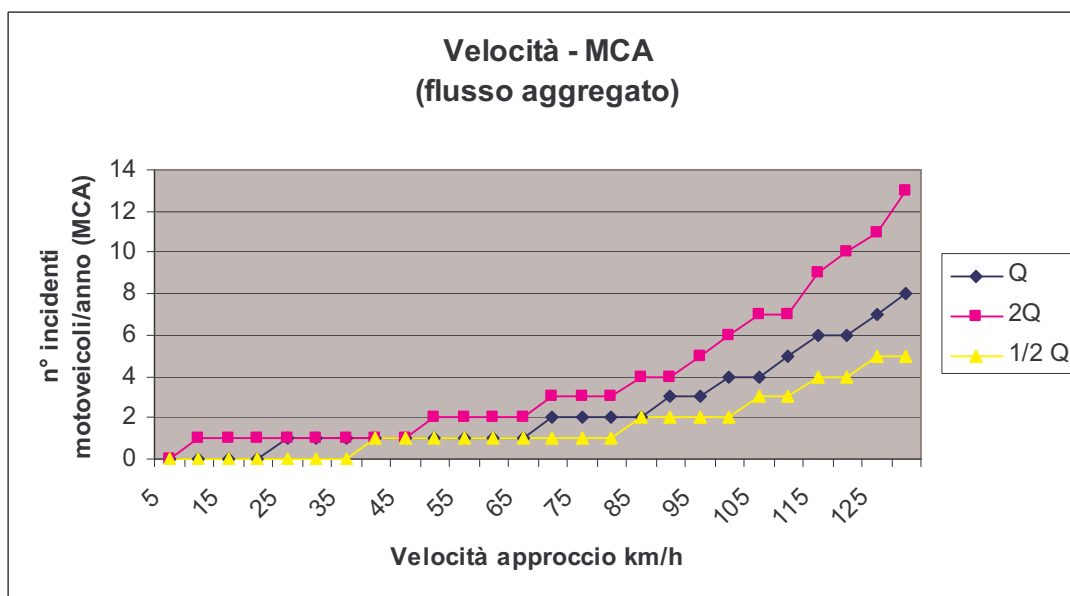


Figura 7.3

Oltre a tale osservazione, facilmente comprensibile, è risultato interessante valutare la relazione fra la velocità di approccio e il rapporto fra il flusso a quattro ruote QNM e quello a due ruote QM sia nell'arteria principale che nel ramo secondario.

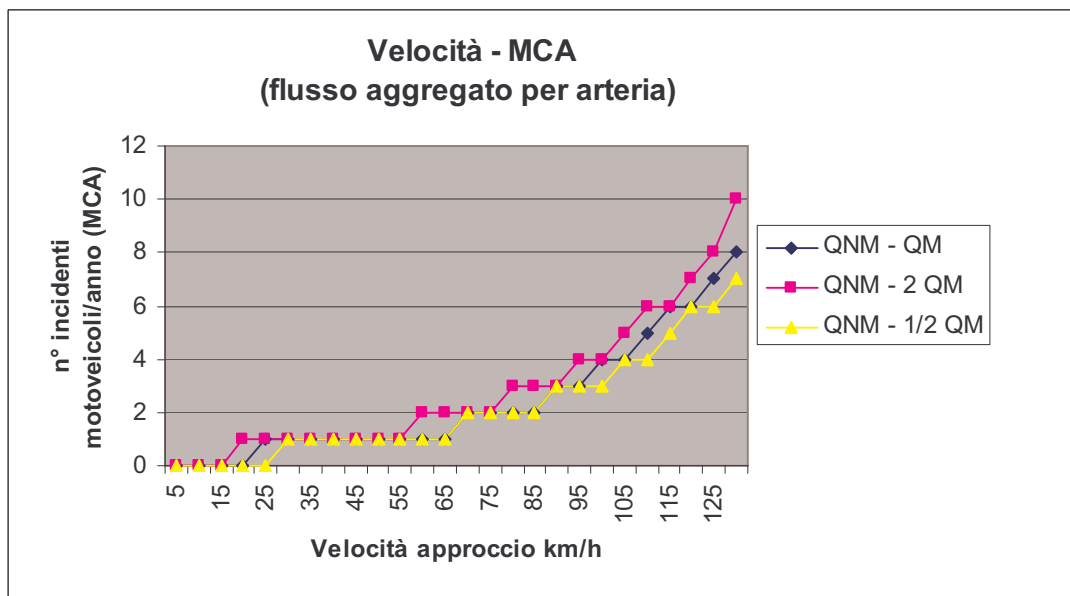


Figura 7.4

Dal grafico di figura 7.4 è evidente come per velocità inferiori ai 115 km/h le curve relative ai flussi di traffico QNM - QM e QNM - $\frac{1}{2} QM$ coincidono, per poi

discostarsi leggermente per velocità superiori, mentre la curva relativa ai flussi QNM - 2QM si discosta dalle altre con l'aumentare della velocità.

Da ciò è possibile dedurre come per basse velocità l'entità del flusso di motoveicoli è irrilevante ai fini dell'incidentalità, mentre assume sempre più rilevanza con l'aumentare della velocità di approccio.

Infine si è ritenuto interessante valutare l'incidentalità sulla base del rapporto fra la velocità di approccio e l'entità del flusso di motoveicoli nella arteria principale e nel ramo secondario.

Si riporta nel grafico di figura 7.5 che rappresenta la relazione fra la variazione del flusso di motoveicoli nell'arteria principale ($\frac{1}{2}$ QMm e 2QMm) a parità di flusso di motoveicoli nel ramo secondario (QMn) e di flusso a quattro ruote in entrambe le arterie, ed il caso opposto di variazione del flusso di motoveicoli nel ramo secondario ($\frac{1}{2}$ QMN e 2QMn) a parità di flusso di motoveicoli nell'arteria principale (QMm) e di flusso a quattro ruote in entrambe le arterie.

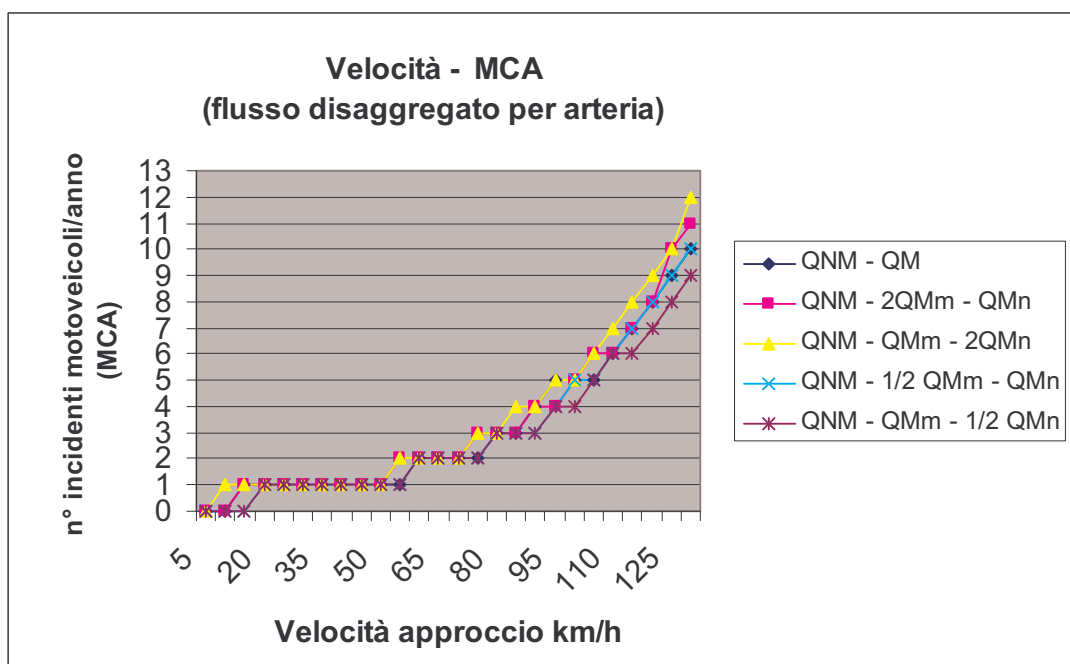


Figura 7.5

Dal grafico di figura 7.4 si evince come per velocità inferiori ai 55 km/h le curve coincidano mentre tendano a discostarsi, anche se di poco per velocità superiori. Pertanto si può concludere che per basse velocità, l'entità del flusso dei TWD non influenza l'incidentalità dell'intersezione, mentre col crescere della velocità di approccio l'incremento del flusso veicolare dei motoveicoli, sia nell'arteria principale che nel ramo secondario influisce negativamente.

7.5.4 Larghezza delle corsie

L'aumento del numero di corsie nella arteria principale incide favorevolmente sulla sicurezza dei TWD, così come la presenza di una corsia dedicata di svolta a destra nella strada principale aiuta a ridurre i tamponamenti.

Nel grafico di figura 7.4 si riporta la relazione fra la larghezza della corsia della arteria principale e del ramo secondario ed il numero di incidenti all'anno che coinvolgono i PTW.

Partendo dal presupposto che il numero di incidenti è fortemente condizionato dall'entità del flusso nei rami che confluiscono all'intersezione, è comunque possibile osservare che a parità di traffico veicolare a una maggiore larghezza delle corsie corrisponde una diminuzione dell'incidentalità. Infatti se si confrontano le curve relative alle larghezze della corsia secondaria pari a 3,75 m ed a 2,00 m si rileva come per larghezza della arteria principali minori di 3,75 si abbia un numero di incidenti minore per il ramo con larghezza maggiore; per corsie della arteria principale pari a 3,75 invece si ha lo stesso numero di incidenti per qualsiasi larghezza del ramo secondario.

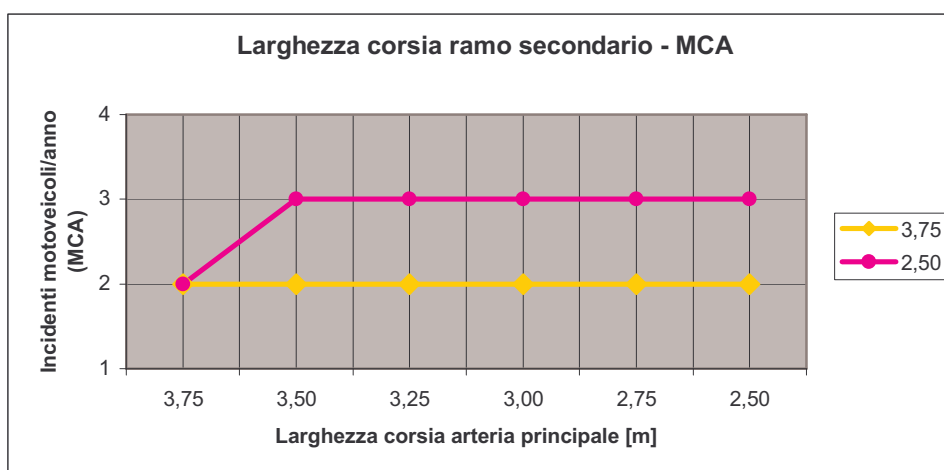


Figura 7.6

Risulta pertanto evidente come anche il numero di corsie che confluiscono all'intersezione influenzi positivamente la sicurezza della stessa.

7.5.5 Numero delle corsie

La frequenza incidentale è scarsamente sensibile al numero di corsie presenti nell'arteria principale. Infatti dal grafico di figura 7.7 si può evincere come il numero di incidenti rimanga costante al variare del numero di corsie, a parità delle altre variabili, fino ad un numero di 4 corsie. Solo se il numero di corsie supera le 5 risulta evidente come, all'aumentare del numero di corsie nell'arteria principale, aumenti, seppure in maniera non lineare, il valore della velocità a cui corrisponde un numero costante di incidenti annuali che coinvolgono i TWD.

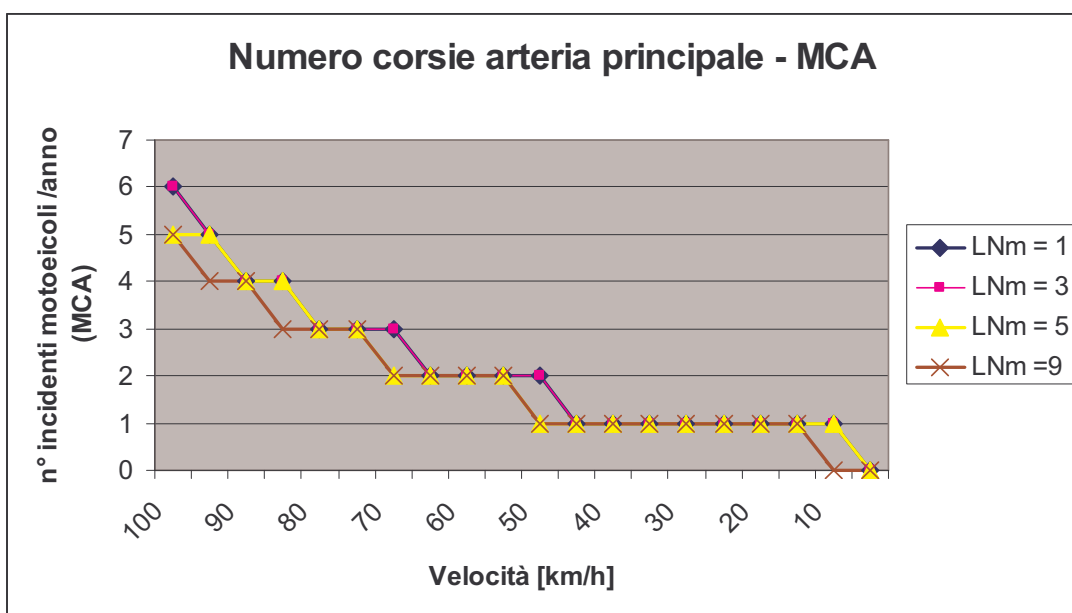


Figura 7.7

Ad esempio, in riferimento al grafico di figura 7.7, si ottiene che un MCA pari a 3 corrisponde, per un numero di corsie pari a 9, una velocità compresa fra i 75 – 85 km/h, mentre per un numero di corsie pari a 3, la velocità deve essere compresa fra i 65 -75 km/h.

7.5.6 Destinazione d'uso

Il grafico di figura 7.8 riporta la relazione fra la variabile “destinazione d'uso” ed il numero di incidenti annuali che coinvolgono TWD per diversi valori di flusso (Q, 2Q, Q/2).

La variabile in esame può assumere valori 1 o 0 che indicano rispettivamente una destinazione commerciale o non commerciale.

Come si deduce dal grafico di figura 7.8, in analogia con il parametro “numero di corsie”, il numero di incidenti che coinvolgono motoveicoli non risulta molto sensibile alla variabile “destinazione d'uso”, per quanto dall'analisi monovariabile abbia dimostrato una significatività del 5%.

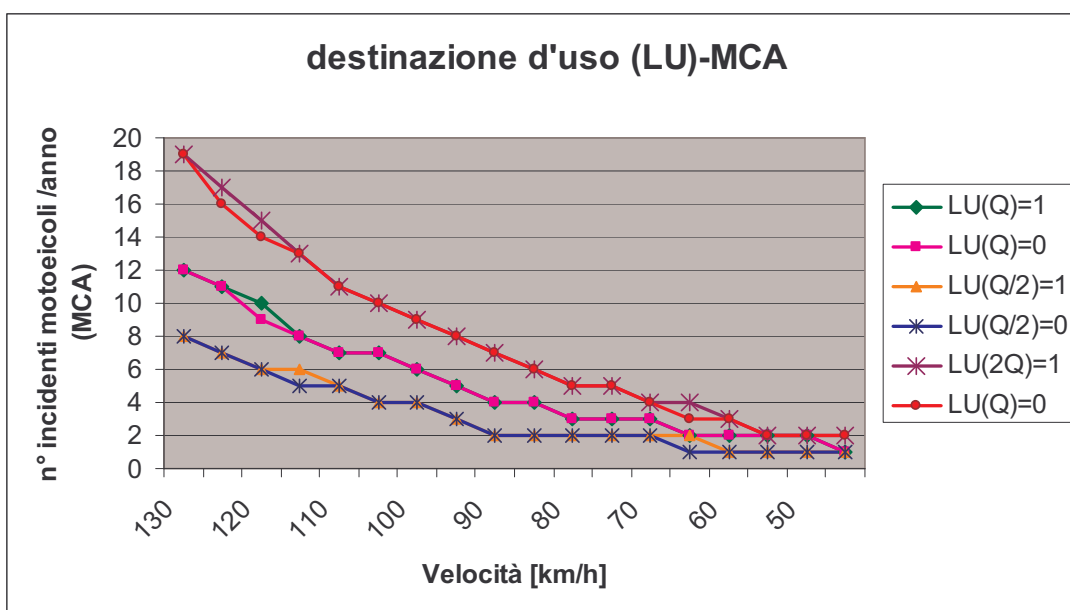


Figura 7.8

Di seguito si analizzano due applicazioni di tale modello a due diverse tipologie di intersezione, quella semaforizzata a quattro braccia e quella non semaforizzata a tre braccia.

