



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA  
FACOLTÀ DI INGEGNERIA  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

---

---

TESI DI DOTTORATO DI RICERCA IN INGEGNERIA DELLE  
INFRASTRUTTURE VIARIE

---

ROSARIO CAVARRA

**VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA DEGLI  
ATTRAVERSAMENTI PEDONALI CON LA TECNICA  
DEI CONFLITTI DI TRAFFICO**

Tutor:

Chiar.mo Prof. Ing. Salvatore Cafiso

---

---

## INDICE

INTRODUZIONE .....	1
Bibliografia .....	9
CAPITOLO 1	
LA SICUREZZA DEI PEDONI .....	11
Premessa.....	11
1.1 Interazioni veicolo-pedone .....	14
1.1.1 Comportamento del pedone all'attraversamento .....	15
1.1.2 Comportamento del conducente del veicolo.....	16
1.2 L'incidente pedonale .....	18
1.2.1 Interazioni trasversali tra le traiettorie .....	19
Bibliografia .....	26
CAPITOLO 2	
LA TECNICA DEI CONFLITTI DI TRAFFICO .....	29
Premessa.....	29
2.1 Traffic Conflict Technique .....	30
2.2 La tecnica dei conflitti di traffico nelle differenti nazioni.....	33
2.3 Validità della Tecnica dei Conflitti di Traffico .....	38
2.4 L'affidabilità della tecnica dei conflitti di traffico .....	40
2.5 Miglioramenti suggeriti in letteratura.....	41
2.6 Rappresentazioni alternative di severità di conflitto .....	42
2.7 Calcolo del numero previsto di incidente dai dati di conflitto .....	45
2.8 Metodologia.....	48
2.9 Identificazione del conflitto di traffico.....	50
2.10 Misura del campione di studio .....	51
Bibliografia .....	54

---

## CAPITOLO 3

TCT PER PEDONI.....	57
Premessa.....	57
3.1    Analisi di incidentalità.....	58
3.1.1 Osservazioni sul campo relative agli incidenti .....	60
3.1.2 Dati di conflitti di traffico .....	60
3.2    Indicatori prossimali di sicurezza applicati al caso dei conflitti con pedoni.....	61
3.3    TA: Time to Accident.....	62
3.3.1 Calcolo del “Tempo all’Incidente” in un evento critico di sicurezza .....	63
3.3.2 Potenzialità e limitazioni del TA .....	64
3.4    TTC: Time to Collision .....	65
3.4.1 Esempio: Calcolo dello Tempo allo scontro in un evento critico di sicurezza.....	69
3.4.2 Le potenzialità e le limitazioni del TTC .....	69
3.5    TTC Approssimato .....	71
3.6    TTC exposed e TTC integrated .....	72
3.7    Time to Zebra (TTZ) .....	74
3.8    PET: Post Encroachment Time .....	75
3.8.1 Le potenzialità e le limitazioni del PET.....	77
3.9    Derivati del PET .....	77
3.10    Deceleration Safety Time (DST).....	79
3.10.1 Potenzialità e limitazioni del DST .....	82
Bibliografia .....	83

## CAPITOLO 4

PEDESTRIAN RISK INDEX (PRI).....	85
4.1    Il campo di applicazione.....	85
4.2    Pedestrian Risk Index (PRI) .....	87
4.2.1 Area di conflitto .....	87
4.2.2 Fasi di conflitto .....	89
4.2.3 Definizione fisica delle tre fasi di conflitto .....	91
4.2.3.1 Tempo allo scontro per i veicoli (Vehicle Time to Collision) .....	91
4.2.3.2 Tempo allo scontro per i pedoni (Pedestrian Time to Collision) .....	92
4.2.3.3 Il tempo di frenata (Tfi).....	93

---

4.2.3.4TTZ duration .....	94
4.2.4 Formulazione del PRI .....	95
4.2.4.1 Probabilità di Incidente .....	95
4.2.4.2 Severità delle conseguenze .....	96
4.2.4.3 Fattore di esposizione.....	98
Bibliografia .....	103

## CAPITOLO 5

METODOLOGIA DI RACCOLTA DEI DATI .....	107
Premessa.....	107
5.1 Analisi in situ.....	108
5.1.1 Analisi di sicurezza.....	108
5.1.2 Liste di controllo .....	109
5.1.3 L'indice di sicurezza.....	112
5.1.4 Rilievo dei flussi di traffico .....	114
5.1.4.1Stima dei flussi di traffico veicolare .....	115
5.1.4.2Stima dei flussi di traffico pedonale .....	117
5.2 Elaborazione video .....	118
5.2.1 Trattamento delle immagini: cattura.....	118
5.2.2 Trattamento di immagini: digitalizzazione .....	119
5.2.3 Trasformazione omografica .....	120
5.2.4 " Vision Artificial aplicada al trafico" .....	123
5.2.5 Calcolo delle velocità e delle accelerazioni .....	129
5.3 Elaborazione dati .....	130
Bibliografia .....	134

## CAPITOLO 6

CALIBRAZIONE DEL PEDESTRIAN RISK INDEX .....	135
Premessa.....	135
6.1 Campione di calibrazione .....	136
6.1.1 Analisi dei dati sugli incidenti .....	136
6.1.2 Selezione dei siti .....	138
6.1.2.1Attraversamenti Catania.....	139

---

6.1.2.2	Attraversamenti Biancavilla.....	143
6.2	Metodologia predittiva proposta dall’HSM.....	144
6.2.1	Safety Performance Function (SPF) .....	144
6.2.2	Correzione Empirico Bayesiana (EB).....	150
6.2.3	Analisi dei risultati.....	151
6.2.4	Fattore di esposizione (EXPO) .....	152
6.2.5	Fattore f(Vimpact) .....	153
6.2.6	Scelta dei parametri e della corretta formulazione del modello .....	153
6.2.6.1	Velocità del pedone.....	153
6.2.6.2	Tempo di reazione e valore di decelerazione.....	153
6.2.7	Analisi dei risultati.....	154
	Bibliografia .....	166
CAPITOLO 7		
	APPLICAZIONI SPERIMENTALI .....	167
	Premessa.....	167
7.1	Applicazione I: Giugliano (Napoli, Italia).....	167
7.1.1	Descrizione .....	168
7.1.2	Analisi dei risultati.....	172
7.2	Applicazione II: Cittadella Universitaria di Catania (Catania, Italia) .....	175
7.2.1	Descrizione .....	175
7.2.2	Analisi dei Risultati .....	179
7.3	Applicazione III: Belgida (Valencia, Spagna).....	181
7.3.1	Descrizione .....	181
7.3.1.1	Prima fase (Nord 1 & Sud 1) .....	184
7.3.1.2	Seconda fase (Nord 2 & Sud 2) .....	185
7.3.1.3	Terza Fase(Nord 3 & Sud 3).....	186
7.3.1.4	Quarta Fase(Nord 4 & Sud 4 ) .....	188
7.3.2	Analisi dei risultati.....	189
	Bibliografia .....	193
	CONCLUSIONI.....	195

---

---

RINGRAZIAMENTI .....	199
RIEPILOGO BIBLIOGRAFICO .....	201

---

## INDICE DELLE FIGURE

Figura I.1 Statistiche Europee .....	2
Figura I.2 Indice di mortalità e gravità totale- anni 2000-2008 .....	2
Figura I.3 Confronto tra indice di gravità totale e indice di gravità per i pedoni negli anni 2000-2008. ....	3
Figura 1.1. Il pedone attraversa e viene colpito dal veicolo.....	19
Figura 1.2. Il pedone è colpito mentre attraversa ad alta velocità un'arteria stradale.....	20
Figura 1.3. Il pedone è colpito mentre gioca.....	21
Figura 1.4. Il veicolo in entrata o uscita da un vialetto privato colpisce il pedone.....	21
Figura 1.5. Il pedone attraversa tra due veicoli ed è colpito da un terzo che giunge nella corsia adiacente.....	22
Figura 1.6. Il pedone inizia l'attraversamento pedonale e resta bloccato a metà .....	23
Figura 1.7. La presenza del pedone è occultata dall'autocarro. ....	23
Figura 1.8. Attraversamento del pedone davanti un autobus alla fermata .....	24
Figura 1.9. Il pedone viene colpito dal veicolo in svolta a sinistra .....	25
Figura 1.10. Il pedone viene colpito dal veicolo in svolta a destra .....	25
Figura 2.1. La Piramide di Hayden .....	30
Figura 2.2. Distinzione tra conflitti seri e non, secondo il Time to Accident .....	35
Figura 2.3. Distribuzione di probabilità di accadimento per situazioni critiche .....	42
Figura 2.4. Rappresentazione della severità di conflitto secondo il tasso di frenata richiesto.....	44
Figura 2.5. Zone e livelli di severità uniforme secondo Hyden .....	46
Figura 2.6. Relazione tra conflitti e incidenti .....	48
Figura 3.1. Distinzione fra gli eventi seri e non in conformità con la TCT .....	63
Figura 3.2. Esempio di una situazione di conflitto ed il calcolo dell'Tempo al'Incidente.....	64
Figura 3.3. Situazione con $t = T$ e approccio perpendicolare all'interno della zona dell'intersezione (zona di conflitto) .....	67
Figura 3.4. Valore di TTC nel caso di conflitto con il pedone.....	68
Figura 3.5. Esempio di una situazione di conflitto ed il calcolo dello TTC .....	69
Figura 3.6. Descrizione di TET e TIT .....	73

---

Figura 3.7. Rappresentazione del TTZ.....	74
Figura 3.8. Definizione di Post Encroachment Time(PET) .....	76
Figura 3.9. Esempio di calcolo del PET.....	76
Figura 3.10. DST per un conflitto pedone - automobile .....	79
Figura 3.11. Esempio di calcolo del DST per un passaggio pedonale.....	80
Figura 4.1. Rappresentazione di un conflitto potenziale.....	87
Figura 4.2. Rappresentazione dell'area di conflitto .....	89
Figura 4.3. Frenata in sicurezza .....	89
Figura 4.4. Collisione.....	90
Figura 4.5. Il veicolo a velocità costante passa prima del pedone .....	90
Figura 4.6. Il veicolo in frenata passa prima del pedone .....	91
Figura 4.7. Tempo di conflitto potenziale (TTZduration).....	95
Figura 4.8. Rappresentazione grafica dei precedenti studi sul rischio legato alla V impact.....	96
Figura 4.9. Correlazione tra Vimpact e $\Delta T$ utilizzando $T_r=1.5\text{sec}$ , $a/g=0.6$ .....	98
Figura 5.1. Foglio di calcolo per la definizione di flussi e parametri geometrici e fisici.....	115
Figura 5.2. Trasformazione omografica.....	121
Figura 5.3. Omografia usata nel software .....	122
Figura 5.4. Omografia in caso di cambio della pendenza .....	123
Figura 5.5. Le finestre iniziali di Vision Artificial applicata al traffico.....	124
Figura 5.6. Posizionamento del sistema di riferimento nel software .....	127
Figura 5.7. Posizionamento del rivelatore per catturare la posizione dei veicoli .....	128
Figura 5.8. Foglio di calcolo per l'analisi dei dati .....	130
Figura 6.1. Foglio ISTAT utilizzato nell'analisi di incidente[1] .....	138
Figura 6.2. Rappresentazione delle zone in cui sono localizzati i siti del campione .....	140
Figura 6.3. Localizzazione siti nella zona nord di Catania .....	141
Figura 6.4. Localizzazione siti nella zona centrale di Catania .....	141
Figura 6.5. Localizzazione siti nella zona sud-ovest di Catania .....	142
Figura 6.6. Localizzazione siti di Biancavilla .....	144
Figura 6.7. Procedura di calibrazione di una Safety Performance Function.....	147
Figura 6.8. Calcolo del numero atteso di incidenti .....	153
Figura 6.9. Regressione lineare e valori normalizzati e pesati secondo EXPO .....	162
Figura 6.10. Rappresentazione a curve di livello per per regr. esponenziale e valori normalizz. e pesati secondo EXPO .....	163

---



---

Figura 6.11. Rappresentazione a curve di livello per per regr. esponenziale e valori non pesati per i diversi modelli teorizzati .....	164
Figura 7.1. Localizzazione dei siti in studio nel comune di Giugliano (NA) .....	169
Figura 7.2. Attraversamenti pedonali analizzati mediante i conflitti di traffico a Giugliano .....	169
Figura 7.3. Attraversamento A6, Via Palumbo .....	170
Figura 7.4. Attraversamento A11, Via Palumbo .....	171
Figura 7.5. Attraversamento A36, Via Allende .....	171
Figura 7.6. Localizzazione dei siti in studio presso la Cittadella Universitaria di Catania.....	176
Figura 7.7. Configurazione dell'attraversamento Edificio Didattica .....	177
Figura 7.8. Attraversamento Edificio Didattica .....	177
Figura 7.9. Configurazione dell'attraversamento Edificio Matematica.....	178
Figura 7.10. Attraversamento Edificio Matematica .....	178
Figura 7.11. Laboratorio mobile dell'Università Politecnica di Valencia .....	182
Figura 7.12. Architettura del sistema .....	183
Figura 7.13. Localizzazione dello studio .....	183
Figura 7.14. Configurazione del sito in studio .....	184
Figura 7.15. Attraversamento Sud (A) e Nord (B) nel primo scenario .....	185
Figura 7.16 Attraversamento Sud (A) e Nord (B) nel secondo scenario .....	185
Figura 7.17. Esempio di dosso posto in opera .....	186
Figura 7.18. Esempio di Attraversamento rialzato posto in opera.....	186
Figura 7.19. Attraversamento Sud (A) e Nord (B) nel terzo scenario .....	187
Figura 7.20. Esempio di attraversamento rialzato prefabbricato .....	188
Figura 7.21. Esempio di dosso prefabbricato.....	188
Figura 7.22. Attraversamento Sud (A) e Nord (B) nel quarto scenario .....	189



---

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 2.1. :Livelli di frenata per il DST proposti da Hyden [26].....	43
Tabella 3.1.: Livelli di severità del conflitto secondo il DST .....	81
Tabella 5.1. Liste di controllo .....	111
Tabella 5.2. Livelli di Sicurezza .....	113
Tabella 5.3: Fattori di proporzionalità dei flussi orari veicolari .....	116
Tabella 5.4: Fattori di proporzionalità dei flussi pedonali nelle ore del giorno.....	117
Tabella 6.1. : Attraversamenti selezionati nel comune di Catania .....	143
Tabella 6.2. : Attraversamenti selezionati nel comune di Biancavilla .....	144
Tabella 6.3. : Valori dei $f_{pedr}$ .....	148
Tabella 6.4. : Valori dei parametri del modello .....	150
Tabella 6.5: Valori di PRI secondo i diversi modelli utilizzati.....	157
Tabella 6.6. :Valori di R2 per regressione lineare e valori normalizzati e pesati secondo EXPO .....	160
Tabella 6.7.: Valori di R2 per regressione lineare e valori non pesati per i diversi EXPO .....	160
Tabella 6.8.:Valori di $R^2$ per regr. esponenziale e valori normalizz. e pesati secondo EXPO ..	162
Tabella 6.9.:Valori di $R^2$ per regr. esponenziale e valori non pesati per i diversi modelli teorizzati .....	163
Tabella 6.10.:Riepilogo delle statistiche della regressione esponenziale e valori normalizz. e pesati secondo EXPO .....	164
Tabella 6.11.:Riepilogo delle statistiche della regressione esponenziale e valori non pesati per i diversi modelli teorizzati .....	164
Tabella 6.12.:Valori dei parametri del modello .....	165
Tabella 7.1.: Valori medi e deviazione standard degli indici di conflitto (Giugliano) .....	172
Tabella 7.2.: Test di significatività sulla differenza tra le medie (Giugliano) .....	173
Tabella 7.3.: Risultati delle analisi dei conflitti di traffico per categoria di veicolo (Giugliano)	173
Tabella 7.4.: Risultati delle analisi dei conflitti di traffico per fasce d'età (Giugliano) .....	174
Tabella 7.5.: Valori medi e deviazione standard di PRI (Cittadella Universitaria) .....	179
Tabella 7.6.: Test statistici sui dati rilevati (Cittadella Universitaria) .....	180

---

Tabella 7.7.: Media e deviazione standard dei valori di PRI per l'attraversamento nord (Bélgida)	190
Tabella 7.8.: Media e deviazione standard dei valori di PRI per l'attraversamento sud (Bélgida)	190
Tabella 7.9.: F-test and test T-Student nelle 4 configurazioni nell'attraversamento nord (Bélgida)	191
Tabella 7.10.: F-test and test T-Student nelle 4 configurazioni nell'attraversamento sud (Bélgida)	191

## INTRODUZIONE

Anche se camminare è una modalità di trasporto sempre meno popolare, resta comunque la maniera di viaggiare maggiormente impiegata. La gente di quasi tutte le età, di entrambi i sessi e di tutte le estrazioni sociali, si ritrova a camminare in un contesto caratterizzato dal costante aumento del numero dei veicoli e del traffico.

Diventa quasi inevitabile, quindi, l'attraversamento di una strada, dove la traiettoria del pedone può entrare in conflitto con la velocità più elevata e la minore vulnerabilità dei veicoli a motore, ponendo a rischio soprattutto l'utente più debole.

Tra gli obiettivi primari della ricerca in ambito dei trasporti, è quindi diventata di fondamentale importanza, l'esigenza di occuparsi delle categorie di utenti deboli o "vulnerabili", incoraggiando, tra gli obiettivi futuri, l'adozione di accorgimenti mirati all'aumento della sicurezza pedone nell'ambito delle intersezioni, degli attraversamenti pedonali, dei marciapiedi e delle piste ciclabili. La stessa UE ha proposto una maggiore attenzione su tale calamità, sottolineando l'impellenza della necessità di migliorare la situazione.

Il problema sembra essere di proporzioni globali, con gli infortuni mortali, dovuti ad incidenti di traffico, che secondo le statistiche presentate dall'OMS l'Organizzazione Mondiale della Sanità [1][2] sono valutati come la nona causa di mortalità, la prima fra i giovani di età compresa tra i 15 e i 19 anni e la seconda per i ragazzi dai 10 ai 14 e dai 20 ai 24 anni. Si stima, inoltre, che senza adeguate contromisure, entro il 2020 rappresenteranno la terza causa globale di morte e disabilità. Il peso di questo problema non è distribuito in maniera uniforme ed è fonte di una crescente disuguaglianza tra i diversi Paesi, con svantaggi socioeconomici delle categorie di persone più a rischio.

Recenti studi sull'incidentalità stradale hanno evidenziato che in EU si contano circa 50000 morti all'anno.

In media, negli stati della Unione Europea un terzo di queste vittime sono utenti vulnerabili della strada, con il 19% rappresentato da pedoni [3](Figura I.1).

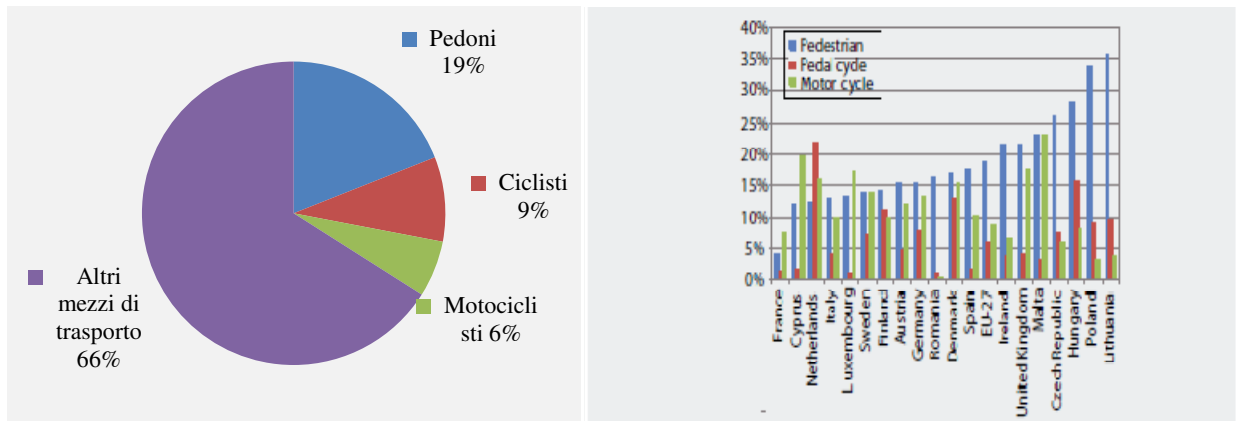


Figura I.1. Statistiche Europee

In Italia ogni giorno si verificano in media 598 incidenti stradali, che provocano la morte di 13 persone e il ferimento di altre 849. Nel complesso, nell'anno 2008, gli incidenti stradali rilevati sono stati 218.963. Tali sinistri hanno causato il decesso di 4.731 persone, mentre altre 310.739 hanno subito lesioni di diversa gravità [4].

Un dato incoraggiante è la riduzione del 14,6% per quanto riguarda il numero di incidenti, del 13,7% per i feriti e del 33,0% per il numero di morti in incidente, registrato tra il 2000 e il 2008. Va sottolineato che, nello stesso arco di tempo, il parco veicolare è cresciuto del 17,7%. Nello stesso periodo si è registrata una costante riduzione della gravità degli incidenti, evidenziata dall'indice di mortalità (numero di morti ogni 100 incidenti), che si attesta al 2,2% nel 2008 contro il 2,8% del 2000, e dall'indice di gravità, che passa da 1,9 a 1,5 decessi ogni 100 infortunati (Figura I.2).

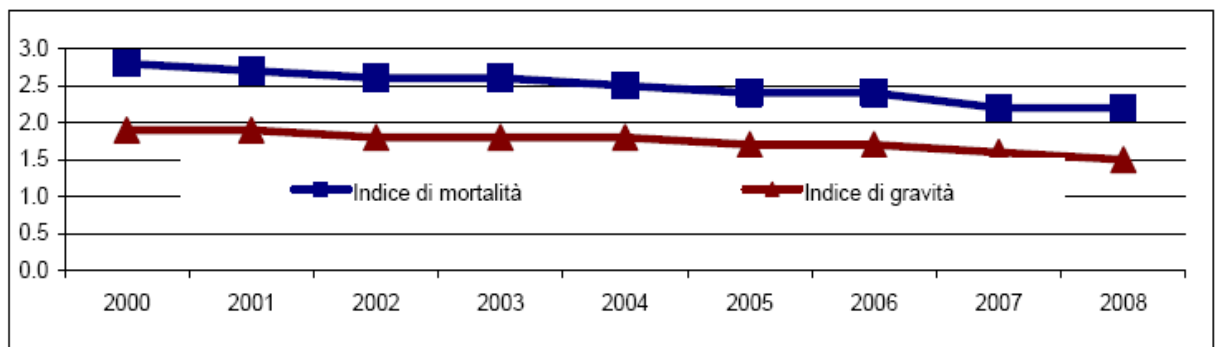


Figura I.2. Indice di mortalità e gravità totale- anni 2000-2008

Emerge però che, in dieci anni, quasi 200.000 pedoni (precisamente 193.134) sono stati investiti in Italia, e di questi 8.028 sono morti, registrando indici di gravità più alti rispetto a casi in cui non erano coinvolti pedoni ( Figura I.3).

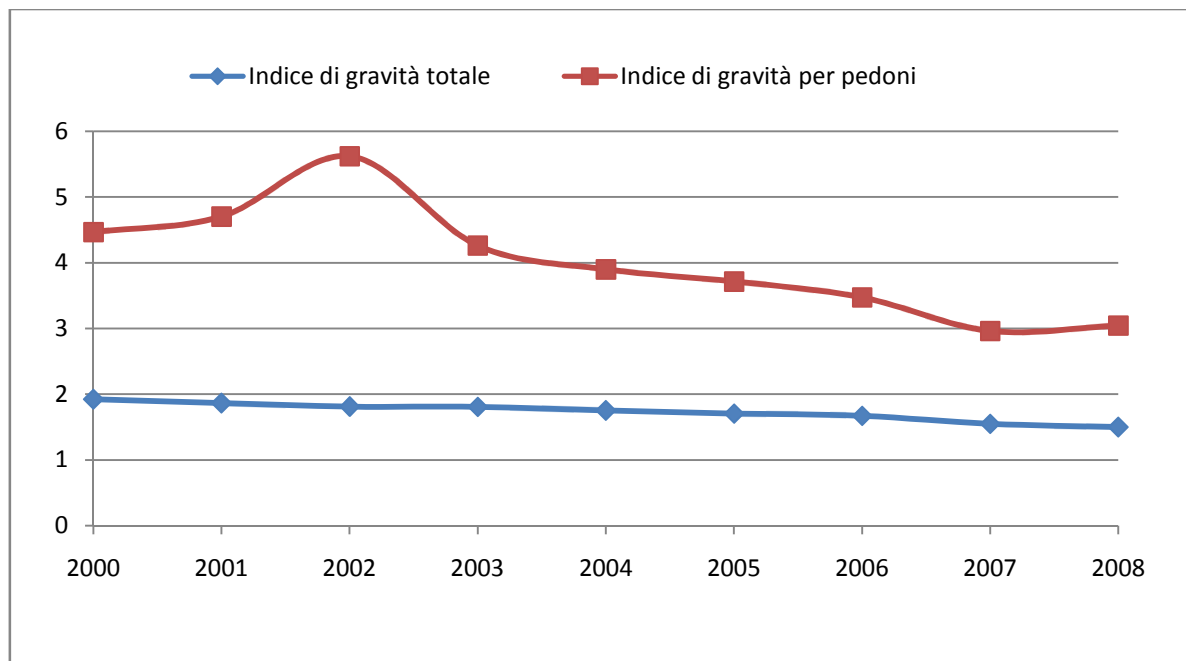


Figura I.3. Confronto tra indice di gravità totale e indice di gravità per i pedoni negli anni 2000-2008.

Nel 2008 le vittime sono state 648 (21 in più rispetto al 2007) e 20.640 i feriti. I recenti dati Aci-Istat hanno confermato che quello dei pedoni rimane un anello molto debole della sicurezza stradale: 57 pedoni al giorno vengono investiti e ricoverati, e due perdono la vita. Si calcola che 35 pedoni ogni centomila abitanti ogni anno finiscono sotto le ruote di un veicolo. E' da sottolineare poi il fatto che un pedone su tre è investito sugli attraversamenti pedonali, rappresentando il 25% di quelli che sono stati uccisi [4].

I dati dell'OCSE (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico) indicano che circa il 30-35% delle morti da incidente stradale avvengono in ambito urbano e che la maggior parte degli incidenti che coinvolgono feriti o morti nelle aree urbane si presenta alle intersezioni e coinvolgono gli utenti più vulnerabili in misura maggiore che altrove.

Numeri degni di un bollettino di guerra che si accompagnano ad un dolore reso ancora più acuto dalla consapevolezza che molte tragedie potrebbero essere evitate con il semplice rispetto delle regole da parte di chi guida.

---

Ad aggravare la situazione contribuiscono anche molti comportamenti imprudenti dei pedoni. Spesso il pedone attraversa distrattamente magari ascoltando musica con delle cuffie o parlando al telefono, inibendosi, così, la possibilità di udire un eventuale avvertimento sonoro dell'automobilista. I pedoni possono dimostrarsi imprudenti anche nelle ore notturne. Trovarsi a camminare su strade che non sono illuminate aumenta esponenzialmente la possibilità di rimanere vittima di un incidente. Il problema della ridotta visibilità può essere però arginato indossando, per esempio, un catarifrangente pedonale, così come i ciclisti devono averne installato almeno uno sulla propria bicicletta.

Un altro punto a sfavore dei pedoni l'ha segnato una recente sentenza della Cassazione secondo la quale «il pedone che attraversa la strada di corsa, sia pure sulle apposite strisce pedonali, immettendosi nel flusso dei veicoli marcianti alla velocità imposta dalla legge, pone in essere un comportamento colposo che può costituire causa esclusiva del suo investimento da parte del veicolo». Il pedone, dunque, è l'unico colpevole laddove l'investitore «dimostri che l'improvvisa ed imprevedibile comparsa del pedone sulla propria traiettoria di marcia ha reso inevitabile l'evento dannoso, tenuto conto della breve distanza di avvistamento, insufficiente per operare un'idonea manovra di emergenza».

La situazione così come viene descritta richiede un'utilizzazione migliore dell'infrastrutture stradali ed ha dato risalto al ruolo della pianificazione del trasporto e dell'ingegneria del traffico come mezzi per ottimizzare le risorse limitate disponibili e raggiungere gli obiettivi chiave del sistema di traffico legati alla sicurezza, rispondendo ai bisogni ed alle esigenze dei differenti gruppi di utenti della strada.

Inoltre poiché le collisioni tra pedoni e veicoli hanno un potenziale molto più elevato di mortalità rispetto ad altri tipi di incidente, si sta sviluppando una crescente sensibilità nel comprendere e prevedere le cause di queste tipologie di infortuni.

Sviluppare contromisure per la protezione dei pedoni avrebbe, inoltre, un effetto molto significativo sulla diminuzione dei costi sociali derivanti da incidenti mortali con pedoni.