7.4 APPLICAZIONE DEL MODELLO A DUE INTERSEZIONI URBANE

È stata condotta un'applicazione del modello espresso dalla formula 7.14 a due intersezioni (intersezione 1 e intersezione 2) urbane ubicate a Bondeno, in Provincia di Ferrara, figura 7.9.



Figura 7.9

L'intersezione 1 è semaforizzata a 4 braccia ed in essa confluiscono i seguenti rami (tabella 7.2 e figura 7.3).

Tabella 7.2

| | |
|----------------------------|--------------------|
| | |
| <i>Via Virgiliana Sud</i> | Arteria principale |
| <i>Via Virgiliana Nord</i> | Arteria principale |
| <i>Via Vittorio Veneto</i> | Ramo secondario |
| <i>Via XX Settembre</i> | Ramo secondario |

L'intersezione 2" è a T, non semaforizzata, e in essa confluiscono i rami riportati in tabella 7.3 ed in figura 7.10.

Tabella 7.3

| | |
|----------------------------|--------------------|
| <i>Via Pironi</i> | Ramo secondario |
| <i>Via Virgiliana Nord</i> | Arteria principale |
| <i>Via Virgiliana Sud</i> | Arteria principale |

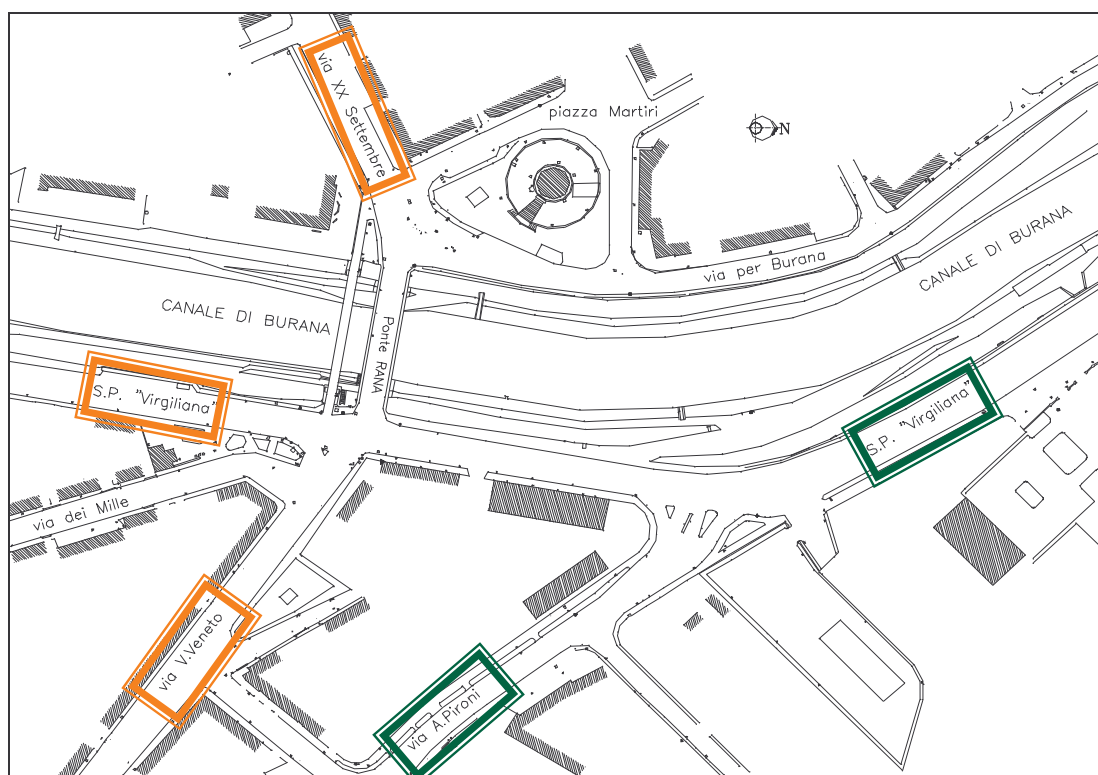


Figura 7.10

La SP 96 "Virgiliana" è situata sull'argine Est del Canale di Burana ed ha una larghezza di 7÷8 m a due corsie, una per ogni senso di marcia, che diventano tre in corrispondenza del semaforo per permettere la svolta a sinistra.

Essa è una strada di notevole rilevanza nello scenario di mobilità fra l'area ferrarese e quella lombarda, in quanto collega Ferrara con Mantova (figure 7.11 e 7.12). Il traffico è quindi intenso e risulta costituito da quello di transito, nel quale è importante la componente dei veicoli pesanti, e da quello urbano a servizio della città.

Il Piano Generale del traffico Urbano la definisce come "viabilità di attraversamento".



Figura 7.11



Figura 7.12

Via Vittorio Veneto è posizionata nel quadrante Est rispetto al Canale di Burana, collega la parte Ovest della città col centro (figura 7.13). E' quindi la strada più importante nel sistema di mobilità urbana.

È definita dal Piano Generale del Traffico Urbano come “viabilità di penetrazione”. Essa si compone di due corsie, una per senso di marcia, più una corsia al centro per la svolta a sinistra. Inoltre presenta un'ampia corsia ciclabile sul lato Sud e la possibilità di parcheggio in parallelo su entrambi i lati in zona sufficientemente lontana dal ponte.



Figura 7.13

La Via XX Settembre costituisce la strada principale ad Ovest del Canale di Burana. Tale via completa l'itinerario della Via Vittorio Veneto con andamento Est - Ovest. La strada ha buone caratteristiche di percorribilità con una corsia per senso di marcia. Dove la strada si avvicina al ponte Rana, in sinistra si ha un giardinetto che contiene il serbatoio dell'acquedotto. Ad Ovest del giardinetto, in senso unico, si diparte una strada che porta in Piazza Martiri. Tutta la viabilità di questa zona è servita da piste ciclabili che, comunque, non sempre hanno sede bene individuata e continua (figura 7.14). Essa è definita dal Piano Generale del Traffico Urbano come "viabilità di attraversamento".



Figura 7.14

Via Pironi attraversa tutto il centro storico con andamento parallelo a Via Veneto e recapita sulla S.P. "Virgiliana" a circa 100 m dal ponte Rana, verso Nord (figura 7.15).

Essa, definita dal Piano Generale del Traffico Urbano come "viabilità di penetrazione", rappresenta una strada di rilevante importanza nella mobilità del centro storico con evidenti ricadute sulla circolazione della *intersezione 1*.



Figura 7.15

7.4.1 Studio dei flussi di traffico

Ai fini dell'applicazione del modello alle 2 intersezioni individuate è risultato necessario un rilievo dei flussi di traffico sia a quattro ruote (QNM) che a due ruote (QM) sui rami che in essa confluiscono.

Pertanto nel mese di ottobre 2006 è stata condotta una campagna di misure con conta traffico relativa al numero e alla tipologia di veicoli transitanti per le strade di accesso ed uscita dell'area. Inoltre è stata effettuata una registrazione video di un giorno per determinare i percorsi seguiti dai singoli veicoli all'interno del nodo viario.

7.4.1.1 Installazione dei conta traffico

I contatraffico sono stati collocati sui pali della segnaletica a lato della sede viaria ad un'altezza superiore al metro rispetto al piano della strada ed orientati con un angolo di 45° sull'orizzontale ed un angolo variabile tra 30° e 90° sulla verticale.

In tabella 7.4 ed in figura 7.16 è indicata l'ubicazione delle misure effettuate per il rilievo del traffico.



Figura 7.16

Tabella 7.4

| Via di Riferimento | Punto Conta Traffico |
|----------------------------|----------------------|
| <i>Viale XX Settembre</i> | CT01 |
| <i>Via Virgiliana Nord</i> | CT02 |
| <i>Via Pironi</i> | CT03 |
| <i>Via Veneto</i> | CT04 |
| <i>Via Virgiliana Sud</i> | CT05 |

È stato connesso il conta traffico al palmare e si è proceduto all'inserimento del valore dell'altezza dello strumento, misurata dal piano della strada, e delle distanze fra lo strumento le linee di mezzzeria delle singole corsie. In tale fase il programma di gestione ha fornito l'inclinazione da dare allo strumento.

Variando i parametri, si sono potuti ottenere risultati accurati relativi alla velocità di transito ed alla lunghezza dei veicoli.

Al termine delle misure, mediante apposito software, i dati sono stati scaricati sul palmare.

Ct 01

Il conta traffico è stato installato su Via XX Settembre per misurare il numero di veicoli in avvicinamento ed allontanamento dall'incrocio con Via Virgiliana e Vittorio Veneto (figura 7.17).



Figura 7.17

Ct 02

Il conta traffico è stato installato su Via Virgiliana per misurare il numero di veicoli in avvicinamento ed allontanamento dall'incrocio con Via Pironi (figura 7.18).



Figura 7.18

Ct 03

Il conta traffico è stato installato su Via Pironi per misurare il numero di veicoli in avvicinamento ed allontanamento dall'incrocio con Via Virgiliana (figura 7.19).



Figura 7.19

Ct 04

Il conta traffico è stato installato su Via Vittorio Veneto per misurare il numero di veicoli in avvicinamento ed allontanamento dall'incrocio con Via Virgiliana e il ponte Rana (figura 7.20).



Figura 7.20

Ct 05

Il conta traffico è stato installato su Via Virgiliana per misurare il numero di veicoli in avvicinamento ed allontanamento dall'incrocio con Via Vittorio Veneto e il Ponte Rana (figura 7.21).



Figura 7.21

7.4.1.2 Installazione Telecamere

Le telecamere sono state installate sul balcone in via XX Settembre ed hanno ripreso 48 ore di transiti veicolari nel giorno 11 ottobre; in particolare, la telecamera in bianco e nero è stata diretta verso l'incrocio tra Via Virgiliana e Via Pironi, mentre quella a colori verso l'incrocio tra Via Virgiliana, Viale XX Settembre e Via Veneto (figura 7.22).



Figura 7.22

Al fine di documentare in dettaglio il percorso seguito dai veicoli transitanti gli incroci, dai dati dei conta traffico sono stati stabiliti gli orari di maggior afflusso di mezzi (7.00 - 12.00 e 15.00 - 19.00) ed attraverso le immagini video, negli stessi orari, sono state verificate le direzioni di provenienza e di destinazione dei veicoli.

Nella tabella 7.5 si riporta schematicamente una sintesi dei parametri registrati in base alle finalità del monitoraggio ed alla tipologia di misura.

Tabella 7.5 - Elenco dei Parametri di traffico

| Parametri | Tempo di acquisizione | Unità di misura |
|----------------------|------------------------------|------------------------|
| Corsia di transito | 1 settimana | numero |
| Numero mezzi totali | 1 settimana | numero |
| Velocità media | 1 settimana | km/h |
| Numero mezzi leggeri | 1 settimana | numero |
| Numero mezzi pesanti | 1 settimana | numero |

La definizione dei parametri temporali adottati è coerente con quanto prescritto dal D.Lgs 19/08/2005 n. 194 Art.2 comma 1 paragrafi da *i* a *n*.

7.4.1.3 Presentazione dati di traffico

Di seguito si riportano i dati riassuntivi dei Traffici Giornalieri Medi (TGM) per i vari rami della viabilità di entrambe le intersezioni (figura 7.23) che comprendono:

- I TGM medi nella settimana e per ciascun giorno di rilievo;
- I TGM medi nella settimana e per ciascun giorno di rilievo per i veicoli a 2 ruote;
- I TGM medi nella settimana e per ciascun giorno di rilievo per i veicoli a 4 ruote leggeri;
- I TGM medi nella settimana e per ciascun giorno di rilievo per i veicoli pesanti;
- I TGM medi nella settimana e per ciascun giorno di rilievo per i velocipedi.

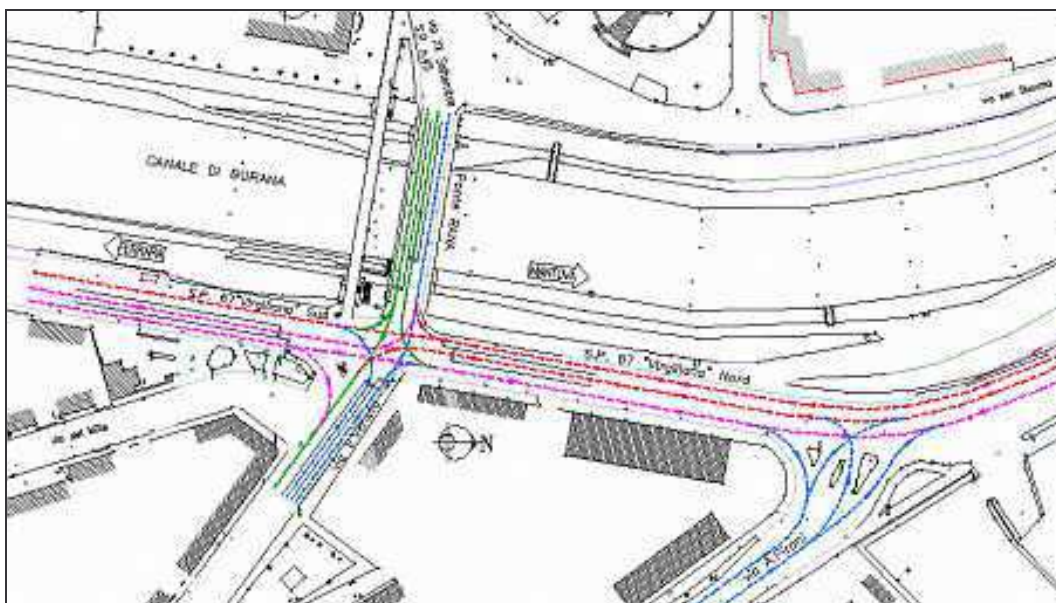


Figura 7.23

Di seguito si riportano i dati di traffico relativi sia all'intresezione 1 (Viale XX Settembre, Via Veneto, Via Virgiliana Nord e Sud,) sia all'intersezione 2 (Via Pironi e Via Virgiliana Nord e Sud).

Nelle tabelle 7.11 – 7.16 si riportano i conteggi disaggregati relativi alle direzioni seguite da tutti i veicoli.

Intersezione 1

Viale XX Settembre

Tabella 7.6







| | | CT-01 – V.le XX Settembre | | | | CT-01 – V.le XX Settembre | | | |
|-----------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------|-------------|------------------------|---------------------------|-------------|-----------------|--|
| | | Corsia 1 – EST Entrante | | | Corsia 2 OVEST Uscente | | | | |
| h | INGRESSO XX SETTEMBRE | | | | USCITA XX SETTEMBRE | | | | |
| | TOT | N | S | E | N | S | E | TOT | |
| 7 | 185 | 59 | 80 | 46 | 176 | 92 | 67 | 335 | |
| 8 | 123 | 45 | 55 | 23 | 192 | 147 | 145 | 484 | |
| 9 | 110 | 41 | 46 | 23 | 116 | 132 | 148 | 396 | |
| 10 | 164 | 58 | 74 | 32 | 18 | 106 | 178 | 302 | |
| 11 | 124 | 45 | 57 | 22 | 113 | 120 | 136 | 369 | |
| 15 | 72 | 30 | 17 | 25 | 194 | 135 | 71 | 400 | |
| 16 | 186 | 56 | 49 | 81 | 153 | 180 | 184 | 517 | |
| 17 | 365 | 116 | 101 | 148 | 219 | 206 | 206 | 631 | |
| 18 | 387 | 139 | 124 | 124 | 199 | 235 | 320 | 754 | |
| TGM | 3761 | 1291 | 1322 | 1148 | 1737 | 1703 | 1832 | 5272 | |
| Velocità media [km/h] | <i>notturno</i> | 41.8 | | | 18.9 | | | <i>notturno</i> | |
| | <i>serale</i> | 29.6 | | | 16.8 | | | <i>serale</i> | |
| | <i>diurno</i> | 33.6 | | | 18.8 | | | <i>diurno</i> | |

Tabella 7.7

| Veicoli leggeri | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------|-----------|----------|--------|---------------------|-----------|----------|--------|
| h | INGRESSO XX SETTEMBRE | | | | USCITA XX SETTEMBRE | | | |
| | TOT | N | S | E | TOT | N | S | E |
| | | Virg Nord | Virg Sud | Veneto | | Virg Nord | Virg Sud | Veneto |
| 7 | 177 | 54 | 79 | 44 | 267 | 168 | 77 | 22 |
| 8 | 88 | 28 | 37 | 23 | 428 | 182 | 125 | 121 |
| 9 | 97 | 35 | 44 | 18 | 343 | 108 | 121 | 114 |
| 10 | 138 | 47 | 63 | 28 | 219 | 4 | 86 | 129 |
| 11 | 104 | 35 | 51 | 18 | 290 | 95 | 104 | 91 |
| 15 | 51 | 21 | 11 | 19 | 336 | 178 | 116 | 42 |
| 16 | 154 | 49 | 43 | 62 | 465 | 147 | 177 | 141 |
| 17 | 290 | 104 | 87 | 99 | 550 | 202 | 187 | 161 |
| 18 | 342 | 120 | 119 | 103 | 677 | 185 | 224 | 268 |
| Media | 160.1 | 54.8 | 59.3 | 46.0 | 397.2 | 141.0 | 135.2 | 121.0 |
| Veicoli pesanti | | | | | | | | |
| h | INGRESSO XX SETTEMBRE | | | | USCITA XX SETTEMBRE | | | |
| | TOT | N | S | E | TOT | N | S | E |
| | | Virg Nord | Virg Sud | Veneto | | Virg Nord | Virg Sud | Veneto |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 49 | 5 | 14 | 30 |
| 8 | 32 | 16 | 16 | 0 | 27 | 10 | 17 | 0 |
| 9 | 7 | 4 | 1 | 2 | 19 | 7 | 6 | 6 |
| 10 | 19 | 9 | 7 | 3 | 34 | 10 | 17 | 7 |
| 11 | 15 | 8 | 4 | 3 | 32 | 17 | 11 | 4 |
| 15 | 7 | 3 | 3 | 1 | 32 | 15 | 16 | 1 |
| 16 | 9 | 4 | 4 | 1 | 17 | 6 | 2 | 9 |
| 17 | 14 | 6 | 8 | 0 | 24 | 11 | 13 | 0 |
| 18 | 18 | 13 | 3 | 2 | 35 | 14 | 11 | 10 |
| Media | 13.4 | 7.0 | 5.1 | 1.3 | 29.9 | 10.6 | 11.9 | 7.4 |
| Motoveicoli | | | | | | | | |
| h | INGRESSO XX SETTEMBRE | | | | USCITA XX SETTEMBRE | | | |
| | TOT | N | S | E | TOT | N | S | E |
| | | Virg Nord | Virg Sud | Veneto | | Virg Nord | Virg Sud | Veneto |
| 7 | 8 | 5 | 1 | 2 | 19 | 3 | 1 | 15 |
| 8 | 3 | 1 | 2 | 0 | 29 | 0 | 5 | 24 |
| 9 | 6 | 2 | 1 | 3 | 34 | 1 | 5 | 28 |
| 10 | 7 | 2 | 4 | 1 | 49 | 4 | 3 | 42 |
| 11 | 5 | 2 | 2 | 1 | 47 | 1 | 5 | 41 |
| 15 | 14 | 6 | 3 | 5 | 32 | 1 | 3 | 28 |
| 16 | 23 | 3 | 2 | 18 | 35 | 0 | 1 | 34 |
| 17 | 61 | 6 | 6 | 49 | 57 | 6 | 6 | 45 |
| 18 | 27 | 6 | 2 | 19 | 42 | 0 | 0 | 42 |
| Media | 17.1 | 3.7 | 2.6 | 10.9 | 38.2 | 1.8 | 3.2 | 33.2 |
| Velocipedi | | | | | | | | |
| h | INGRESSO XX SETTEMBRE | | | | USCITA XX SETTEMBRE | | | |
| | TOT | N | S | E | TOT | N | S | E |
| | | Virg Nord | Virg Sud | Veneto | | Virg Nord | Virg Sud | Veneto |
| 7 | 56 | 6 | 3 | 47 | 59 | 4 | 0 | 55 |
| 8 | 89 | 8 | 0 | 81 | 89 | 15 | 0 | 74 |

| | | | | | | | | |
|--------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|
| 9 | 79 | 16 | 4 | 59 | 89 | 3 | 5 | 81 |
| 10 | 66 | 25 | 34 | 7 | 69 | 11 | 3 | 55 |
| 11 | 46 | 21 | 16 | 9 | 36 | 1 | 5 | 30 |
| 15 | 35 | 14 | 8 | 13 | 41 | 2 | 3 | 36 |
| 16 | 90 | 9 | 9 | 72 | 60 | 0 | 1 | 59 |
| 17 | 98 | 10 | 0 | 88 | 78 | 9 | 6 | 63 |
| 18 | 72 | 17 | 5 | 50 | 53 | 0 | 0 | 53 |
| Media | 70.1 | 14.0 | 8.8 | 47.3 | 63.8 | 5.0 | 2.6 | 56.2 |

Tabella 7.8

| | Viale XX Settembre | | | | | | | | |
|---------------|--------------------|---|---|---|---|---|---|------|----------------|
| | 3831 | TGM entrante: 3831 veic/gg | | | TGM uscente: 5336 veic/gg | | | 5336 | |
| | | Virg Sud | Veneto | Virg Nord | Virg Sud | Veneto | Virg Nord | | |
| | |  S |  E |  N |  S |  E |  N | | |
| Veic. Leggeri | 3158 | 1170 | 907 | 1081 | 1532 | 1371 | 1597 | 4500 | Veic. Leggeri |
| Veic. Pesanti | 265 | 101 | 26 | 138 | 135 | 84 | 120 | 339 | Veic.i Pesanti |
| Motoveicoli | 338 | 50 | 215 | 72 | 37 | 376 | 20 | 433 | Motoveicoli |
| Velocipedi | 70 | 9 | 47 | 14 | 3 | 56 | 5 | 64 | Velocipedi |

Via Vittorio Veneto

Tabella 7.9







| H | CT-04 - Via Veneto | | | | CT-04 - Via Veneto | | | |
|-----------------------|---------------------------|-------------|-------------|--------------|------------------------|-------------|-------------|-----------------|
| | Corsia 1 - OVEST ENTRANTE | | | | Corsia 2 - EST USCENTE | | | |
| | INGRESSO VENETO | | | | USCITA VENETO | | | |
| | TOT | N | S | O | N | S | O | TOT |
| 7 | 176 | 19 | 90 | 67 | 24 | 114 | 46 | 184 |
| 8 | 299 | 23 | 131 | 145 | 13 | 18 | 23 | 54 |
| 9 | 272 | 17 | 107 | 148 | 51 | 9 | 23 | 83 |
| 10 | 305 | 22 | 105 | 178 | 141 | 35 | 32 | 208 |
| 11 | 282 | 29 | 117 | 136 | 51 | 46 | 22 | 119 |
| 15 | 92 | 3 | 18 | 71 | 36 | 50 | 25 | 111 |
| 16 | 291 | 24 | 83 | 184 | 45 | 38 | 81 | 164 |
| 17 | 319 | 29 | 84 | 206 | 23 | 132 | 148 | 303 |
| 18 | 455 | 21 | 114 | 320 | 15 | 41 | 124 | 180 |
| Media | 276.8 | 20.8 | 94.3 | 161.7 | 44.3 | 53.7 | 58.2 | 156.2 |
| TGM | 4684 | 3512 | 1596 | 2736 | 1242 | 1502 | 1630 | 4374 |
| Velocità media [km/h] | <i>notturmo</i> | 22.8 | | | 29.3 | | | <i>notturmo</i> |
| | <i>serale</i> | 19.9 | | | 22.6 | | | <i>serale</i> |
| | <i>diurno</i> | 20.9 | | | 24.4 | | | <i>diurno</i> |

Tabella 7.10

| Veicoli leggeri | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------|-----------|----------|---------|---------------|-----------|----------|---------|
| h | INGRESSO VENETO | | | | USCITA VENETO | | | |
| | TOT | N | S | O | TOT | N | S | O |
| | | Virg Nord | Virg Sud | XX Sett | | Virg Nord | Virg Sud | XX Sett |
| 7 | 109 | 11 | 76 | 22 | 169 | 22 | 103 | 44 |
| 8 | 252 | 23 | 108 | 121 | 50 | 11 | 16 | 23 |
| 9 | 219 | 13 | 92 | 114 | 72 | 51 | 3 | 18 |
| 10 | 222 | 15 | 78 | 129 | 193 | 137 | 28 | 28 |
| 11 | 217 | 26 | 100 | 91 | 100 | 44 | 38 | 18 |
| 15 | 59 | 2 | 15 | 42 | 88 | 28 | 41 | 19 |
| 16 | 236 | 24 | 71 | 141 | 132 | 39 | 31 | 62 |
| 17 | 260 | 29 | 70 | 161 | 254 | 23 | 132 | 99 |
| 18 | 389 | 16 | 105 | 268 | 145 | 11 | 31 | 103 |
| Media | 218.1 | 17.7 | 79.4 | 121.0 | 133.7 | 40.7 | 47.0 | 46.0 |
| Veicoli pesanti | | | | | | | | |
| h | INGRESSO VENETO | | | | USCITA VENETO | | | |
| | TOT | N | S | O | TOT | N | S | O |
| | | Virg Nord | Virg Sud | XX Sett | | Virg Nord | Virg Sud | XX Sett |
| 7 | 46 | 8 | 8 | 30 | 13 | 2 | 11 | 0 |
| 8 | 23 | 0 | 23 | 0 | 3 | 1 | 2 | 0 |
| 9 | 21 | 2 | 13 | 6 | 8 | 0 | 6 | 2 |
| 10 | 27 | 3 | 17 | 7 | 13 | 3 | 7 | 3 |
| 11 | 14 | 1 | 9 | 4 | 12 | 2 | 7 | 3 |
| 15 | 5 | 1 | 3 | 1 | 14 | 6 | 7 | 1 |
| 16 | 21 | 0 | 12 | 9 | 3 | 0 | 2 | 1 |
| 17 | 14 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 20 | 5 | 5 | 10 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| Media | 21.2 | 2.2 | 11.6 | 7.4 | 7.6 | 1.6 | 4.7 | 1.3 |
| Motoveicoli | | | | | | | | |
| h | INGRESSO VENETO | | | | USCITA VENETO | | | |
| | TOT | N | S | O | TOT | N | S | O |
| | | Virg Nord | Virg Sud | XX Sett | | Virg Nord | Virg Sud | XX Sett |
| 7 | 21 | 0 | 6 | 15 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 8 | 24 | 0 | 0 | 24 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 9 | 32 | 2 | 2 | 28 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| 10 | 56 | 4 | 10 | 42 | 2 | 1 | 0 | 1 |
| 11 | 51 | 2 | 8 | 41 | 7 | 5 | 1 | 1 |
| 15 | 28 | 0 | 0 | 28 | 9 | 2 | 2 | 5 |
| 16 | 34 | 0 | 0 | 34 | 29 | 6 | 5 | 18 |
| 17 | 45 | 0 | 0 | 45 | 49 | 0 | 0 | 49 |
| 18 | 46 | 0 | 4 | 42 | 33 | 4 | 10 | 19 |
| Media | 37.4 | 0.9 | 3.3 | 33.2 | 15.0 | 2.1 | 2.0 | 10.9 |
| Velocipedi | | | | | | | | |
| h | INGRESSO VENETO | | | | USCITA VENETO | | | |
| | TOT | N | S | O | TOT | N | S | O |
| | | Virg Nord | Virg Sud | XX Sett | | Virg Nord | Virg Sud | XX Sett |

| | | | | | | | | |
|--------------|-------------|------------|----------|-------------|-------------|----------|----------|-----------|
| 7 | 60 | 3 | 2 | 55 | 52 | 5 | 0 | 47 |
| 8 | 74 | 0 | 0 | 74 | 81 | 0 | 0 | 81 |
| 9 | 89 | 4 | 4 | 81 | 69 | 10 | 0 | 59 |
| 10 | 73 | 6 | 12 | 55 | 9 | 2 | 0 | 7 |
| 11 | 37 | 1 | 6 | 30 | 15 | 5 | 1 | 9 |
| 15 | 36 | 0 | 0 | 36 | 24 | 9 | 2 | 13 |
| 16 | 59 | 0 | 0 | 59 | 88 | 11 | 5 | 72 |
| 17 | 63 | 0 | 0 | 63 | 88 | 0 | 0 | 88 |
| 18 | 58 | 0 | 5 | 53 | 64 | 4 | 10 | 50 |
| Media | 61.0 | 1.6 | 3 | 56.2 | 54.4 | 5 | 2 | 47 |

Tabella 7.11

| | Via Veneto | | | | | | | | | |
|----------------|------------|---|--|--|------|---|--|--|---------------|------|
| | 4745 | TGM entrante: 4754 veic/gg | | | | TGM uscente: 4428 veic/gg | | | | 4428 |
| | | Virg Sud  S | XX Sett  O | Virg Nord  N | | Virg Sud  S | XX Sett  O | Virg Nord  N | | |
| Veic. Leggeri | 3691 | 1344 | 2048 | 299 | 1316 | 1288 | 1139 | 3742 | Veic. Leggeri | |
| Veic.i Pesanti | 359 | 196 | 126 | 38 | 131 | 37 | 44 | 212 | Veic. Pesanti | |
| Motoveicoli | 634 | 56 | 562 | 15 | 56 | 305 | 59 | 420 | Motoveicoli | |
| Velocipedi | 61 | 3 | 56 | 2 | 2 | 47 | 5 | 54 | Velocipedi | |

Via Virgiliana Sud

Tabella 7.12







| H | CT-05 - Via Virgiliana SUD Corsia 1 - NORD Entrante | | | | CT-05 - Via Virgiliana SUD Corsia 2 -SUD Uscente | | | |
|-----------------------|--|--------------|--------------|-------------|---|--------------|-------------|-----------------|
| | INGRESSO VIRGILIANA SUD | | | | USCITA VIRGILIANA SUD | | | |
| | TOT | N | O | E | E | N | O | TOT |
| 7 | 334 | 128 | 92 | 114 | 90 | 388 | 80 | 558 |
| 8 | 381 | 216 | 147 | 18 | 131 | 405 | 55 | 591 |
| 9 | 345 | 204 | 132 | 9 | 107 | 379 | 46 | 532 |
| 10 | 311 | 170 | 106 | 35 | 105 | 309 | 74 | 488 |
| 11 | 380 | 214 | 120 | 46 | 117 | 292 | 57 | 466 |
| 15 | 317 | 132 | 135 | 50 | 18 | 179 | 17 | 214 |
| 16 | 383 | 165 | 180 | 38 | 83 | 201 | 49 | 333 |
| 17 | 516 | 178 | 206 | 132 | 84 | 262 | 101 | 447 |
| 18 | 504 | 228 | 235 | 41 | 114 | 197 | 125 | 436 |
| Media | 385.7 | 181.7 | 150.3 | 53.7 | 94.3 | 290.2 | 67.1 | 451.7 |
| TGM | 5665 | 2668 | 2208 | 788 | 1079 | 3321 | 767 | 5167 |
| Velocità media [km/h] | <i>notturno</i> | 57.9 | | | 55.7 | | | <i>notturno</i> |
| | <i>serale</i> | 50.3 | | | 49.5 | | | <i>serale</i> |
| | <i>diurno</i> | 53.5 | | | 54.0 | | | <i>diurno</i> |