Negli ultimi anni si è quindi avvertita in modo sempre maggiore la necessità di analizzare il livello di incidentalità pedonale e le sue tendenze.

In letteratura gli indicatori più usati si rifanno al numero di incidenti, di infortunati o di morti.

I dati di incidentalità sono, infatti, un importante indicatore del livello di sicurezza di una strada, ma presentano il difetto di essere estremamente variabili.



I punti deboli di questa fonte di informazioni nel caso tra le vittime di incidente ci siano pedoni sono ben stabiliti. Ci sono problemi in termini di:

- ✓ Completezza e qualità. La maggior parte dei dati sono spesso basati su un numero limitato di variabili che descrivono le caratteristiche dell'incidente, e che forniscono pochissime informazioni sulla gravità delle conseguenze o il tipo di danno subito dal pedone. La gamma di possibili fattori che possono essere rilevati ed analizzati su questa base è limitata. Inoltre, la qualità dei dati statistici in termini di completezza e precisione non è sempre soddisfacente.
- ✓ Sottostima. Gli incidenti che coinvolgono pedoni sono largamente sottostimati. Il confronto dei rapporti tra i dati della polizia e quelli dell'ospedale è uno dei modi più efficaci per ridurre il livello di scarsità dei dati.

Molti degli incidenti che avvengono al di fuori degli attraversamenti pedonali, così come quelli in corrispondenza degli attraversamenti semaforizzati, derivano purtroppo da un comportamento sbagliato del pedone, a volte per disattenzione, a volte per l'aver optato per una scelta più comoda ma irragionevole, a volte addirittura per un errore che il pedone non sapeva di commettere. In quest'ambito diventa importante dare una corretta educazione ai pedoni.

Nel caso di attraversamenti non semaforizzati, la pericolosità è legata, in gran parte, all'approccio all'attraversamento pedonale da parte del conducente del veicolo piuttosto che a manovre illegali intraprese dai pedoni.

Certo non è pensabile rifare ogni attraversamento presente sulla rete stradale convertendolo in un elemento di semplice lettura per gli utenti, però si può cercare di intervenire con singoli accorgimenti per migliorarne le prestazioni in termini di sicurezza.

A tal uopo si adottano metodologie in grado di fornire un giudizio sulla pericolosità di un sito, analizzando quali elementi siano inadeguati o di non facile comprensione, e quali manovre risultino maggiormente imputabili di incidente.

In quest'ambito, risulta di fondamentale importanza la valutazione dell'efficacia di interventi di riqualificazione realizzati sulla infrastrutture e mirati all'aumento della sicurezza stradale.

Tuttavia, ad oggi non è ancora ben chiaro né quali siano i provvedimenti che di fatto incrementano la sicurezza della circolazione, né in quale misura tali interventi riducano l'incidentalità.

---

La sicurezza di un'infrastruttura, infatti, è legata a complesse interazioni uomo-strada-veicolo-ambiente stradale, di conseguenza individuare le reali cause di un sinistro e stabilire come un intervento possa condizionare il processo che produce l'incidente è un'impresa ardua.

La presente tesi dottorale, si inserisce proprio in questo contesto, e si pone come obiettivo quello di fornire uno mezzo di analisi quantitativo della sicurezza stradale in genere, e pedonale in particolare, nuovo rispetto a quelli tradizionali, ponendosi, attraverso la stima dell'efficacia di interventi di riqualificazione, come strumento di supporto alle decisioni in mano al gestore dell'infrastruttura.

Ai fini del miglioramento delle condizioni di sicurezza dei pedoni, le tradizionali strategie di intervento basate sull'individuazione dei siti ad elevata incidentalità e sull'implementazione di misure di messa in sicurezza in questi siti non sempre sono efficaci, sia perché intervengono solo a posteriori dopo il verificarsi di incidenti, sia perché l'incidentalità pedonale è in genere diffusa sul territorio, rendendo non sempre affidabile l'analisi statistica degli incidenti.

Per tale ragione, la ricerca nel campo della sicurezza stradale affianca all'analisi dell'incidentalità, basata su rigorose metodologie statistiche, altri processi di valutazione (surrogate safety measure), che non implicino la necessità di registrare un numero significativo di incidenti.

Le "Surrogate Safety Measures" (Misure di Surrogati della Sicurezza) considerate spesso come strumenti complementari alle analisi di incidentalità classiche, possono invece risultare essenziali grazie al loro potenziale nell'identificazione e nella misura del rischio incidentale e dunque nella valutazione del livello di sicurezza di una infrastruttura stradale [6].

La Tecnica dei Conflitti di Traffico sembra essere un esempio riuscito di come una "Surrogate Measure" può dare informazioni sulla probabilità di incidente. Si definisce conflitto una situazione osservabile in cui due o i più utenti della strada si avvicinano nello spazio e nel tempo a tal punto che vi è il rischio di scontro se i loro movimenti rimangono invariati.

La tecnica dei conflitti di traffico (TCT) è infatti collegata alla capacità di registrare, direttamente sul traffico in tempo reale, situazioni vicine all'incidente ma che non si trasformino necessariamente in collisioni tra veicoli.

Tale approccio consente di ampliare notevolmente il campione di analisi su un sito specifico poiché non necessita direttamente dell'osservazione dell'incidente. In tal modo è possibile disporre dalla maggiore frequenza dei conflitti rispetto agli incidenti,

La tecnica dei conflitti di traffico si basa sulla misura di variabili oggettive spaziali e/o temporali, dette indicatori prossimali di sicurezza, che descrivono le interazioni tra due utenti della strada coinvolti in un evento critico per la sicurezza.

La misura del margine di arresto è una variabile continua che può essere collegata con la probabilità dello scontro e può essere definita come un valore di soglia di un conflitto, o evento critico. Le misure fisiche dei movimenti cinematici relativi dei veicoli vengono preferite come misura del margine di arresto perché gli scontri sono identificati esplicitamente (come margine di arresto uguale a zero).

È stata proposta quindi una metodologia efficace e affidabile per l'analisi delle condizioni di rischio legate ad attraversamenti pedonali. La ricerca si concentrerà in particolare su attraversamenti non semaforizzati, la cui pericolosità è legata, in gran parte, all'approccio al percorso pedonale da parte del conducente del veicolo piuttosto che a manovre illegali intraprese dai pedoni (come invece avviene nel caso di attraversamenti con regolazione semaforica).

E' stato, così, definito il Pedestrian Risk Index (PRI) un indice del tipo "se...allora" per valutare la gravità potenziale di un conflitto tra pedone e veicolo, ponendolo in relazione con il tempo di durata del conflitto potenziale, ovvero il range di tempo durante il quale vi è la possibilità di una collisione, e la sua serietà, legata velocità presunta di impatto (o meglio al quadrato della stessa).

A sostegno della validità di applicazione di tale strumento, sono stati fatti diversi studi in situ, valutando la possibilità di analizzare le cause di potenziali scontri con i pedoni attraverso la tecnica sopra menzionata e adottare determinati strumenti per assicurare una maggiore condizione di sicurezza.

Attraverso tali applicazioni sperimentali, si vuole giungere alla consapevolezza di quanto il PRI possa risultare affidabile e sensibile all'individuazione dei problemi connessi alla sicurezza stradale e allo stesso tempo porsi come strumento decisionale per l'implementazioni di soluzioni strutturali o gestionali.

Una volta assicuratisi dell'affidabilità dell'indicatore come strumento di valutazione della pericolosità di un attraversamento pedonale, si è passati alla determinazione di correlazioni con elementi di esposizione per la completa definizione del rischio. Si considereranno, a tal uopo, combinazioni del volume di veicoli e del numero di pedoni in attraversamento, valori che andranno a pesare l'indicatore proposto a seconda delle diverse situazioni di traffico.

Sono stati analizzati altri approcci per la valutazione della sicurezza degli attraversamenti pedonali (Safety Review, Collision Prediction Models, CPM) in maniera da effettuare un

---

adeguato confronto con l'indicatore proposto. I CPM sono stati utilizzati anche per affinare la stima del numero di incidenti previsti, a seguito di opportuna correzione Bayesiana (Empirical Bayesian), per tenere in considerazione fattori di casualità nel dato di incidente registrato nel periodo di osservazione considerato.

La validazione e la determinazione di una adeguata formulazione del PRI, oltre a permettere di ottenere un metodo sempre più oggettivo e affidabile di analisi delle condizioni di sicurezza dei percorsi pedonali, può essere visto come elemento di giudizio per uno screening di una rete più o meno ampia, individuando i siti più a rischio e procedendo alla realizzazione di interventi sulla rete stradale.

## **Bibliografia**

- [1] OMS, Organizzazione Mondiale della Sanità, “World report on road traffic injury prevention”, Ginevra, 2004
- [2] OMS, Organizzazione Mondiale della Sanità, “World health statistic 2010”, Ginevra, 2010
- [3] ERSO, European Road Safety Observatory, “Annual Statistical Report 2008”, 2008.
- [4] ISTAT, Istituto Italiano Statistica, “Rapporto sugli Incidenti stradali. Anno 2008”, 2008.
- [5] OCSE, Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico, “Rapporto OCSE sulla sanità”, 2009.
- [6] Tarko, A., Davis, G. e Washington S., “Surrogate measures of safety-White paper”. Presentato all’ 88° Annual TRB Meeting, Washington, D.C., 2009.



## **CAPITOLO 1**

### **LA SICUREZZA DEI PEDONI**

#### **Premessa**

Diversi modi di trasporto si sono evoluti a partire dalla seconda metà del 19° secolo in poi. Si è passati dal trasporto pubblico che utilizzava inizialmente i cavalli e, successivamente, veicoli a motore, fino ad arrivare alle auto private che hanno rivoluzionato le strutture urbane sia nella distribuzione spaziale delle attività che nella suddivisione dei vari distretti.

Questo accelerò il processo storico in aree urbane (in misura maggiore o minore a seconda del paese) e l'influenza delle automobili, sui piani urbanistici, diventò sempre più evidente. Non c'è bisogno di sottolineare gli effetti negativi secondari dei veicoli a motore; una delle più evidenti è l'insicurezza.

Ma inevitabilmente, la macchina è diventata un elemento sempre più importante nelle aree pubbliche. La sicurezza doveva essere migliorata, in primo luogo migliorando la progettazione automobilistica e attraverso l'organizzazione e la gestione delle aree pubbliche. Tuttavia, la progettazione dello spazio pubblico è ancora oggi aperta a discussioni e dibattiti.

La risposta iniziale dei pianificatori fu quella di separare i modi e gli usi. Ai pedoni furono adibite superficie "ad hoc", anche se questi erano i padroni dello spazio pubblico da prima dell'avvento del mezzo motorizzato. Questa segregazione degli spazi divenne gradualmente sempre più diffusa all'aumentare del numero di automobili. Urbanisti, come Le Corbusier, hanno invocato una rigorosa e funzionale classificazione delle strade pubbliche, considerando come misura principale e concreta, quella di applicare, in strade trafficate, una separazione dei pedoni e dei veicoli [1].

Nella maggior parte dei modelli urbani di pianificazione viene data scarsa considerazione alla sicurezza degli utenti, soprattutto i più deboli come i pedoni.

In realtà questo tipo di pianificazione può essere applicata solo alle aree urbane più recenti. Fino alla XIX secolo, l'espansione metropolitana era infatti orientata alla creazione di una "città pedonale". È essenzialmente in questi vecchi quartieri, che l'invasione delle auto private si è rivelata inaccettabile.

Una reazione, di fronte a tale situazione, è stata semplicemente quella di vietare l'accesso alle aree pedonali. L'esperienza ha dimostrato che tale pianificazione a spazi separati è efficace, a determinate condizioni, ma può essere utilizzata solo in aree limitate. L'alternativa in risposta a questi limiti nella segregazione è l'integrazione di modi e funzioni: Woonerf in Olanda ha applicato una totale integrazione, con zone 30 – aree con limite di 30 km /h che regolano l'integrazione attraverso il mantenimento di un confortevole " ambiente per i pedoni”.

Le condizioni per i pedoni variano notevolmente da paese a paese. Ci sono differenze di clima, di condizioni spaziali, di quantità e composizione del traffico, di posizione giuridica, differenze nella cultura e presenza di spazi pubblici ecc. Questo richiede soluzioni diverse per paesi diversi.

Nei paesi europei occidentali la situazione attuale per i pedoni è il risultato di un graduale processo di adeguamento nel corso di molti decenni. Nei paesi dell'Europa centrale e orientale il processo di crescita del numero di automobili è stato molto più repentino. L'adattamento in situazioni di questo tipo ha dato luogo a problemi ben più gravi rispetto a quelli in altri paesi già motorizzati.

Diversi team di ricerca ipotizzano che rendere più sicura la condizione dei pedoni porterà un numero di cambiamenti nel traffico tali da ottenere un miglioramento nella qualità della vita[2]. Camminare è un modo di viaggiare di cui si tende a dimenticare l'importanza.

A causa della crescente dipendenza dalle auto e dei conseguenti cambiamenti nella destinazione dei suoli e nella percezione dei cambiamenti sociali, la natura del camminare si è evoluta. Diminuisce il percorso origine destinazione a piedi, mentre aumenta quello su altri modi di trasporto per tragitti da e verso la propria destinazione

Fino ad ora lo sviluppo di una politica dei trasporti su strada, si è concentrata principalmente sui miglioramenti per il traffico motorizzato. Ogni volta che c'è un problema per il traffico non motorizzato, i ricercatori, i responsabili politici e i progettisti in genere cercano soluzioni che non creino disagi al traffico veicolare.

A parte alcuni progetti speciali, si pensa che le necessità di pedoni e ciclisti possano essere soddisfatte con semplici miglioramenti alla situazione originale o alla progettazione. Questa politica porta a una situazione non certo ottimale per i pedoni.

Considerando che, in passato, si adottava puramente una politica reattiva ( ovvero“si ha un problema e solo dopo il riscontro dello stesso si cerca di risolverlo”), oggi l'obiettivo è quello di progettare un sistema perfetto, dove il traffico può muoversi liberamente e in sicurezza, quanto più possibile.



La maggior parte delle autorità dei trasporti non riconoscono ancora l'importanza delle esigenze di qualità del traffico pedonale. La ricerca dell'ingegneria del traffico è ancora in gran parte limitata a problemi specifici. I contributi da discipline come la psicologia, la sociologia, la filosofia, l'ergonomia, la storia, la geografia e la legge sono ancora piuttosto rari.

All'interno del settore urbanistico vi è un movimento di lunga tradizione che focalizza la propria attenzione sulla progettazione pedonale. Questo è dovuto al fatto che le carenze di qualità dell'ambiente sono vissute più intensamente da pedoni che da altri utenti della strada.

I sistemi di pensiero sulla pianificazione urbanistica, allo stato attuale delle conoscenze, sono frammentati, incompleti e in larga misura superati. Le statistiche non presentano un quadro completo dell'andare a piedi, dei suoi vantaggi e dei suoi rischi. La maggior parte della ricerca di base è stata fatta decenni fa, in situazioni che differiscono notevolmente dall'attuale.

Il trasporto è visto come un fattore cruciale per la crescita economica. In questo il camminare svolge solo un ruolo marginale. I leader politici concordano sul fatto che le questioni sociali vengono risolte attraverso un migliore funzionamento del libero mercato. In relazione a questo, i governi non curano più i settori in cui hanno già il consenso della forza dominante. In un tale clima, la promozione di interventi per migliorare le condizioni del pedone, deve essere ben fondata su argomenti (economici) importanti.

Purtroppo a livello politico i pedoni non hanno alcun potere. Le considerazioni che seguono sono fra le motivazioni principali:

1. I gruppi di pedoni abitudinari sono politicamente inattivi (bambini, giovani) o attivi ad un livello ridotto (persone anziane)
2. La persona media senza licenza di conducente o senza macchina è di solito socialmente meno potente (povero, invalido, immigrato, alcolista)
3. Tutte le persone che camminano ora e poi hanno la possibilità di usare la macchina tendono a concentrarsi sui problemi dei conducenti di veicoli.

Da una prospettiva sociologica è stato concluso che questi aspetti non portano all'attuazione di alcuna iniziativa da parte di questo gruppo di utenti della strada [3].

Si possono trovare gruppi che esercitano pressione, dove interessa, come residenti, come genitori, come pedoni nel tragitto al loro parcheggio, o alla stazione di autobus più vicina, o al negozio più vicino, ma si tratta per la maggior parte di gruppi della periferia delle città che difendono i cosiddetti "diritti del pedone."

Sono inoltre diversi gli svantaggi dei pedoni nella loro interazione con un altro utente della strada (specialmente con i conducenti di macchine) sia dal punto di vista fisico che comportamentale.

Quasi naturalmente, la ricerca si è concentrata sui "responsabili del rischio", e non così tanto su quelli che risentono maggiormente del fattore di rischio, cioè gli utenti più deboli. Comunque, nei pochi casi in cui la ricerca tratta i problemi di pedoni, frequentemente si sente parlare degli errori dei pedoni piuttosto che delle loro necessità[3].

Purtroppo nell'ambito di traffico e trasporti, la ricerca sull'incidentalità pedonale non è molto frequente. Forse, i ricercatori non considerano implicitamente il camminare come un modo di trasporto. Forse, hanno iniziato dal presupposto che le persone fanno tutti gli sforzi possibili per evitare di camminare più del necessario, e forse hanno dimenticato altri aspetti importanti:

- A) solo poche persone hanno la possibilità di viaggiare in tutti i modi, ad esempio, devono abbandonare la loro macchina per camminare almeno per un breve periodo di tempo sullo spazio pubblico
- B) Ci sono state e ci sono tuttora persone la cui unica possibilità di viaggiare è a piedi, ad esempio:
  - persone anziane che non possono guidare un'automobile
  - bambini e ragazzi (per uscire devono essere trasportati dai genitori)
  - poveri che non possono permettersi un'auto.

## 1.1 Interazioni veicolo-pedone

Questa sezione descrive le componenti comportamentali nell'interazione tra pedoni e veicoli lungo gli attraversamenti non semaforizzati: l'accertarsi del varco libero da parte del pedone e il "dare precedenza" del veicolo.

L'analisi di questa interazione è complicata per l'apparente mancanza di una chiara comprensione legislativa del diritto di passaggio. Anche se molti stati (come l'Italia) hanno una legislazione in atto che impone ai veicoli di dare la precedenza ai pedoni in attraversamento sulle strisce pedonali, le osservazioni sul campo rendono evidente che il rispetto di tale norma non sempre è applicato.

Il comportamento degli utenti, oltre che dai flussi in gioco, risulta condizionato dalle caratteristiche funzionali del nodo che costituisce l'intersezione delle traiettorie tra pedone e

veicolo. Ciò comporta evidenti difficoltà di definire un comportamento ideale e generale in corrispondenza di tali nodi.

Esiste, inoltre, una mutua influenza tra i comportamenti dei pedoni e dei conducenti dei veicoli in base a valutazioni di parametri percettivi e fisico –dinamici fatte da quegli utenti della strada che si trovano in un potenziale conflitto.

I conducenti e i pedoni usano metodi di comunicazione non verbale per determinare la priorità di attraversamento. La disponibilità del conducente del veicolo di cedere la precedenza e la grinta con cui un pedone attraversa sulle strisce pedonali sono due dei molti fattori che possono influenzare questa interazione. Altri fattori possono essere la sezione trasversale della strada, il tipo di attraversamento o il livello generale di congestione in corrispondenza della posizione dell'attraversamento.

Questi processi comportamentali vengono trattati di seguito.

### *1.1.1 Comportamento del pedone all'attraversamento*

Per valutare correttamente il varco di tempo accettabile perché l'attraversamento avvenga in sicurezza, occorre spostare l'analisi dal punto di vista del pedone. La popolazione dei pedoni deve essere trattata in modo molto diverso da quella veicolare. I pedoni non hanno tragitti rigidamente canalizzati, la loro velocità può variare in base all'età e alle condizioni fisiche, possono incrociare le loro traiettorie in maniera casuale e hanno profili di accelerazione/decelerazione quasi istantanei.

Risulta necessario, quindi, valutare preliminarmente la natura eterogenea della popolazione pedonale. Infatti, mentre per i conducenti del veicolo il varco accettabile è fortemente legato alla capacità di accelerazione del mezzo, le decisioni dei pedoni dipendono da attività e da attributi individuali. Una popolazione tipica include studenti, anziani, pedoni non vedenti, bambini e persone con passeggini. Vi sono differenze drastiche nelle capacità e nella volontà decisionale di questi sottogruppi. E' verosimile, infatti, supporre che il divario minimo accettabile sia più basso per i più giovani che per gli anziani. Alcune ricerche su attraversamenti pedonali lungo i tronchi stradali [4] hanno trovato che i pedoni tendono a mostrare un comportamento meno paziente e, di conseguenza, più rischioso quando aspettano più di 30 secondi. Di conseguenza, la HCM prevede un rischio crescente con l'aumentare del ritardo nell'attraversamento del pedone [5]. Il fenomeno del mancato rispetto della precedenza potrebbe essere interpretato anche nell'ottica di un adeguamento del divario critico ad una soglia più bassa, sollevando la questione

della dipendenza del varco accettabile in funzione del tempo di attesa. D'altra parte, Sun [6] ha trovato un aumento del divario medio accettabile quando i tempi di attesa aumentano. Gli autori hanno spiegato questa tendenza, considerando che i pedoni in procinto di attraversare, dopo lunghi tempi di attesa tendono ad essere più attenti e quindi ad accettare divari sempre meno brevi o rischiosi.

E', inoltre, naturale pensare che un pedone modificherà il proprio atteggiamento se si trova di fretta rispetto a quando è rilassato variando la propria velocità. Ad esempio, il capitolo HCM [7] sui pedoni raccomanda una velocità di camminata di 3,9 piedi/sec (1,2 m/sec), con una velocità ridotta a 3,1 piedi/ sec (1 m/sec) se la percentuale dei pedoni anziani supera il 30%. Bennett [8] ha studiato le velocità pedonali in corrispondenza di attraversamenti posti su intersezione e su tronchi stradali e hanno trovato velocità medie più lente in corrispondenza delle seconde. Fitzpatrick [9] raccomanda, in un recente rapporto NCHRP, di abbassare la velocità di cammino del pedone a 3,5 ft / s (1,1 m/sec), ma riconosce inoltre che velocità ancora più basse possono essere opportune in determinati casi. Infatti la variabilità della velocità del pedone è un fattore determinante quando si parla di problemi legati all'attraversamento poiché è direttamente proporzionale al tempo richiesto per superare una determinata distanza.

### *1.1.2 Comportamento del conducente del veicolo*

La sicurezza dei pedoni agli attraversamenti è fortemente legato al comportamento di guida del conducente del veicolo e, in particolare, l'adattamento della velocità del mezzo meccanico in relazione alla posizione del pedone sulla carreggiata o sul marciapiede.

Nell'interazione pedone-veicolo, quindi, si prevede che il veicolo ceda la precedenza quando è legalmente tenuto a farlo.

Nelle valutazioni riguardanti gli attraversamenti pedonali non semaforizzati è usuale utilizzare come fattore discriminante la percentuale di conducenti che cedono la precedenza ai pedoni.

Recenti studi sul comportamento dei veicoli in prossimità degli attraversamenti [10] hanno mostrato che la disponibilità dei conducenti a cedere la precedenza ai pedoni è alquanto bassa (si parla del 30%). Al contrario spesso i conducenti assumono atteggiamenti non conformi al Codice della Strada, aumentando la velocità in corrispondenza degli attraversamenti zebrati al fine di ridurre i perditempo connessi al rallentamento.

Diversi studi hanno cercato di individuare i fattori che contribuiscono al processo del cedere precedenza.

Geruschat [11] ha trovato che la probabilità che gli automobilisti diano la precedenza ai pedoni è una funzione della velocità del veicolo in avvicinamento. Anche Varhely [10] aveva individuato come la percentuale di cui prima cresce se le velocità d'arrivo all'attraversamento sono basse, evidenziando come la presenza dei pedoni sul marciapiede non influenzi significativamente la riduzione dell'andamento dei veicoli. Nello stesso studio si evidenzia come variazioni del comportamento del conducente si siano riscontrate nei casi di pedoni che attraversano contemporaneamente o in presenza di plotoni di veicoli.

Harrell [12] ha rilevato che i conducenti del veicolo sono più propensi a cedere la precedenza a pedoni con abiti dai colori vivaci o coloro che sono più intraprendenti, quindi pedoni che sono già in attraversamento piuttosto che passivamente sul bordo del marciapiede.

Secondo Sun [6], i conducenti anziani sono più propensi a cedere la precedenza rispetto ai più giovani, che gli utenti di sesso maschile danno precedenza in proporzione maggiore rispetto a quelli femminili, e che i conducenti di veicoli pesanti cedono la precedenza molto più spesso rispetto a quelli di autovetture. Quest'ultimo dato può essere attribuito ad una elevata percentuale di veicoli di trasporto pubblico inseriti nella classe dei veicoli pesanti. Infine, gli autori hanno trovato che la probabilità che un veicolo ceda la precedenza ad un pedone aumenta se è già presente un atteggiamento simile da parte di un veicolo adiacente.

Anche le caratteristiche dell'area urbana possono condizionare l'atteggiamento del conducente del veicolo. Diverse esperienze e studi sul campo [13] mostrano che la percentuale dei conducenti che rispettano le norme di precedenza agli attraversamenti pedonali non semaforizzati può variare in modo significativo tra siti differenti e per i diverse configurazioni di attraversamento. Una configurazione caratterizzata dalla presenza di più attraversamenti posti a distanze ravvicinate, può portare ad una scarsa disponibilità a cedere il passaggio ai pedoni che devono quindi forzare l'attraversamento, costringendo l'altro utente ad una frenata più o meno brusca.

Allo stesso tempo, è probabile che venga data precedenza anche in luoghi senza demarcazione delle strisce pedonali, rendendo le procedure HCM2000 inapplicabili in molte località. Nella nuova versione del manuale che si sta sviluppando attualmente, questa limitazione purtroppo non è stata sufficientemente trattata, rendendo persistente il problema.

Concettualmente, il comportamento in presenza dei pedoni è simile a quello che può nascere a seguito del segnale di "giallo" nel caso di intersezione semaforica, dove si riconosce

che la capacità di un conducente di fermarsi è funzione del tempo di reazione e del valore di decelerazione assunto.

Di conseguenza, un comportamento corretto da parte del conducente è possibile solo se la velocità di viaggio, la distanza dalla zona di conflitto e la decelerazione massima possibile permette di reagire in maniera ragionevole all'arrivo di un pedone a causa della rapidità di viaggio del veicolo, la distanza dalla zona di conflitto, e la massima velocità di decelerazione per il singolo conducente.

Il capitolo pedonale in Highway Capacity Manual, HCM [7] afferma che in caso di attraversamenti con sole strisce pedonali, la procedura per il calcolo del ritardo pedonale "non si applica, in quanto i pedoni hanno il diritto di passaggio". Il metodo assume piena conformità alla legislazione che richiede ai conducenti di veicoli di cedere la precedenza ai pedoni in attraversamento pedonale.

## 1.2 L'incidente pedonale

L'incidente di per sé è un avvenimento raro che rappresenta l'espressione di una carenza o una falla nel sistema di sicurezza stradale.

A seguito della crescente promiscuità di traffico, soprattutto nelle aree urbane, l'incidente pedonale è diventato uno dei problemi più gravi del sistema dei trasporti, comportando spesso perdita di vite ed enormi costi sociali.

E' possibile definire due tipologie di promiscuità in relazione alla direzione dei flussi in gioco:

- interazioni longitudinali;
- interazioni trasversali.

Le interazioni longitudinali sono associate fisicamente al deflusso parallelo tra autovetture e pedoni lungo il marciapiede o la carreggiata.

In genere tali interazioni sono generate da problemi di ridotta capacità delle infrastrutture pedonali in relazione ai flussi che le percorrono, associati a comportamenti anomali dei pedoni e ad usi promiscui di aree, quali i centri storici, dove la sede è utilizzata da mezzi a motore e pedoni contemporaneamente [15].

Tali interazioni non verranno trattate nella presente tesi dottorale, concentrandosi con più accuratezza sulle interazioni trasversali in corrispondenza dei punti in cui le traiettorie di pedoni e veicoli si intersecano, ovvero gli attraversamenti pedonali.

In particolare si analizzeranno di seguito i diversi tipi di incidente pedonale in corrispondenza di attraversamenti pedonali non semaforizzati.

### 1.2.1 Interazioni trasversali tra le traiettorie

Tali interazioni possono essere classificati in quattro differenti tipi:

- incrocio di traiettorie tra pedone e veicolo singolo;
- incrocio di traiettorie tra pedone e più veicoli;
- conflitti di traiettorie legate alla mancata visibilità del pedone;
- conflitti con veicoli in svolta

#### 1.2.1.1 Incrocio di traiettorie tra pedone e veicolo singolo

Tale situazione è tipica degli attraversamenti non semaforizzati posti lungo i tronchi stradali o presso l'intersezione per conflitti tra pedoni e veicoli in direzione di superamento del nodo.