Tabella 7.13

| Veicoli leggeri | | | | | | | | |
|-----------------|-------|-------------------------|---------|--------|-----------------------|--------|-----------|---------|
| h | | INGRESSO VIRGILIANA SUD | | | USCITA VIRGILIANA SUD | | | |
| | TOT | N | O | E | TOT | E | N | O |
| | | Virg Nord | XX Sett | Veneto | | Veneto | Virg Nord | XX Sett |
| 7 | 257 | 77 | 77 | 103 | 508 | 76 | 353 | 80 |
| 8 | 313 | 172 | 125 | 16 | 521 | 108 | 376 | 37 |
| 9 | 274 | 150 | 121 | 3 | 490 | 92 | 354 | 44 |
| 10 | 241 | 127 | 86 | 28 | 416 | 78 | 275 | 63 |
| 11 | 315 | 173 | 104 | 38 | 408 | 100 | 257 | 51 |
| 15 | 257 | 100 | 116 | 41 | 175 | 15 | 149 | 11 |
| 16 | 347 | 139 | 177 | 31 | 286 | 71 | 172 | 43 |
| 17 | 456 | 137 | 187 | 132 | 391 | 70 | 234 | 87 |
| 18 | 448 | 193 | 224 | 31 | 392 | 105 | 167 | 120 |
| Media | 323.1 | 140.9 | 135.2 | 47.0 | 398.6 | 79.4 | 259.7 | 59.6 |
| Veicoli pesanti | | | | | | | | |
| h | | INGRESSO VIRGILIANA SUD | | | USCITA VIRGILIANA SUD | | | |
| | TOT | N | O | E | TOT | E | N | O |
| | | Virg Nord | XX Sett | Veneto | | Veneto | Virg Nord | XX Sett |
| 7 | 71 | 46 | 14 | 11 | 42 | 8 | 34 | 0 |
| 8 | 63 | 44 | 17 | 2 | 64 | 23 | 25 | 16 |
| 9 | 63 | 51 | 6 | 6 | 36 | 13 | 22 | 1 |
| 10 | 64 | 40 | 17 | 7 | 58 | 17 | 34 | 7 |
| 11 | 56 | 38 | 11 | 7 | 48 | 9 | 35 | 4 |
| 15 | 52 | 29 | 16 | 7 | 34 | 3 | 28 | 3 |
| 16 | 26 | 22 | 2 | 2 | 43 | 12 | 27 | 4 |
| 17 | 53 | 40 | 13 | 0 | 48 | 14 | 26 | 8 |
| 18 | 44 | 33 | 11 | 0 | 37 | 5 | 29 | 3 |
| Media | 54.7 | 38.1 | 11.9 | 4.7 | 45.6 | 11.6 | 28.9 | 5.1 |
| Motoveicoli | | | | | | | | |
| h | | INGRESSO VIRGILIANA SUD | | | USCITA VIRGILIANA SUD | | | |
| | TOT | N | O | E | TOT | E | N | O |
| | | Virg Nord | XX Sett | Veneto | | Veneto | Virg Nord | XX Sett |
| 7 | 6 | 5 | 1 | 0 | 8 | 6 | 1 | 1 |
| 8 | 5 | 0 | 5 | 0 | 6 | 0 | 4 | 2 |
| 9 | 8 | 3 | 5 | 0 | 6 | 2 | 3 | 1 |
| 10 | 6 | 3 | 3 | 0 | 14 | 10 | 0 | 4 |
| 11 | 9 | 3 | 5 | 1 | 10 | 8 | 0 | 2 |
| 15 | 8 | 3 | 3 | 2 | 5 | 0 | 2 | 3 |
| 16 | 10 | 4 | 1 | 5 | 4 | 0 | 2 | 2 |
| 17 | 7 | 1 | 6 | 0 | 8 | 0 | 2 | 6 |
| 18 | 12 | 2 | 0 | 10 | 7 | 4 | 1 | 2 |
| Media | 7.9 | 2.7 | 3.2 | 2.0 | 7.6 | 3.3 | 1.7 | 2.6 |
| Velocipedi | | | | | | | | |
| h | | INGRESSO VIRGILIANA SUD | | | USCITA VIRGILIANA SUD | | | |
| | TOT | N | O | E | TOT | E | N | O |
| | | Virg Nord | XX Sett | Veneto | | Veneto | Virg Nord | XX Sett |
| 7 | 1 | 1 | 0 | 0 | 5 | 2 | 0 | 3 |

| | | | | | | | | |
|--------------|-----|-----|------------|----------|----|------------|----------|------------|
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 8 | 3 | 5 | 0 | 11 | 4 | 3 | 4 |
| 10 | 6 | 3 | 3 | 0 | 46 | 12 | 0 | 34 |
| 11 | 9 | 3 | 5 | 1 | 22 | 6 | 0 | 16 |
| 15 | 8 | 3 | 3 | 2 | 15 | 0 | 7 | 8 |
| 16 | 10 | 4 | 1 | 5 | 12 | 0 | 3 | 9 |
| 17 | 7 | 1 | 6 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 |
| 18 | 12 | 2 | 0 | 10 | 11 | 5 | 1 | 5 |
| Media | 6.8 | 2.2 | 2.6 | 2 | 14 | 3.2 | 2 | 8.8 |

Tabella 7.14

| | Virgiliana Sud | | | | | | | | | |
|---------------|----------------|---|---|---|--|---|---|---|------|---------------|
| | 5672 | TGM uscente: 5672 veic/gg | | | | TGM uscente: 5182 veic/gg | | | | 5182 |
| | | XX Sett | Virg Nord | Veneto | | XX Sett | Virg Nord | Veneto | | |
| | |  |  |  | |  |  |  | | |
| Veic. Leggeri | 4746 | 1986 | 2069 | 690 | | 681 | 2971 | 909 | 4561 | Veic. Leggeri |
| Veic. Pesanti | 803 | 175 | 560 | 69 | | 58 | 330 | 132 | 521 | Veic. Pesanti |
| Motoveicoli | 116 | 47 | 39 | 29 | | 29 | 19 | 38 | 86 | Motoveicoli |
| Velocipedi | 7 | 3 | 2 | 2 | | 9 | 2 | 3 | 14 | Velocipedi |

Via Virgiliana Nord

Tabella 7.15




| H | VIRGILIANA NORD | | | |
|-----------------------------|-----------------|--------------|-------------|--------------|
| | TOT | S | E | O |
| 7 | 588 | 388 | 24 | 176 |
| 8 | 610 | 405 | 13 | 192 |
| 9 | 546 | 379 | 51 | 116 |
| 10 | 468 | 309 | 141 | 18 |
| 11 | 456 | 292 | 51 | 113 |
| 15 | 409 | 179 | 36 | 194 |
| 16 | 399 | 201 | 45 | 153 |
| 17 | 504 | 262 | 23 | 219 |
| 18 | 412 | 198 | 15 | 199 |
| Media | 488.0 | 290.3 | 44.3 | 153.3 |
| TGM | 6311 | 3322 | 1247 | 1742 |
| Velocità media [km/h] | <i>notturno</i> | 56.1 | | |
| | <i>serale</i> | 50.0 | | |
| | <i>diurno</i> | 54.4 | | |

Tabella 7.16

| Veicoli leggeri | | | | |
|------------------------|------------------------|-----------------|---------------|----------------|
| h | VIRGILIANA NORD | | | |
| | TOT | S | E | O |
| | | Virg Sud | Veneto | XX Sett |
| 7 | 543 | 353 | 22 | 168 |
| 8 | 569 | 376 | 11 | 182 |
| 9 | 513 | 354 | 51 | 108 |
| 10 | 416 | 275 | 137 | 4 |
| 11 | 396 | 257 | 44 | 95 |
| 15 | 355 | 149 | 28 | 178 |
| 16 | 358 | 172 | 39 | 147 |
| 17 | 459 | 234 | 23 | 202 |
| 18 | 364 | 168 | 11 | 185 |
| Media | 441.4 | 259.8 | 40.7 | 141.0 |
| Veicoli pesanti | | | | |
| h | VIRGILIANA NORD | | | |
| | TOT | S | E | O |
| | | Virg Sud | Veneto | XX Sett |
| 7 | 41 | 34 | 2 | 5 |
| 8 | 36 | 25 | 1 | 10 |
| 9 | 29 | 22 | 0 | 7 |
| 10 | 47 | 34 | 3 | 10 |
| 11 | 54 | 35 | 2 | 17 |
| 15 | 49 | 28 | 6 | 15 |
| 16 | 33 | 27 | 0 | 6 |
| 17 | 37 | 26 | 0 | 11 |
| 18 | 43 | 29 | 0 | 14 |
| Media | 41.0 | 28.9 | 1.6 | 10.6 |
| Motoveicoli | | | | |
| h | VIRGILIANA NORD | | | |
| | TOT | S | E | O |
| | | Virg Sud | Veneto | XX Sett |
| 7 | 4 | 1 | 0 | 3 |
| 8 | 5 | 4 | 1 | 0 |
| 9 | 4 | 3 | 0 | 1 |
| 10 | 5 | 0 | 1 | 4 |
| 11 | 6 | 0 | 5 | 1 |
| 15 | 5 | 2 | 2 | 1 |
| 16 | 8 | 2 | 6 | 0 |
| 17 | 8 | 2 | 0 | 6 |
| 18 | 5 | 1 | 4 | 0 |
| Media | 5.6 | 1.7 | 2.1 | 1.8 |
| Velocipedi | | | | |
| h | VIRGILIANA NORD | | | |
| | TOT | S | E | O |
| | | Virg Sud | Veneto | XX Sett |
| 7 | 9 | 0 | 5 | 4 |
| 8 | 15 | 0 | 0 | 15 |

| | | | | |
|--------------|------|------------|------------|------------|
| 9 | 16 | 3 | 10 | 3 |
| 10 | 13 | 0 | 2 | 11 |
| 11 | 6 | 0 | 5 | 1 |
| 15 | 18 | 7 | 9 | 2 |
| 16 | 14 | 3 | 11 | 0 |
| 17 | 12 | 3 | 0 | 9 |
| 18 | 5 | 1 | 4 | 0 |
| Media | 12.0 | 2.0 | 5.0 | 5.0 |

Tabella 7.17

| | <i>Virgiliana Nord</i> | | | | |
|----------------------|------------------------|---|---|--|----------------------|
| | 6311 | <i>TGM entrante: 6311</i> | | | |
| | | Veneto | Virg Sud | XX Sett | |
| | |  E |  S |  O | |
| Veic. Leggeri | 5707 | 1139 | 2971 | 1597 | Veic. Leggeri |
| Veic. Pesanti | 494 | 44 | 330 | 120 | Veic. Pesanti |
| Motoveicoli | 98 | 59 | 19 | 20 | Motoveicoli |
| Velocipedi | 12 | 5 | 2 | 5 | Velocipedi |

Intersezione 2

Via Pironi

Tabella 7.18

| h | CT-03 - Via Pironi | | | CT-03 - Via Pironi | | |
|-----------------------|---------------------------|-------------|--------------|------------------------|-------------|-----------------|
| | Corsia 2 - OVEST Entrante | | | Corsia 1 - EST Uscente | | |
| | INGRESSO PIRONI | | | USCITA PIRONI | | |
| | TOT | N | S | N | S | TOT |
| 7 | 56 | 39 | 17 | 39 | 38 | 77 |
| 8 | 155 | 46 | 109 | 46 | 83 | 129 |
| 9 | 233 | 66 | 167 | 64 | 81 | 145 |
| 10 | 193 | 45 | 148 | 44 | 73 | 117 |
| 11 | 198 | 44 | 154 | 43 | 84 | 127 |
| 15 | 147 | 36 | 111 | 37 | 62 | 99 |
| 16 | 168 | 54 | 114 | 53 | 59 | 112 |
| 17 | 189 | 55 | 134 | 55 | 103 | 158 |
| 18 | 243 | 126 | 117 | 127 | 156 | 283 |
| Media | 175.8 | 56.8 | 119.0 | 56.4 | 82.1 | 138.6 |
| TGM | 2856 | 923 | 1933 | 1102 | 1602 | 2704 |
| Velocità media [km/h] | <i>notturmo</i> | 35.8 | | 39.3 | | <i>notturmo</i> |
| | <i>serale</i> | 34.4 | | 35.7 | | <i>serale</i> |
| | <i>diurno</i> | 37.2 | | 36.7 | | <i>diurno</i> |

Tabella 7.19

| Veicoli leggeri | | | | | | |
|-----------------|-----------------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------------|
| h | INGRESSO PIRONI | | | USCITA PIRONI | | |
| | TOT | N | S | TOT | N | S |
| | | Virg Nord | Virg Sud | | Virg Nord | Virg Sud |
| 7 | 44 | 29 | 15 | 52 | 29 | 23 |
| 8 | 142 | 34 | 108 | 111 | 34 | 77 |
| 9 | 211 | 47 | 164 | 119 | 47 | 72 |
| 10 | 172 | 40 | 132 | 107 | 40 | 67 |
| 11 | 165 | 36 | 129 | 118 | 36 | 82 |
| 15 | 126 | 34 | 92 | 88 | 34 | 54 |
| 16 | 139 | 39 | 100 | 92 | 39 | 53 |
| 17 | 170 | 49 | 121 | 144 | 49 | 95 |
| 18 | 218 | 124 | 94 | 269 | 124 | 145 |
| Media | 154.1 | 48.0 | 106.1 | 122.2 | 48.0 | 74.2 |
| Veicoli pesanti | | | | | | |
| h | INGRESSO PIRONI | | | USCITA PIRONI | | |
| | TOT | N | S | TOT | N | S |
| | | Virg Nord | Virg Sud | | Virg Nord | Virg Sud |
| 7 | 11 | 9 | 2 | 24 | 9 | 15 |
| 8 | 12 | 11 | 1 | 17 | 11 | 6 |
| 9 | 22 | 19 | 3 | 23 | 17 | 6 |
| 10 | 18 | 4 | 14 | 3 | 3 | 0 |
| 11 | 31 | 7 | 24 | 9 | 7 | 2 |

| | | | | | | |
|--------------------|------------------------|------------------|-----------------|----------------------|------------------|-----------------|
| 15 | 20 | 2 | 18 | 6 | 3 | 3 |
| 16 | 20 | 9 | 11 | 12 | 9 | 3 |
| 17 | 16 | 5 | 11 | 9 | 5 | 4 |
| 18 | 20 | 0 | 20 | 7 | 1 | 6 |
| Media | 18.9 | 7.3 | 11.6 | 12.2 | 7.2 | 5.0 |
| Motoveicoli | | | | | | |
| h | INGRESSO PIRONI | | | USCITA PIRONI | | |
| | TOT | N | S | TOT | N | S |
| | | Virg Nord | Virg Sud | | Virg Nord | Virg Sud |
| 7 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 8 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 |
| 10 | 3 | 1 | 2 | 7 | 1 | 6 |
| 11 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 1 | 0 | 1 | 5 | 0 | 5 |
| 16 | 9 | 6 | 3 | 8 | 5 | 3 |
| 17 | 3 | 1 | 2 | 5 | 1 | 4 |
| 18 | 5 | 2 | 3 | 7 | 2 | 5 |
| Media | 2.8 | 1.4 | 1.3 | 4.1 | 1.2 | 2.9 |
| Velocipedi | | | | | | |
| h | INGRESSO PIRONI | | | USCITA PIRONI | | |
| | TOT | N | S | TOT | N | S |
| | | Virg Nord | Virg Sud | | Virg Nord | Virg Sud |
| 7 | 4 | 3 | 1 | 14 | 4 | 10 |
| 8 | 5 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 14 | 2 | 12 | 19 | 1 | 18 |
| 10 | 8 | 2 | 6 | 23 | 3 | 20 |
| 11 | 6 | 1 | 5 | 14 | 2 | 12 |
| 15 | 10 | 0 | 10 | 9 | 0 | 9 |
| 16 | 14 | 7 | 7 | 12 | 8 | 4 |
| 17 | 11 | 3 | 8 | 9 | 3 | 6 |
| 18 | 5 | 4 | 1 | 15 | 4 | 11 |
| Media | 8.6 | 2 | 6 | 12.8 | 2.8 | 10.0 |

Tabella 7.20

| | <i>Via Pironi</i> | | | | | | | |
|----------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------|------|----------------------------------|-----------|----------------------|------|
| | 2865 | <i>TGM entrante: 2865 veic/gg</i> | | | <i>TGM uscente: 2717 veic/gg</i> | | | 2717 |
| | | Virg Sud | Virg Nord | | Virg Sud | Virg Nord | | |
| Veic. Leggeri | 2504 | 1724 | 780 | 1448 | 937 | 2385 | Veic. Leggeri | |
| Veic. Pesanti | 307 | 188 | 119 | 98 | 141 | 239 | Veic. Pesanti | |
| Motoveicoli | 45 | 22 | 23 | 56 | 24 | 80 | Motoveicoli | |
| Velocipedi | 9 | 6 | 2 | 10 | 3 | 13 | Velocipedi | |

Via Virgiliana Nord

Tabella 7.21

| | CT-02 - Via Virgiliana NORD | | | CT-02 - Via Virgiliana NORD | | |
|-----------------------|-----------------------------|-------|------|-----------------------------|------|----------|
| | Corsia 2 - SUD Entrante | | | Corsia 1 -NORD Uscente | | |
| h | INGRESSO VIRGILIANA NORD | | | USCITA VIRGILIANA NORD | | |
| | TOT | S | E | S | E | TOT |
| 7 | 609 | 571 | 38 | 167 | 39 | 206 |
| 8 | 547 | 501 | 46 | 201 | 46 | 247 |
| 9 | 444 | 379 | 65 | 182 | 66 | 248 |
| 10 | 367 | 320 | 47 | 180 | 45 | 225 |
| 11 | 345 | 301 | 44 | 205 | 43 | 248 |
| 15 | 334 | 298 | 36 | 102 | 36 | 138 |
| 16 | 338 | 285 | 53 | 186 | 54 | 240 |
| 17 | 426 | 370 | 56 | 221 | 55 | 276 |
| 18 | 422 | 293 | 129 | 232 | 126 | 358 |
| Media | 425.8 | 368.7 | 57.1 | 186.2 | 56.7 | 242.9 |
| TGM | 5859 | 5073 | 786 | 4069 | 1238 | 5307 |
| Velocità media [km/h] | notturmo | 56.1 | | 58.2 | | notturmo |
| | serale | 49.9 | | 50.6 | | serale |
| | diurno | 54.4 | | 53.8 | | diurno |

Tabella 7.22

| Veicoli leggeri | | | | | | |
|-----------------|--------------------------|----------|--------|------------------------|----------|--------|
| h | INGRESSO VIRGILIANA NORD | | | USCITA VIRGILIANA NORD | | |
| | TOT | S | E | TOT | S | E |
| | | Virg Sud | Pironi | | Virg Sud | Pironi |
| 7 | 556 | 528 | 28 | 147 | 119 | 29 |
| 8 | 495 | 461 | 34 | 180 | 146 | 34 |
| 9 | 397 | 349 | 48 | 174 | 127 | 47 |
| 10 | 326 | 284 | 42 | 164 | 124 | 40 |
| 11 | 303 | 267 | 36 | 188 | 152 | 36 |
| 15 | 296 | 263 | 33 | 102 | 68 | 34 |
| 16 | 297 | 258 | 39 | 198 | 159 | 39 |
| 17 | 388 | 338 | 50 | 225 | 176 | 49 |
| 18 | 394 | 268 | 126 | 308 | 184 | 124 |
| Media | 383.6 | 335.1 | 48.4 | 187.3 | 139.4 | 48.0 |
| Veicoli pesanti | | | | | | |
| h | INGRESSO VIRGILIANA NORD | | | USCITA VIRGILIANA NORD | | |
| | TOT | S | E | TOT | S | E |
| | | Virg Sud | Pironi | | Virg Sud | Pironi |
| 7 | 48 | 39 | 9 | 48 | 39 | 9 |
| 8 | 46 | 35 | 11 | 65 | 54 | 11 |
| 9 | 43 | 26 | 17 | 70 | 51 | 19 |
| 10 | 36 | 33 | 3 | 56 | 52 | 4 |

| 11 | 37 | 30 | 7 | 52 | 45 | 7 |
|--------------|--------------------------|-------------|------------|------------------------|-------------|------------|
| 15 | 34 | 31 | 3 | 32 | 30 | 2 |
| 16 | 31 | 22 | 9 | 32 | 23 | 9 |
| 17 | 31 | 26 | 5 | 47 | 42 | 5 |
| 18 | 24 | 23 | 1 | 45 | 45 | 0 |
| Media | 36.7 | 29.4 | 7.2 | 49.7 | 42.3 | 7.3 |
| Motoveicoli | | | | | | |
| h | INGRESSO VIRGILIANA NORD | | | USCITA VIRGILIANA NORD | | |
| | TOT | S | E | TOT | S | E |
| | | Virg Sud | Pironi | | Virg Sud | Pironi |
| 7 | 5 | 4 | 1 | 11 | 10 | 1 |
| 8 | 6 | 5 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 9 | 4 | 4 | 0 | 4 | 4 | 0 |
| 10 | 5 | 3 | 2 | 5 | 4 | 1 |
| 11 | 5 | 4 | 1 | 8 | 7 | 0 |
| 15 | 4 | 4 | 0 | 4 | 4 | 0 |
| 16 | 10 | 5 | 5 | 10 | 4 | 6 |
| 17 | 7 | 6 | 1 | 4 | 3 | 1 |
| 18 | 4 | 2 | 2 | 5 | 3 | 2 |
| Media | 5.6 | 4.1 | 1.4 | 5.9 | 4.4 | 1.3 |
| Velocipedi | | | | | | |
| h | INGRESSO VIRGILIANA NORD | | | USCITA VIRGILIANA NORD | | |
| | TOT | S | E | TOT | S | E |
| | | Virg Sud | Pironi | | Virg Sud | Pironi |
| 7 | 12 | 8 | 4 | 3 | 0 | 3 |
| 8 | 10 | 10 | 0 | 8 | 8 | 0 |
| 9 | 5 | 4 | 1 | 7 | 5 | 2 |
| 10 | 10 | 7 | 3 | 16 | 14 | 2 |
| 11 | 3 | 1 | 2 | 14 | 13 | 1 |
| 15 | 8 | 8 | 0 | 8 | 8 | 0 |
| 16 | 15 | 7 | 8 | 16 | 9 | 7 |
| 17 | 7 | 4 | 3 | 8 | 5 | 3 |
| 18 | 8 | 4 | 4 | 12 | 8 | 4 |
| Media | 8.7 | 5.9 | 2.8 | 10.2 | 7.8 | 2.4 |

Tabella 7.23

| | Virgiliana Nord | | | | | | | |
|---------------|-----------------|----------------------------|----------|------|---------------------------|----------|---------------|------|
| | 5868 | TGM entrante: 5868 veic/gg | | | TGM uscente: 5317 veic/gg | | | 5317 |
| | | Pironi | Virg Sud | | Pironi | Virg Sud | | |
| Veic. Leggeri | 5278 | 667 | 4611 | 1049 | 3047 | 4096 | Veic. Leggeri | |
| Veic. Pesanti | 505 | 99 | 405 | 160 | 925 | 1085 | Veic. Pesanti | |
| Motoveicoli | 76 | 20 | 57 | 29 | 97 | 126 | Motoveicoli | |
| Velocipedi | 9 | 3 | 6 | 2 | 8 | 10 | Velocipedi | |

Virgiliana Sud

Tabella 7.24



| H | VIRGILIANA SUD | | |
|-----------------------------|-----------------|--------------|-------------|
| | TOT | N | E |
| 7 | 206 | 168 | 38 |
| 8 | 284 | 201 | 83 |
| 9 | 262 | 182 | 80 |
| 10 | 252 | 180 | 72 |
| 11 | 288 | 204 | 84 |
| 15 | 165 | 102 | 63 |
| 16 | 245 | 186 | 59 |
| 17 | 323 | 221 | 102 |
| 18 | 388 | 232 | 156 |
| Media | 268.1 | 186.2 | 81.9 |
| Velocità media [km/h] | <i>notturmo</i> | 57.9 | |
| | <i>serale</i> | 50.3 | |
| | <i>diurno</i> | 53.5 | |

Tabella 7.25

| Veicoli leggeri | | | |
|-----------------|----------------|--------------|-------------|
| h | VIRGILIANA SUD | | |
| | TOT | N | E |
| | | Virg Nord | Pironi |
| 7 | 142 | 119 | 23 |
| 8 | 223 | 146 | 77 |
| 9 | 198 | 127 | 71 |
| 10 | 191 | 124 | 67 |
| 11 | 234 | 152 | 82 |
| 15 | 123 | 68 | 55 |
| 16 | 212 | 159 | 53 |
| 17 | 270 | 176 | 94 |
| 18 | 329 | 184 | 145 |
| Media | 213.6 | 139.4 | 74.1 |
| Veicoli pesanti | | | |
| h | VIRGILIANA SUD | | |
| | TOT | N | E |
| | | Virg Nord | Pironi |
| 7 | 54 | 39 | 15 |
| 8 | 60 | 54 | 6 |
| 9 | 57 | 51 | 6 |
| 10 | 52 | 52 | 0 |
| 11 | 47 | 45 | 2 |
| 15 | 33 | 30 | 3 |
| 16 | 26 | 23 | 3 |
| 17 | 46 | 42 | 4 |

| | | | |
|--------------------|-----------------------|------------------|---------------|
| 18 | 51 | 45 | 6 |
| Media | 47.3 | 42.3 | 5.0 |
| Motoveicoli | | | |
| h | VIRGILIANA SUD | | |
| | TOT | N | E |
| | | Virg Nord | Pironi |
| 7 | 10 | 10 | 0 |
| 8 | 1 | 1 | 0 |
| 9 | 7 | 4 | 3 |
| 10 | 9 | 4 | 5 |
| 11 | 7 | 7 | 0 |
| 15 | 9 | 4 | 5 |
| 16 | 7 | 4 | 3 |
| 17 | 7 | 3 | 4 |
| 18 | 8 | 3 | 5 |
| Media | 7.2 | 4.4 | 2.8 |
| Velocipedi | | | |
| h | VIRGILIANA SUD | | |
| | TOT | N | E |
| | | Virg Nord | Pironi |
| 7 | 10 | 0 | 10 |
| 8 | 8 | 8 | 0 |
| 9 | 23 | 5 | 18 |
| 10 | 34 | 14 | 20 |
| 11 | 25 | 13 | 12 |
| 15 | 17 | 8 | 9 |
| 16 | 13 | 9 | 4 |
| 17 | 11 | 5 | 6 |
| 18 | 19 | 8 | 11 |
| Media | 17.8 | 7.8 | 10.0 |

Tabella 7.26

| | <i>Virgiliana Sud</i> | | | |
|----------------------|-----------------------|---|---|-----------|
| | 5181 | <i>TGM entrante: 5181</i> | | |
| | | Pironi | | Virg Nord |
| | |  E |  N | |
| Veic. Leggeri | 3984 | 937 | 3047 | |
| Veic. Pesanti | 1066 | 141 | 925 | |
| Motoveicoli | 121 | 24 | 97 | |
| Velocipedi | 11 | 3 | 8 | |

7.4.2 Stima dell'incidentalità dei motoveicoli

Pertanto sulla base dei dati di traffico ottenuti con le rilevazioni descritte e di cui sono stati riportati i principali risultati nel paragrafo precedente, è stato possibile individuare le matrici O/D sia per il flusso non a due ruote (QNM) che a due ruote (QM), per l'arteria principale e per il ramo secondario, relative a entrambe le intersezioni prese in considerazione, riportate in figura 7.24.



Figura 7.24

Attraverso il modello analitico previsionale (7.7) assumendo per i parametri i valori desunti dalla calibrazione effettuata sulle intersezioni localizzate in 4 quartieri dello Stato di Selangor in Malaysia si procede alla analisi dell'incidentalità dei TWD riportata di seguito.

$$\begin{aligned} Ln (MCA) = & Ln (k1) + \alpha_1 \cdot Ln (QNMm) + \alpha_2 \cdot Ln (QNMn) + \alpha_3 \cdot Ln (QMm) + \\ & \alpha_4 \cdot Ln (QMn) + \alpha_5 \cdot Ln (QPED) + \beta_1 \cdot SPEED + \beta_2 \cdot LWm + \beta_3 \cdot \\ & LWn + \beta_4 \cdot LNm + \beta_7 \cdot SHDW + \beta_8 \cdot LU + e \end{aligned}$$

7.4.2.1 Analisi Intersezione 1 semaforizzata

Le tabelle 7.27, e 7.28 riportano le matrici O/D rispettivamente per il flusso non a due ruote e per il flusso a due ruote motorizzato, sia dell'arteria principale che del ramo secondario.

Tabella 7.27

| | | QNM | | | |
|---------|-----------------|--------------|--------|----------------|-----------------|
| | | Destinazione | | | |
| | | XX Settembre | Veneto | Virgiliana Sud | Virgiliana Nord |
| Origine | XX Settembre | / | 934 | 1271 | 1219 |
| | Veneto | 2174 | / | 1540 | 337 |
| | Virgiliana Sud | 2161 | 0 | / | 2629 |
| | Virgiliana Nord | 1717 | 1182 | 3301 | / |

Tabella 7.28

| | | QM | | | |
|---------|-----------------|--------------|--------|----------------|-----------------|
| | | Destinazione | | | |
| | | XX Settembre | Veneto | Virgiliana Sud | Virgiliana Nord |
| Origine | XX Settembre | / | 215 | 50 | 72 |
| | Veneto | 562 | / | 56 | 15 |
| | Virgiliana Sud | 47 | 29 | / | 39 |
| | Virgiliana Nord | 20 | 19 | 19 | / |

Si è proceduto quindi all'inserimento dei dati di flusso e geometrici dell'*intersezione 1* ottenendo quanto descritto dalla tabella 7.29.

Tabella 7.29

| Intersezione 1 | | | | |
|-----------------------|------------------------------|-------|------------------|-----------------|
| Dati | | | Parametri | |
| - | - | - | k | 0.002822 |
| QNMm | <i>n°4 ruote/giorno</i> | 10990 | α_1 | 0.3241 |
| QNMn | <i>n°4 ruote/giorno</i> | 7474 | α_2 | 0.0835 |
| QMm | <i>n°2 ruote/giorno</i> | 174 | α_3 | 0.0683 |
| QMn | <i>n°2 ruote/giorno</i> | 971 | α_4 | 0.1296 |
| SPEED | <i>km/h</i> | 30 | β_1 | 0.02602 |
| LWm | <i>m</i> | 3.5 | β_2 | -0.0727 |
| LWn | <i>m</i> | 2 | β_3 | -0.0718 |
| LNm | <i>numero corsie</i> | 2 | β_4 | -0.01758 |
| SHDW | <i>corsia/direz.traffico</i> | 0.75 | β_7 | 0 |
| LU | <i>destinazione uso</i> | 2 | β_8 | 0.01591 |
| LN(MCA) | | | = | -0.48689 |
| MCA | | | = | 1 |

Il numero di incidenti per anno (MCA) che si ottiene è pertanto congruente con i dati di incidentalità disponibili, come descritto nel paragrafo 7.4 seguente.

7.4.2.2 Analisi Intersezione 2 non semaforizzata

L'intersezione 2 è a T, e per essa viene utilizzata la calibrazione effettuata su 36 intersezioni a tre braccia non semaforizzate situate in Malaysia [144].

Le tabelle 7.30, e 7.31 riportano le matrici O/D rispettivamente per il flusso non a due ruote e per il flusso a due ruote motorizzato, sia dell'arteria principale che del ramo secondario.

Tabella 7.30

| | | QNM | | |
|---------|-----------------|--------------|-----------------|----------------|
| | | Destinazione | | |
| | | Pironi | Virgiliana Nord | Virgiliana Sud |
| Origine | Pironi | / | 899 | 1912 |
| | Virgiliana Nord | 766 | / | 5017 |
| | Virgiliana Sud | 1546 | 3972 | / |

Tabella 7.31

| | | QM | | |
|---------|-----------------|--------------|-----------------|----------------|
| | | Destinazione | | |
| | | Pironi | Virgiliana Nord | Virgiliana Sud |
| Origine | Pironi | / | 23 | 22 |
| | Virgiliana Nord | 20 | / | 57 |
| | Virgiliana Sud | 56 | 97 | / |

Si è proceduto quindi all'inserimento dei dati di flusso e geometrici dell'intersezione 2 ottenendo quanto descritto dalla tabella 7.32.

Tabella 7.32

| Intersezione 2 | | | | |
|-----------------------|------------------------------|-------|------------------|-----------------|
| Dati | | | Parametri | |
| - | - | - | k | 0.0059294 |
| QNMm | <i>n°4 ruote/giorno</i> | 11300 | α_1 | 0.2188 |
| QNMn | <i>n°4 ruote/giorno</i> | 2811 | α_2 | 0.0665 |
| QMm | <i>n°2 ruote/giorno</i> | 230 | α_3 | 0.132 |
| QMn | <i>n°2 ruote/giorno</i> | 76 | α_4 | 0.1808 |
| SPEED | <i>n°pedoni/giorno</i> | 50 | β_1 | 0.02279 |
| LWm | <i>m</i> | 3.5 | β_2 | -0.0969 |
| LWn | <i>m</i> | 2 | β_3 | -0.07061 |
| LNm | <i>numero corsie</i> | 2 | β_4 | -0.00738 |
| SHDW | <i>corsia/direz.traffico</i> | 1 | β_7 | 0 |
| LU | <i>destinazione uso</i> | 2 | β_8 | 0.00755 |
| LN(MCA) | | | = | -0.39748 |
| MCA | | | = | 1 |

Il numero di incidenti per anno (MCA) che si ottiene è pertanto congruente con i dati di incidentalità disponibili, come descritto nel paragrafo 7.4 seguente.

7.4. CONFRONTO DEI RISULTATI CON I DATI DI INCIDENTALITÀ DISPONIBILI

Al fine di verificare i dati ottenuti si è proceduto ad un confronto fra i risultati ottenuti dalla sua applicazione alle intersezioni in esame ed i dati relativi all'incidentalità ottenuti dai rilievi.

Gli organi responsabili del rilievo e della trasmissione dei dati incidentali del Comune di Bondeno, in Ferrara, sono rappresentati dalla Provincia, dal nucleo dei Carabinieri del Comune di Bondeno e dal corpo della Polizia Municipale del comune stesso.

Purtroppo solo questo ultimo si è reso disponibile ad una collaborazione fornendo i dati in suo possesso relativi al periodo 2001 -2006.

Da tali dati, riportati nelle tabelle 7.33 – 7.38, si rilevano complessivamente 36 incidenti di cui 4 che coinvolgono PTW nella *intersezione 1* (tabella 7.34, 7.35 e 7.37) e 1 che coinvolgono PTW nella *intersezione 2* (tabella 7.37).

Nonostante l'evidente parzialità, tali dati si ritengono importanti in quanto non solo permettono di validare il modello 7.13 preso in esame, ma anche perché contengono tutte le informazioni relative al numero di veicoli coinvolti, al tipo di scontro, al tipo di traffico e di segnaletica presente, alla tipologia della pavimentazione e alle condizioni atmosferiche, fondamentali per capire l'esatta dinamica dell'evento incidentale e quindi potere agire per mettere in sicurezza sia l'intersezione semaforizzata a quattro braccia che l'intersezione a T regolata dal diritto di precedenza.

Innanzitutto appare evidente come tutti gli incidenti dei TWD abbiano visto coinvolto almeno un veicolo a quattro ruote. Inoltre è possibile ricavare i principali scenari di incidente ossia la caduta dal veicolo e lo scontro frontale-laterale.

Per quanto riguarda gli incidenti in prossimità dell'intersezione semaforizzata, *intersezione 1*, si evince che $\frac{3}{4}$ di questi sono avvenuti in condizioni di traffico intenso, confermando quanto detto in precedenza in relazione alla influenza dell'eterogeneità e della entità del flusso di traffico.

Infine in $\frac{1}{2}$ dei casi una delle cause principali cui può essere ricondotto l'evento incidentale è il terreno sdruciolevole, e quindi la scarsa aderenza presente.