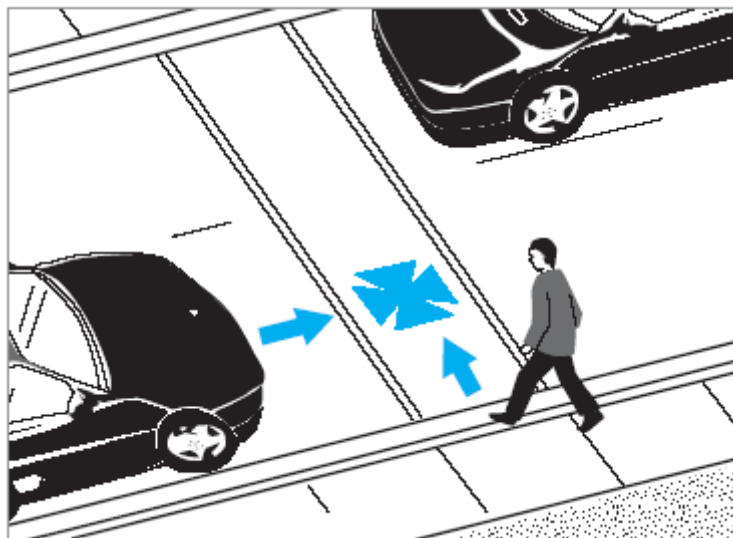


Figura 1.1. Il pedone attraversa e viene colpito dal veicolo

Un caso tipico è quello di un pedone che attraversa la carreggiata o si muove verso uno spartitraffico ed è colpito da un automobilista in arrivo lungo la corsia parallela al marciapiede (Figura 1.1).

L'incidente è perlopiù dovuto ad un atteggiamento aggressivo del conducente che non dà la precedenza al pedone in un attraversamento di una strada a due corsie e a bassa velocità.

In alcune situazioni, l'atteggiamento scorretto del pedone potrebbe essere quello di avvicinarsi aggressivamente l'attraversamento generando una frenata brusca nel veicolo che si trova in prossimità del punto di conflitto (Figura 1.2).

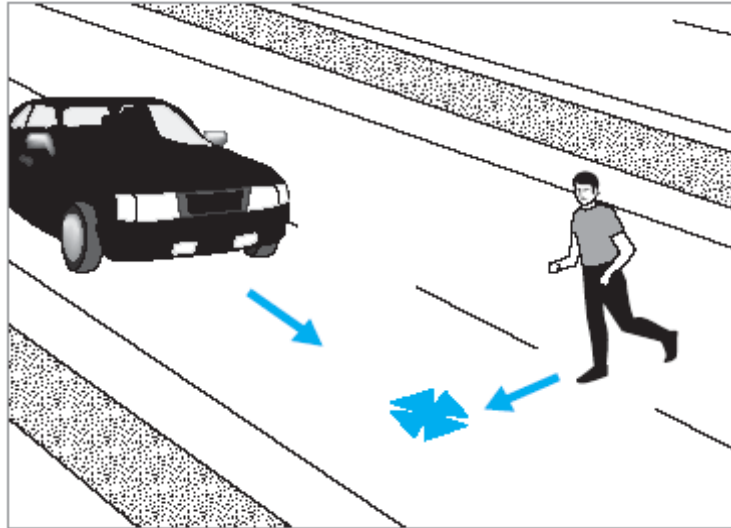


Figura 1.2. Il pedone è colpito mentre attraversa ad alta velocità un'arteria stradale

Questa situazione, non è molto frequente, in quanto gli attraversamenti non semaforizzati sono piazzati soprattutto in zone prettamente residenziali e quindi con velocità di percorrenza molto basse.

Più frequentemente tale sinistro avviene quando il campo visivo del conducente del veicolo è parzialmente ostacolato, anche fino a pochi istanti prima dell'impatto, quando la velocità di percorrenza del veicolo è troppo elevata per le caratteristiche del tronco stradale che si percorre, o quando uno dei due utenti è distratto.

Spesso la distrazione del pedone, un atteggiamento sbagliato, un bambino che corre lungo la carreggiata, combinata con velocità tenute dal veicolo incompatibili con il contesto che si sta attraversando possono causare un incidente (Figura 1.3).



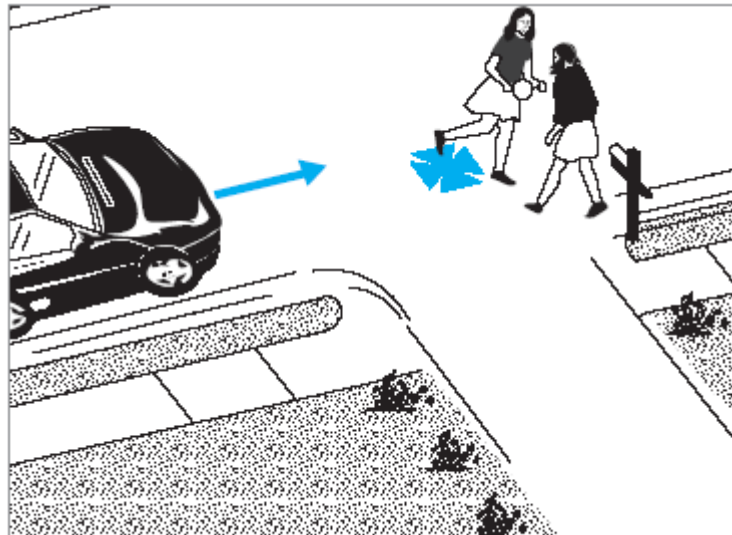


Figura 1.3. Il pedone è colpito mentre gioca

La causa dell'incidente potrebbe imputarsi ad un atteggiamento sbagliato del pedone nell'attraversare, quale potrebbe essere il comportamento di un pedone, o addirittura un bambino che corre lungo la carreggiata.

A volte la causa dell'incidente è da imputare a velocità eccessive lungo strade private o urbane o all'eccessiva sicurezza del pedone nel percorrere un tratto abituale di carreggiata (Figura 1.4).

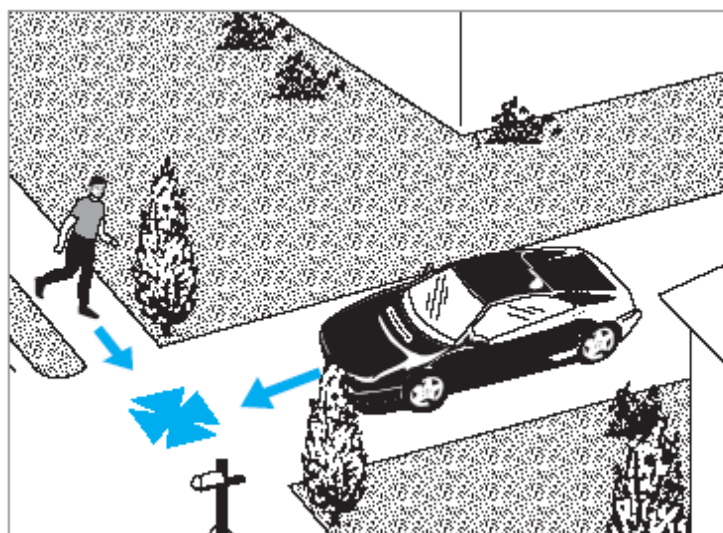


Figura 1.4. Il veicolo in entrata o uscita da un vialetto privato colpisce il pedone

### 1.2.1.2 Incrocio di traiettorie tra pedone e più veicoli

La presenza di più corsie per senso di marcia, può generare ulteriori situazioni di incidente.

Innanzitutto può accadere che il pedone in attraversamento si trovi in conflitto con diversi veicoli, rallenti o fermi il traffico di una corsia e venga colpito da un veicolo che viaggia nella stessa direzione del veicolo che si è fermato per dare la precedenza. Il veicolo fermo potrebbe aver bloccato la visibilità tra il pedone e il veicolo che lo colpisce, o l'automobilista del veicolo autore dello scontro, potrebbe avere effettuato un'accelerazione per effettuare un sorpasso (Figura 1.5).

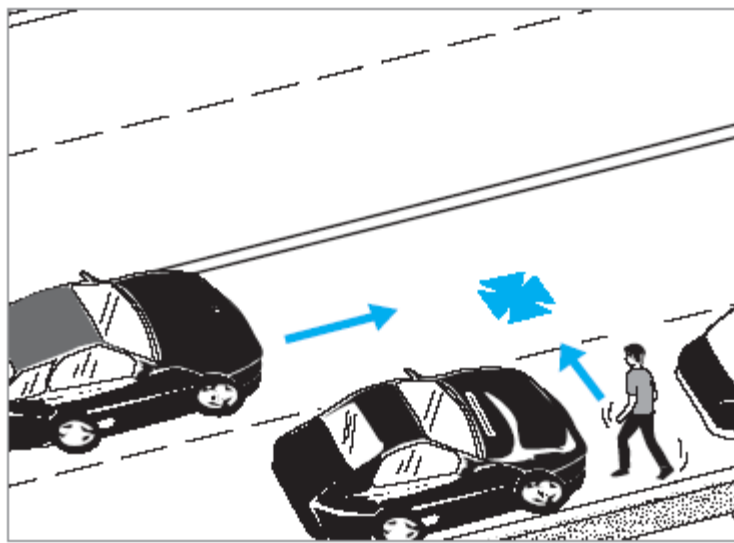


Figura 1.5. Il pedone attraversa tra due veicoli ed è colpito da un terzo che giunge nella corsia adiacente

Un'ulteriore situazione potrebbe riguardare il caso di un pedone che si trova a percorrere una distanza troppo elevata per le condizioni di traffico presenti e rischia di rimanere intrappolato in mezzo alla carreggiata, ad esempio quando non è presente uno spartitraffico che permetta di effettuare il passaggio in due fasi (Figura 1.6).

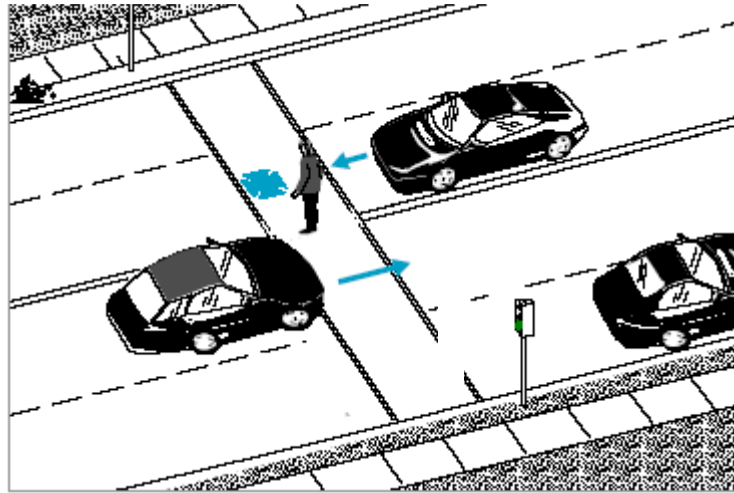


Figura 1.6. Il pedone inizia l'attraversamento pedonale e resta bloccato a metà

### 1.2.1.3 Conflitti di traiettorie legate alla mancata visibilità del pedone

Il pedone viene colpito perché un ostacolo ne occultava la presenza.

Un caso tipico potrebbe essere quello di un automezzo parcheggiato lungo gli stalli di sosta, o nel caso di bambini dietro un normale veicolo (Figura 1.7).

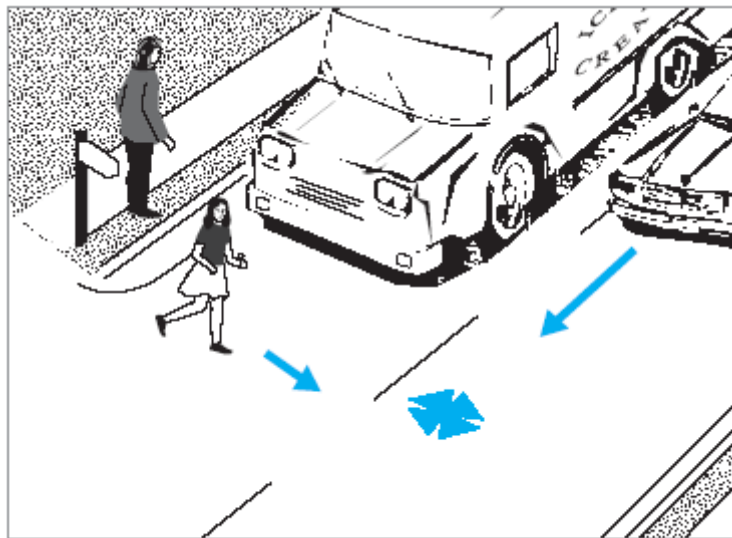


Figura 1.7. La presenza del pedone è occultata dall'autocarro.

Il campo visivo del conducente del veicolo è ostacolato impedendo una frenata d'emergenza o in generale una tempestiva manovra evasiva.

Un caso molto frequente è rappresentato dal pedone è colpito da un veicolo, a causa della presenza dell'autobus che ne occulta la presenza(Figura 1.8).

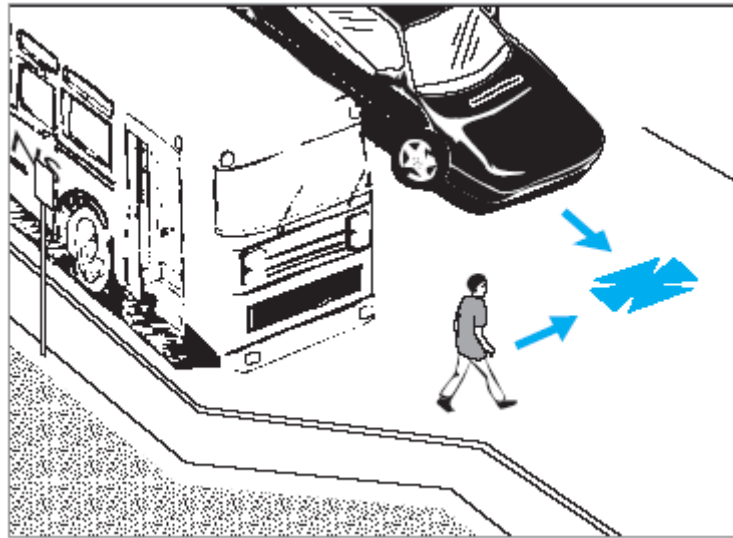


Figura 1.8. Attraversamento del pedone davanti un autobus alla fermata

La causa di questa tipologia di incidente può imputarsi all'atteggiamento dell'automobilista che non cede la precedenza al pedone o al pedone che attraversa in un intervallo del traffico inadeguato a causa della limitata distanza di visibilità dell'intersezione.

#### 1.2.1.4 Conflitti con veicoli in svolta

La svolta risulta sempre una manovra onerosa dal punto di vista della sicurezza, portando ad incrociare le traiettorie con flussi di pedoni in attraversamento lungo il tronco di strada che si vuole raggiungere.

Il pedone sta tentando di attraversare ad un incrocio, strada o vicolo ed è stato colpito da un veicolo che è in svolta da destra o da sinistra(Figura 1.9 e Figura 1.10).

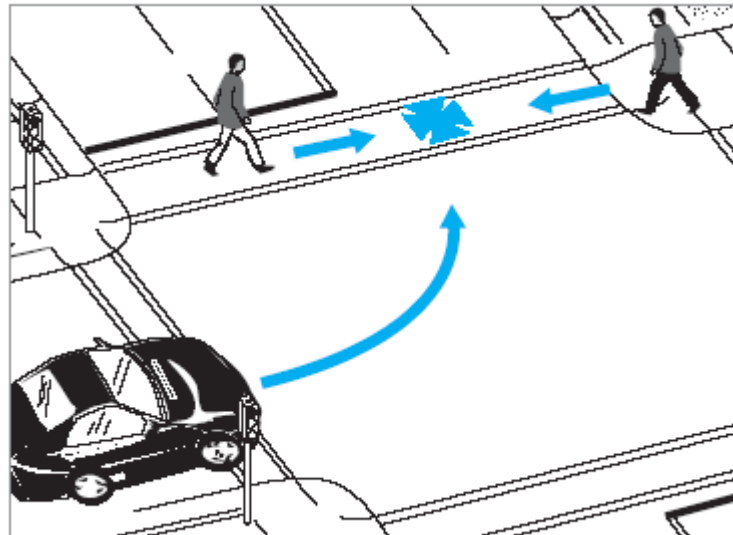


Figura 1.9. Il pedone viene colpito dal veicolo in svolta a sinistra

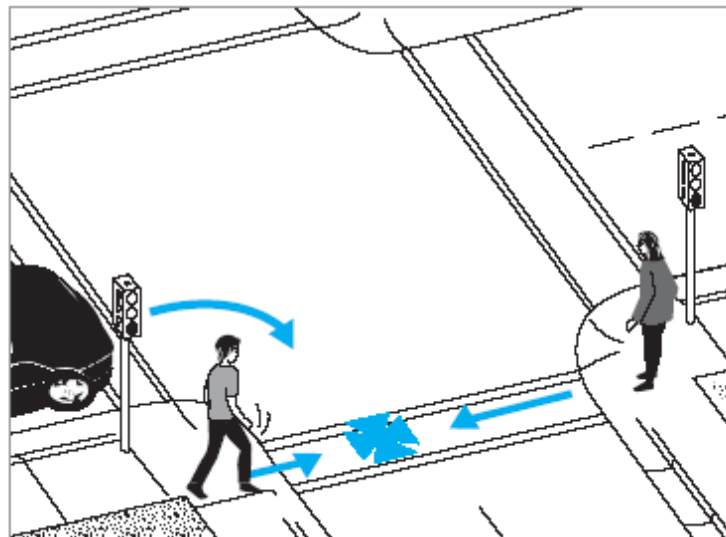


Figura 1.10. Il pedone viene colpito dal veicolo in svolta a destra

La causa principale può essere individuata in una inadeguata distanza di visibilità e/o in un'inadeguata geometria della intersezione.

## Bibliografia

- [1] Le Courbusier, "Le Mensaje a los estudiantes de arquitectura", Edicion Infinito, Buenos Aires, 1957.
- [2] Chaloupka, C., Van der Horst, R. e Mulrad, N. "Pedestrian Problem" . Atti del 6° Workshop di ICTCT , Praga, 1994.
- [3] Muhlrud N., "A short history of pedestrian safety policies in Western Europe". Extra ICTCT Workshop, Pechino, 2007.
- [4] Dunn, R. e Pretty, R., "Mid-Block Pedestrian Crossings - An Examination of Delay." Presentato al 12° Annual Australian Road Research Board Conference, Hobart, Tasmania, Australia, 1984.
- [5] TRB, Transportation Research Board. "Highway Capacity Manual, Fourth Edition". Transportation Research Board, Washington, D.C., USA, 2000.
- [6] Sun, D. "Modeling of Motorist-Pedestrian Interaction at Uncontrolled Mid-Block Crosswalks". Presentato al meeting annual del Transportation Research Board, Washington, DC, 2003.
- [7] TRB, Transportation Research Board. "Highway Capacity Manual, Fourth Edition", Chapter 18, Pedestrians. Transportation Research Board, Washington, D.C., USA, 2000.
- [8] Bennett, S., Felton, A. e Akçelik, R. "Pedestrian movement characteristics at signalised intersections." Presentato alla 23^ Conferenza dell' Australian Institutes of Transport Research, Monash University, Melbourne, Australia, 2001.
- [9] Fitzpatrick, K., Turner, S.M., Brewer, M., Carlson, P.J., Ullman, B., Trout, N.D., Park, E.S., Whitacre, J., Lalani, N., e Lord, D. "Improving Pedestrian Safety at Unsignalized Crossings". NCHRP Report 562, pubblicato dal Transportation Research Board, Washington, D.C., 2006.
- [10] Varhelyi, A " Innovative speed management tools: Summary report on research area 3". Working Paper all'interno del MASTER Project, Espoo, Finlandia, 1998.
- [11] Geruschat, D.R. e Hassan, S.E. "Driver Behavior in Yielding to Sighted and Blind Pedestrians at Roundabouts". Journal of Visual Impairment and Blindness. Volume 99, Numero 5, 2005.
- [12] Harrel, W.A. "The Impact of Pedestrian Visibility and Assertiveness on Motorist Yielding" . Journal of Social Psychology, Vol. 133(3), pp. 353-360, 1993.

- [13] Turner, S., Fitzpatrick, K., Brewer, M., e Park, E.S. “Motorist yielding to pedestrians at unsignalized intersections: Findings from a national study on improving pedestrian safety”. *Transportation Research Record* 1982 pp 1-12, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2006.
- [14] TRB, Transportation Research Board. “Highway Capacity Manual, Fifth Edition”. Transportation Research Board, Washington, D.C., USA, 2010.
- [15] Deflorio F. P, Cantarella G.E. e Russo F., “La simulazione delle richieste di viaggio nei sistemi di trasporto a chiamata”. In: *Metodi e tecnologie dell'ingegneria dei trasporti*. Seminario 2002, FrancoAngeli Vol. 1798.13, pagine da 186 a 199, 2005.





## CAPITOLO 2

### LA TECNICA DEI CONFLITTI DI TRAFFICO

#### **Premessa**

Per effettuare un'analisi di sicurezza qualificata e completa e i livelli di sicurezza relativi ai diversi elementi di traffico, esiste il bisogno di metodi veloci ed efficaci che rendano le misure di sicurezza valide e disponibili a breve termine, svincolandosi dai dati di incidentalità.

Infatti l'uso di dati relativi agli incidenti rappresenta un approccio reattivo al problema "sicurezza", legato ad un numero più o meno significativo di incidenti da registrare prima di individuare le carenze, limitando o inibendo la capacità di analizzare gli effetti di eventuali contromisure.

Una valida alternativa all'analisi dei dati di incidente è stata suggerita dall'uso delle misure surrogate di sicurezza (safety surrogate measures).

Per essere utile per le applicazioni di sicurezza per il trasporto, una misura surrogata dovrebbe soddisfare due condizioni:

1. Una misura surrogata dovrebbe essere basata su parametri fisici misurabili ed osservabili che sono fisicamente collegato in modo prevedibile e affidabile agli incidenti;
2. Esista un metodo pratico per la conversione degli eventi vicini all'incidente in una frequenza di accadimento di incidenti corrispondente.

La prima condizione sottolinea gli aspetti cruciali dell'utilizzo di una misura surrogata che consente di soddisfare la condizione del secondo punto: lo sviluppo di metodi di correlazione tra i risultati surrogati e la frequenza o la gravità degli incidenti [1].

Secondo tale affermazione, il volume di traffico potrebbe soddisfare la prima. I veicoli presenti sulla strada influenzano sicuramente il verificarsi di un incidente, ma raramente viene soddisfatta la seconda condizione perché la maggior parte degli interventi mirati ad incrementare la sicurezza stradale non incidono sul volume di traffico. Una delle poche eccezioni è la deviazione del traffico su rotte meno pericolose. Al contrario la velocità può essere considerata utile e viene infatti utilizzata da alcuni autori come una misura surrogata di sicurezza. Anzi, dovrebbe essere inclusa come una componente importante per la definizione di un indicatore surrogato. Il suo utilizzo singolarmente, tuttavia, potrebbe essere reso difficoltoso, a causa della

complessità del rapporto tra velocità e sicurezza. Risulta difficile una conversione diretta tra le frequenze di incidente e i presunti cambiamenti nella velocità degli utenti.

Per ciascuna misura di sicurezza occorre comunque definire la prevedibilità e l'affidabilità della misura surrogata in relazione con il livello di sicurezza in aggiunta alla relazione fisica con la sicurezza.

## 2.1 Traffic Conflict Technique

La tecnica dei conflitti di traffico (TCT) è forse la metodologia che più ha avuto successo nell'individuazione di una misura indiretta nella sicurezza stradale. La tecnica in se è collegata alla capacità di registrare situazioni vicine all'incidenti direttamente sul traffico in tempo reale e quindi offre un modo più veloce e, per molti aspetti, più rappresentativo di valutazione della frequenza di incidente e degli effetti previsti.

In tal modo è possibile disporre dalla maggiore frequenza dei conflitti rispetto agli incidenti, così come graficamente rappresentato dalla Piramide di Hydén [2](Figura 0.1)

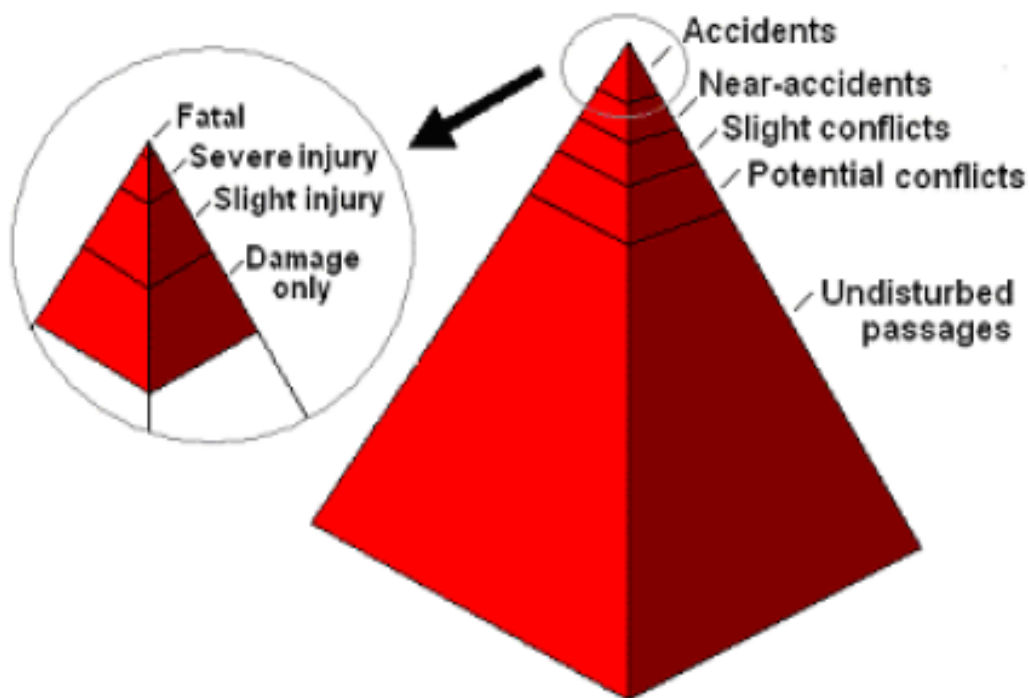


Figura 0.1. La Piramide di Hayden

Nella figura si distinguono:

- Passaggi indisturbati: l'utente della strada attraversa un punto di intersezione senza essere per nulla influenzato dalla presenza di un altro utente.
- Potenziale conflitto: due utenti della strada si avvicinano l'un l'altro in modo tale che, se uno dei due non intraprende un'azione immediata, il conflitto tra i due risulta imminente; gli utenti hanno un ampio margine per evitare la collisione.
- Conflitto lieve: due utenti della strada stanno avvicinandosi in modo tale che il rischio di un conflitto è molto probabile; il margine di tempo è abbastanza limitato e tale da richiedere un'azione evasiva per poter evitare l'incidente.
- Conflitto grave: due utenti della strada risultano coinvolti in una situazione tale da richiedere un intervento immediato al fine di evitare la collisione.

La tecnica dei conflitti di traffico si basa sulla misura di variabili oggettive spaziali e/o temporali, dette indicatori prossimali di sicurezza, che descrivono le interazioni tra due utenti della strada coinvolti in un evento critico per la sicurezza.

Gli indicatori di sicurezza per come sono sviluppati implicano un approccio "proattivo" per la sicurezza della circolazione, identificando i problemi relativi alla sicurezza prima di quanto lo facciano i risultati dei dati di incidentalità.

La misura del margine di arresto è una variabile continua che può essere collegata con la probabilità dello scontro e può essere definito come un valore di soglia di un conflitto. Le misure fisiche dei movimenti cinematici relativi dei veicoli vengono preferite come misura del margine di arresto perché gli scontri sono identificati esplicitamente (come margine di arresto uguale a zero).

Il vantaggio primario della TCT, citato spesso nella letteratura, è il fatto che una valutazione completa di un luogo può essere effettuata in alcuni giorni rispetto agli anni necessari per l'accumularsi di un numero sufficiente di incidenti.

Le diverse azioni tese ad un incremento della sicurezza possono essere valutate in un breve periodo di tempo così da rendere più veloce l'effetto delle contromisure.

L'analisi dei conflitti di traffico include lo studio dei fattori umani, poiché il comportamento dell'utente può essere direttamente osservato sul campo.

Lo studio dei conflitti di traffico può anche essere utilizzato per raccogliere informazioni sui volumi di traffico, sulla frequenza, sulla tipologia e sulla gravità dei conflitti, sulle esecuzioni di manovre errate, e sui loro effetti sulla circolazione.

Nonostante i diversi vantaggi che derivano dall'utilizzo degli indicatori prossimali di sicurezza, esistono un numero considerevole di problemi legati agli stessi.