Tabella 7.33

| n° | ubicazione | veicoli coinvolti | tipo scontro | feriti | morti | traffico | segnaletica presente | fondo stradale | tempo |
|------|------------|---|-------------------|--------|-------|----------|----------------------|----------------|----------|
| 2001 | 14 | Via Virgilliana A Autovettura privata B Velocipede | laterale | 1 | 0 | intenso | verticale | asciutto | nuvoloso |
| | 21 | Via Pironi A Velocipede B Autovettura privata | caduta da veicolo | 1 | 0 | - | - | asciutto | |
| | 27 | V.le XX Settembre A Autocarro B Autovettura privata | laterale | 0 | 0 | normale | - | asciutto | sereno |
| | 34 | Via Pironi A Motrice B Autofurgone | urto accidentale | 0 | 0 | normale | verticale | asciutto | sereno |
| | 44 | V.le XX Settembre A Autovettura pubblica B Autarticolato C Semirimorchio | laterale | 0 | 0 | intenso | - | asciutto | nuvoloso |

Tabella 7.34

| n° | ubicazione | veicoli coinvolti | tipo scontro | feriti | morti | traffico | segnaletica presente | fondo stradale | tempo |
|------|---|---|-----------------------|--------|-------|----------|----------------------|----------------|----------|
| 2002 | 6 | Via Pironi A Pedone B Autovettura privata | investimento pedone | 1 | 0 | - | verticale | asciutto | sereno |
| | 14 | V.le XX Settembre A Motociclo B Autovettura privata | frontale laterale | 1 | 0 | intenso | verticale | sdruciolevole | nuvoloso |
| | 20 | Via Virgilliana (incrocio Via Pironi) A Autocarro B Autovettura privata | tamponamento | 0 | 0 | intenso | verticale | asciutto | sereno |
| | 33 | Via Virgilliana A Autovettura privata - | fuoriuscita | 1 | 0 | normale | orizzontale | sdruciolevole | nuvoloso |
| | 36 | Via Virgilliana A Autovettura privata B Autovettura privata C Autovettura privata D ciclomotore | caduta e tamponamento | 1 | 0 | intenso | verticale | sdruciolevole | sereno |
| 39 | Via Pironi (incrocio Via Virgilliana) A Autovettura privata - | fuoriuscita | 1 | 0 | - | - | sdruciolevole | - | |

Tabella 7.35

| n° | ubicazione | veicoli coinvolti | tipo scontro | feriti | morti | traffico | segnaletica presente | fondo stradale | tempo |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|--------|---------|----------|----------------------|----------------|----------|
| 2003 | V.le XX Settembre | A Autovettura privata | laterale | 0 | 0 | normale | orizzontale | asciutto | sereno |
| | | B Autovettura privata | | | | | | | |
| | Via Virgilliana | A Ciclomotore | caduta da veicolo | 1 | 0 | normale | orizzontale | asciutto | nuvoloso |
| | Via Pironi | A Autocarro | tamponamento | 0 | 0 | normale | verticale | asciutto | sereno |
| | | B Autovettura privata | fuoriuscita | 0 | 0 | normale | verticale | sdruciolevole | sereno |
| A Autovettura privata | | | | | | | | | |
| Via Virgilliana | A Autovettura privata | tamponamento | 0 | 0 | normale | luminosa | asciutto | sereno | |
| | | B Autovettura privata | | | | | | | |

Tabella 7.36

| n° | ubicazione | veicoli coinvolti | tipo scontro | feriti | morti | traffico | segnaletica presente | fondo stradale | tempo |
|------|---------------------------------------|-----------------------|-------------------|--------|-------|----------|----------------------|----------------|---------|
| 2004 | Via Virgilliana (incrocio Via Veneto) | A Autovettura privata | frontale-laterale | 1 | 0 | normale | verticale | bagnato | pioggia |
| | | B Autovettura privata | | | | | | | |

Tabella 7.37

| n° | ubicazione | veicoli coinvolti | tipo scontro | feriti | morti | traffico | segnaleti ca | fondo stradale | tempo |
|-----------------|--|-----------------------|-------------------|--------|---------|---------------------------|---------------------------|-------------------|---------|
| 2005 | Via Virgilliana (incrocio Via Pironi) | A Autocarro | frontale-laterale | 0 | 0 | intenso | verticale | asciutto | sereno |
| | | B Autovettura privata | | | | | | | |
| | V.le XX Settembre | A Autovettura privata | frontale | 0 | 0 | normale | verticale/ orizzontale | bagnato | pioggia |
| | | B Autovettura privata | | | | | | | |
| | Via Virgilliana (incrocio Via Pironi) | A Motociclo | frontale laterale | 0 | 0 | intenso | verticale/ orizzontale | asciutto | sereno |
| | | B Autovettura privata | | | | | | | |
| | Via Virgilliana | A Ciclomotore | frontale laterale | 1 | 0 | normale | verticale/ orizzontale | asciutto | sereno |
| | | B Autovettura privata | | | | | | | |
| | V.le XX Settembre | A Autovettura privata | frontale-laterale | 0 | 0 | - | verticale | - | - |
| | | B Autovettura privata | | | | | | | |
| Via Virgilliana | A Autoarticolato | frontale | 0 | 0 | normale | verticale/ orizzontale | sdrucchiolevole | nebbia | |
| | B Autotreno | | | | | | | | |

Tabella 7.38

| n° | ubicazione | veicoli coinvolti | tipo scontro | feriti | morti | traffico | segnaletica presente | fondo stradale | tempo |
|---|-------------------------|-----------------------|------------------------|--------|---------|---------------------------|---------------------------|----------------|----------|
| 2006 | 3 V.le XX Settembre | A Autovettura privata | tamponamento | 0 | 0 | normale | orizzontale | asciutto | sereno |
| | | B Autovettura privata | | | | | | | |
| | | C Autovettura privata | | | | | | | |
| | 6 V.le XX Settembre | A Autocarro | frontale-laterale | 0 | 0 | normale | verticale/ orizzontale | asciutto | sereno |
| | | B Autovettura privata | | | | | | | |
| | 19 V.le XX Settembre | A Autocarro | fuoriuscita | 1 | 0 | scarso | assente | asciutto | sereno |
| | 21 Via Pironi | A Autovettura privata | investimento pedone | 1 | 0 | normale | orizzontale | asciutto | sereno |
| | | B Pedone | | | | | | | |
| | 22 V.le XX Settembre | A Autovettura privata | frontale-laterale | 2 | 0 | normale | orizzontale | asciutto | nuvoloso |
| | | B Autovettura privata | | | | | | | |
| | 23 Via Virgiliana | A Autovettura privata | fuoriuscita | 0 | 0 | - | - | - | - |
| | 26 Via Virgiliana | A Autovettura privata | laterale | 1 | 0 | normale | verticale/ orizzontale | asciutto | sereno |
| | | B Velocipede | | | | | | | |
| | 38 Via Pironi | A Autovettura privata | tamponamento | 1 | 0 | scarso | verticale/ orizzontale | asciutto | sereno |
| B Autovettura privata | | | | | | | | | |
| 41 Via Pironi | A Autocarro | frontale-laterale | 1 | 0 | normale | verticale/ orizzontale | asciutto | sereno | |
| | B Velocipede | | | | | | | | |
| 46 Via Virgiliana (incrocio V.Le XX Settembre) | A Autovettura privata | frontale-laterale | 0 | 0 | normale | verticale/ orizzontale | asciutto | sereno | |
| | B Autovettura privata | | | | | | | | |
| 55 V.le XX Settembre | A Autovettura privata | frontale-laterale | 0 | 0 | normale | verticale/ orizzontale | bagnato | pioggia | |
| | B Autovettura privata | | | | | | | | |
| 56 Via Virgiliana | A Autovettura privata | tamponamento | 1 | 0 | normale | verticale/ orizzontale | asciutto | sereno | |
| | B Autovettura privata | | | | | | | | |
| 63 V.le XX Settembre | A Autovettura privata | frontale-laterale | 1 | 0 | intenso | verticale/ orizzontale | asciutto | sereno | |
| | B Velocipede | | | | | | | | |

7.6 RIFLESSIONI SUL MODELLO PREVISIONALE IN ESAME

Il modello analitico, preso in esame nel presente capitolo, permette di stimare il numero annuale di incidenti che coinvolgono i TWD alle intersezioni urbane, sia semaforizzate che regolate da precedenza, ritenute i punti più a critici della rete stradale.

Tale modello un'importanza rilevante in quanto tiene in considerazione il fattore "traffico eterogeneo", distinguendo fra flusso a quattro ruote e flusso a due ruote sia nell'arteria principale che nel ramo secondario.

Essendo un modello di frequenza incidentale è per sua stessa natura multivariato ed in particolare, oltre al flusso, considera come variabili la velocità di approccio all'intersezione, la larghezza delle corsie sia sulla arteria principale che sul ramo secondario, il numero delle corsie nella arteria principale, la larghezza delle banchine e la destinazione d'uso dell'area in cui l'intersezione in esame è situata.

Per mezzo di esso è possibile individuare le variabili che più influenzano l'incidentalità per ogni intersezione e quindi riuscire a individuare su quali parametri agire e di conseguenza quali interventi realizzare per aumentare la sicurezza della intersezione.

Nello specifico si è ottenuto che una maggiore influenza sul numero di incidenti annuali dei motoveicoli è propria del flusso di traffico a quattro ruote sull'arteria principale, seguito dal flusso a due ruote sul ramo secondario, dalla velocità di approccio alla intersezione e alla larghezza delle corsie d'approccio.

Tale modello pertanto può essere, a ragione, considerato come una valida proposta per un modello previsionale dell'incidentalità dei TWD che, comunque, dovrebbe essere adeguato alla realtà nazionale.

Infatti alcune delle variabili prese in considerazione non hanno una grossa significatività per la rete stradale urbana italiana, come ad esempio il fattore "destinazione d'uso" in quanto nel contesto nazionale non è possibile distinguere fra aree commerciali e non commerciali, essendo la distribuzione di queste strettamente connessa, o come ad esempio il fattore "numero di corsie" in quanto, generalmente, le nostre infrastrutture sono caratterizzate da un numero ridotto e per lo più omogeneo di corsie, escludendo ovviamente le autostrade.

A fianco di tali considerazioni risulta importante considerare, oltre alla conoscenza della frequenza, anche delle variabili che tengano conto della gravità dell'evento incidentale, stimando le conseguenze, ad esempio di un impatto contro un elemento di arredo come una barriera di sicurezza omologata per veicoli a quattro ruote.

Infatti, appare evidente come per raggiungere l'obiettivo europeo di dimezzare il numero di vittime della strada entro il 2010 sia importante non solo ridurre l'incidentalità, ma soprattutto riuscire fare in modo che l'evento incidentale comporti le minori conseguenze possibili, agendo attraverso la diminuzione della gravità degli impatti.

Come si è accennato nel paragrafo 3.3.2 alcuni studi sono stati intrapresi a livello europeo per analizzare proprio le conseguenze di un impatto.

Sarebbe interessante, avendo a disposizione un database più ampio, riuscire a valutare i parametri che condizionano la gravità dell'impatto ed a realizzare un modello previsionale che tenendo conto anche di tali fattori, insieme a quelli della

geometria della infrastruttura e della presenza di arredo urbano pericoloso, permettesse di stimare anche la gravità dell'impatto una volta avvenuto.

Ad esempio uno studio [170] "Report on Accidentology analyses for motorcycles/riders impacts against vehicles. State-of-the-art of motorcycle protective devices. Future research guidelines" è stato intrapreso nell'ambito del Sesto Piano di Azione Europeo [6] al fine di indagare la relazione fra le modalità e la gravità di un impatto fra un TWD e un veicolo a quattro ruote.

Tale studio si è basato sui dati di quattro database, quali il MAIDS (Motorcycle Accident in Depth Study), il TNO, (Nederlandse Organisatie voor toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek) il GIDAS (German In-Depth Accident Study) e il LMU (Ludwig Maximilians Universität München).

Uno dei risultati di tale ricerca è stata la correlazione fra la velocità di impatto e il grado di lesività dello stesso, espresso dall'indice ASI, accident severity index.

Inoltre è stata analizzata la relazione fra la distanza che intercorre tra il punto di impatto (POI, point of impact) ed il punto di arresto (POR point of rest) e l'indice di severità, evidenziando come quest'ultimo non sia direttamente dipendente da tale distanza ma come sia più importante la modalità di impatto con il veicolo a quattro ruote.

Tale studio, ancora in corso, così come altri che recentemente sulla base del Sesto e del Settimo Piano Europeo dei Trasporti si stanno sviluppando in tutta Europa, potrebbe essere preso come base per la realizzazione di un modello previsionale che tenga conto anche della gravità dell'evento incidentale e che permetta quindi di stimare l'effettivo numero di vittime fra i TWD.

CONCLUSIONI E SPUNTI DI RICERCA

A fronte dell'obiettivo europeo di dimezzare il numero delle vittime stradali entro il 2010, è stata intrapresa una ricerca finalizzata ad individuare i criteri progettuali atti ad aumentare la sicurezza stradale, con particolare riguardo ai TWD (Two Wheel Driver); nello specifico l'obiettivo è stato quello di porre le basi per una metodologia di progettazione che, partendo dagli orientamenti forniti dall'Unione Europea e dai recenti studi presenti nel panorama scientifico internazionale, tenesse conto dell'eterogeneità del traffico in tutte le sue componenti.

Infatti, sebbene pochissimi siano gli studi intrapresi in questo settore, dai dati statistici risulta lampante che la problematica della sicurezza stradale non possa essere più affrontata prescindendo dall'analisi dell'incidentalità dei motoveicoli il cui parco veicolare, e quindi l'esposizione, è in continua crescita e il cui rischio è superiore a quello delle altre componenti del traffico motorizzato. Ciò deriva non solo dal fatto che dalla fine degli anni '90 la grande diffusione degli scooter e delle altre tipologie di motoveicoli ha contribuito in modo significativo all'introduzione di una utenza spesso impreparata, ma deriva anche da fattori intrinseci al mezzo a due ruote motorizzato.

Sulla base di tali considerazioni è stata condotta un'analisi sui rischi relativi ai TWD. Questa ha preso in considerazione sia i rischi dipendenti dalle caratteristiche statiche e dinamiche del mezzo, sia quelli legati al comportamento di guida del conducente ed alla sua estrema vulnerabilità dovuta alla mancanza di protezioni esterne, sia quelli connessi alle caratteristiche dell'infrastruttura. È stato rilevato, infatti, come le misure di sicurezza e le norme di progettazione, adottate dalle differenti normative nel panorama europeo, siano principalmente, ed esclusivamente, rivolte ad utenti a quattro ruote e come non sempre siano adeguate anche per i veicoli a due ruote. Ciò è vero, non solo per quanto riguarda i criteri progettuali dell'infrastruttura, come ad esempio il diagramma di velocità che non risulta rappresentativo del comportamento reale del motoveicolo (godendo esso di rapporti peso/potenza motrice e frenante tali da determinare normalmente delle entità di accelerazione e decelerazione maggiori di 0.8 m/s^2), ma anche per quanto riguarda gli elementi esterni, come le barriere di sicurezza omologate solo per veicoli a quattro ruote.

Oltre ai punti critici sia progettuali che propri della dinamica dei veicoli a due ruote motorizzati, è risultato importante anche il fattore "traffico eterogeneo" al fine di

comprendere l'interazione fra le diverse classi veicolari che condividono il medesimo spazio ma che si rivelano differenti per dimensioni e caratteristiche dinamiche. È stato, quindi, descritto come le condizioni di marcia di un flusso eterogeneo siano dipendenti non solo dalla geometria della sezione, ma anche dalla percentuale delle diverse componenti del traffico.

Una volta determinati i principali fattori di rischio, si è proceduto all'analisi dei possibili scenari di incidente, al fine di individuare quello caratterizzato da una maggiore frequenza e su cui focalizzare lo studio.

Sulla base dei risultati ottenuti l'analisi è stata incentrata su un modello analitico previsionale per la stima dell'incidentalità dei motoveicoli alle intersezioni urbane sia semaforizzate che regolate da precedenza.

L'importanza del modello multivariato individuato è quella di tenere in considerazione il fattore traffico eterogeneo, distinguendo fra flusso a quattro ruote e flusso a due ruote, sia nell'arteria principale che nel ramo secondario.

Oltre al flusso il modello ha come variabili, la velocità di approccio, la larghezza ed il numero delle corsie delle arterie, la larghezza della banchina e la destinazione d'uso della zona cui l'intersezione appartiene.

È stata, quindi, condotta un'applicazione di tale modello a due intersezioni urbane una a quattro braccia semaforizzata, ed una a tre braccia regolata da precedenza, che ha permesso di verificare, seppur con alcuni limiti, la validità del modello previsionale alla realtà nazionale.

Questo risultato si rileva importante in quanto permette di porre le basi per la realizzazione di uno strumento atto alla progettazione ed alla messa in sicurezza delle infrastrutture nei riguardi dei TWD.

Infatti attraverso il modello è possibile comprendere la specifica significatività di ciascuna caratteristica, verificando come al variare di una o più variabili, cambi di conseguenza il numero di incidenti.

Si è ottenuto, ad esempio, che una maggiore influenza sul numero di incidenti annuali dei motoveicoli è propria del flusso di traffico a quattro ruote sull'arteria principale, seguito dal flusso a due ruote sull'arteria secondaria, dalla velocità di approccio alla intersezione ed alla larghezza delle corsie d'approccio.