Le critiche principali portate ai metodi indiretti riguardano l'affidabilità e la validità degli stessi e sulla possibilità di rappresentare e misurare il rischio di incidente in modo soddisfacente.

La TCT sembra essere un esempio riuscito in cui una misura pre-collisione (un conflitto) è stata collegata con la probabilità di incidente per le situazioni specifiche che accadono alle intersezioni.

I conflitti di traffico, o gli eventi critici, sono il collegamento fra la normalità nella parte inferiore e gli incidenti nella parte superiore della piramide di Hayden.

L'assunto centrale della TCT attuale è che i conflitti possono essere definiti in modo da imporre una relazione tra incidenti e conflitti costante [3] o almeno limitarne la varianza [4].

In uno studio di Sayed e di Zein [5] è stata utilizzata un'analisi di regressione per sviluppare modelli predittivi che legano il numero dei conflitti di traffico con i volumi di traffico e gli incidenti di 92 intersezioni analizzate. Si è assunto che sia i conflitti che gli incidenti seguano una distribuzione di Poisson. Si è trovato che esiste una correlazione statisticamente significativa ( $R^2$  compreso tra 0,7 e 0,77) solo per le intersezioni semaforizzate, venendo meno per quelli privi di segnalazione semaforica.

Si registrano risultati di alterna fortuna nei vari tentativi di validare coefficienti di conversione tra le frequenze di conflitto di traffico e quelle di incidente, un processo che spesso si è rivelato costoso e oneroso (come dimostrato da uno degli ultimi tentativi di Tiwari,[6]). Tuttavia,allo stato attuale, la tecnica dei conflitti di traffico offre benefici soprattutto come metodologia complementare all'analisi storica di incidentalità.

Un approccio tradizionalmente utilizzato nel settore della ricerca dei trasporti si basa sull'identificazione di fattori umani e delle caratteristiche comportamentali di conducenti dei veicoli e di altri utenti della strada che sono indiscutibilmente legati al probabilità e alla gravità degli incidenti. Anche se questo approccio non è quantitativo, permette di concludere se un intervento di miglioramento ha avuto effetti sulla sicurezza della circolazione.

Il metodo di conflitto fornisce un'indicazione più verosimile delle cause iniziali degli avvenimenti, qualcosa che manca spesso nei rapporti di incidente.

## 2.2 La tecnica dei conflitti di traffico nelle differenti nazioni

La tecnica dei conflitti di traffico deriva originariamente da una ricerca del laboratorio della General Motors di Detroit condotta verso la fine degli anni 60 per identificare i problemi di sicurezza relativi alla costruzione dei veicoli [7].

Perkins e Harris della General Motors hanno sviluppato una procedura di osservazione per testare i veicoli coinvolti in situazioni di traffico non sicure.

Il loro approccio fu chiamato Tecnica dei Conflitti di Traffico e consisteva nell'osservare e contare veicoli che, coinvolti in rischio di collisione, compivano azioni evasive per evitare appunto la collisione stessa. Queste azioni evasive presupponevano la presenza di situazioni critiche e potevano essere identificate come "risposte comportamentali osservabili compiute dal guidatore per evitare l'impatto in termini di manovre di cambio di corsia, di sterzata o di brusca frenatura".

Alla fine degli anni '70, la TCT arrivò nei paesi europei. La cooperazione internazionale fu istituita nel 1977 per confrontare ed armonizzare le TCT elaborate da team differenti [8] e nel 1979 fu creato l'ICTCT (International Cooperation on Theories and Concept in Traffic safety : Cooperazione internazionale su teorie e concetti di sicurezza del traffico) come corpo coordinato di ricercatori [9].

Alla prima riunione a Oslo, fu adottata una definizione comune di un conflitto di traffico:

*Un conflitto di traffico è una situazione osservabile in cui due o i più utenti della strada si avvicinano nello spazio e nel tempo a tal punto che vi è il rischio di scontro se i loro movimenti rimangono invariati. [8]*

In modo del tutto intuitivo, la definizione di conflitto data prima, evidenzia che i conflitti possono considerarsi come collisioni potenziali e che quindi esiste una relazione, come già detto, tra conflitti e incidenti. Queste, di fatto, sono delle interazioni fra gli utenti della strada, interazioni che possono essere descritte attraverso un numero di avvenimenti elementari che si verificano con diverse probabilità e con diversi gradi di gravità.

In base a questa definizione teorica, sono state definite le descrizioni operative dei conflitti dai differenti gruppi di ricerca per permettere agli osservatori sul campo di rilevare, contare e descrivere i conflitti nelle situazioni reali di traffico. Ovviamente, le descrizioni operative hanno dovuto precisare in particolare due elementi chiave: il riconoscimento del momento in cui un

conflitto è in corso fra due utenti (o fra utente e ostacolo) e le caratteristiche di un'azione evasiva critica compiuta da almeno uno degli utenti coinvolti; in seguito è stato differenziato il comportamento "normale" dell'utente, su basi obiettive usando una soglia misurata, o su basi "soggettive" addestrando gli osservatori ad usare la loro esperienza di traffico per valutare le manovre osservate (o su una combinazione di questi due metodi).

Da notare che, negli ambiti in cui gli incidenti sono seri ma limitati, quali il traffico aereo, l'industria nucleare, ecc., negli studi effettuati per sostenere l'azione preventiva, basati sull'analisi degli avvenimenti, le ipotesi che i fattori che contribuiscono a questi avvenimenti sono limitati al campo degli incidenti potenziali e la validità del metodo è presa per certa.

Nella sicurezza stradale invece, i ricercatori hanno a lungo negato l'attinenza con situazioni vicine all'incidente, un atteggiamento generato dall'assimilazione (affrettata) delle statistiche di incidente a situazioni reali di sicurezza. La ricerca quindi si è occupata sia di sviluppare le metodologie esatte che di dimostrare la loro validità.

Il comitato internazionale per le tecniche di conflitto di traffico (ICTCT presieduta da Christen Hydén), nel 1984, ha studiato la differenza tra 8 tecniche diverse di conflitto [16].

Un punto cruciale dello studio europeo dei conflitti di traffico è stato quello di distinguere la severità del conflitto. Quando a seguito del campo studio coordinato tra i differenti team di ricerca, i conflitti sono stati classificati per severità, gran parte delle differenze tra i gruppi di lavoro si sono rivelate essere una conseguenza della definizione della soglia di severità a cui un conflitto fa riferimento.

La tecnica più accreditata è quella svedese (Swedish TCT) sviluppata a Lund in ambiti differenti durante gli anni 70 e 80 prima che si raggiungesse il livello attuale di sviluppo nel 1987 [2].

La tecnica svedese mette a fuoco situazioni dove due utenti della strada arrivano alla collisione nel caso nessuno di loro intraprenda un qualunque genere di manovra di evasione. Il punto in cui l'azione evasiva viene intrapresa è riportata attraverso osservazioni come il "Tempo all'incidente" (Time to Accident, TA). Il valore del TA insieme alla velocità presente nel conflitto viene usato per determinare se un conflitto può essere classificato come "serio".

La tecnica in se è stata destinata a concentrarsi soltanto su conflitti con alto livello di severità, anche se il lavoro condotto da Åsa Svensson [10], alla Lund University, ha indicato che una scala rappresentata da un certo numero di livelli di severità diversi è utile per comprendere e confrontare siti differenti.

La tecnica svedese registra e analizza conflitti che possono essere definiti come interazioni tra due o più utenti che secondo la loro severità potrebbero giungere o meno ad un incidente. La severità è basata sulla velocità e/o sul tempo all'incidente. Velocità e tempo hanno aiutato a costruire una curva per definire quali conflitti possono essere considerati seri.

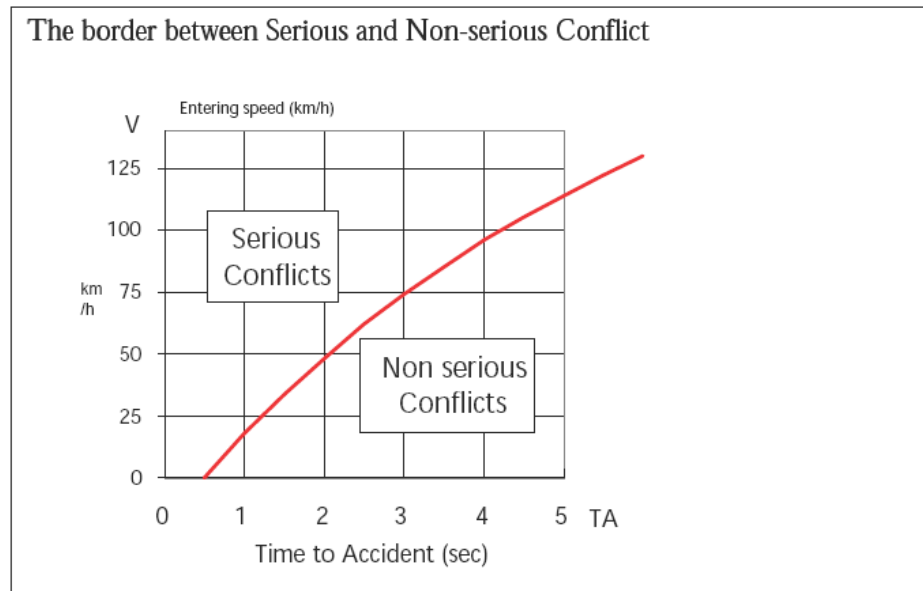


Figura 0.2. Distinzione tra conflitti seri e non, secondo il Time to Accident [10]

I conflitti seri sono, come gli incidenti, il risultato di errori nelle interazioni tra gli utenti della strada, l'ambiente e il veicolo. L'azione evasiva necessaria è solitamente la frenata, ma potrebbe essere anche un cambio di direzione o un'accelerazione o una combinazione di questi.

Poiché la similitudine tra incidenti e conflitti seri è chiara, gli incidenti possono essere evitati nella stessa maniera in cui si eludono i conflitti.

Nei metodi applicati per i conflitti tra i veicoli, la severità è usata solo per identificare e scartare i conflitti virtuali (il livello di severità più basso) e come informazione qualitative per la diagnosi.

Il criterio di severità della TCT svedese è basato sul confronto del valore di TA stimato con un valore critico .

La TCT svedese presenta pochissime eccezioni di studi che legano la severità dei conflitti al rischio di incidenti tra veicoli e pedoni [2][11] e comunque vengono usati gli stessi valori critici del TA utilizzati nei conflitti tra veicoli. I valori critici sono derivati da curve di frenatura del veicolo e riportano un valore costante di 1.5 sec [2]. Questo criterio potrebbe essere inadeguato per classificare i conflitti nei quali l'azione evasiva non è la frenata.

Per esempio, nelle applicazioni pratiche della TCT svedese, si è osservato che il criterio ufficiale è spesso integrato da un giudizio soggettivo, quando si valutano i conflitti tra pedoni e veicoli,

Pietrantonio [12] ha posto in essere uno studio nel quale viene suggerito un ulteriore criterio generale, basato sul tempo di reazione disponibile per un'azione evasiva, come misura surrogata, quando al posto della frenata siano presenti manovre evasive diverse.

Diversamente, la tecnica americana divide i conflitti in vari gruppi secondo le tipologie di manovre coinvolte nel conflitto e consiglia di includere anche conflitti meno seri come eventi da rilevare. Questa caratteristica rende il metodo più applicabile (dall'osservazione di fenomeni più frequenti) senza intaccare la validità delle sue conclusioni (dato che le conclusioni sono supportate dalle analisi dai dati degli incidenti in sito).

L'attenzione sui criteri di classificazione per conflitti con i pedoni ha trovato scarso interesse. Per gli attraversamenti pedonali, dei tentativi vennero fatti da Zegeer [13] con l'introduzione di una scala di severità dei conflitti valutata secondo valori di TA (severità media tra 1.0 e 1.5 sec, al di sotto e al di sopra si collocano rispettivamente gli eventi severi e leggeri) e da Cynecki [14], che però usò una scala grossolana (eventi con distanza maggiore di 7 metri tra veicoli e pedoni con o senza azioni evasive sono prese come conflitti leggeri; gli eventi con distanze inferiori e un'azione evasiva, sono classificati come moderati o quasi incidenti, mentre con azioni evasive d'emergenza sono classificati come conflitti severi).

Il TRL (Transportation Research Laboratory) in Inghilterra ha riconosciuto la necessità di aggiungere una scala soggettiva per i conflitti osservati come misura della severità [15]. Questa tecnica è basata sui giudizi dell'osservatore sia in tempo reale sia con l'ausilio di registrazioni video di un intervallo di tempo sul sito d'interesse.

La tecnica Britannica richiede per la valutazione 5 variabili (il tempo all'incidente, l'intensità e complessità delle manovre evasive, la vicinanza dei veicoli in conflitto), giudicate soggettivamente da osservatori allenati. La classificazione della severità è fatta in ufficio basata su una tabella riassuntiva per la conversione delle combinazioni di livelli di variabili in una scala di severità di 4 livelli. Questo metodo può essere inizialmente usata per scartare i conflitti di livello più lieve.

La TCT francese è applicata, invece, a siti di intersezioni urbane e extraurbane, e fu adattata, allo scopo di prevedere una descrizione dei comportamenti e altri fattori in gioco nelle cause di situazioni vicine all'incidente.



La TCT francese prevede un'attenta descrizione di una scala a tre livelli (conflitti lievi moderati e gravi) e chiede all'osservatore allenato la classificazione soggettiva degli eventi. La classificazione deve essere fatta da persone allenate e i conflitti lievi vengono così scartati durante il campo d'osservazione.

Nelle guide ufficiali ci sono pochi consigli su come applicare i criteri definiti per classificare la severità dei conflitti che coinvolgono utenti deboli (ciclisti e pedoni). Solo la tecnica francese ha proposto chiare raccomandazioni basate su una procedura di classificazioni in tre classi: lieve (uno stop imprevisto del pedone sul marciapiede o una semplice accelerazione nella camminata), moderata (una fermata improvvisa, un scatto indietro quando si vede il veicolo) e severo (un scatto improvviso quando si vede il veicolo). Comunque, il criterio è specifico solo quando il pedone prende un'azione evasiva.

La tecnica francese ha proposto una matrice di rischio con pesi differenziati per tipo di conflitto in intersezioni semaforizzate e non, per valutare la predisposizione al rischio in tre livelli (nulla /piccola, media, alta), basata su una valutazione soggettiva di esperti.

Si nota che non ci sono opposizioni concettuali tra i livelli di rischio definiti dalla guida francese e la relazione tra incidenti e conflitti. Comunque, poiché la guida francese non distingue la frequenza intrinseca dei differenti tipi di conflitto nei differenti tipi di sito, il significato del livello di rischio è poco chiaro.

La stessa asserzione potrebbe essere estesa allo studio del rischio nei conflitti pedoni-veicoli ma la calibrazione è più difficile poiché i dati disponibili sono molto scarsi e i problemi di classificazione richiedono un gran numero di esempi per ottenere risultati significativi.

Purtroppo, i dati disponibili che collegano i conflitti con gli incidenti non sono affidabili e convincenti. Il rapporto tra conflitti e incidenti varia ampiamente, da alcune migliaia a diverse centinaia di migliaia di conflitti per incidente.

La registrazione dei conflitti "severi" era molto più costante. Older e Spicer [9] hanno sviluppato una classificazione in cinque livelli di severità del conflitto, che vanno dalla frenata preventiva alla frenata d'emergenza in seguito a un conflitto. È stata usata la registrazione video per effettuare confronti più obiettivi dei conflitti registrati dalle differenti squadre. L'analisi successiva ha fornito le valutazioni di varie misure obiettive quale il "Time to Collision" (TTC, tempo allo scontro). Nel 1972, Hayward dell'Università dello stato della Pensilvania suggerì come soglia per conflitti tra automobili il valore 1,0 dell'indicatore TTC [17].

Nella metà degli anni '80, l'istituto di ricerca del Midwest ha pubblicato i risultati da una prova patrocinata dalla FHWA sul rapporto tra i conflitti e gli incidenti [18]. Tuttavia, questi

studi non includendo conteggi di traffico o altre informazioni, non hanno potuto valutare l'aumento nel rischio connesso ad un conflitto di traffico rispetto ad una situazione in assenza dell'evento critico.

### **2.3 Validità della Tecnica dei Conflitti di Traffico**

La validità del TCT è spesso legata al livello di correlazione statistica fra i conflitti ed i dati osservati di incidente. Ciò è stato considerato particolarmente importante durante i primi anni di sviluppo della tecnica per stabilire se la stessa fosse un'alternativa all'uso dei dati di incidentalità.

Questo concetto di validità è diventato oggetto e centro di intensi dibattiti tra gli addetti ai lavori, nel momento in cui diversi studi, che avevano come obiettivo la determinazione di una relazione statistica tra conflitti e incidenti, hanno fallito nel loro scopo.

Malgrado i molti problemi relativi all'affidabilità e alla validità delle misure, un gran numero di team di ricerca hanno realizzato studi per stabilire le definizioni ed i metodi per l'analisi dei conflitti [16]. A questo scopo, sono stati tenuti molti congressi internazionali e workshop, con esperimenti su grande scala a cui hanno partecipato gruppi di ricerca internazionali per stabilire gli standard del conflitto.

I ricercatori Chin e Quek [19] affermano che considerare i conflitti in termini di azioni evasive può provocare una varietà di modi differenti di definirli ed interpretarli. Nello studio in questione si propone una lista esauriente delle azioni evasive che in tutte le situazioni che potrebbe generare un conflitto. Si suggerisce, inoltre, che non tutte le azioni intraprese dal conducente sono necessariamente evasive, in natura possono esserci alcuni casi in cui si agisce per precauzione. La mancata considerazione di questo aspetto può avere implicazioni importanti sul rapporto fra i conflitti e gli incidenti, venendo meno al presupposto di misure rivelatrici di quei processi fondamentali che regolano le interazioni degli eventi di traffico. È stato suggerito che alcuni incidenti ed alcune situazioni vicine all'incidente potrebbero essere il risultato dell'incapacità del conducente di non riuscire ad intraprendere un'azione evasiva [20][21].

La definizione accettata di conflitto (riportata in precedenza) non accenna all'azione evasiva e lascia una certa ambiguità riguardo a cosa può essere osservabile come conflitto ed alla valutazione di un livello del rischio”.

Nonostante questi sforzi, la risoluzione delle preoccupazioni sollevate in precedenza è risultata a volte imprecisa e inconcludente e la tecnica di conflitto è stata adottata in maniera discontinua da alcune istituti di ricerca ed autorità nazionali.

Chin e Quek [21] suggeriscono che questi problemi di validità sono parzialmente legati alla qualità ed alla completezza dei dati di incidentalità. Per risolvere il problema di validità, sono stati suggeriti due metodi differenti, il primo limitando l'uso della tecnica soltanto a quei casi dove i dati degli incidenti erano insufficienti ed il secondo considerando tentativi di definire i concetti di conflitto e le tecniche di misura per accertare la correlazione migliore o l'individuazione delle spiegazioni per la mancanza di correlazione[8].

Hauer [1] si è opposto all'idea stessa di predire gli incidenti, considerando come necessità primaria quella di evitare gli incidenti piuttosto che di prevenirli. In un rapporto successivo di Hauer e Gårder [4] si argomenta che la validità del TCT dovrebbe essere valutata confrontando la varianza nelle valutazioni del conflitto e dei tassi d'infortunio, suggerendo che il metodo che produce la minore varianza è quello con il grado maggiore di validità.

Grayson e Hakkert [22] suggeriscono che il tentativo di avvalorare l'efficacia della tecnica non dovrebbe essere limitato soltanto alla ricerca di un rapporto statistico fra gli incidenti e i conflitti, proponendo che la validità sia valutata rispetto "ad un processo comune di cause" che può condurre a risultati differenti, ovvero conflitti e incidenti, piuttosto che basata su un confronto fra i due gruppi di eventi critici. Quindi si evidenzia la sensibilità della tecnica nell'effettuare un'analisi di sicurezza tale da valutare le carenze ed individuare i miglioramenti operativi.

Un problema di notevole incidenza nello stabilire una relazione tra conflitti e incidenti è insito proprio nella natura stessa dei due eventi, infatti, entrambi sono soggetti a variazioni statistiche dovute all'accumularsi di misurazioni poco attendibili. Lo stesso Oppe nel 1986 [23][24] precisa che per classificare conflitti e incidenti, così come livelli di gravità, è necessario che questi vengano considerati in accordo, o meglio secondo i tipi di manovra.

Alla luce delle incertezze rispetto alla qualità dei dati di conflitto e di incidente, Chin e Quek [19] affermano che risulta inutile stabilire un rapporto statisticamente significativo per giustificare l'uso del TCT, specialmente dove è utilizzata come strumento diagnostico e valutativo piuttosto che per la previsione degli incidenti.

Questo argomento dà risalto alla necessità per gli indicatori prossimali di sicurezza, di essere utili nel loro campo senza l'esigenza della convalida.

I lavori portati avanti da Migletz [18] e Svensson [10], hanno evidenziato come gli studi di conflitto possano produrre valutazioni di sicurezza che sono migliori di quelli basati sui dati di incidentalità (e richiede un periodo di tempo di raccolta dati considerevolmente più corto).

Questi concetti sulla validità servono a giudicare la bontà dell'analisi dei conflitti, che può essere utilizzata in modo soddisfacente per identificare la sicurezza e le operazioni che la rendono carente, così come per valutare le operazioni di miglioramento nel sistema stradale e la sicurezza della circolazione.

#### **2.4 L'affidabilità della tecnica dei conflitti di traffico**

La TCT è stata criticata pesantemente perché si basa sul giudizio soggettivo degli osservatori addestrati[4].

Questa soggettività tiene conto della possibilità di misure non del tutto affidabili, ma è stato suggerito che tali incertezze possono essere rappresentate tramite l'uso di varie tecniche statistiche[19].

Sono stati identificati due tipi di problemi di affidabilità. Il primo, l'affidabilità propria dell'osservatore, è collegato alla variabilità delle registrazioni eseguite da un singolo osservatore, ed il secondo, l'affidabilità tra i componenti del team di osservatori, è collegato alla variabilità delle osservazioni fra operatori differenti.

Il primo aspetto è da attribuire ad un problema di "consistenza", il secondo da attribuire ad un problema legato alla "ripetibilità" delle misure.

I problemi di un osservatore specifico possono essere legati alla mancanza di addestramento o di competenza, l'affaticamento, il numero eccessivo di conflitti e l'eccessiva complessità della tipologia di conflitto[9]. Per superare questi tipi di ostacoli, nel corso degli anni si sono sviluppati diversi manuali per l'istruzione degli osservatori, in cui, tra le altre cose sono dettagliati i vari tipi di conflitti e le procedure richieste per le osservazioni.

I problemi trovati al livello di singolo hanno riscontro anche nel confronto fra individui o gruppi di osservatori. In uno studio di confronto su grande scala tra differenti team di ricerca condotto da Grayson [16], sono state effettuate osservazioni sia in sito che attraverso video, e sono stati riscontrati considerevoli discrepanze tra le varie osservazioni effettuate dai diversi gruppi di studio, anche se i rapporti tra livelli di severità sono risultati costanti. Chiaramente le osservazioni riscontrate in sito presentano uno svantaggio dovuto alla difficoltà di verifica; questo può essere facilmente superato utilizzando i video rivedendo più volte il filmato.

Lo stesso studio ha messo in evidenza come anche le definizioni del conflitto hanno influito sulle differenze di valutazione della severità dell'evento critico.

Chin e Quek [19] suggeriscono che persino dove i conflitti sono definiti bene e gli osservatori sono ben educati, le osservazioni soggettive dei conflitti possono variare notevolmente.

L'affidabilità delle misure di conflitto può essere migliorata tramite l'uso di misure obiettivamente definite e la possibilità di verificare situazioni difficili e conflitti complessi, per esempio, coinvolgendo l'analisi video.

Un certo numero di indicatori prossimali di sicurezza quale il TTC o il Post Encroachment Time (PET) dipendono in gran parte dalle tecniche fotometriche piuttosto che dall'osservazione sul posto. L'uso dell'analisi video, se da una parte permette che gli eventi siano osservati ripetutamente, presenta d'altronde determinati svantaggi relativi alla completezza ed alla qualità della rappresentazione bidimensionale, che rende l'identificazione degli eventi critici di sicurezza considerevolmente più difficile [25][26][27][28].

## **2.5 Miglioramenti suggeriti in letteratura**

Identificando un certo numero di limitazioni della tecnica Chin e Quek [19] suggeriscono un miglioramento nella struttura dello studio dei conflitti di traffico puntando sull'analisi dell'interazioni tra gli utenti della strada.

La struttura propone di usare misure spaziali e temporali di prossimità all'incidente senza l'esigenza di modelli elaborati, sostenendo la necessità dell'analisi fotometrica per realizzare una buona affidabilità di misura e di precisione.

Chin e Quek affermano che occorre specificare un valore di soglia in conformità con la natura dei problemi di sicurezza che devono essere studiati, in maniera da evidenziare i conflitti più seri.

Risulta inoltre utile stabilire una distribuzione statistica dei conflitti in modo che le proporzioni delle situazioni critiche non siano rilevati ma derivati matematicamente. Chin e Quek ([19] suggeriscono che le misure di conflitto registrate possono essere usate per derivare una funzione di probabilità che rappresenta la severità generalizzata di conflitto.

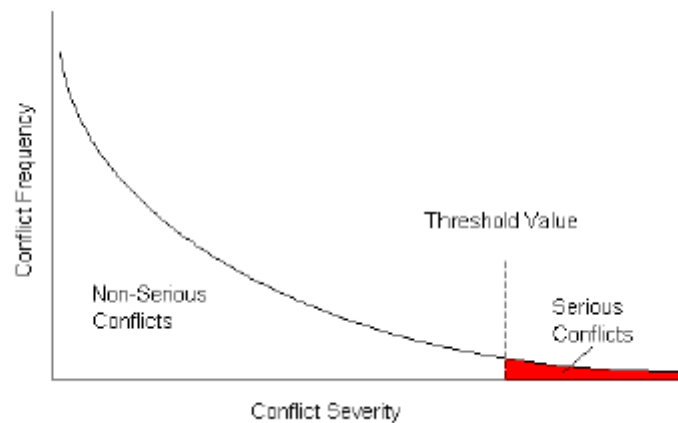


Figura 0.3. Distribuzione di probabilità di accadimento per situazioni critiche [19]

Usando una soglia adatta, la proporzione degli eventi critici può essere determinata dalla forma dell'area (cioè l'integrale) sotto la curva oltre un valore di soglia di severità. Chin e Quek propongono l'uso di una funzione di densità di Weibull allo scopo di derivare una distribuzione statistica adatta basata sulle osservazioni di conflitto. Questa funzione può essere usata per derivare la probabilità di un avvenimento di conflitto che è più grande di una soglia predeterminata di severità. La scala reale di severità dipende dalle intenzioni e dagli scopi dello studio dei conflitti, che dovrebbero dettare anche la scelta della definizione di conflitto e la tecnica di misura da applicare.

## 2.6 Rappresentazioni alternative di severità di conflitto

La severità reale degli effetti di un incidente è collegata direttamente con la forza degli oggetti che si scontrano, che è proporzionale ai cambiamenti nell'accelerazione e nella massa (cioè quantità di moto) in conformità con la terza legge fondamentale della fisica di Newton.

Quindi, situazioni di conflitto molto prossime all'incidente ma relativamente a bassa velocità possono indicare un alto rischio di incidente ma basse severità di risultato. Generalmente, più alta è la velocità collegata con l'evento maggiore è il rischio (cioè la velocità è un buon indicatore della severità degli effetti di un incidente). Per questo motivo è utile usare i valori di velocità, o preferibilmente di accelerazione, per stabilire la scala delle severità.

Anche il tasso richiesto di rallentamento (RBR) è considerato adatto a valutare il rischio e la severità dell'incidente e può essere applicato alla maggior parte delle misure prossimali dell'indicatore di sicurezza.

Una scala di severità di conflitto basata sui tassi di frenata era stata proposta da Zimolong e verso la fine degli anni 70 [29]. Nella definizione proposta, sono stati specificati quattro livelli differenti di severità di conflitto: il primo di questi rappresenta il caso di un uso controllato dei freni o il cambio di corsia per evitare lo scontro; il secondo un uso severo dei freni e/o un cambiamento brusco di corsia ; il terzo livello racchiude la frenata di emergenza e la reazione immediata del guidatore ed il quarto livello rappresenta l'incidente. Questi concetti e definizioni della severità di conflitto non furono sviluppati ulteriormente malgrado uno studio di Zimolong [30] in cui i valori di conflitto secondo i Livelli 1 - 3 si rapportano bene con i dati statistici di incidente. Hupfer [25] dichiara che la tecnica tedesca di conflitto è stata interrotta dopo la ricezione della critica considerevole nella prima metà degli anni 80 per quanto riguarda le preoccupazioni sulla validità.

In un rapporto di Hydén [26], i concetti di una scala di severità basata sul tasso di frenata sono stati riproposti nuovamente in relazione allo sviluppo dell'immagine video elaborando il software (ViVattraffic) che doveva essere usato per la determinazione dei valori degli indicatori di sicurezza stradale.