Sarebbero auspicabili, sulla base di un database più ampio di quello a disposizione oggi, ulteriori studi relativi non solo alla frequenza incidentale, da condurre adeguando le variabili alla realtà nazionale, ma anche relativi alla gravità delle conseguenze di questi, al fine di potere fattivamente agire sulla riduzione del numero delle vittime di incidenti stradali legati ai veicoli a due ruote.

I risultati ottenuti devono essere considerati come un primo tentativo di analisi e di comprensione della complessa dinamica incidentale, propria di un traffico caratterizzato da veicoli differenti.

Ciò si rivela fondamentale per diffondere e consolidare una consapevolezza generalizzata, sia nel TWD che nell'utente delle quattro ruote, del grado di rischio legato alla guida in condizioni di traffico eterogeneo ed in particolare alla guida di un motoveicolo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] European Parliament and Council Decision 169296/EC of 23 July 1996 on *Community guidelines for the development of the Trans –European network*, Art. 10, Par.5, O.J. L.228 of 9 September 1996.
- [2] Commissione europea, *Comunicazione n. 131, Promuovere la sicurezza stradale nell'Unione europea: il programma 1997-2001*, 1997.
- [3] Commissione Europea, *Libro Bianco sulla Politica europea dei trasporti fino al 2010: il momento delle scelte, (2003-2010, COM(2001)370*, 2001.
- [4] European Parliament *Resolution A5-01/2000*, 18 Gennaio 2001.
- [5] Commissione Europea, *Rapporto intermedio*, 10 febbraio 2002.
- [6] Commissione Europea, *VI Programma di azione europeo per la sicurezza stradale - Dimezzare il numero di vittime della strada nell'Unione europea entro il 2010: una responsabilità condivisa, COM(2003)311*, 2 giugno 2003.
- [7] Commissione Europea: *Salvare 20.000 vite sulle nostre strade una responsabilità condivisa, programma di azione europeo per la sicurezza stradale*, COM(2003) 311, 2003.
- [8] I° ROSEBUD Conference *Major aspects of road safety measure assessment*, 24th June, Gladbach, Germany, 2003.
- [9] Conferenza Europea dei ministri dei trasporti - Cemt, *Dati preliminari sulla sicurezza stradale in Europa nel 2004*, 2005.
- [10] Commissione Europea, *SafetyNet Project: Building the European Road Safety Observatory*, 2004.
- [11] Commissione Europea, *SafetyNet Project: Building the European Road Safety Observatory*, 2005.

- [12] European Commission –DG Energy and Transport, ECORYS –SWOV (Netherlands), *Impact Assessment Road Safety Action Programme*, Assessment for mid term review, Final Report, Rotterdam 2005.
- [13] Comunicazione Commissione Europea, *Mid Term Review of the 2003 Road Safety Action Plan*, COM(2006) 74, 22 Febbraio 2006.
- [14] Commissione Europea, *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on road infrastructure safety management*, Brussels, 5 ottobre 2006.
- [15] Commissione Europea, *Proposta per una decisione del Parlamento Europeo e del Consiglio riguardo il Settimo Programma Quadro della Comunità Europea di ricerca, sviluppo tecnologico e dimostrazione (2007-2013)*, 2005.
- [16] Commissione Europea, *VII Programma quadro sulle attività comunitarie di ricerca, sviluppo tecnologico e dimostrazione (COM(2005)0440 – C6-0381/2005 – 2005/0185(CNS))*, 2007-2013, 2006.
- [17] ERTRAC, European Road Transport Research Advisory Council, *ERTRAC Research Framework*, Aprile 2006.
- [18] Dipartimento dei Trasporti del Regno Unito 2001, *Road Safety Research Report*, 2001.
- [19] Dipartimento dei Trasporti del Regno Unito, *The Future of Transport - a network for 2030*, 2004.
- [20] Dipartimento dei Trasporti del Regno Unito, *Transport Statistic Bulletin*, 2004.
- [21] European Road Statistics 2006.
- [22] Istat, *Volumi di statistica degli incidenti stradali (anni 1991-2004)*, 2005.
- [23] Istat, *Volumi di statistica degli incidenti stradali (anni 1991-2005)*, 2006.
- [24] SISTAN – Sistema statistico nazionale Comune di Ferrara, Servizio di Statistica, *Incidenti stradali nel comune di Ferrara nel triennio 2002-2003-2004*, Gennaio 2006.
- [25] Dati incidentalità comune di Bondeno, Ferrara anni 2001-2006.
- [26] Comune di Bologna Settore Programmazione, Controlli e Statistica, *Incidenti stradali a Bologna*, Dati aggiornati al 2005.
- [27] Bologna, PGTU, *Piano Direttore della Sicurezza stradale*, 2005.

[28] D.M. 02.08.1980: *Criteri generali e prescrizioni tecniche per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo di ponti stradali.*

[29] Circolare n. 50 del 12.11.1987: *Direttive sulla progettazione e sugli interventi necessari per la migliore utilizzazione delle Strade Statali.*

[30] D.M.LL.PP. 04.05.1990: *Aggiornamento delle Norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo dei ponti stradali*, G.U. 29.01.1991 n. 24.

[31] D.L. 30 aprile 1992 n. 285: *Nuovo Codice della Strada*, G.U. 18.05.1992.

[32] D.P.R. 16 dicembre 1992 n. 495: *Regolamento di esecuzione e di attuazione del nuovo Codice della Strada*, G.U. n. 303 28.12.1992.

[33] CNR, Commissione di studio per le Norme relative ai materiali stradali e progettazione, costruzione e manutenzione delle strade, DP CNR N°13465 del 11/09/1995, *Criteri per la classificazione della rete delle strade esistenti ai sensi dell'Art. 1, comma 4 e 5 del nuovo codice della strada*, Rapporto finale, Roma, 13 marzo 1998.

[34] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, DM 5 novembre 2001, *Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade.*

[35] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Ispettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale, *Studio per la Redazione di Linee Guida per la Realizzazione di un Sistema di Controllo Preventivo della Sicurezza Stradale*, 25 gennaio 2001.

[36] Ministero dei LL. PP., Ispettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale, Circolare N. 3698 *Linee Guida per la redazione di Piani della Sicurezza Stradale Urbana*, 2001.

[37] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Ispettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale, Circolare N. 3699 *Linee Guida per le Analisi di Sicurezza delle Strade*, 2001.

[38] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Ispettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale, *Piano Nazionale della Sicurezza Stradale: Azioni Prioritarie*, Marzo 2002.

[39] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Ispettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale, *Piano Nazionale della Sicurezza Stradale: Allegati tecnici*, Marzo 2002.

- [40] DM n. 1699, *Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali*, 19.4.2006.
- [41] Circolare n. 2337 del 11.07.1987: *Provvedimenti per la sicurezza stradale. Barriere stradali. specifica per l'impiego delle barriere in acciaio*, G.U. 06.08.1987 n. 182.
- [42] D.M. 18.02.1992 n. 223: *Regolamento recante istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza*, G.U. 16.03.1992 n. 63.
- [43] Circolare n. 2595 del 09.06.1995: *Barriere stradali di sicurezza*, G.U. 16.06.1995 n. 139.
- [44] Circolare n. 2357 del 16.05.1996: *Fornitura e posa in opera di beni inerenti la sicurezza della circolazione stradale*.
- [45] D.M. 15.10.1996 n. 252: *Istruzioni tecniche sulla progettazione, omologazione ed impiego delle barriere stradali di sicurezza. Prescrizioni tecniche per le prove delle barriere stradali di sicurezza ai fini dell'omologazione*, G.U. 03.12.1996 n. 283.
- [46] ISO 13232-1/1996: *Motorcycles-Test and analysis procedures for research evaluation of rider crash protective devices fitted to motorcycles-Part 1: Definitions, symbols and general considerations*.
- [47] ISO 13232-2/1996: *Motorcycles-Test and analysis procedures for research evaluation of rider crash protective devices fitted to motorcycles-Part 2: Definition of impact conditions in relation to accident data*.
- [48] ISO 13232-3/1996: *Motorcycles-Test and analysis procedures for research evaluation of rider crash protective devices fitted to motorcycles-Part 3: Anthropometric impact dummy*.
- [49] ISO 13232-4/1996: *Motorcycles-Test and analysis procedures for research evaluation of rider crash protective devices fitted to motorcycles-Part 4: Variables to be measured, instrumentation and measurement procedures*.
- [50] ISO 13232-5/1996: *Motorcycles-Test and analysis procedures for research evaluation of rider crash protective devices fitted to motorcycles-Part 5: Injury indices and risk/benefit analysis*.
- [51] ISO 13232-6/1996: *Motorcycles-Test and analysis procedures for research evaluation of rider crash protective devices fitted to motorcycles-Part 6: Full-scale impact-test procedures*.

- [52] ISO 13232-7/1996: *Motorcycles-Test and analysis procedures for research evaluation of rider crash protective devices fitted to motorcycles-Part 7: Standardized procedures for performing computer simulations of motorcycle impact tests.*
- [53] ISO 13232-8/1996: *Motorcycles-Test and analysis procedures for research evaluation of rider crash protective devices fitted to motorcycles-Part 8: Documentation and reports.*
- [54] Circolare n. 4622 del 15.10.1996: *Istituti autorizzati all'esecuzione di prove di impatto in scala reale su barriere stradali di sicurezza.*
- [55] D.M. 26.11.1997 n, 223: *Istruzioni tecniche sulla progettazione, omologazione ed impiego delle barriere stradali di sicurezza. Prescrizioni tecniche per le prove delle barriere e dispositivi di sicurezza stradale ai fini dell'omologazione.*
- [56] D.M. 03.06.1998: *Istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza. Prescrizioni tecniche per le prove ai fini dell'omologazione, G.U. 29.10.1998 n. 253.*
- [57] D.M. 11.06.1999: *Aggiornamento delle Istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza, G.U. 07.08.1999 n. 184.*
- [58] Circolare n. 4622 del 06.04.2000: *Istituti autorizzati all'esecuzione di prove di impatto in scala reale su barriere stradali di sicurezza.*
- [59] UNI EN 1317-1/2000 - *Barriere di sicurezza stradali: Terminologia e criteri generali per i metodi di prova.*
- [60] UNI EN 1317-2/2000 - *Barriere di sicurezza stradali. Classi di prestazione, criteri di accettazione delle prove d'urto e metodi di prova per le barriere di sicurezza.*
- [61] D.M. 02.08.2001 n. 4785 - *Proroga dei termini previsti dall'articolo 3 dal D.M. 11 giugno 1999 inerente le barriere di sicurezza stradale, G.U. 29.12.2001 n. 301.*
- [62] UNI EN 1317-3/2002 - *Barriere di sicurezza stradali: classi di prestazioni, criteri di accettabilità basati sulla prova di impatto e metodi di prova per attenuatori d'urto.*
- [63] UNI EN 1317-4/2003 - *Barriere di sicurezza stradali: classi di prestazione, criteri di accettazione per la prova d'urto e metodi di prova per terminali e transizioni delle barriere di sicurezza.*
- [64] D.M. 21.06.2004 - *Aggiornamento delle istruzioni tecniche per la progettazione, l'omologazione e l'impiego delle barriere stradali di sicurezza e le prescrizioni tecniche per le prove delle barriere di sicurezza stradale, G.U. 05.08.2004 n. 84.*
- [65] Direttiva 25.08.2004 - *Criteri di progettazione, installazione, verifica e manutenzione dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali.*

- [66] Circolare 02.03.2006 n. 753: *Directive inerenti le procedure ed i documenti necessari per le domande di omologazione dei dispositivi di ritenuta nelle costruzioni stradali ai sensi del D.M. 21 giugno 2004.*
- [67] CNR B.U. n. 94/1983 - *Metodo di prova per la misura della macrorugosità superficiale con il sistema delle altezze in sabbia.*
- [68] CNR B.U. n. 105/1985 - *Norme per la misura delle caratteristiche superficiali delle pavimentazioni – Metodo di prova per la misura della resistenza di attrito radente con l'apparecchio portatile a pendolo.*
- [69] CNR B.U. n. 125/1988 - *Istruzioni sulla pianificazione della manutenzione stradale.*
- [70] CNR B.U. n. 147/1992 - *Metodo di prova per la misura del coefficiente di aderenza con l'apparecchio SCRIM.*
- [71] *Una guida per chi progetta e costruisce le infrastrutture stradali le problematiche dei mezzi a due ruote*, Università di Bologna, Distart – Strade Ferrovie e aeroporti, 2005.
- [72] Bucchi A., Simone A., *Il fattore umano nell'ingegneria della sicurezza*, STRADE & AUTOSTRADE, Anno IV, n°1, Gen/Feb 2000, pp. 114-120, 2000.
- [73] Dondi G., Simone A., *La progettazione e lo studio di nuovi dispositivi di sicurezza con l'ausilio di simulazioni numeriche*, Estratto dagli Atti del X Convegno Naz. SIIV (su CD-ROM), 26-28 Ottobre, Catania, 2000.
- [74] Dondi G., Sangiorgi C., Biasuzzi K., Bragaglia M., *Numerical and experimental analysis of a new conception od road restraint systems*, Estratto dagli Atti II Convegno Internazionale SIIV – Firenze, 27 - 29 ottobre, 2004.
- [75] Dondi G., Simone A., *Interaction between safety barrier and soil* – paper submitted to Journal of Geotechnical Engineering, on october, ASCE., 2004.
- [76] Simone A. *Analisi della sicurezza stradale mediante sistemi informativi ed algoritmi fuzzy*, Tesi di dottorato di ricerca in Ingegneria dei Trasporti, XI ciclo, DISTART, Università di Bologna, Novembre 1998.
- [77] K. Biasuzzi *Studio degli interventi di ingegneria della sicurezza nella riqualificazione di infrastrutture stradali*, Tesi di dottorato di ricerca in Ingegneria dei Trasporti, XVII ciclo DISTART, Università di Bologna, 2005.
- [78] Dondi G., Simone A., *Le caratteristiche delle pavimentazioni per le intersezioni stradali a raso*, X Corso di aggiornamento “Tecniche per la sicurezza in ambito urbano”, Ciclo di lezioni sul tema “Le intersezioni stradali a raso”, Desenzano del Garda (BS), 19-20 ottobre, 2006.

- [79] Dondi G., Marinelli M., Vignali V., *Dispositivi di sicurezza ed arredi funzionali per le intersezioni stradali a raso*, X Corso di aggiornamento “Tecniche per la sicurezza in ambito urbano”, Ciclo di lezioni sul tema “Le intersezioni stradali a raso”, Desenzano del Garda (BS), 19-20 ottobre, 2006.
- [80] Centro Interuniversitario di Ricerca per la Sicurezza Stradale (CRISS), *La verifica e la validazione dei progetti stradali mediate il simulatore di guida CRISS*, Strade & Autostrade 1-2004, pagg 147-158.
- [81] S.Leonardi, G.Pappalardo, *Proposta di una metodologia per la scelta dei dispositivi di protezione sui rilevati stradali*, XI Congresso SIIV pg. 1-16, 2001.
- [82] Benedetto C., De Blasiis R., *Le applicazioni dell’*hazard analysis* per la verifica del progetto stradale sotto il profilo della sicurezza*, S.I.I.V. – 2° Corso di Alta Formazione alla Ricerca nel settore SD ICAR 04 – Titignano (PG), 6-10 Settembre, 2004.
- [83] Canale S., Leonardi S., Nicosia F., *Il Fenomeno dell’aderenza in campo stradale, ferroviario ed aeroportuale*. Istituto di Strade Ferrovie ed Aeroporti Facoltà di Ingegneria Università di Catania, dispense del corso di Teoria delle Infrastrutture Viarie.
- [84] Tesi J. Benedetti, *Verifica dei criteri progettuali per gli utenti deboli della strada. Analisi degli standard normativi*, maggio 2004
- [85] C. Rafanelli, T. Montefinale, *Incidenti e basi informative. Parte B, eventi meteorologici*. 1° Convegno Nazionale CNR, Progetto finalizzato Trasporti 2, Roma 19-21 Ottobre 2003.
- [86] S.Leonardi, G.Pappalardo, *Sicurezza delle intersezioni stradali in ambito urbano: proposta di modelli analitici revisionali del livello di incidentalità*, XIII Congresso Nazionale SIIV, Padova, 30/31 Ottobre 2003.
- [87] P. Di Mascio, *Analisi del rischio di incidente per aquaplaning*. Atti della giornata di studio sul tema: La sicurezza intrinseca delle infrastrutture stradali – Roma 20/21 Febbraio 1997.
- [88] Bocci M., Cerni G. *Influenza delle polveri sull’attrito radente nelle pavimentazioni stradali. Atti della giornata di studio sul tema: La sicurezza intrinseca delle infrastrutture stradali* – Roma 20/21 Febbraio 1997.
- [89] Radin Umar R.S., Murray, G. Mackay and Brian, L. Hills *Preliminary Analysis on Impact of Motorcycle Lanes Along Federal Highway F02*, Shah Alam, Malaysia, Journal of IATSS Research Vol. 19, No. 2, 12 –17, 1995.
- [90] Shinar D. *Speed and crashes: a controversial topic and an elusive relationship*, Managing Speed, Special Report 254, Transportation Research Board, Washington DC, pp. 221-276, 1998.