Le definizioni di tasso di frenata sono state utilizzate nella definizione di un indicatore prossimale di sicurezza il DST Deceleration to Safety Time, che è stata introdotto per superare un certo numero di problemi concettuali connessi con l'uso di PET e TTC nell'elaborazione video.

Tabella 0.1. :Livelli di frenata per il DST proposti da Hydén [26]

Conflict Level	Deceleration-to-Safety	Description
No Conflict	Braking rate $\leq 0$ m/s <sup>2</sup>	Evasive action not necessary
No Conflict	Braking rate 0 to -1 m/s <sup>2</sup>	Adaptation necessary
1	Braking rate -1 to -2 m/s <sup>2</sup>	Reaction necessary
2	Braking rate -2 to -4 m/s <sup>2</sup>	Considerable reaction necessary
3	Braking rate -4 to -6 m/s <sup>2</sup>	Heavy reaction necessary
4	Braking rate $< -6.00$ m/s <sup>2</sup>	Emergency reaction necessary

La funzione che distingue fra conflitti più o meno seri può essere rappresentata sia come funzione lineare (senza la curvatura aggiunta dal coefficiente di attrito) che nella forma originale. È possibile derivare una funzione di probabilità di conflitto dalle frequenze relative per le categorie differenti di conflitto proposte sopra nella tabella, come suggerito da Chin e Quek [19]. Le frequenze reali per la zona di severità potrebbero essere usate anche per valutare il numero previsto di casi di incidente, come originalmente suggerito da Hydén [2].

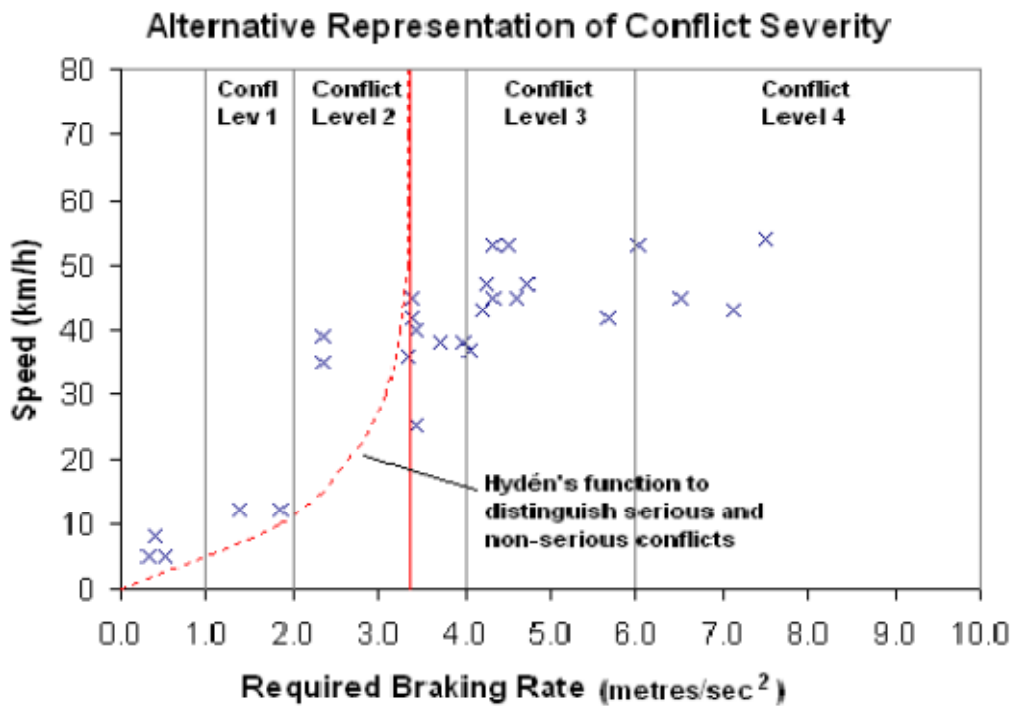


Figura 0.4. Rappresentazione della severità di conflitto secondo il tasso di frenata richiesto[2]

## 2.7 Calcolo del numero previsto di incidente dai dati di conflitto

Per quanto riguarda gli incidenti, affinché si acquisiscano maggiori informazioni sulle loro cause, bisogna che si valuti la loro fase pre-impatto.

Questo è uno dei problemi più evidenti, poiché le teorie legate a queste fasi, sono verificate in modo empirico, e per limitate proporzioni, in quanto gli incidenti sono degli eventi rari.

Esiste, quindi, una vera e propria carenza di dati obbiettivi che riguardano la fase pre-impatto.



In questa prospettiva la cosa più naturale da fare è quella di procedere per tentativi cercando di identificare eventi che abbiano stesse caratteristiche, e tra questi quali si verificano più frequentemente rispetto agli altri. Ma anche questo presenta i suoi svantaggi. Per ottenere un numero consistente di dati osservati relativi ad incidenti bisogna condurre indagini per diversi anni.

In una valutazione basata su un lungo periodo di osservazione, potrebbe accadere che le condizioni generali cambino nel tempo, facendo entrare in gioco fattori diversi da quelli di interesse immediato. I flussi dei veicoli e i volumi di traffico cambiano, così come il generale comportamento dell'utente.

Quanto detto ci fa arrivare alla conclusione che l'utilizzo di incidenti con il proposito di diagnosticare le condizioni della circolazione presenta dei problemi non facilmente superabili, legati alla possibilità di non essere osservati in modo sistematico.

Uno dei concetti fondamentali su cui è basata la TCT è, che i conflitti gravi dovrebbero riflettere la probabilità di collisione, quindi l'utilizzo di livelli di uniforme gravità porta fondamentali miglioramenti alla validità della tecnica.

L'applicazione del concetto dell' "uniform severity level" è stata considerata in molte ricerche che riguardavano lo studio delle relazioni tra conflitti e incidenti.

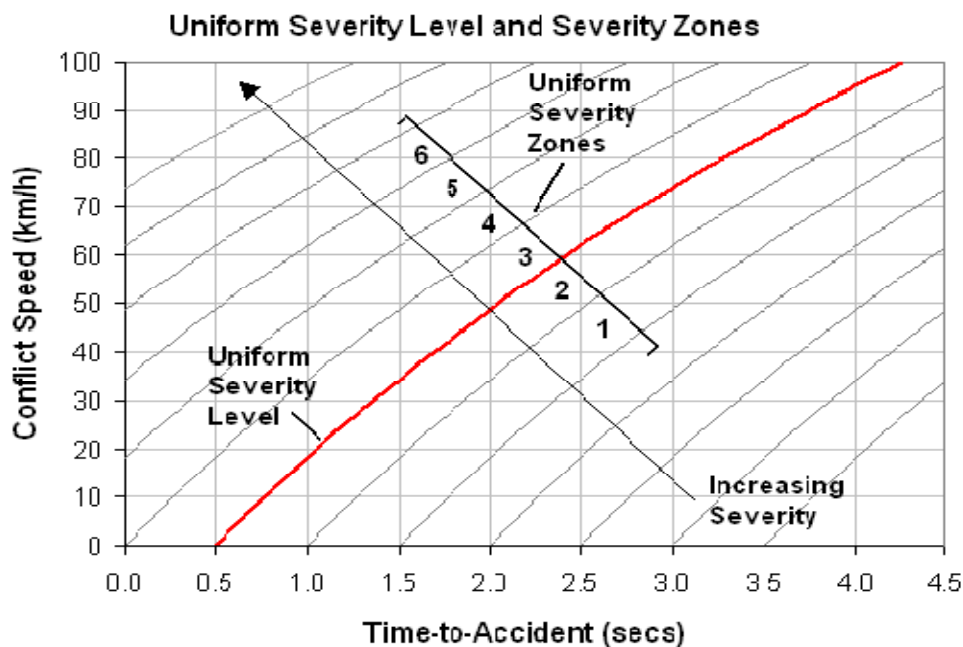


Figura 0.5. Zone e livelli di severità uniforme secondo Hyden [2]

Attraverso le analisi dei dati relativi ad incidenti ed ai dati relativi ai conflitti è possibile dedurre una relazione tra i due eventi iniziando a confrontare la fase finale di entrambi gli eventi.

Hydén [2] suggerisce l'importanza di stabilire come gli incidenti ed i conflitti seri siano correlati. Un'ipotesi di fondo in quella che Hydén ha chiamato il metodo di prima generazione, ha suggerito che la variazione nel rapporto fra gli incidenti ed i conflitti potrebbe essere spiegata da un certo numero di variabili e che in seguito al raggruppamento dei dati in conformità con queste variabili si poteva trovare un valore reale nel rapporto fra i conflitti e gli incidenti gravi per ogni gruppo. È importante dare risalto al fatto che Hydén ha considerato non soltanto gli incidenti segnalati dalla polizia, ma anche incidenti con danni materiali per gli scopi di calcolo dei "fattori di conversione". E' stata usata una metodologia di regressione per determinare i fattori che influenzano la variazione nel rapporto fra gli incidenti ed i conflitti.

Lo stesso Hyden nel 1987 [2] ha svolto uno studio partendo dai dati relativi a 312 incidenti, che ha confrontato a dati relativi a 761 conflitti elaborando importanti considerazioni su fattori come velocità del conflitto, distanza dal punto di collisione, tipo di manovra evasiva e tipo di utente della strada coinvolto, aggiungendo, inoltre, a questi dati interviste fatte alle vittime degli incidenti e misure dirette effettuate sulla scena dell'incidente. Questo studio ha condotto alla conclusione che conflitti e incidenti sono basati su un processo comune e che entrambi presentano delle fondamentali similitudini. Inoltre, lo stesso Hyden suggerisce che gli incidenti possono considerarsi come tipi di conflitti, pertanto le distribuzioni di gravità di conflitti e incidenti dovrebbero essere combinate tra loro per ottenere una stima più attendibile della distribuzione dei conflitti.

Per esprimere tale calcolo, aggiunge Hyden, il numero relativo di conflitti e incidenti deve essere corredato da una serie di informazioni come periodo di osservazione o registrazione e caratteristiche del sito in cui sono accaduti.

Questi dati dovrebbero essere utilizzati per determinare la probabilità che un conflitto di una determinata gravità conduca a degli incidenti con feriti registrati dalle forze dell'ordine.

Il modello statistico proposto da Hydén per i fattori di conversione è il seguente:

$$\text{numero} \cdot \text{di} \cdot \text{incidenti} \cdot \text{registrati}, x_i \in P_0(\lambda_i, \pi_i, B_i)$$

$$\text{numero} \cdot \text{di} \cdot \text{conflitti} \cdot \text{osservati}, y_i \in P_0(\lambda_i, A_i)$$

Dove:  $x_i$  rappresenta il numero di incidenti registrati,  $y_i$  rappresenta il numero di conflitti osservati. Per  $x_i$ , il  $P_o$  rappresenta un processo di Poisson con frequenza di conflitto definita dal  $\lambda_i$  ed il prodotto dei flussi d'intersezione determinati da  $B_i$  e un fattore di  $\pi_i$  che specifica la probabilità che l'elemento  $i$  provocherà un incidente. Per  $y_i$ , il  $P_o$  rappresenta un processo di Poisson con frequenza di conflitto definita dal  $\lambda_i$  ed il prodotto dei flussi d'intersezione determinati da  $A_i$ .

Hydén [2] ha confrontato i risultati di un certo numero di studi pre-post intrapresi su intersezioni su cui erano state introdotte misure di sicurezza (segnali stradali e percorsi ciclabili).

Questo confronto rivela una sovrastima considerevole del numero di incidenti. Questi risultati sono attribuiti alle differenze nel periodo di osservazione dei conflitti e alla loro rappresentatività del numero di incidenti valutato annualmente a scopi di calcolo.

Allo stesso modo si è trovato che il periodo di tempo immediatamente prima e subito dopo l'introduzione di una misura di sicurezza risulta inadeguato all'analisi.

Hydén ha suggerito anche che gli incidenti fossero un tipo di conflitto (secondo la definizione fatta) e quindi che le distribuzioni di severità dei conflitti e degli incidenti potrebbero coincidere per produrre una valutazione uniforme per la distribuzione di probabilità che avvenga un conflitto.

In una tal distribuzione, la coda più a destra rappresenta la zona dei casi di incidente.

Le valutazioni basate sui dati raccolti hanno evidenziato che si presenta un evento di incidente circa ogni 5000 ore di conflitti osservati che rendono le valutazioni nella zona descritta prima molto difficile.

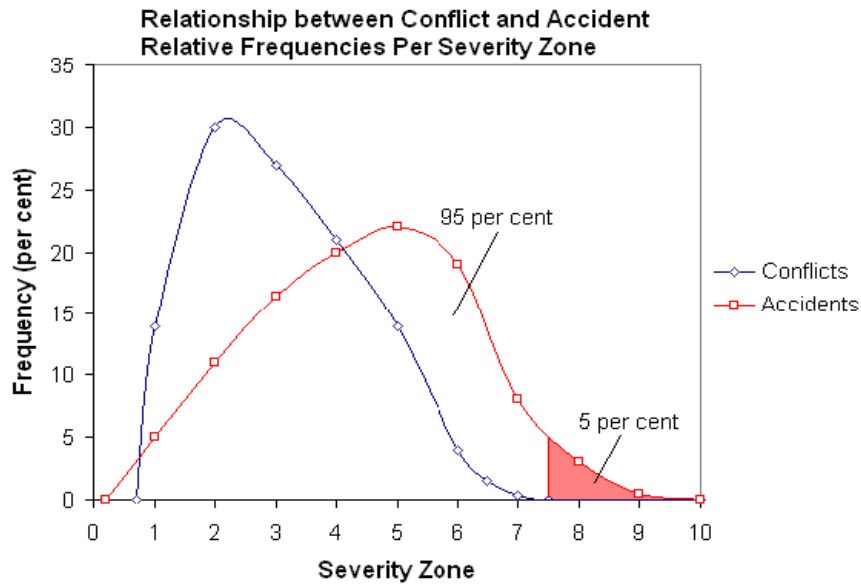


Figura 0.6. Rapporto fra il conflitto e le frequenze relative di incidente per la zona di severità[2]

Hydén sostiene quindi che le distribuzioni proporzionali di conflitti e di incidenti per la zona di severità potrebbero essere usate come base per individuare una relazione fra la somma di incidenti e conflitti in numero assoluto. Questi dati potrebbero essere usati per derivare la probabilità che un conflitto di una severità particolare conduca a incidenti seri.

Nei casi studiati da Hydén, questi valori di probabilità hanno indicato chiaramente un elevato livello di rischio potenziale per gli utenti vulnerabili (ciclisti e pedoni). Questi risultati suggeriscono che gli approcci futuri per la predizione del numero di incidenti basati sui conflitti osservati dovranno considerare le frequenze di severità dove un numero più alto di conflitti severi suggeriscono un elevato rischio di incidenti che coinvolgono feriti.

## 2.8 Metodologia

Sono richiesti dai tre ai cinque giorni di studio per effettuare un'analisi di sicurezza stradale basata sulla tecnica di conflitto.

Gli studi vengono effettuati da osservatori umani addestrati per l'operazione. La maggior parte dei studi riguardano intersezioni urbane, ma sono stati studiati anche luoghi extraurbani.

Un'indagine sui conflitti di traffico oltre al conteggio del numero dei conflitti deve contenere anche informazioni su altri dati rilevanti come ad esempio il volume di traffico ed altri, ma anche uno studio completo della locazione oggetto di studio.

L'osservatore attrezzatosi di tutto l'occorrente deve scegliere una postazione che garantisca una vista ottimale dell'intersezione e dei movimenti di traffico.

L'equipaggiamento è semplice: un insieme dei fogli di registrazione, una matita e vestiti adatti. Le osservazioni vengono effettuate solitamente in sei o sette intervalli di un'ora per ogni giorno.

In genere la postazione migliore si trova a destra dell'accesso ad una distanza dall'intersezione di circa 30-90m. Questa distanza oscilla poiché dipende dalle caratteristiche dell'intersezione, se è un'intersezione extraurbana dove si hanno alte velocità sono consigliabili almeno 90 m, viceversa se urbane almeno 30 m (50 Km/h). È preferibile che l'osservatore e tutta la sua attrezzatura non influenzino il traffico per questo motivo deve essere più nascosto possibile.

dell'osservatore, infatti venendo a mancare questa potrebbero verificarsi cali di concentrazione. È importante che l'osservatore si rechi sul posto almeno 30 minuti prima, per prendere confidenza con il posto e soprattutto preparare le proprie attrezzature; deve inoltre annotare se nei pressi dell'intersezione vi sono macchine parcheggiate, o altri fattori che possono determinare problemi di circolazione.

È procedura comune fare anche registrazioni video simultanee, per permettere un post-processing e una validazione delle osservazioni in situ. Il video può essere utilizzato anche per scopi di addestramento.

Un fattore che va considerato però è che se le telecamere sono posizionate sul livello stradale non è possibile registrare in modo chiaro i veicoli che viaggiano sulle corsie più interne, quindi è preferibile che queste siano posizionate ad una altezza dal livello stradale di almeno 4/5 m.

Altro aspetto è la sincronizzazione delle telecamere e di eventuali apparecchi utilizzati per la misura del volume di traffico (conta macchine). Questa operazione va eseguita prima che inizi l'indagine in modo da evitare ed eliminare fastidiosi inconvenienti specialmente se si utilizzano più telecamere.

Bisogna inoltre accertarsi che quest'ultime siano ben posizionate in modo tale che le riprese vengano fatte da una buona angolatura e che soprattutto sia ben regolato lo zoom così che le immagini risultino nitide e non sfocate.

## 2.9 Identificazione del conflitto di traffico

I videotape registrati vengono successivamente rivisti in laboratorio da un singolo osservatore e si vengono estratti i dati di conflitto insieme alle severità corrispondenti.

Affinché un evento critico sia considerato come conflitto, è la presenza di una collisione in corso.

Il problema legato a questa ipotesi è da attribuirsi principalmente ai margini di tempo e di spazio e si viene a creare quando non si ha la chiara percezione che un percorso conduca ad una collisione. Ciò si riscontra quando si verifica un “quasi” incidente tra due utenti della strada, cioè se entrambi continuando con la stessa velocità e direzione non si scontrano ma si superano l’un l’altro a distanza ravvicinata.

Teoricamente questo evento non causa alcun problema, infatti non essendoci una collisione in corso dal nostro punto di vista non è un conflitto.

Dal punto di vista operativo è molto meno chiaro come interpretare e trattare un evento del genere, per un osservatore è un compito impossibile stimare la presenza o meno di un percorso di collisione, se i margini di tempo e spazio sono molto ristretti. Il compito è reso ancora più difficile dal fatto che uno o entrambi gli utenti della strada reagiscono intraprendendo qualche azione evasiva inducendo l’osservatore a valutazioni poco corrette.

La soluzione a tale problema può dedursi riflettendo che nello stesso modo in cui l’azione dell’utente della strada viene usata per identificare un conflitto, l’osservatore può determinare se l’utente è vicino ad una collisione mediante l’azione da lui intrapresa.

In poche parole, se l’utente della strada si comporta come se ci fosse un percorso di collisione, allora il conflitto è da rilevare e valutare.

Quindi un conflitto è o un evento che porterebbe ad una collisione se entrambi gli utenti della strada avessero continuato senza cambiare direzione e/o velocità, o una situazione quasi mancata in cui almeno uno degli utenti reagisce come se ci fosse una collisione in corso.

Gli elementi che condizionano un conflitto sono:

- frenatura
- cambio di direzione
- accelerazione
- combinazione delle precedenti

È probabile che in funzione delle diverse alternative sopra presentate, si abbiano potenzialità diverse nel prevenire gli incidenti, infatti, diversi studi hanno dimostrato che il livello di soglia teorico, fra collisione e non collisione, varia per situazioni simili in cui vengono intraprese azioni frenanti o sterzanti. In particolare se come azione evasiva si considera una manovra di sterzata il tempo impiegato per evitare la collisione risulta maggiore rispetto ad una manovra di frenatura rispecchiando, quindi, potenzialità diverse.

Un fattore tipicamente associato al tipo di manovra è il tipo di utente coinvolto nell'evento e la capacità che egli stesso possiede nel compierla.

È evidente che ogni utente rispecchia una propria capacità di risposta, e quindi una differente potenzialità di compiere incidenti o conflitti.

Tuttavia, non tutte queste azioni sono considerate come conflitti e viene dedicata attenzione nel processo dell'identificazione di conflitto per non considerare anche manovre e azioni usuali.

È stato notato da parecchi ricercatori che gli osservatori sono l'elemento più importante quando si intraprendono gli studi di conflitto di traffico poiché la loro affidabilità ha effetti seri sulla validità dei dati. Di conseguenza un'attenzione speciale è dedicata all'addestramento degli osservatori in modo che si possano realizzare livelli di affidabilità ed uniformità più alte.

## 2.10 Misura del campione di studio

Lo studio dei conflitti di traffico dipende dai tipi di conflitti, dal tipo di volume di traffico, e dal livello di significatività dello studio. Indicazioni circa il numero di osservazioni e raccolta dei dati sono state ottenute da Traffic Conflict Technique for Safety and Operation: Engineer Guide [31] dal quale è stata tratta la seguente espressione:

$$n = \left( 100 \times \frac{t}{p} \right) \times \frac{\sigma_e^2}{y^2} \quad (1.6)$$

dove

n = numero di ore di osservazione;

t = indicatore del livello di significatività;

$p$  = errore ammissibile nella stima della media dei conflitti;

$\sigma_e^2$  = varianza oraria dei conflitti stimata da un precedente studio;

$y$  = media oraria del numero di conflitti di ogni tipologia.

Questa procedura com'è intuibile richiede una conoscenza a priori della media e della varianza del numero di conflitti  $\sigma$  e  $y$ ; senza questi dati il metodo non è applicabile.

Un'altra procedura utilizzabile è descritta nel *Manual of Transportation Engineering Studies* [32]. Questo metodo stima il numero di veicoli che devono essere osservati per ottenere uno specifico livello di significatività e di errore.

La relazione utilizzata è la seguente:

$$n = p(1-p) \left( \frac{z}{D} \right)^2 \quad (1.7)$$

dove

$n$  = numero di veicoli che si devono osservare;

$p$  = proporzione attesa dei veicoli osservati che sono coinvolti nei conflitti;

$z$  = indicatore del livello di significatività;

$D$  = livello di errore assoluto ammesso.

Molto spesso il valore di  $p$  non è noto a priori, quindi per ottenere una buona stima è possibile assumere  $p=0,5$ , mentre se si ammette un livello di significatività del 5% ed un errore assoluto del 5% dovrà assumere  $z=1,95$  e  $D=0,05$ .

Una volta registrati e contati i conflitti di traffico bisogna verificare la loro accuratezza. I dati infatti devono essere rivisti e in caso di errori, corretti prontamente; un esempio potrebbe essere l'aver assegnato due tipi di conflitti alla stessa manovra.

Determinando i conteggi giornalieri dei conflitti di traffico richiesti, il numero di conflitti raccolti deve essere corretto e riportato per ogni giorno. Infatti tradizionalmente ogni giorno di osservazione è composto da undici ore, dalle 7:00 alle 18:00. È logico che l'osservatore non può rimanere undici ore di seguito in sito per rilevare i dati. Esiste allora un metodo per calcolare il numero di conflitti durante le ore di non osservazione basandosi sulle osservazioni dei conflitti prima e dopo il periodo di non osservazione.



$$ANOC = \frac{C_1 + C_2}{2} \times \frac{TTNOP}{RP} \quad (1.8)$$

dove

*ANOC* = aggiustamento del numero conflitti durante il periodo di non osservazione;

*C<sub>1</sub>* = numero di conflitti prima il periodo di non osservazione;

*C<sub>2</sub>* = numero di conflitti dopo il periodo di non osservazione;

*TTNOP* = tempo totale del periodo di non osservazione;

*RP* = durata del tempo di registrazione.

Dopo aver fatto questa correzione, il numero giornaliero di conflitti è ottenuto sommando tutti i diversi tipi di conflitti. Su questo ultimo valore giornaliero bisogna dare delle valutazioni, e per questa ragione si considerano due tipi di indicatori detti Conflict-Rate (stima dei conflitti *CR<sub>1</sub>* *CR<sub>2</sub>*).

Il primo *CR<sub>1</sub>* è dato dal rapporto tra il numero di conflitti e il numero di ore di osservazione (conflitti per ora) e dovrebbe essere utilizzato per valutare conflitti rilevati in differenti periodi come di punta o non di punta.

Il secondo *CR<sub>2</sub>* è dato dal rapporto tra il numero di conflitti ed il volume di traffico (numero di conflitti per 1000 veicoli coinvolti, per tipo di manovra).

$$CR_1 = \frac{\text{n° di conflitti}}{\text{n° di ore}} \quad \text{Conflitti per ore}$$

$$CR_2 = \frac{\text{n° di conflitti}}{\sqrt{V_1 \times V_2}} \quad \text{Conflitti per 1000 veicoli}$$

*V<sub>1</sub>* = Volume di traffico sull'accesso;

*V<sub>2</sub>* = Volume della specifica manovra.

## **Bibliografia**

- [1] Tarko, A., Davis, G. e Washington S., “Surrogate measures of safety-White paper”. Presentato all’ 88° Annual TRB Meeting, Washington, D.C., 2009.
- [2] Hyden, C. “The Development of Method for Traffic Safety Evaluation: The Swedish Traffic Conflict Technique”. Bull. 70, Lund Institute of Technology, Lund,1987.
- [3] Hauer, E. “Methodological assessment of the techniques.” Atti del Secondo Workshop su International Traffic Conflict Technique, Paris, France, pp. 169-176, 1979.
- [4] Hauer, E. e Gårder, P. “Research into the Validity of the Traffic Conflict Technique”, Accident Analysis and Prevention, Vol 18., No. 6, pp.471-481, 1986.
- [5] Sayed, T. e Zein, S. “Traffic Conflict Standards for Intersections” , Transportation Planning and Technology , Vol. 22, pp. 309-323, 1999.
- [6] Tiwari, G., Mohan, D. e Fazio, J.. “Conflict Analysis For Prediction Of Fatal Crash Locations in Mixed Traffic Streams”. Accident Analysis and Prevention, Vol. 30, No. 2, Pp. 207-215, 1998.
- [7] Perkins, S.R. e Harris, J.I. “Traffic Conflict Characteristics: Accident potential at intersections”. Highway Research Record, Vol. 225, pp.45-143, Highway Research Board, Washington DC, 1968.
- [8] Amundsen, F.H. e Hyden, C., “Eds. 1977” Atti del Primo Workshop sul Traffic Conflct. Institute of Transport Economics, Oslo/Lund Institute of Technology, Oslo, Norway, 1977.
- [9] Older, S.J. e Spicer, B.R.. “Traffic Conflicts – A Development in Accident Research”. Human Factors, Vol.18 , pp. 335-350, 1976.
- [10] Svensson, A. “Further Development and Validation of the Swedish Traffic Conflicts Techniques”. Dept of Traffic Planning and Engineering, Lund University, Lund, Sweden, 1992.
- [11] Almqvist, S. e Hydén, C. “Methods for Assessing Traffic Safety in Developing Countries” , Lund University, Lund, Sweden, 1994.
- [12] Pietrantonio, H. “Avaliação da Técnica Sueca de Análise de Conflitos de Tráfego – Aplicação ao Estudo de Problemas de Segurança de Pedestres em Interseções Semaforizadas da Cidade de São Paulo”. EPUSP - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Working Report LEMT No.2/98, São Paulo, Brazil, 1999.

- [13] Zegeer, C.V., Randolp, D.A., Flak M.A., e Bhattacharya, R.K. “Use of Pedestrian Conflict Analysis for the Hazard Assessment in School Zones”. Transportation Research Record, n.743, TRB, Washington, D.C., 1980.
- [14] Cinecki, M.J. “Development of a Conflicts Analysis Technique for Pedestrian Crossings. Transportation Research Record, n.743, TRB, Washington, D.C., 1980.
- [15] Spicer, B.A. “Study of traffic conflicts at six intersections”. TRRL Report LR551. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, UK, 1973.
- [16] Grayson, G.B. “The Malmö study. A calibration of traffic conflict techniques”. Institute for Road Safety Research SWOV, Leidsendam, 1984.
- [17] Hayward, J.C. “Near-Miss Determination Through Use of Scale of Danger”. Report No. HRR 384, pp. 24-35. Highway Research Board, 1972.
- [18] Migletz, D.J., Glauz, W.D. e Bauer, K.M. “Relationships between Traffic Conflicts and Accidents”. Report No: FHWA/RD-84/042. US Department of Transportation, Federal Highway Administration, 1985.
- [19] Chin, H.C. e Quek, S.T. “Measurement of Traffic Conflicts”, Safety Science, Vol. 26, No. 3, pp. 169-187.1997.
- [20] Garder, P. “Occurrence of evasive manoeuvres prior to accidents”. Atti del Secondo Workshop su International Cooperation on Theories and Concepts in Traffic Safety, Munich, pp. 29-38, 1989.
- [21] Glauz, W.D. e Migletz, D.J. “Application of Traffic Conflict Analysis at Intersections”. Report No. NCHRP 219. Transportation Research Board, 1980.
- [22] Grayson, G.B. e Hakkert, A.S. “Accident Analysis and conflict behavior”. In Road User and Traffic Safety, ed. J.A. Rotherngatter and R.A.de Bruine, pp.27-59. Van Gorcum, 1987.
- [23] Oppe, S. “Evaluation of traffic conflict techniques”. Atti del Workshop su Traffic Conflict and other Intermediate Measures in Safety Evaluation, Budapest, 1986a.
- [24] Oppe, S. (1986b) The international calibration of conflicts. Atti del Workshop su Traffic Conflict and other Intermediate Measures in Safety Evaluation, Budapest, 1986b.
- [25] Hupfer, C. “ Computer Aided Image Processing to Modify Traffic Conflicts Technique”. University Kaiserslautern. Transportation Department, Kaiserslautern, Germany, 1997.
- [26] Hyden, C. “Traffic Conflict Technique: State-of-the-art”. In : Topp H.H. (Ed.), Traffic Safety Work with Video-Procesing. University Kaiserslautern. Transportation Department, 1996, Green Series No. 43, Kaiserslautern, Germany, 1996.

- [27] Van der Horst, R. “A Time-Based Analysis of Road-User Behaviour at Intersections”. Atti del Terzo Workshop su International Cooperation on Theories and Concepts in Traffic Safety, Cracow, Poland, pp. 91-107, 1990
- [28] Van der Horst, R., and Kraay, J. “The Dutch Conflict Observation Technique-DOCTOR”. Atti del Workshop su Traffic Conflict and other Intermediate Measures in Safety Evaluation, Budapest, Hungary, 1986.
- [29] Zimolong, B. “ Traffic conflict at urban junctions”. Atti del Secondo Workshop Internazionale su Traffic Conflict Technique Workshop, Paris, France, pp. 130-139, 1980.
- [30] Zimolong, B. “Tecnica dei Conflitti di Traffico - Fondamenti e Applicazioni2. in Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr. Nr 35, Bonn, 1982.
- [31] Parker, M.R., Zegeer, C.V. “Traffic Conflict Techniques for Safety and Operations: Engineer’s Guide2, FHWA-IP-88-026,1986.
- [32] Douglas Robertson,H. e Hummer, J.E. “Manual of transportation engineering studies”.Prentice Hall, 1994.

## **CAPITOLO 3**

### **TCT PER PEDONI**

#### **Premessa**

La ricerca nel campo ingegneristico punta molto sullo sviluppo di indicatori di conflitto adeguati alle situazioni di traffico, verosimili ed efficaci.

Una volta misurate le informazioni di base sugli eventi di conflitto, questi indicatori di conflitto permettono l'elaborazione di previsioni a sostegno della sicurezza stradale.

Una diagnosi di sicurezza deve mettere, non soltanto, in luce i problemi principali degli incidenti ed i processi che li hanno generati, ma allo stesso modo produrre informazioni complementari da utilizzare nella selezione o nella progettazione delle misure di sicurezza. L'identificazione di alcune caratteristiche del comportamento degli utenti osservato negli incidenti o nelle situazioni di pre-incidente può fornire linee guida per comprendere come agire sulle abitudini di circolazione, che affiancata ad una conoscenza migliore delle caratteristiche degli utenti della strada attraverso interviste dirette, può dare indicazioni sull'accettabilità dei tipi differenti di intervento correttivo.

Così come una diagnosi completa non può contare ovviamente solamente sui dati degli incidenti, ma richiede metodi più ampi, comprese le osservazioni e le analisi basate sulle metodologie delle scienze umane.

Le analisi dei conflitti hanno svolto così un ruolo fondamentale nella descrizione delle caratteristiche principali del problema di sicurezza e nella definizione della portata delle indagini supplementari.

Nel campo della sicurezza del traffico, solo in questi ultimi tempi ingegneri e ricercatori si sono fortemente interessati alle collisioni tra pedoni e veicoli. Poiché le collisioni tra pedoni e veicoli hanno un potenziale molto più elevato di mortalità rispetto ad altri tipi di incidente, lo sviluppo di contromisure per l'incremento della sicurezza pedonale ha un effetto molto significativo sulla diminuzione dei costi sociali derivanti da incidenti mortali.

Anche se ampiamente sviluppata nel caso di conflitti tra veicoli, TCT presenta alcune lacune o mancanze quando gli utenti vulnerabili, come pedoni, agiscono un ruolo nel conflitto. In

letteratura, le applicazioni esistenti sono legati ad alcuni tentativi di definire indici spaziali o temporali per classificare la gravità del conflitto veicolo-pedone.

Si riporta in seguito una serie di indicatori, nati nel campo di conflitti tra veicoli, ma che hanno trovato applicazione anche nel caso di conflitti pedoni-veicoli, preceduti da una discussione critica sull'analisi di incidentalità, ovvero il metodo storicamente utilizzato nell'analisi, per mettere in luce i vantaggi degli indici di conflitto.

### **3.1 Analisi di incidentalità**

Per gli scopi pratici, gli incidenti e le loro conseguenze sono considerati solitamente come l'indicatore per eccellenza del livello di sicurezza stradale. Chiaramente, per il professionista, incidenti che non sono stati dichiarati o non sono stati registrati dalle agenzie demandate allo scopo non sono mai esistiti. Per il ricercatore, l'incidente storico indica il limite più basso di insicurezza; un requisito preliminare di tutta la diagnosi di sicurezza deve riguardare quindi l'esame della qualità dei dati disponibili per confrontare e valutare quanto distante sia la situazione di sicurezza apparente dai fatti reali. Data soddisfazione a questo punto, gli incidenti vengono studiati come il risultato delle disfunzioni della strada e del sistema dei trasporti, per ottenere una chiave di lettura delle carenze e successivamente prevedere misure correttive.

Recenti metodi scientifici hanno concordato su un concetto multifattoriale degli incidenti, che sono considerati come il prodotto delle interazioni fra parecchi fattori relativi alla personalità e al comportamento degli utenti in causa, alla geometria della strada e all'ambiente, così come alla progettazione e manutenzione dei veicoli. In un tale approccio sistematico, l'incidente è l'effetto di una combinazione dei errori umani e guasti tecnici non previsti, identificabile dopo l'evento, fornendo a posteriori una documentazione completa a disposizione di appropriati metodi di analisi.

Anche se, per scopi giuridici, la polizia stradale è solitamente interessata alla sola individuazione dell'utente responsabile dei danni e quindi alla evidenza dell'errore umano, è utile per la prevenzione degli incidenti futuri, condurre ad un certo numero di indagini e raccolta di informazioni per dare un quadro più completo della situazione. È quindi essenziale analizzare gli incidenti in dettaglio, allo scopo di identificare quanto più possibile quelle disfunzioni del sistema di sicurezza stradale che possono rappresentare fattori causali di incidente.

Da un punto di vista pratico, non tutte le carenze imputabili di incidente possono essere analizzate e corrette, alcune perché oltre la dimensione umana (condizioni atmosferiche) ed altre

perché sfugono a qualsiasi logica (consumo di droga). In un'analisi pratica di prevenzione degli incidenti, verranno scartati queste tipologie di fattori e saranno mantenuti soltanto gli elementi controllabili dei vari componenti del sistema di mobilità (strade, ambiente, veicoli, traffico, utenti). Se l'analisi è ben fatta, l'eliminazione o la neutralizzazione di fattori causa di incidente attraverso misure adatte dovrebbe risultare sufficiente ad accertarsi che incidenti simili non accadano in futuro [1][2].

Un'analisi di sicurezza, perché sia da supporto alle politiche decisionali sulla sicurezza stradale, devono includere necessariamente due punti:

- a) l'identificazione del problema: valutazione del problema di sicurezza generale in termini di numeri di incidenti e di vittime (e possibilmente costo approssimativo per la Comunità), identificazione degli obiettivi principali in termini di frequenza delle diverse tipologie di incidente, delle categorie di utenti della strada principalmente a rischio, delle situazioni pericolose. Per far questo si adoperano analisi statistiche sui dati degli incidenti e sulle loro conseguenze, usando archivi nazionali o locali disponibili e campioni certi e rappresentativi.
- b) l'analisi del problema: identificazione delle disfunzioni nel sistema di trasporto in termini di elementi che contribuiscono agli incidenti già identificati in precedenza. L'analisi del problema non può essere effettuata soltanto con statistiche, anche se i dati sono di buona qualità ed i metodi utilizzati possono indicare alcuni fattori probabili; è comunque richiesta un'analisi approfondita di un campione di incidenti.

I risultati da tali analisi sono validi soltanto se i dati su cui sono basati sono affidabili e completi. In molti paesi, il fenomeno delle mancate denunce di incidenti è un problema a livello nazionale, che naturalmente pone un limite a quanto si possa ottenere dai dati ufficiali. Inoltre lavorando al livello di città o su una scala ancora più ridotta, i numeri degli incidenti possono essere considerati non significativi per studi approfonditi, perché in termini statistici il campione si può dimostrare insufficiente o inaccettabile.

È stato osservato tuttavia che indagini sugli incidenti basati su archivi di buona qualità, usati per l'analisi di sicurezza, hanno dato risultati discreti anche in casi di paesi con insufficienti dati statistici nazionali[3]**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

### 3.1.1 Osservazioni sul campo relative agli incidenti

L'analisi approfondita punta ad identificare i meccanismi che generano una situazione critica, che può essere eliminata tramite misure correttive adatte. Tuttavia, i dati su cui è basata sono spesso contraddittori o non sufficientemente dettagliati (in particolare, la descrizione delle caratteristiche locali della strada o le condizioni ambientali) per accertare tali fattori in un modo certo: l'analisi quindi porterà ad ipotesi legate ad ogni meccanismo di incidente, a volte con possibili alternative; occorre poi verificare tale ipotesi e scartare le meno realistiche.

Un primo accorgimento per ottenere una comprensione migliore dei fattori di incidente è quello di realizzare le osservazioni in luogo, grazie anche ad una lista di controllo “ad hoc” secondo le problematiche riscontrate nell'analisi di dati.

In questa maniera le osservazioni sono dirette ad ottenere solo le informazioni che più premono al professionista della sicurezza stradale.

Tale metodo è stato usato sistematicamente per il studi di sicurezza quale l'implementazione di miglioramenti di aree cittadine [1]. Il metodo si esteso parzialmente anche nella valutazione degli standard di sicurezza, fornendo uno screening dell'intera rete stradale e permettendo al gestore di stabilire priorità di intervento e individuare criticità del sistema.

### 3.1.2 Dati di conflitti di traffico

Finora, si è supposto che i dati di incidentalità fossero almeno sufficienti per formulare ipotesi realistiche per quanto riguarda gli elementi imputabili di causare l'incidente. In realtà non è sempre così:

- a) Al livello nazionale, le statistiche di incidente non sono ancora affidabili in una grande parte dei paesi del mondo; anche nei paesi industrializzati in cui i sistemi d'informazione di sicurezza si sono sviluppanti da più tempo, i dati sono spesso insoddisfacenti e un'analisi accurata di sicurezza deve passare necessariamente per indagini complementari ad - hoc [5].
- b) I dettagli sui casi di incidente non sono sempre disponibili, anche perché la polizia o il sistema giuridico non produce sistematicamente rapporti di analisi per ogni incidente che comporti lesioni, e questo per motivi pratici (scarsità di forze di lavoro, imperizia nell'individuare particolari dell'incidente tali da risultare rilevanti, pressione esercitata



da terzi sugli addetti ecc.), o perché gli archivi che esistono non sono ben classificati e sono quindi di difficile accesso e codifica.

- c) Al livello locale, una diagnosi di sicurezza, specialmente quando è orientata a studi in situ, è sostenuta da un numero basso di incidenti; anche quando i dati sono buoni e completi, si rendono necessarie alcune informazioni supplementari per confermare le prime ipotesi dell'analisi degli infortuni o persino contribuire a formularle.

È stata a lungo una pratica della polizia usare il rapporto fra il numero di interventi delle forze dell'ordine ed il numero di incidenti di traffico come indicatore del lavoro fatto. Questo rapporto "interventi/incidenti" è significativo se le violazioni del Codice della Strada e gli incidenti di traffico sono legati tra loro, cioè se sono fasi di un processo comune del pericolo insito nella circolazione stradale. C'è una probabilità di collegamento fra gli incidenti di traffico ed i conflitti seri di traffico che venono prima di questi incidenti e quindi le violazioni che portano ai conflitti sono ovviamente correlati con questi incidenti di traffico.

Le operazioni quotidiane delle polizie stradali sono orientate a riconoscere il collegamento fra le violazioni e gli incidenti di traffico, cioè individuare il processo e le relative fasi che mettono la sicurezza dell'individuo in pericolo.

Usando le tecniche di conflitto di traffico si potrebbe riuscire a comprendere i meccanismi che portano all'incidente in maniera più veloce ed efficace, ad esempio attraverso il riconoscimento delle varie violazioni di traffico (violazione del diritto di precedenza etc). D'altra parte, stabilire la natura generale della sicurezza stradale e individuare il ruolo dei vari utenti coinvolti e delle loro interazioni, permette alla polizia di stabilire quando e dove le violazioni di traffico "sono legate al sito" e quindi si può ricorrere a mezzi di controllo ed applicazioni per incrementare le condizioni di sicurezza.

### **3.2 Indicatori prossimali di sicurezza applicati al caso dei conflitti con pedoni**

La ECMT (European Conference of Ministers of Transport) fa una distinzione tra ciò misura di sicurezza "diretta" e "indiretta". Il numero di morti e di feriti nel traffico stradale è considerata una misura "diretta" in quanto si ritiene di possedere un grado sufficiente di validità, affidabilità e disponibilità per descrivere la situazione della sicurezza locale, nazionale o internazionale. Un certo numero di misure "indirette" sono invece parametri considerati come indicativi della situazione di sicurezza come ad esempio i conflitti di traffico.

A causa di una serie di dibattiti relativi alla validità della tecnica come strumento di rappresentazione delle condizioni di sicurezza, questi indicatori sono stati utilizzati in maniera limitata nella pianificazione dei trasporti e nell'ingegneria del traffico in molti paesi del mondo. Il dibattito è legato all'abitudine consolidata di accettare il numero di incidenti come definizione astratta e teorica di una misura di sicurezza stradale.

Spesso la necessità di comprovare la validità può risultare esagerato, o addirittura inutile, in situazioni in cui gli indicatori di sicurezza servono come strumento di valutazione e analisi degli aspetti della sicurezza piuttosto che per la previsione degli incidenti [6].

Gli indicatori prossimali di sicurezza, quindi, sono utili particolarmente per studi before-after, dove viene posto l'accento sulla valutazione e il confronto di misure di sicurezza intraprese per la risoluzione di problemi legati al traffico.

Un'efficace strategia di valutazione della sicurezza non può comunque prescindere dall'utilizzo di indicatori che rappresentino le caratteristiche di prossimità temporale e spaziale di interazioni vicine all'incidente.

Di seguito viene operata una cernita degli indici di conflitto che negli anni hanno avuto maggior successo registrando un gran numero di applicazioni e che possono essere adattate al caso di conflitti tra veicoli e pedoni o che sono state definite appositamente per tale tipologia di evento critico.

### **3.3 TA: Time to Accident**

Come per la definizione originale di Perkins e di Harris [7][8], la misura di conflitto è determinata in un punto del tempo e dello spazio in cui è intrapresa l'azione evasiva da uno degli utenti coinvolti nel conflitto. La misura del Tempo all'Incidente (Time to Accident, TA) è calcolata usando le valutazioni di velocità e distanza fatte dagli osservatori addestrati. Poiché è basata sul punto in cui l'azione evasiva ha inizio, in questa misura non occorre considerare il tempo di reazione (la misura del Tempo alla Collisione descritta nella sezione seguente considera il tempo di reazione). Affinché la misura del TA sia valida, si deve stabilire la presenza di un scontro in corso fra gli utenti [9].

In base al valore di TA calcolato ed alla velocità determinata dell'utente, l'evento di conflitto è descritto come serio o non, in conformità con una funzione non lineare che prende in considerazione il tasso medio di rallentamento necessario per evitare uno scontro a velocità differenti e un coefficiente standard di attrito [9].

Quindi, per gli scopi di determinazione della severità, vengono considerati la velocità approssimata e il potere di rallentamento (Figura 3.1).

E' da notare che per scopi preventivi e comparativi vengono solitamente considerati solo i conflitti classificati come seri.

Il punto a cui l'azione evasiva ha inizio, determina il valore dell'indicatore di sicurezza del "Tempo all'Incidente" (TA).

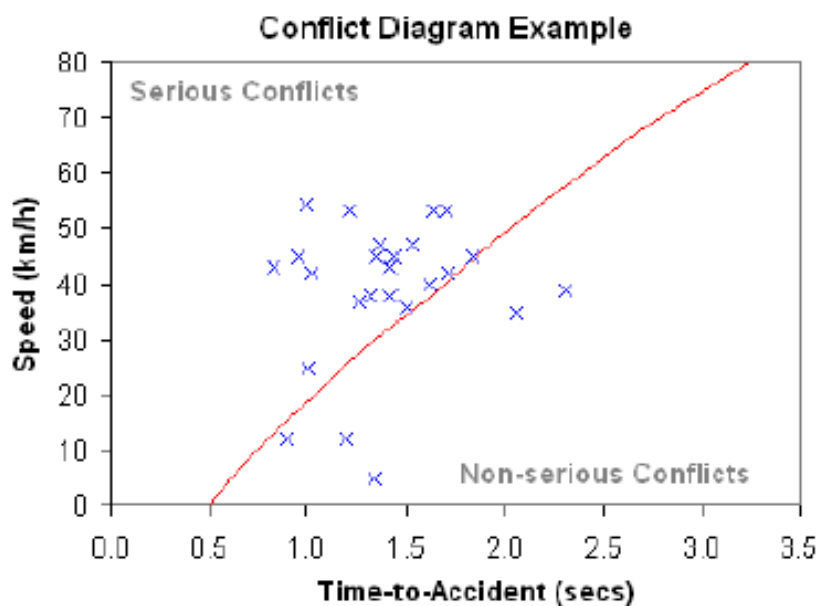


Figura 3.1. Distinzione fra gli eventi seri e non in conformità con la TCT

### 3.3.1 Calcolo del "Tempo all'Incidente" in un evento critico di sicurezza

Un esempio che rappresenta una situazione tipica di conflitto per il calcolo del Tempo all'Incidente è illustrato in figura. Nell'esempio indicato, la situazione di conflitto è misurata quando il veicolo proveniente dalla strada con diritto di precedenza comincia a frenare per evitare lo scontro con il veicolo che dovrebbe dare la precedenza ma che ha approssimato l'intersezione nonostante un intervallo di tempo abbastanza limitato per passare (Figura 3.2). Esiste in questo esempio uno scontro in corso. In realtà è sufficiente che il comportamento degli utenti suggerisca l'esistenza di un corso di scontro.

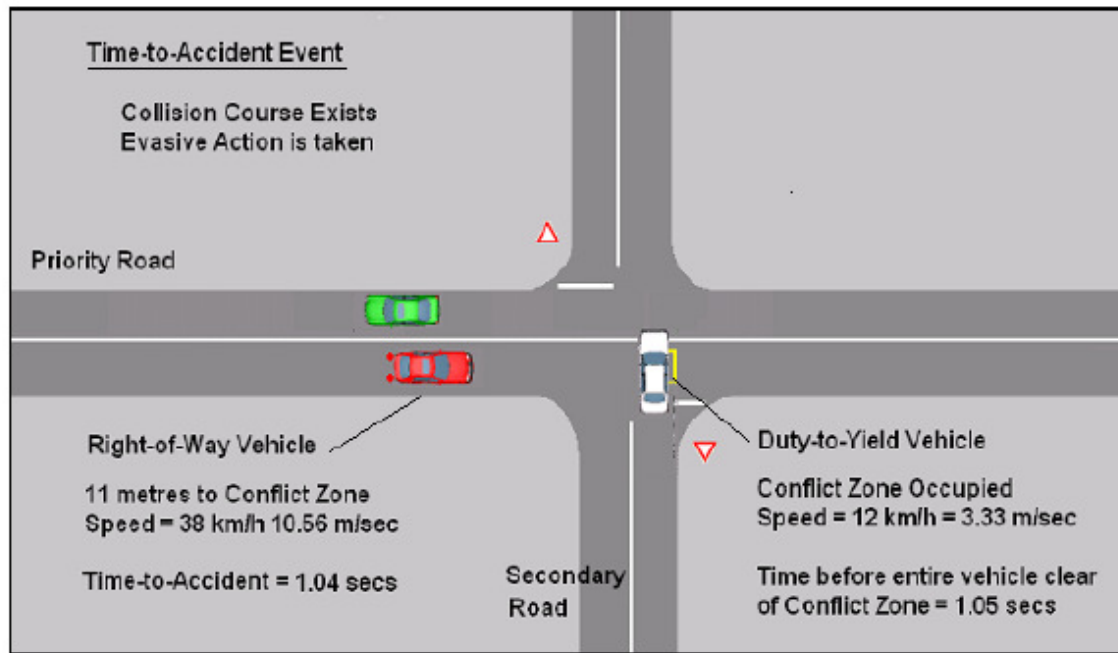


Figura 3.2. Esempio di una situazione di conflitto ed il calcolo dell'«Tempo al'Incidente»

### 3.3.2 Potenzialità e limitazioni del TA

Il TA è l'indicatore di sicurezza più immediato e intuitivo nella raccolta delle informazioni necessarie. Tuttavia le possibilità di errori nelle valutazioni di velocità e distanza possono influire sulla corretta determinazione del valore di TA. Questi problemi sono più evidenti per conflitti e le situazioni critiche di traffico in cui siano presenti inseguimento tra veicoli o quasi-collisioni per tamponamento, particolarmente difficili da giudicare poiché il punto di conflitto dipende dalla differenza relativa di velocità e dalla inter-distanza fra i veicoli che sono in conflitto.

In situazioni che coinvolgono svolte e immissioni di veicoli da strade secondarie nel flusso principale, è necessario spesso considerare l'accelerazione del veicolo per valutare dove si trova il punto potenziale dello scontro. Questa situazione è complessa anche per un osservatore addestrato ma si presenta spesso negli studi dei conflitti alle intersezioni. Situazioni come queste dovrebbero essere sottoposte ad una analisi video attenta per determinare esattamente le velocità, le accelerazioni e le distanze e per stabilire l'esistenza di uno scontro in corso, o per accertarsi che ci sia stato comportamento che suggerisce l'esistenza di una possibile collisione.

Le difficoltà dell'osservatore, in questo caso sono legata alla velocità dei veicoli coinvolti nel conflitto. Quando le velocità sono relativamente basse, la distanza tra i veicoli richiesta

perché si riscontri la presenza di un conflitto serio è molto piccola ed il veicolo in svolta non riesce spesso a completare la rotazione o la manovra di immissione prima che la situazione di conflitto venga rilevata. In queste situazioni a bassa velocità, il conflitto è ben più facile da osservare e valutare rispetto ai casi in cui la velocità è alta e quindi una distanza più ampia.

Altre difficoltà relative a questa tecnica riguardano l'identificazione dell'utente che determina il rischio di incidente. Nel caso dell'incidente pedonale, si dovrebbe definire chi intraprende l'azione evasiva. Nel caso che un pedone cammini su un attraversamento pedonale e per evitare di essere colpito da un veicolo intraprende un'azione evasiva, la definizione di TA porterebbe a considerare come vincolante la velocità e la distanza del pedone per calcolarne il valore. In realtà il buonsenso porta a affermare che anche se il pedone è l'utente che in primo luogo ha intrapreso l'azione evasiva, la severità e il pericolo potenziale è collegato alla velocità e la distanza del veicolo.

### **3.4 TTC: Time to Collision**

La natura della tecnica di conflitto è stata criticata a causa della variabilità della soggettività dell'osservatore nella classificazione della severità dell'azione evasiva.

Gli scontri per tamponamento fra veicoli sono uno dei problemi principale della sicurezza stradale in molti paesi. Molti guidatori, seguono altri veicoli a stretta vicinanza lasciando poco margine d'arresto, sicuri di evitare lo scontro se il veicolo che lo precede frena inaspettatamente e/o repentinamente.

Durante l'ultima decade sono stati introdotti, per migliorare la sicurezza stradale, sistemi ACAS (Advance Collision Avoidance System). Tali sistemi mirano ad aiutare i conducenti a evitare gli incidenti avvisandoli di uno scontro potenziale e, a volte, intraprendendo una frenata. La definizione delle soglie per distinguere fra situazioni sicure e pericolose è un fattore chiave nel disegno di tutto il sistema ACAS.

Il tempo allo scontro (TTC), cioè *il tempo che occorrerebbe ad un veicolo che segue per scontrarsi con quello che lo precede, se fosse mantenuta la velocità relativa corrente al punto dato*, è stato ampiamente considerato come un parametro potenziale da usare come misura della soglia in questione [10].

La definizione originale è stata coniata da Hayward nel 1972 [11], sebbene ci fossero ricerche molto simili nei vari team di ricerca contemporanei. Quando è in corso uno scontro, il valore di TTC diventa finito e diminuisce con il tempo, la misura critica nella valutazione della

severità di conflitto diventa quindi il minimo valore di TTC durante il conflitto. Quindi, il valore massimo è infinito ed il minimo è pari a zero, ovvero l'incidente.

Gli studi basati sull'utilizzo del Time-to-Collision (TTC), devono utilizzare un livello di soglia limite affinché si riesca a determinare la distinzione tra eventi critici gravi o rilevanti per la sicurezza, gli eventi che non risultino di interesse e quindi non gravi. Questa soglia limite è rappresentata da un valore fisso piuttosto che da una funzione che dipenda da una misura relativa alla velocità o alla decelerazione.

Van der Horst [12][13] ha suggerito un valore di TTC di 4 secondi per distinguere fra situazioni sicure e non, trovando riscontro anche da Farber [14]. Tuttavia, Nilsson [5] ha prodotto valutazioni soggettive che indicano che una soglia da 4 sec può essere "troppo breve", riportando un esperimento per confrontare tre meccanismi di evasione dalla collisione su test basati sul criterio di TTC in relazioni a manovre intraprese dal veicolo.

Hirst e Graham [15] hanno trovato che un valore di TTC di 3 secondi risulta ancora inadatto in situazioni critiche, ma hanno ottenuto di ridurre il numero dei cosiddetti "falsi allarmi" o falsi conflitti.

Hogema e Janssen [16] hanno studiato i comportamenti dei guidatori durante l'approccio ad una situazione di coda con e senza guida assistita, sostenendo l'esperimento con un simulatore di movimento. Hanno trovato un valore minimo di TTC pari a 3.5 secondi per i conducenti non supportati da guida assistita e 2.6 secondi per gli altri.

Recentemente, Sultan [17] ha analizzato i comportamenti dei conducenti durante normali situazioni di inseguimento, cioè quando un guidatore segue il veicolo che è si trova davanti sostenendo velocità e distanze simili.

Uno studio effettuato da Van der Horst [18] utilizzando registrazioni video di situazioni di conflitto in tempo reale, ha suggerito un TTC di 4 secondi come soglia tra situazioni dove gli utenti si trovano in situazioni pericolose.

Maretzke e Jacob [19] hanno sostenuto che i guidatori tendono a cominciare frenare a circa quattro secondi, il che non fornisce abbastanza tempo di reagire ad un avvertimento. Gli autori quindi hanno suggerito una soglia di cinque secondi.

E' stata trovata una diminuzione nei valori assoluti per il TTC minimo con la diminuzione nella velocità. Il Tempo a collisione (TTC) è definito da Cavallo e da Laurent [20] come "il tempo che occorrerà per raggiungere un ostacolo," un indicatore previsionale cruciale nella regolazione della frenata.

L'equazione usata nel calcolo di TTC è la seguente:

$$\text{TTC (sec)} = \frac{\text{interdistanza tra gli utenti}}{\text{Velocità relativa tra gli utenti (m/sec)}}.$$

Le informazioni contenute in questa equazione sono essenziali per determinare la necessità di frenare, come la grandezza della forza richiesta per evitare lo scontro.

Il TTC comprende due fattori principali nel comportamento del conducente, la velocità relativa (DV) e la distanza relativa (DX) rispetto alla posizione del primo utente. Tuttavia, non considera che occorre una distanza d'arresto maggiore per velocità più alte e così può risultare inadeguato l'uso di una soglia costante di TTC per distinguere fra le situazioni sicure e quelle pericolose. Inoltre, nelle situazioni di emergenza i conducenti del veicolo possono comportarsi in modi differenti dalla normalità (Figura 3.3).