- [91] Tiwari G., Mohan D., Fazio J., *Conflict Analysis for prediction fatal crash locations in mixed traffic streams*, Accident Analysis and Prevention, Vol.30, n. 2, pp. 207–215, 1998.
- [92] Hai, N. G. (1999) Analysis of motorcycle effects on saturation flow rate in Hanoi, Vietnam. AIT Thesis, No. TE-98-5, Asian Institute of Technology, Thailand, 1999.
- [93] State of California – *Business, Transportation and Housing* – Departement of Transportation, Traffic SafeTy System, AAVV, 1998.
- [94] Abu-Odeh A., Bligh R.P., *Side Impact Investigations of a Slip Base Luminaire Pole*, Texas Transportation Institute, 2000.
- [95] Federation of european motorcyclists associations – Fema, *Final report of the Motorcyclists & Crash Barriers Project*, 2000.
- [96] Pau M., *Do speed bumps really decrease traffic speed? An Italian experience*, Accident Analysis and Prevention, 2000.
- [97] Pau M., *Speed Bumps May Induce Improper Drivers' Behavior: Case Study in Italy*, Accident Analysis and Prevention 2002.
- [98] Nakatsuji, Hai, Taweasilp, and Tanaboriboon, *Effect of motorcycle on capacity of signalized intersection*, Journal of Infrastructure Planning, Vol. 18, No. 5, 935 – 942, 2001.
- [99] P. C. Noordzij (SWOV), E. Forke (IfZ), R.Brendicke (IfZ) & B.P.Chinn (TRL) *Integration of needs of moped and motorcycle riders into safety measures*, Review and statistical analysis in the framework of the European research project PROMISING, Workpackage 3, D-2001.
- [100] Kasputin R. *Transportation disaster investigation*, In: Carper K. (Ed.) Forensic Engineering, second ed. CRC Press, Boca Raton, pp. 159-222, 2001.
- [101] Anh T.Thuy., Anh T.Tu, Dao N.X., *Conflict technique applied to traffic safety on the model corridor of Hanoi*, Journal of the Eastern Asia Society or Transportation Studies, Vol. 5, pp. 1875-1890, October 2003.
- [102] L.W. Lan, CW. Chang, *Motorbike's moving behavior in mixed traffic: particle-hopping with cellular automata*, Journal of the Eastern Asia Society or Transportation Studies, Vol. 5, pp. 23-37, October 2003.
- [103] Minh C. C., Sano K., *Analysis of motorcycle effects to saturation flow rate at signalized intersection in developing countries*, Journal of the Eastern Asia Society or Transportation Studies, Vol. 5, pp. 1211-1222, October 2003.

- [104] Davis G.A., *Method for estimating effect of traffic Volume and Sped on Pedestrian Safety for residential streets*, Transportation Research Record 1636, Paper N° 98-1330, 2000.
- [105] Davis G.A., Davuluri S., Sanderson K., *A vehicle / Pedesrian Collision model for Neighborhood Traffic control*, Annual Meeting, TRB 2003.
- [106] Gary A. Davis (2004) *Possible aggregation biases in road safety research and a mechanism approach to accident modelling*, Accident Analysis & Prevention 36, Elsevier Ltd, pp. 1119-1127.
- [107] O.Atahan Ali, Ross H.E., *Computer Simulation of Recycled Content guardrail Post impacts*, Journal of Transportation Engineering, November/December 2004.
- [108] O.Atahan Ali, *A recommended specification for recycled content guardrail posts*, NRC Research Press, Canada, 2004.
- [109] Statens vegvesen, *Norwegian Public Roads Administration Handbooks. MC Safety, design and Operation of Roads and Traffic System*. Handbook n. 245, 2004.
- [110] Vavryn K., Winkelbauer M., *Braking performance of experienced and novice motorcycle riders – results of a field study*, ICTTP paper 2004.
- [111] Law T.H., Radin Sohadi R.U., *Determination of comfortable safe width in an exclusive motorcycle lane*, Journal of the Eastern Asia Society or Transportation Studies, Vol. 6, pp. 3372-3385, 2005.
- [112] CIDAUT, Alberto Mansilla, *Passive Safety Devices: state of European research*, 2005.
- [113] Minh C. C., Matsumoto S., Sano K., *Characteristic of passing and paired riding maneuvers of motorcycle*, Journal of the Eastern Asia Society or Transportation Studies, Vol. 6, pp. 186-197, 2005.
- [114] C.C. Minh, K. Sano, S. Matsumoto, *The speed, flow and Headway analyses of motorcycle traffic*, Journal of the Eastern Asia Society or Transportation Studies, Vol. 6, pp. 1496-1508, 2005.
- [115] Rongvriyapanich T., Suppattrakul C., *Effects of motorcycles on traffic operations on arterial streets*, Journal of the Eastern Asia Society or Transportation Studies, Vol. 6, pp. 137-146, 2005.
- [116] L. Goubert, *Motorcyclist safety: how can better road engineering help?, The contribution contribution of road surfacing*, Belgian Road Research Centre, The ERF INFRASTRUCTURE SAFETY FORUM, 1st Forum Workshop, Brussels March 15, 2005.

- [117] A. Perlot, *Motorcyclist safety: how can better road engineering help?*, *The motorcyclists' agenda for road safety*, FEMA, ERF Infrastructure Safety Forum 15th March 2005.
- [118] ACEM., *MAIDS In-Depth Investigation of Motorcycle Accident*. Luglio 2003.
- [119] ACEM, *Guidelines for PTW-safer road design in Europe*, 2005.
- [121] Departement for transport, *In depth study of Motorcycle Accident*, Road Safety Research Report N° 54, Londra Novembre 2004.
- [122] Nota informativa Setra-CSTR, *Glissieres metalliques et securité des motocyclistes*, 1999.
- [123] Guida tecnica Setra-Certu *Prise en compte des motocyclistes dans l'aménagement et la gestion des infrastructures*, (2000).
- [124] Brown, I.D. *A review of the 'look but failed to see' accident causation factor*. In Behavioural Research in Road Safety XI. London: Department for Transport, Local Government and the Regions 2002.
- [125] Duncan, J. *Converging levels of analysis in the cognitive neuroscience of visual attention*. In G.W. Humphreys, J. Duncan and A. Treisman (eds) *Attention, Space and Action: Studies in Cognitive Neuroscience*. Oxford: OUP, 112–129, 1996.
- [126] Mack, A. and Rock, I. *Inattention Blindness*. Cambridge, MA: MIT Press, 1998.
- [127] Mannering, F.L. and Grodsky, L.L. *Statistical Analysis of Motorcyclists' Perceived Accident Risk*. *Accident Analysis and Prevention*, 27(1), 21–31, 1995.
- [128] Otte, D. et al., *Impact mechanisms of helmet protected heads in motorcycle accidents*, *Accidental Study of COST 327*. Proceedings of the 2nd International Motorcycle Conference in Munich, pp 83-109, Institut für Zweiradsicherheit IFZ No. 8, 1998.
- [129] Otte, D., *Unfall-und Verletzungssituation bei Motorrollern*., Proceedings of the 2nd International Motorcycle Conference in Munich. Forschungshefte Zweiradsicherheit, IFZ No. 8, 1998.
- [130] Brenac T., Clabaux N., Perrin C., Van Elslande P., *Motorcyclist conspicuity – related accidents in urban areas: a speed problem?*, *Advances in Transportation Studies an international Journal Section A* 8, 2006.
- [131] Harnen S., Radin Umar R.S., Wong S.V., Wan Hashim W.I., *Motorcycle accident prediction model for junctions on urban roads in Malaysia*, *Advances in Transportation Studies an international Journal Section A* 8 2006.

- [132] Brailly, M.-C. *Studie von Motorradunfällen mit Stahlleitplankenprall*, Proceedings of the 2nd International Motorcycle Conference in Munich. Forschungshefte Zweiradsicherheit No. 8, Institut für Zweiradsicherheit IfZ, Essen, 1998.
- [133] EEVC. *Report on motorcycle safety*. Report of the ad-hoc group of the European Experimental Vehicles Committee EEVC, Brussels, 1993.
- [134] H.Steffan, *A simulation program for car accidents*, ISATA, Aachen, 1993.
- [135] H.Steffan, A.Moser, *The collision and trajectory models of PC-Crash*, SAE 960886, 1993.
- [136] Quddus M.A., Noland R.B., Chin H.C. *An analysis of motorcycle injury and vehicle damage severity using ordered probit models*. Journal of Safety Research 33 (4), pp. 445-462. 2002.
- [137] Hauer E. *Empirical Bayes Approach To The Estimation of "Unsafety"; The Multivariate Regression Method*. Accident Analysis & Prev., Vol. 24, n. 5, pp. 457 – 477, 1992.
- [138] Hall J.W., Pendleton O.J. *Rural Accident Rate Variation With Traffic Volume*, Transportation Research Record 1281, TRB, NRC, Washington, DC, pp. 62-70, 1990.
- [139]. Hsu, Tien-Pen, Ahmad Farhan Mohd Sadullah, Nguyen Xuan Dao, *A comparison study on motorcycle traffic development in some Asian countries – case of Taiwan, Malaysia and Vietnam*, Final Report, 28 October 2003.
- [140] B. Huang and J. Preston, *A Literature Review on Motorcycle Collisions Final Report*, Transport Studies Unit Oxford University April 2004.
- [141] Motoaki Deguchi, *Simulation of motorcycle-car collision*, YAMAHA MOTOR CO., LTD., Japan, Paper Number 05-0041.
- [142] Institut Für Zweiradsicherheit e V., *Sicherheit, Umwelt, Zukunft₂* Nr. 12 Proceedings of the 6th International Motorcycle Conference 2006.
- [143] Hung-Jung Cho, Yuh-Ting Wu, *Modeling and simulation of motorcycle traffic flow*, IEEE International Conference of System, Man and Cybernetic, 2004.
- [144] S. Harnen, R.S. Radin Umar, S.V. Wong, W.I. Wan Hashim, *Predictive Model for Motorcycle Accident at three-legged Priority Junctions*, Traffic Injury Prevention, Vol.4, N°4, 2003.

- [145] S. Harnen, R.S. Radin Umar, S.V. Wong, W.I. Wan Hashim, *Motorcycle crash prediction model for non-signalized intersections*, IATSS Research Vol.27, N°2, 2003.
- [146] S. Harnen, R.S. Radin Umar, S.V. Wong, W.I. Wan Hashim, *Development of prediction models for motorcycles crashes at signalized intersection on urban roads in Malaysia*, Journal of transportation and statistics, Vol. 7, N°2/3, 2004.
- [147] T.H. Law, R.S. Radin Umar, S. Zulkaurnain and S. Kulanthayan, *Impact of the effect of economic crisis and the targeted motorcycle safety programme on motorcycle-related accidents, injuries and fatalities in Malaysia*, International Journal of Injury Control and safety Promotion, Vol.12, N° 1, pp. 9 - 21, March 2005.
- [148] H. Hussain, R.S Radin Umar, M. S. Ahmad Farhan, M. M Dadang, *Key components of a motorcycle –traffic system, a study along the Motorcycle path in Malaysia*, IATSS Research Vol. 29, N° 1, 2005.
- [149] Sohadi, Chai W.L., Hussain H, Law T.H., *Modelling of traffic Accident Along Major Trunk roads in Malaysia*, Radin Umar Radin, Journal – Institution of Engineers, Malaysia Vol. 62, N° 3, 2001.
- [150] Trevor C. Bailey, Paul J. Hewson, *Simultaneous modelling of multiple traffic safety performance indicators by using a multivariate generalized linear mixed model*, J. Royal Statistical Society A 67, Part 3, pp 501-517, 2004.
- [151] Satish Chandra, Upendra Kumar, *Effect of Lane Width on Capacity under mixed Traffic conditions in India*, Journal of Transportation engineering, March-April, 2003.
- [152] Sham Alam, Malaysia, Radin Umar R.S., Murray G. Mackay, Brian L. Hills, *Preliminary analysis of exclusive motorcycle lanes along the federal highway F02*, IATSS Research Vol.19, N°2, 1995.
- [153] Radin Umar R.S., Murray G. Mackay, Brian L. Hills, *Multivariate Analysis of Motorcycle Accidents and the effects of exclusive Motorcycle Lanes in Malaysia*, J. Crash Prevention and Injury Control, Vol 2(1), pp. 11-17, 1999.
- [154] Radin Umar R.S., Murray G. Mackay, Brian L. Hills, *Modelling of conspicuity related motorcycle accidents in Seremban and Shah Alam, Malaysia*, Accid. Anal. And Prev, Vol. 28 N°3, pp 325-332, 1996.
- [155] Radin Umar R.S., Murray G. Mackay, Brian L. Hills, *Preliminary analysis of motorcycle accidents: short-term impacts of the running headlights campaign and regulation in Malaysia*, Traffic Med, Vol. 23, N° 1, 1995.
- [156] R. Lamm, T. Ruscher, S. Cafiso, G. La Cava, *A comparison of the Accident situation for different road user and age groups during the last two decades Western Europe vs. U.S.A*, Atti convegno SIIV Firenze, 2004.

- [157] Hsin-Li Chang, Tsu-Hurng Yeh, *Motorcyclist accident involvement by age, gender, and risky behaviors in Tapei, Taiwan*, Transportation Research, Part F 10, pp. 109-122, 2006.
- [158] Elliot M.A. et al., *Errors and violations in relation to motorcyclists' crash risk*, Accident Analysis Prevention, 2006.
- [159] Sohadi, Chai W.L., Hussan H, Law T.H., *The value of exclusive motorcycle lanes to motorcycle accidents and casualties in Malaysia*, Journal – Institution of Engineers, Malaysia 2001.
- [160] Ministero dei Lavori Pubblici, Ispettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale, *Definizione dei principali temi di ricerca per il miglioramento della sicurezza delle infrastrutture nel breve, medio e lungo periodo: Scheda 20 – Funzioni di prestazione della sicurezza in ambito urbano*, Università degli Studi di Napoli, D.I.T. – Università degli Studi di Messina, Di.C.T.A. – Napoli, 9 ottobre 2000.
- [161] Layfield R.E., Summersgill I., Hall R.D., Chatterjee K., *Accidents at urban priority crossroads and staggered junctions*, TRL Report 185 – 1996.
- [162] Persaud B.N., Retting R.A., Garder P.E., Lord D., *Crash reductions following installation of roundabouts in the United States*, Insurance Institute for Highway Safety – March 2000.
- [163] AA.VV., *Relationships between road accidents and traffic flows in an urban network – Traffic Engineering Control*, September 1992.
- [164] McDonald J.W., *Relationship between number of accidents and traffic volumes at divided highway intersections*, National Research Council – Report 74 – Washington D.C. – 1966.
- [165] Brude U., Hedman K., Larsson J., *Design of major urban junction accident prediction and empirical comparisons*, VTI EC Research 3, 1998.
- [166] Stark D.C., *Relating speed to accident risk at priority junctions*, Proceedings of the 22th european transport forum – 1994.
- [167] Vertet M., Brenac T., *Le rotatorie come strumento di sicurezza*.
- [168] Taylor, M.C., A. Baruya, and J.V. Kennedy, *The Relationship Between Speed and Accidents on Rural Single-Carriageway Roads*, Report TRL 511. Berkshire, England: TRL Limited, 2002.

[169] Vogt, A. and J.G. Bared., *Accident Models for Two-Lane Rural Road: Segments and Intersections*, Report Number FHWA-RD-98-133. Washington, DC: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 1998.

[170] APROSYS Project, European funded project, TIP3-CT-2004-506503, *Report on Accidentology analyses for motorcycles/riders impacts against vehicles. State – of – art of motorcycle protective devices. Future research guidelines*, Deliverable 4.1.2, AP – SP41-0002.

[171] APROSYS Project, European funded project, TIP3-CT-2004-506503, *Report on accident scenarios for motorcycle – motorcyclist – infrastructure interaction. State – of – the – art. Future research guidelines*, Deliverable 4.1.3, AP – SP41-0003.

[172] APROSYS Project, European funded project, TIP3-CT-2004-506503, *Report on the performance of riders protective devices and the corresponding injuries riders. State-of-the art regarding mtorcyclist’ helmet and clothing. Future research guidelines*, Deliverable 414, AP – SP41-0004.

[173] Brevetti Corporation S.r.L., *materiale informativo*, 2005.

[174] Cossalter V., *I pneumatici della motocicletta* – <http://www.dinamoto.it> Dinamica del motociclo. Dipartimento di Ingegneria Meccanica - Università degli Studi di Padova.

[175] [www. http://world.honda.com](http://world.honda.com)

[176] www.motoairbag.com

[177] www.ildiogene.it

[178] www.aiscat

[179] www.comune.bologna.it/iperbole/piancont/dati_statistici