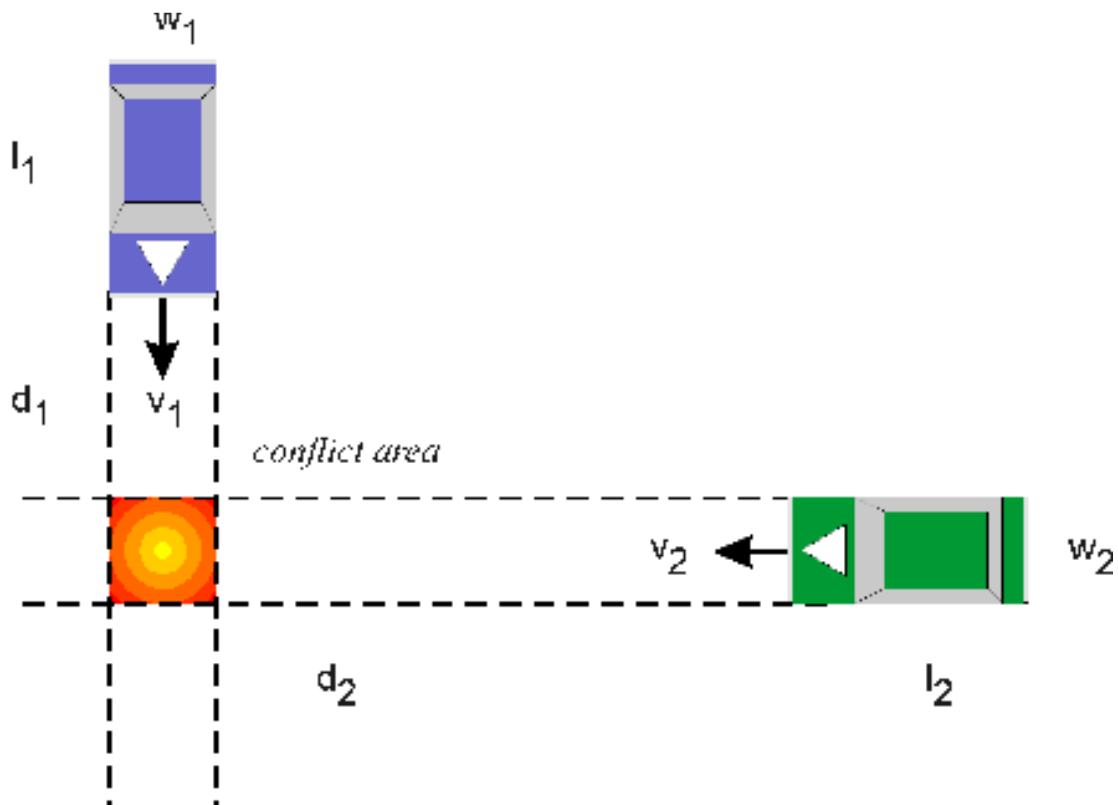


Figura 3.3. Situazione con  $t = T$  e approccio perpendicolare all'interno della zona dell'intersezione (zona di conflitto)

$l_i$  = lunghezza,  $w_i$  = larghezza del veicolo  $i$  ( $i=1,2$ ) e  $D_i$  = distanza dalla parte anteriore del veicolo  $i$  alla zona di conflitto [12].

Hirst e Graham [15] mettono in discussione l'uso della soglia fissa del tempo allo scontro. Riconoscono che il TTC è dipendente dalla velocità e citano il lavoro di Van der Horst [13] che ha condotto uno studio in cui si è trovato che i soggetti frenano il più tardi possibile mentre si avvicinano ad un oggetto stazionario per arrestarsi proprio davanti l'oggetto

Sulla base di queste considerazioni il concetto di Time-to-Collision (TTC) potrebbe risultare, allora, poco utile per comparare la gravità dei conflitti.

L'uso del concetto del Time-to-Collision (TTC) è stato trascurato per problematiche associate con il processo di estrazione dati.

L'utilizzo di analisi dei video, infatti, pone dei limiti alla qualità e allo scopo dello studio della sicurezza, dovute alle difficoltà che emergono nel percepire gli eventi critici tramite la visualizzazione di immagini bidimensionali, inoltre altri problemi emergono dal relativo posizionamento della telecamera e della copertura che riesce ad offrire.

Nonostante queste considerazioni, tale indicatore è stato più volte accostato all'analisi dei conflitti tra veicoli e pedoni (Figura 3.4).

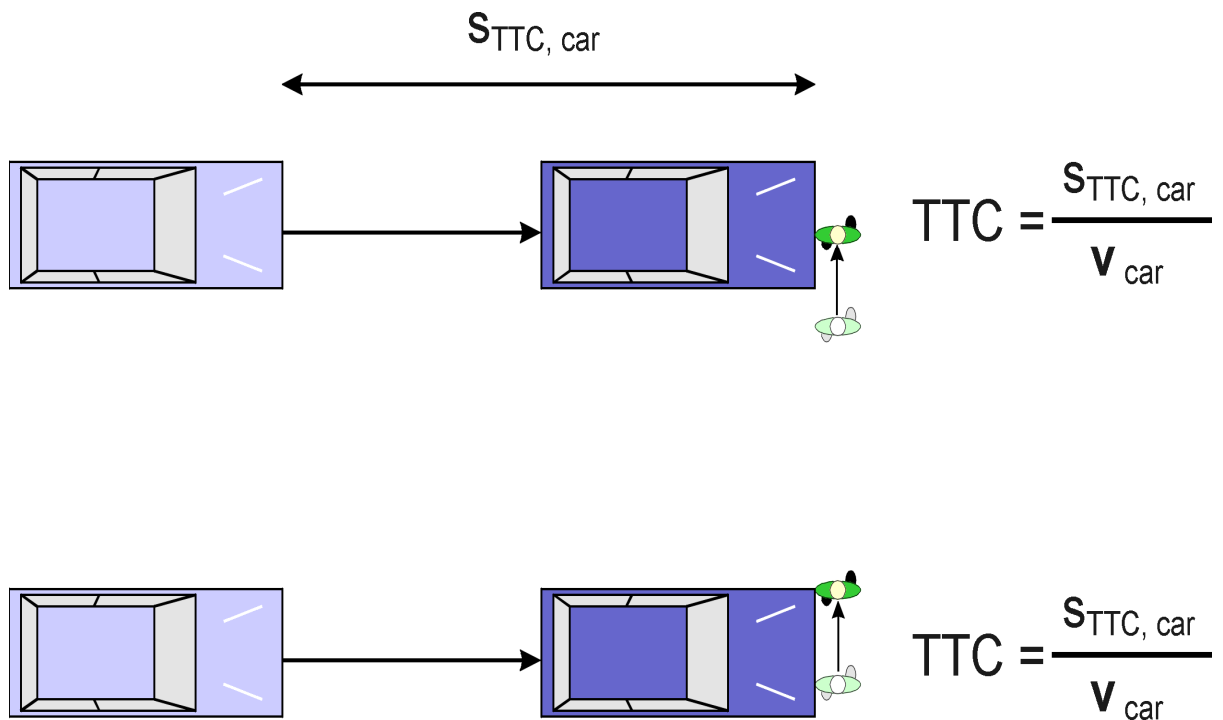


Figura 3.4. Valore di TTC nel caso di conflitto con il pedone



### 3.4.1 Esempio: Calcolo dello Tempo allo scontro in un evento critico di sicurezza

Viene illustrato sotto in figura un esempio che rappresenta una situazione tipica di conflitto ed il calcolo del TTC. Le figure mostrano il calcolo di TTC in due occasioni separate, anche se si deve appuntare che questi calcoli sono effettuati continuamente a intervalli di tempo durante il corso di un evento critico allo scopo di determinare il valore minimo di TTC (Figura 3.5).

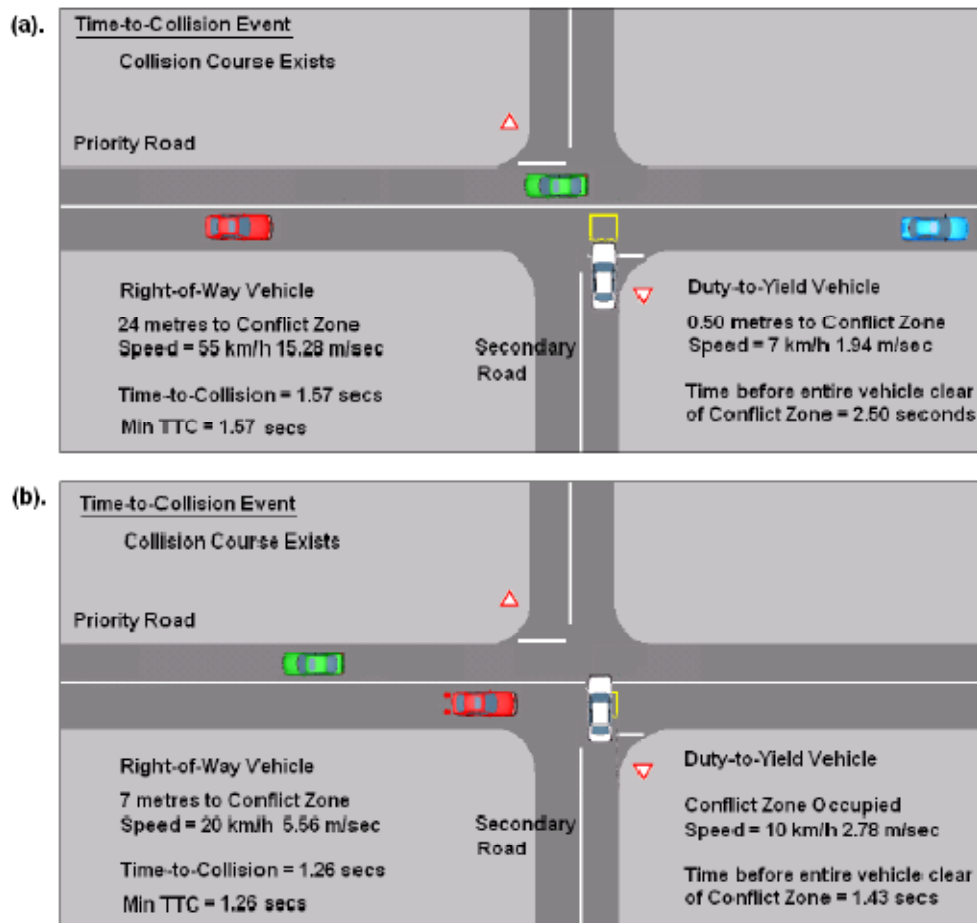


Figura 3.5. Esempio di una situazione di conflitto ed il calcolo dello TTC

### 3.4.2 Le potenzialità e le limitazioni del TTC

Nel caso che il veicolo che precede è più veloce di quello seguente, l'indice TTC non può essere valutato in un numero finito. Questo è un punto debole dell'aspetto pratico dell'indice.

In uno studio sui conflitti dovuti al cambiamento di corsia di un utente sulla corsia di sorpasso si è trovato che la velocità media del secondo veicolo che percorre la corsia di sorpasso

è superiore a quella del veicolo che cambia. Quindi, è difficile valutare l'indice TTC fra il veicolo che cambia corsia ed il veicolo che percorre la traiettoria lungo la corsia di sinistra (il secondo veicolo). Tuttavia, la situazione dove la distanza fra due veicoli successivi è molto corta dovrebbe essere considerata una situazione pericolosa, anche se il veicolo principale viaggia leggermente più velocemente dell'altro veicolo. Sotto una tale situazione, vi è un'alta possibilità che il veicolo che cambia corsia abbia uno scontro da dietro, se il veicolo principale applica una frenata d'emergenza.

Altro caso in cui potrebbero esserci dei limiti nell'applicazione dell'indicatore è quello di differenza quasi nulla di velocità e distanza in conflitti dovuti al cambio corsia. Gli incidenti diventano molto probabili ma l'indicatore è infinito, cioè, nessuna situazione pericolosa.

Come dichiarato sopra, quindi, vi sono casi in cui l'indicatore indica una condizione sicuro di traffico anche se la situazione è pericolosa. In tali casi, ci sono ancora aspetti da sviluppare per rendere gli indicatori di conflitto adeguati all'analisi di sicurezza.

Quando lo stato del traffico risulta congestionato ed ogni veicolo cammina molto vicino agli altri, l'indicatore tende ad indicare una situazione pericolosa di traffico.

Situazioni differenti possono causare lo stesso TTC, in una situazione il guidatore deve premere il suo piede sull'acceleratore ed in un'altra situazione è resa necessaria una frenata di emergenza.

Sono diverse le situazioni che non sono interpretabili con il TTC.

Uno studio svedese, presentato da Jeffery Archer [21], rappresenta una valutazione di sicurezza basata sugli indicatori prossimali differenti di sicurezza in corrispondenza di intersezione a T a tre bracci nell'ambiente urbano e suburbano di Stoccolma. Gli indicatori di sicurezza esaminati includono il TA, il TTC e il PET (di cui si parlerà nei prossimi paragrafi). Un obiettivo importante rispetto a questo lavoro interessa l'identificazione dei pregi e delle debolezze fra gli indicatori prossimali di sicurezza per determinare la loro idoneità e la loro potenzialità per la valutazione efficace della sicurezza.

Da questo studio si è ottenuto che le frequenze dei valori minimi di TTC seguono la stessa distribuzione di quello trovato per i dati di conflitto discussi precedentemente. Ancora, è stato trovato un gran numero di eventi in cui il TTC è calcolabile per le ore non di punta. Una differenza interessante in relazione ai dati di conflitto serio è che il TTC presenta una frequenza più alta. Questo poteva essere previsto data la definizione e la base concettuale di questo indicatore prossimale di sicurezza, che può includere essenzialmente anche gli eventi con bassa

velocità ma sono molto prossimi nello spazio. Quindi il valore minimo del TTC potrebbe sovrastimare la frequenza dei conflitti seri.

La manovra di svolta dalla strada secondaria risulta essere la causa di un gran numero di conflitti per cui risulta valutabile il TTC. Questi risultati danno risalto ai problemi relativi alle manovre di immissione da sinistra e di svolta a destra.

L'indicatore TTC ha identificato alla stessa maniera un gran numero di conflitti da dietro (inseguimento) così come un gran numero di eventi critici fra i veicoli ed i pedoni alle due intersezioni urbane oggetto dello studio.

Le frequenze del TTC sembrano seguire un modello che è costante con le variazioni di volume relative al traffico.

Il tentativo di affiancare il tasso di frenata al grado severità del TTC per intersezioni differenti, evidenzia alcune differenze. È interessante notare che i valori di severità del tasso di frenata sono considerevolmente più piccoli di quelli per i conflitti seri, suggerendo che un certo numero di eventi registrati potrebbero non essere tanto seri come indica il TTC .

In conclusione l'indicatore di sicurezza TTC è una risorsa che richiede un calcolo considerevole per ogni evento critico potenziale. Questo indicatore di sicurezza trarrebbe giovamento significativamente da una procedura completamente automatizzata di analisi video ed era improponibile utilizzarlo prima dello sviluppo della tecnologia video.

Il vantaggio principale di questo indicatore è che è meno soggettivo del TA poiché le misure di velocità e distanza sono derivate direttamente dal video nei casi dove esiste realmente uno scontro in corso. Inoltre il TTC è misurato continuamente durante ogni evento critico di sicurezza, identificando la parte più pericolosa (cioè il valore minimo presunto). Questo non è un argomento conforme con la tecnica di conflitto di traffico tradizionale dove l'inizio dell'azione evasiva è il momento della determinazione dell'evento critico di sicurezza. Una differenza ulteriore fra questi indicatori di sicurezza è collegata con la severità. La misura di TA distingue fra conflitti seri e non per scopi di valutazione dei casi di incidente. Il valore TTC è considerato come una misura diretta della severità ma non considera la velocità rispetto variabile di risultato. Quindi, due eventi di TTC con i valori simili di risultato hanno lo stesso livello di severità senza relazionarli alla velocità. Di conseguenza, ci possono essere un certo numero di eventi che sono sotto soglia, ma che hanno severità più bassa se confrontate con altre variabili più rappresentative come, il tasso di frenata medio.

### 3.5 TTC Approssimato

Il TTC descritto sopra ha i seguenti punti deboli:

- 1) non è rappresentativo se la differenza di velocità sono molto piccole in prossimità della mancata collisione, nonostante la pericolosità della situazione;
- 2) assume valore infinito se due veicoli procedono molto vicini ma parallelamente e con angolo relativo pari a zero o molto piccolo, indicando un evento sicuro.

A compensare questi punti deboli descritti, è stato proposto l'indicatore TTC approssimato, considerando le situazioni sopra menzionate.

L'indicatore TTC approssimato utilizza come discriminante semplicemente il tasso di riduzione della distanza relativa fra due veicoli [22]. Di conseguenza lo scontro reale non può accadere sempre. La maggior parte dei casi rientra nella tipologia del cambio di traiettoria.

### 3.6 TTC exposed e TTC integrated

Nuovi sviluppi molto interessanti della misura di TTC sono stati suggeriti da Minderhood e da Bovy [10]. Gli autori suggeriscono due nuovi indicatori di sicurezza basati sul TTC che sono utili per le analisi comparative di sicurezza del traffico stradale.

Contrariamente ai valori classici di TTC che sono misurati rispetto ad una sezione trasversale specifica, i nuovi indicatori usano la traiettoria del veicolo su un periodo specifico di tempo per un determinato segmento della carreggiata per calcolare un valore generale dell'indicatore di sicurezza. Questi valori possono allora essere analizzati per determinare i valori specifici dell'indicatore per il veicolo e le situazioni critiche della sicurezza.

. La prima misura suggerita è il TTC exposed che misura la durata di tempo di esposizione a valori critici di sicurezza del TTC al di sopra di una soglia predefinita. Questa misura è sommata per tutti i veicoli che passano una sezione della strada durante il periodo di tempo indicato. Il TTC exposed è definito come la misura del tempo durante il quale ci si trova in situazioni critiche di sicurezza e cioè:

$$TET = \sum_{i=1}^N \sum_{t=0}^T \delta_i(t) \cdot \tau,$$

Dove:

$$\delta_i(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq TTC_i(t) \leq TTC^*, \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases}$$

TTC t è il TTC del veicolo i al punto t di tempo. Il passo temporale di simulazione è denotata con  $\tau$ , la N denota il numero totale di veicoli e la T è l'orizzonte di simulazione.

La seconda misura è il TTC integrato che usa l'integrale del profilo del tempo a collisione per esprimere il livello di sicurezza. Questa misura è più qualitativa e rappresenta la zona del profilo di TTC sotto la soglia critica quindi fornisce informazioni sulla serietà di una situazione di conflitto. Questa misura è sommata per tutti i veicoli che passano da una sezione della strada durante il periodo di tempo indicato.

La severità delle situazioni critiche può anche essere misurata dal TTC integrato definito come:

$$TIT = \sum_{i=1}^N \int_0^T (TTC^* - TTC_i(t)) \cdot \delta_i(t) dt.$$

Dove  $TTC^*$  è la soglia critica di TTC. Gli indicatori di sicurezza basati sul TTC, il TET e il TIT, sono illustrati nella figura seguente. Il TTC per la traiettoria del veicolo i nella la figura è indicata per tre situazioni diverse. Due di queste situazioni critiche per la sicurezza sono state registrate con valori di TTC al di sotto del TIT. L'indicatore TET è la somma del tempo in cui il TTC è al di sotto del valore critico e l'indicatore del TIT è la somma delle zone evidenziate sotto (Figura 3.6).

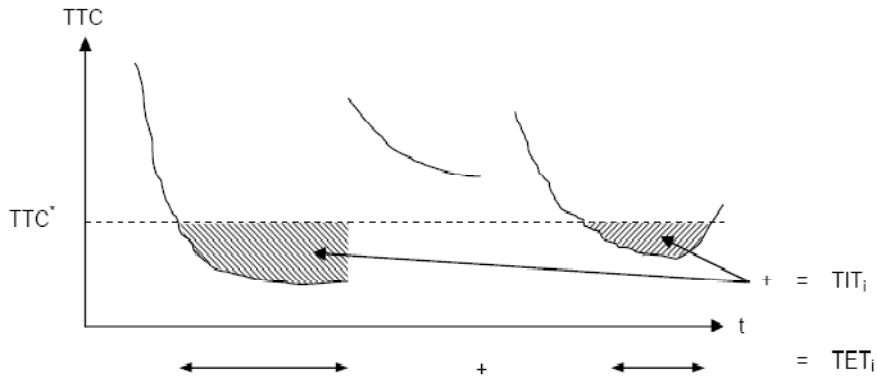


Figura 3.6. Descrizione di TET e TIT

Questi valori possono essere usati per derivare i valori medi per ogni veicolo e la probabilità di situazioni critiche. Questo metodo fornisce dati comparativi importanti per la sicurezza ed allo stesso tempo fornisce una misura molto utile per la calibrazione di modelli di simulazione.

### 3.7 Time to Zebra (TTZ)

Una variante del concetto del Time-to-Collision (TTC) [13]83 è stata sviluppata con il proposito di stimare la sicurezza della circolazione per l'attraversamento dei pedoni (Figura 3.7).

La formulazione dell'indicatore è la seguente:

$$TTZ_{[sec]} = \frac{D_{[m]}}{V_{[m/sec]}}$$

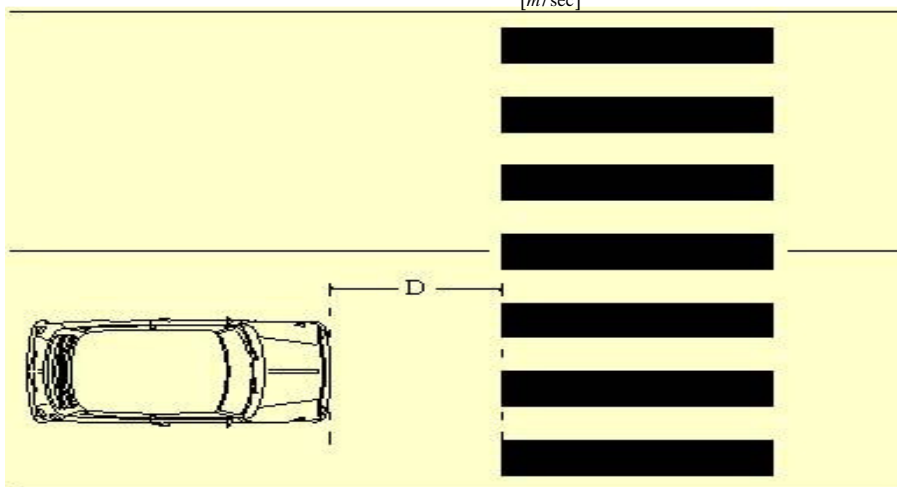


Figura 3.7.

Rappresentazione del TTZ

Questo indicatore è stato utilizzato e sviluppato per assegnare frequenza e gravità di eventi critici tra veicoli e pedoni nell'atto di attraversare la strada. Lo studio di questo indicatore è basato sul fatto che tempi critici e intervalli di distanze sono identificati in funzione della velocità del veicolo.

In conseguenza di ciò si è visto, sperimentalmente, che molti guidatori non adattano la propria velocità al limite imposto e non considerano i pedoni che attraversano un potenziale rischio, pericoloso per l'incolumità. Inoltre sempre sperimentalmente, è stato riscontrato che su quattro guidatori solo uno si ferma o rallenta per far attraversare il pedone il quale è costretto, in molti casi, ad eseguire l'attraversamento con estrema rapidità.

### **3.8 PET: Post Encroachment Time**

Il calcolo di TTC ha bisogno di uno scontro in corso ovvero gli utenti coinvolti dovranno essere allo stesso posto e allo stesso tempo nel caso mantenessero invariate traiettoria e velocità. Se gli utenti della strada si mancano per un piccolo intervallo di tempo (ad esempio nel caso di intersezione tra le traiettorie), non si può calcolare TTC anche se la situazione non può essere considerata sicura. Questa insufficienza viene compensata con il Post Encroachment Time (PET).

Il PET è definito come il periodo di tempo dal momento in cui il primo utente della strada sta lasciando la zona di conflitto fino a che il secondo utente non la raggiunga. Questo intervallo di tempo è proporzionale all'insicurezza della situazione di traffico osservata.

Fu Allen [23] a proporre come indicatore il PET. La posizione occupata dal primo veicolo è definito come l'area di conflitto in cui con ogni probabilità avverrà lo scontro, quindi l'indicatore è definito come il tempo dal momento iniziale del conflitto al momento nel quale il secondo veicolo raggiunge l'area suddetta. Infatti, se nell'intersezione delle traiettorie previste i due veicoli non arrivano a scontrarsi, il TTC non è calcolabile. Tuttavia, se la differenza di tempo fra due veicoli è piccola anche se non si scontrano, il valore potrebbe essere utile per l'analisi di sicurezza. Questa differenza di tempo è calcolata come PET. Il PET si pone come un indicatore parziale, quindi se il TTC è calcolabile, ovvero si può giungere allo scontro, quindi il calcolo è interrotto (in questo caso, l'indicatore è calcolato come numero negativo per convenienza).

Solitamente,) viene preso come valore per valutare la sicurezza stradale l'ultimo PET calcolabile (lastPET). Questo è il momento in cui il primo utente della strada lascia la zona di conflitto (Figura 3.8).

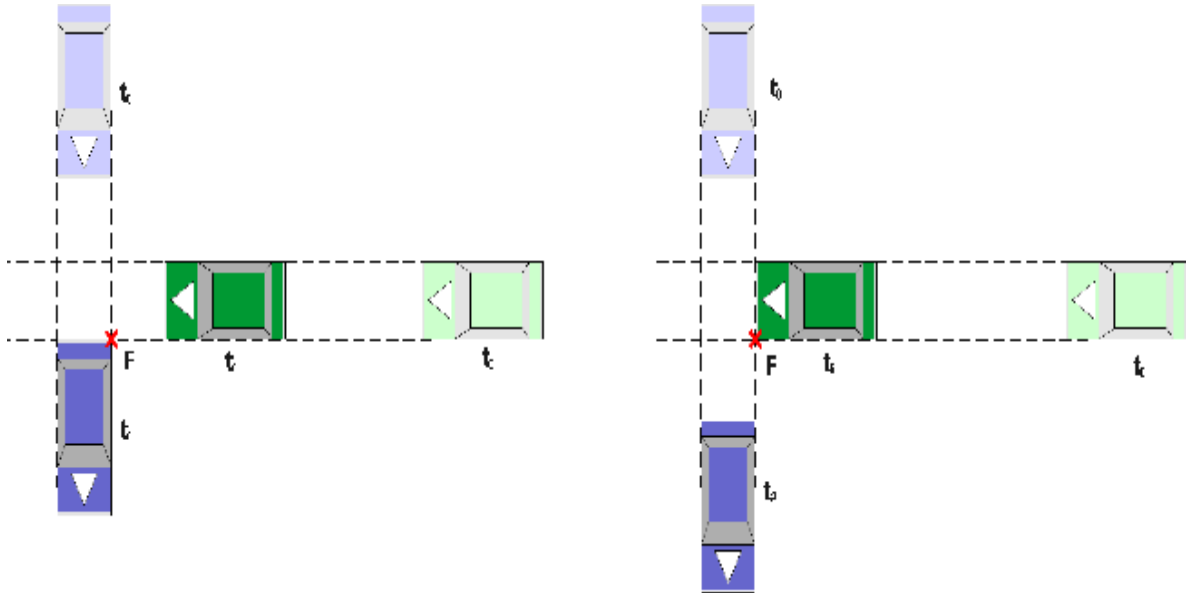


Figura 3.8. Definizione di Post Encroachment Time(PET)

$t_0$ : momento reale,  $T1$ : il primo utente della strada lascerà la zona di conflitto,  $T2$ : il secondo utente della strada raggiungerà la zona di conflitto,  $PET = T2-T1$ .

Di seguito viene riportato un esempio del calcolo del Post Encroachment Time (PET) in cui due veicoli sono coinvolti in un evento critico.

Nella figura vengono evidenziate le condizioni del conflitto per l'inizio e la fine del conteggio del PET Figura 3.9).

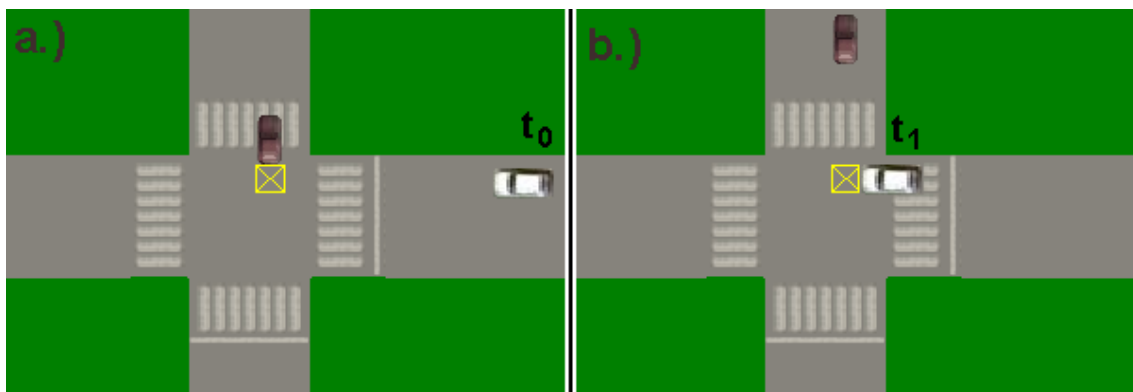


Figura 3.9. Esempio di calcolo del PET



### 3.8.1 *Le potenzialità e le limitazioni del PET*

È sempre lo studio del Jeffery Archer [21] il documento di riferimento che spiega le limitazioni ed le potenzialità del PET. Le frequenze dei valori di PET sotto soglia seguono lo stesso ordine di quello trovato per i conflitti seri ed i dati del TTC, malgrado il numero limitato di tipologie di conflitto misurati da questo indicatore. La maggior parte di queste tipologie coinvolgono interazioni tra pedoni e veicolo. Anche in questo caso i picchi di traffico influenzano il numero e la severità dei valori dell'indice calcolati. Il PET sembra essere più sensibile (ma non necessariamente più valido) di altri indicatori di sicurezza riguardo ai conflitti pedone-veicolo.

Il PET è un indicatore utile, quindi, per valutare situazioni in cui lo scontro viene mancato per poco. Tuttavia, non viene rappresentata come pericolosa una situazione che vede entrambi i veicoli procedere paralleli con distanze ravvicinate. Entrambi gli indicatori (TTC ed PET) considerano "soltanto" se uno scontro accade, non considerando l'intensità necessaria di un'azione evasiva per evitare l'incidente .

Durante una situazione di traffico sarà calcolabile o il TTC o il PET in un determinato istante. Così facendo , si potrebbe ottenere una misurazione continua della sicurezza durante l'intero svolgersi della situazione di traffico, colmando le lacune dei singoli indicatori.

Il PET non è utile per traiettorie longitudinali di conflitto ed è più utile per gli eventi critici di sicurezza che vedono la partecipazioni di veicoli e con utenti più vulnerabili (quali pedoni e ciclisti) e per determinate tipologie di interazioni veicolo-veicolo. Data la natura elementare di questo indicatore di sicurezza e la facilità relativa con cui i valori possono essere determinati usando l'analisi video, il PET risulta efficace sotto il profilo delle risorse in gioco ma si pone come alternativa meno dettagliata e più circoscritta rispetto al Time to collision. Ci sono comunque dibattiti sulla validità della costruzione di questo indicatore come misura di sicurezza, dato che non vi è scontro in corso e spesso non viene intrapresa nessuna azione evasiva.

## 3.9 **Derivati del PET**

In un recente Report della Federal Highway Administration Departement of Trasportation U.S. [24] riguardante la simulazione di traffico e surrogati di misure della sicurezza sono state presentate diverse varianti del concetto di PET.

Questi sono:

- Gap Time (GT): il lasso di tempo fra il completamento di un incrocio da parte di un utente in svolta ed il periodo di arrivo di un altro utente all'incrocio considerando velocità e traiettoria costanti.

- Encroachment Time (ET): la durata di tempo durante il quale la manovra di svolta dell'utente toglie la precedenza ad un utente della strada principale;

- Initially Attempted Post Encroachment Time (IAPT) Il lasso di tempo fra l'inizio di un incrocio di traiettorie tra un utente in svolta e un utente sulla strada principale per raggiungere il punto comune di conflitto ed più il tempo di completamento della manovra di svolta dell'utente della strada secondaria.

Queste varianti presentano delle sottili differenze rispetto al generico concetto di PET dal quale derivano.

Il concetto di GT è basato sulla stima del tempo di arrivo di un veicolo presso un potenziale punto di conflitto piuttosto che una reale differenza di tempo.

Questo indicatore prossimo di sicurezza ha un approccio simile a quello della Tecnica dei Conflitti di Traffico, infatti, tiene conto, o meglio, è basato su misure che partono da un punto quando ha inizio l'azione evasiva.

Infatti questa ultima considera gli effetti della frenata di un secondo veicolo e la natura originale del concetto di PET viene così a mancare poiché le misure di entrambe distanza e velocità sono richieste durante il processo di estrazione dei dati.

L'ET come concetto è molto simile al derivato del TTC TI (Time Integrated), e probabilmente risulta un metodo abbastanza utile per fornire qualche informazione in più riguardo alle gravità di eventi di "encroachment" in cui si ha la presenza di interazioni tra gli utenti abbastanza serie.

Questo concetto (ET) non è soggetto a limitazioni di manovre di attraversamento trasversale e preserva l'intuitiva semplicità del concetto fondamentale di PET, concetto che rende il processo di estrazione dati relativamente semplice ed efficace.

Il terzo ed ultimo derivato del PET, l' IAPT è legato ai conflitti generati da manovre di svolta e a misure semplicistiche di diverse differenze di tempo tra due utenti della strada. Questa particolare misura presenta gli stessi vantaggi e svantaggi del fondamentale concetto PET.

### 3.10 Deceleration Safety Time (DST)

Spesso, nonostante l'analisi video registri conflitti tra veicoli e pedoni, i valori di  $TTC_{min}$  ed i dati critici di lastPET non riscontrano situazione pericolose per gli utenti.

Affinché un metodo valuti la sicurezza stradale occorre quindi introdurre un fattore che sia legato all'intensità necessaria dell'azione evasiva per evitare uno scontro o per raggiungere una distanza di sicurezza in seguito ad un conflitto.

A tal proposito Hupfer [25] propone come indice di sicurezza il Deceleration to Safety Time (DST) ovvero il rallentamento necessario per raggiungere un Last PET pari 0.

Quindi il calcolo del DST si riferisce alla posizione del primo utente della strada quando lascia la zona di conflitto. Il secondo utente della strada può raggiungerla non prima che il primo utente abbia lasciato la stessa (PET=TTC=0 DST0) (Figura 3.10).

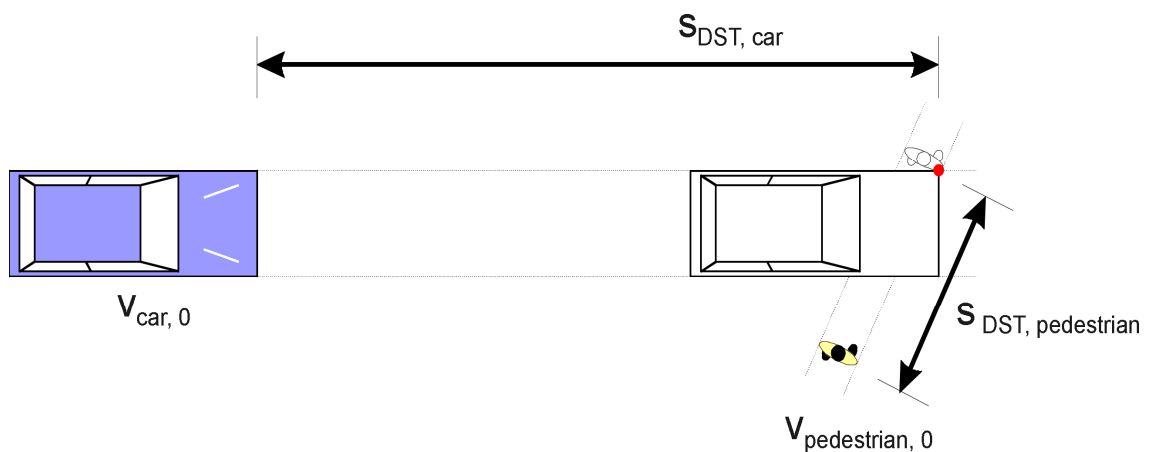


Figura 3.10. DST per un conflitto pedone - automobile ( $v_{pedestrian} = v_{pedestrian,0} = \text{costante}$ , costante  $v_{car}$ ) Per  $v_{car} > 0$  e  $v_{pedestrian} > 0$  è valido

$$t_{DST_0} = \frac{s_{DST,Fg}}{v_{Fg,0}} = \frac{s_{DST,Kfz}}{v_{Kfz,0}} \quad v_{Kfz,0}, v_{Fg,0} > 0$$

$$s_{DST,Kfz} = v_{Kfz,0} \cdot t_{DST_0} + \frac{a \cdot t_{DST_0}^2}{2}$$

$$-a = \frac{2 \cdot (v_{Kfz,0} \cdot t_{DST_0} - s_{DST,Kfz})}{t_{DST_0}^2} = DST_0 \left[ \frac{m}{s^2} \right]^{\uparrow}$$

L'uso del DST sarà indicato nel seguente esempio di un passaggio pedonale. Vengono registrati il comportamento della persona e del conducente dell'automobile all'intersezione. Nella prima situazione riportata, il pedone si trova in collisione con il veicolo, in questo modo è calcolabile il TTC. Nel secondo caso il guidatore rallenta così che il pedone possa attraversare davanti l'automobile, situazione rappresentabile con un PET (Figura 3.11).

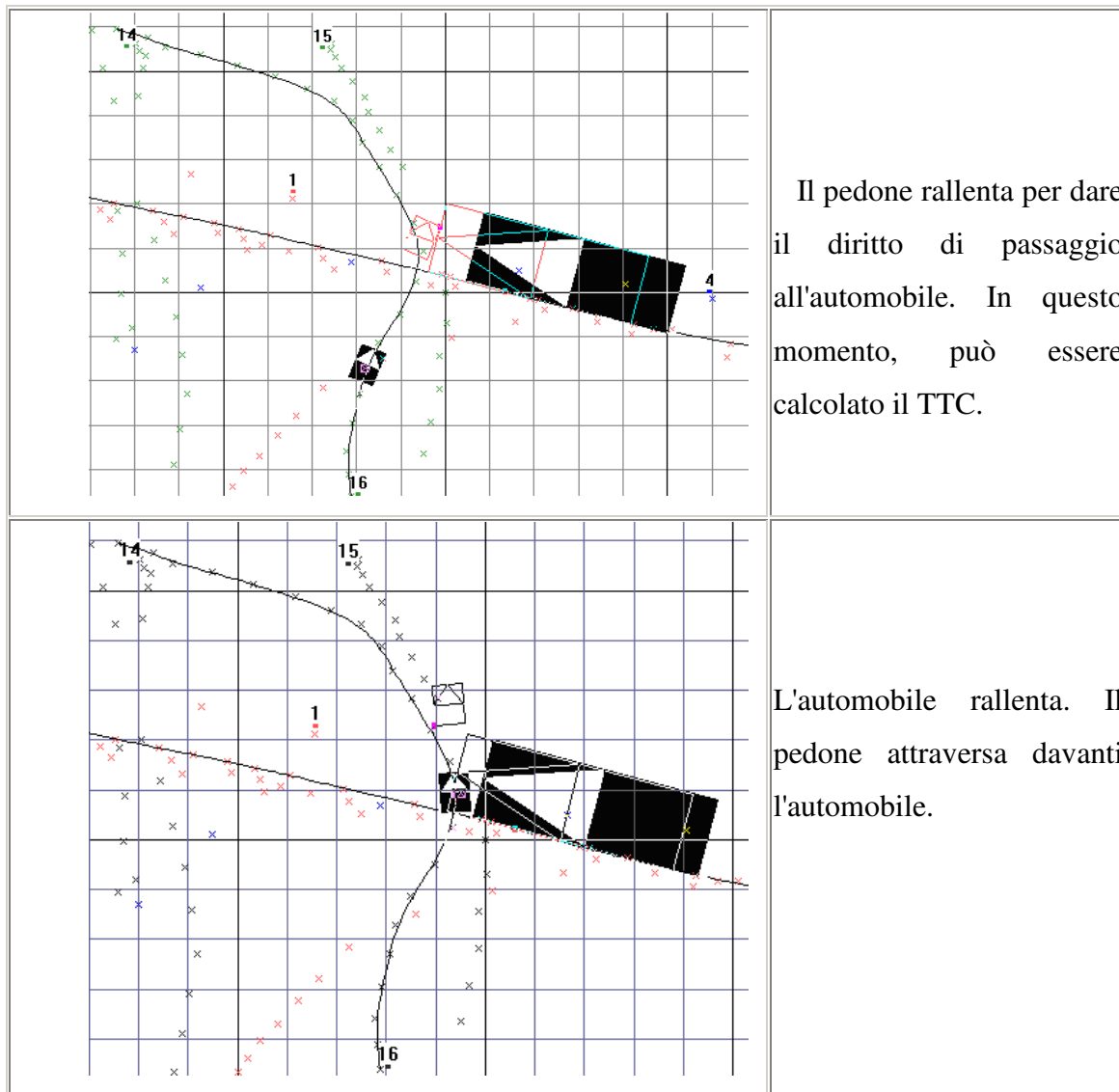


Figura 3.11. Esempio di calcolo del DST per un passaggio pedonale

Il DST può essere calcolato per ogni momento di una situazione di traffico. È positivo (il rallentamento risulta necessario), se è in corso uno scontro (TTC) o vi è un PET calcolabile  $<0$ , altrimenti è negativo.

Il massimo DST dà una misura della sicurezza di una situazione di traffico. Il DST può essere modificato in base alle varie richieste di sicurezza e considerando variabili i parametri in gioco (decelerazioni più elevate su strada asciutta piuttosto che su bagnato).

DST dà la possibilità di definire la severità di un conflitto seguendo la TCT convenzionale secondo una scala riportata di seguito.

Tabella 3.1.: Livelli di severità del conflitto secondo il DST

$DST_x < 0 \text{ m/s}^2$ :	L'azione evasiva non è necessaria: la distanza di sicurezza prevista o raggiunta è più grande della $x$ , non e' necessario un adattamento
$DST_0 < 1 \text{ m/s}^2$ :	L'adattamento è necessario (interazione): E' necessaria un'azione evasiva anche se lieve,
$DST_0 < 2 \text{ m/s}^2$ :	Reazione necessaria (il Livello di conflitto 1): la situazione richiede un rallentamento notevole dell' utente della strada. La situazione è facile da gestire. C'è abbastanza tempo per considerare altre opportunità.
$DST_0 < 4 \text{ m/s}^2$ :	E' necessaria una reazione considerevole (il Livello di conflitto 2): la situazione richiede un rallentamento considerevole dell'utente della strada. La situazione è controllabile. Altri casi non possono essere considerati facilmente. (su una strada bagnata è il rallentamento possibile massimo ed è simile ad una frenata d'emergenza del Livello di conflitto 4)
$DST_0 < 6 \text{ m/s}^2$ :	Necessaria una reazione pesante (il Livello di conflitto 3): la situazione richiede una reazione pesante almeno di uno degli utenti della strada coinvolti nel conflitto. La reazione è quasi incontrollabile. Altre manovre evasive non possono essere considerati
$DST_0 \geq 6 \text{ m/s}^2$ :	Frenata d'emergenza (Livello di conflitto 4): Reazione incontrollabile. Infortunio mancato. Incidente
<b>Collision</b>	

### *3.10.1 Potenzialità e limitazioni del DST*

E' stato fatto un confronto tra TTC, PET e DST studiando più di 3.400 situazioni per la sicurezza dei passaggi pedonali in luoghi differenti e con differenti parametri di traffico [25].

Il DST è risultato uno strumento sicuro per la valutazione di situazioni di traffico in rapporto alla loro sicurezza. Per l'analisi delle traiettorie di movimento dell'utente, sono state rilevate le posizioni sono come poligoni nelle immagini video processate successivamente e si è ricostruita una funzione matematica (spline) per calcolare la distanza, la velocità, la direzione e l'accelerazione in ogni momento.

Con la realizzazione di una rilevazione automatica delle posizioni dell'utente dalle immagini video, è possibile ottenere un Tecnica di conflitto completamente automatizzata.

## **Bibliografia**

- [1] Ferrandez, F., Fleury, D. e Malaterre, G., 1986. “L’étude détaillée d’accidents (EDA), une nouvelle orientation de la recherche en sécurité routière”. Recherche Transports Sécurité, 9/10, 17-20, 1986.
- [2] Ferrandez, F. “L’étude détaillée d’accidents orientée vers la sécurité primaire, méthodologie de recueil et de pré-analyse”. Rivista dell’Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Parigi, 1995.
- [3] Mulhrad , N. “Traffic safety research for developing countries”. Methodologies and first results. Synthèse INRETS n°7, Arcueil, Francia, 1987.
- [4] Muhlrud N. “A short history of pedestrian safety policies in Western Europe”. Atti del Workshop ICTCT, Pechino, 2007.
- [5] Nilsson , G. “Safety for different road-user groups. Data collection, problems, consequences and costs”. Atti del Second European Workshop on Recent Developments in Road Safety Research, Parigi, 1989.
- [6] Chin, H.C., e Quek, S.T.” Measurement of Traffic Conflict”. Safety Science, Vol. 26, No. 3, pp. 169-187, 1997.
- [7] Perkins, S.R., e Harris, J.I. “Criteria for Traffic Conflict Characteristics”. Report GMR632, Warren, MI, General Motors Corporation, 1967.
- [8] Perkins, S.R., e Harris, J.I. “Traffic Conflict Characteristics: Accident potential at intersections”. Highway Research Record, Vol. 225, pp.45-143, Highway Research Board, Washington DC, 1968.
- [9] Hyden, C. “The Development of Method for Traffic Safety Evaluation: The Swedish Traffic Conflict Technique”. Bull. 70. Lund Institute of Technology, Lund, 1987.
- [10] Minderhoud, M.M. e Bovy, P.H.L. “Extended time-to-Collision Measures for Road Traffic Safety Assessment”, Accident Analysis and Prevention, Vol. 33, pp. 89-97, 2001.
- [11] Hayward, J. “Near miss determination through use of a scale of danger”. Report No. TTSC 7715, Pennsylvania State University, Penn., USA, 1972.
- [12] Van der Horst, R. “A Time-Based Analysis of Road-User Behaviour at Intersections”. Atti del Terzo Workshop su International Cooperation on Theories and Concepts in Traffic Safety, Cracow, Polonia, pp. 91-107, 1990.
- [13] Van der Horst, R. “Time-to-collision as a cue for decision making in braking”. In A.G.Gale et al. (Ed.), Vision in Vehicles III. Amsterdam: Elsevier Science, pp.9-26, 1991.

- [14] Farber, B. "Designing a distance warning system from the user point of view". APSIS report, Glonn-Haslach, 1991.
- [15] Hirst, S. e Graham, R. "The Format and Presentation of Collision Warnings". In: Noy. N.I. (Ed.), *Ergonomics and Safety of Intelligent Driver Interfaces*, 1997.
- [16] Hogema, J.H., Janssen, W.H., Coëmet, M., e Soeteman, H.J. "Effects of Intelligent Cruise Control on driving behaviour; a simulator study". Paper No. 2081. *Atti del III World Congress on Intelligent Transport Systems*, 1996.
- [17] Sultan, B. , Brackstone, M. e McDonald M. "Parameter Analysis for Collision Avoidance Systems", *World Congress on ITS 2002*. Chicago, ILL,U.S.A., 2002.
- [18] Van der Horst. "The ICTCT calibration study at Malmö: a quantitative analysis of video-recordings". Report IZF 1984-37, TNO Institute for Perception, Soesterberg, Svezia, 1984.
- [19] Marezke, J. e Jacob, U. "Distance warning and control as a means of increasing road safety". *Technical papers : XXIV FISITA Congress*. (pp. 105-114), Londra, 1992.
- [20] Cavallo, V. e Laurent, M. "Visual information and skill level in Time-to-collision estimation", *Perception*, 17, pp.623-632, 1988.
- [21] Archer, J., e Kosonen, I. "The Potential of Micro-Simulation Modelling in Relation to Traffic Safety Assessment", *ESS Conference*, Germania, 2000.
- [22] Wakabayashi, H. e Renge, K. "Traffic Conflict Analysis using Vehicle Tracking System with Digital VCR and New Conflict Indicator under High Speed and Congested Traffic Environment", *Infrastructure Planning Review*, Vol.20, pp.949-956, 2003.
- [23] Allen, B.L., Shin, B.T. e Cooper, D.J. "Analysis of traffic conflicts and collision". *Transportation Research Record*, 667, 67-74, 1978.
- [24] Gettman, D. e Head, L. "Surrogate Safety Measures From Traffic Simulation Models", *Final Report Federal Highway Administration*, 2003.
- [25] Hupfer, C. "Computer Aided Image Processing to Modify Traffic Conflicts Technique". *Università di Kaiserslautern. Transportation Department*, Kaiserslautern, Germania, 1997.



## **CAPITOLO 4**

### **PEDESTRIAN RISK INDEX (PRI)**

#### **Premessa**

Nei capitoli precedenti l'attenzione è stata concentrata sull'utilità della tecnica dei conflitti di traffico, che se utilizzata in maniera adeguata può essere un efficace alternativa o un approccio complementare alla tradizionale analisi statistica dei dati di incidente.

Gli indicatori analizzati sono stati utilizzati con ottimi risultati da vari team di ricerca, soprattutto nel caso di conflitti tra i veicoli. La definizione di indice per i conflitti che coinvolgono anche pedoni, registrano invece un numero esiguo di tentativi, spesso limitati agli adattamenti del caso di indicatori utilizzati per interazioni tra veicoli.

È evidente la necessità di definire in maniera qualitativa e quantitativa uno strumento che individui le carenze o le falle nel sistema di sicurezza stradale, fornendo un giudizio sintetico di facile leggibilità per l'ingegnere del traffico e per il gestore dell'infrastruttura.

Partendo dagli studi presenti in letteratura, si è definito un indicatore che tiene conto della gravità potenziale di un conflitto tra pedone e veicolo, ponendolo in relazione con il tempo di durata del conflitto potenziale, ovvero il range di tempo durante il quale vi è la possibilità di una collisione, e la sua serietà, legata velocità presunta di impatto.

#### **4.1 Il campo di applicazione**

La presente tesi dottorale focalizza l'attenzione sulla proposta di un indicatore che analizzi i conflitti tra veicoli e pedoni in corrispondenza di attraversamenti pedonali non semaforizzati.

Un attraversamento pedonale costituisce, infatti, una parte della carreggiata di una strada dedicata al transito dei pedoni per raggiungere l'altro lato della carreggiata. Lo scopo è quello di "raggruppare" i pedoni in luoghi ben riconoscibili da parte del guidatore il quale deve sempre dare la precedenza a coloro che si trovino a transitare in dette aree della carreggiata stradale. Tutto ciò ovviamente per aumentare la sicurezza stradale sia della persona a piedi sia per colui che viaggia su un veicolo. Generalmente gli attraversamenti pedonali sono situati presso gli incroci, ma anche in qualsiasi altro luogo di una strada, il quale risulterebbe difficile da

attraversare per il pedone senza di essi. Gli attraversamenti pedonali possono essere considerati anche un sistema per far ridurre la velocità ai veicoli.

A differenza di quelli semaforizzati in cui il comportamento degli utenti è fisicamente teorizzabile in base alla fase attuata, gli attraversamenti senza alcuna segnalazione semaforica presentano una complessità di interazioni che dipende principalmente dalla mutua influenza tra gli atteggiamenti di pedoni e veicoli.

Addirittura alcuni studi hanno trovato che l'attraversamento a "zebra" (le comuni strisce pedonali), possano essere più pericolose di punti in cui il pedone attraversa occasionalmente fuori dalle strisce.

Herms [1] ha trovato un aumento del numero di incidenti lungo le strisce rispetto ad attraversamenti in cui non vi sono segnate su un campione di attraversamenti a San Diego, in California. Tale studio potrebbe essere mal interpretato in quanto infonde la convinzione che gli attraversamenti pedonali con strisce siano potenzialmente pericolose.

Questo risultato può essere ricondotto alla maggiore attenzione e prudenza da parte del pedone, che trovandosi in uno spazio promiscuo, sentendosi insicuro, compie l'attraversamento in maniera quanto più accorta.

In realtà lo studio non considera attraversamenti davanti a scuole e non valuta gli effetti del numero di corsie, del volume di traffico, o altre caratteristiche della carreggiata. Inoltre come tutti i dispositivi di controllo del traffico, non ci si deve aspettare che sia efficace in egual misura in tutte le configurazioni di traffico.

Il comportamento (ovviamente involontario) che produce il sinistro è pressoché sempre causato dalla disattenzione del conducente e/o del pedone (si chiacchiera, si accende una sigaretta, si parla al telefono, si controlla la provenienza di veicoli da un incrocio o su una rotonda) ed è significativamente condizionato dall'obbiettiva difficoltà di avvertire tempestivamente il reciproco pericolo (condizioni di visibilità, mancanza di opportuna segnaletica).

Per quanto detto, la tecnica dei conflitti di traffico, nella propria capacità di registrare diversi eventi critici vicini all'incidente in tempo reale, può assumere maggiore validità della storica analisi degli incidenti, spesso legate alla pura casualità dell'avvenimento del sinistro.

Tra i diversi indicatori proposti nel capitolo precedente per il caso di conflitti tra pedoni e veicoli, si è individuato il Time to Collision come punto di partenza per l'elaborazione del nuovo indice di rischio proposto, chiamato Pedestrian Risk Index (PRI) ed esposto nel paragrafo seguente.

## 4.2 Pedestrian Risk Index (PRI)

Il PRI è un indicatore del tipo “se...allora” ed è in grado di valutare la severità di un potenziale conflitto tra veicolo e pedone, prendendo in considerazione come elementi l’esposizione, la pericolosità della situazione del traffico e la gravità di un eventuale scontro.

La misura dell’indicatore è calcolata continuamente a intervalli di tempo durante il corso di un evento critico.

Basandosi sulla definizione di conflitto, descritta nel capitolo 2, il PRI analizza situazioni di conflitto che non sono realmente accadute ma che potenzialmente potrebbero portare all’incidente, poiché i due utenti sono vicini nello spazio e nel tempo, compatibilmente con le loro velocità.

Lo studio dei soli conflitti effettivi, infatti, potrebbe sottrarre all’analisi un gran numero di situazioni, che o per bravura del conducente (che riesce a non effettuare la manovra evasiva) o per incoscienza dello stesso.

### 4.2.1 Area di conflitto

Risulta fondamentale nell’individuazione del conflitto, definire in maniera corretta ed univoca l’area di conflitto vera e propria.

Allo scopo appena enunciato, si è ricorsi ad una ricerca bibliografica nella letteratura della sicurezza stradale. Una teorizzazione del concetto che sembra adattarsi al caso in esame è quella portata da Davis [2].

La figura di seguito illustra un ipotetico scontro lungo un tronco stradale. La vettura viaggia a una velocità iniziale  $V_1$  quando il pedone comincia a muoversi verso la strada ad una velocità  $V_2$ . Al momento in cui il conducente nota il pedone, la vettura si trova ad una distanza  $x_1$  dal punto di collisione, mentre il pedone è ad  $x_2$  dallo stesso (Figura 4.1).

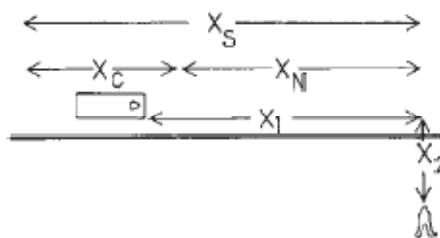


Figura 4.1. Rappresentazione di un conflitto potenziale

Nel caso in cui il conducente possa raggiungere le strisce prima del pedone allora procede senza cambio della propria velocità, altrimenti a seguito di un intervallo di percezione e reazione effettua una decelerazione o una frenata. Nello studio di Davis si assume che nel caso il pedone raggiunga il punto di collisione prima dell'auto, il pedone si ferma in maniera da rendere realizzabile il conflitto mentre se è l'auto a giungere prima, si assume che il veicolo passi senza investire il pedone. Si presume inoltre che nessun veicolo passi dietro il veicolo attore del conflitto fino che sia presente l'evento critico. Questo approccio analitico è stato trattato da Mayne [3], che ha considerato il caso in cui il pedone continua a muoversi con la possibilità di essere colpito anche da auto che viaggiano sulla corsia adiacente. Howarth [4] ha successivamente utilizzato questo metodo per sviluppare una misura approssimativa dell'esposizione dei bambini agli eventi incidentali, e Pasanen e Salmivaara [5] hanno usato un modello simile per prendere in considerazione la probabilità di incidenti pedonali mortali in funzione della velocità del veicolo.

Prendendo spunto da questa impostazione del conflitto tra veicolo e pedone e trattandosi di conflitti potenziali e non effettivamente riscontrati, per una corretta definizione dell'area di conflitto occorre effettuare alcune ipotesi:

1. Il punto di conflitto è individuato dall'incrocio della traiettoria del veicolo con il punto presunto di attraversamento del pedone, ovvero l'attraversamento pedonale;
2. In ogni istante, si ipotizza che un pedone in attesa sul marciapiede possa attraversare sulle strisce ostacolando il moto del veicolo;
3. Il pedone in attesa di attraversare si muova senza modificare o rallentare il proprio andamento o la propria traiettoria in presenza del veicolo in approccio;
4. Si suppone di congelare ogni istante interno alla fase di conflitto, per valutare l'evoluzione dello scenario di incidente a partire dallo stesso, considerando condizioni di marcia del veicolo invariate, ovvero velocità costanti e traiettorie immutate (Figura 4.2).

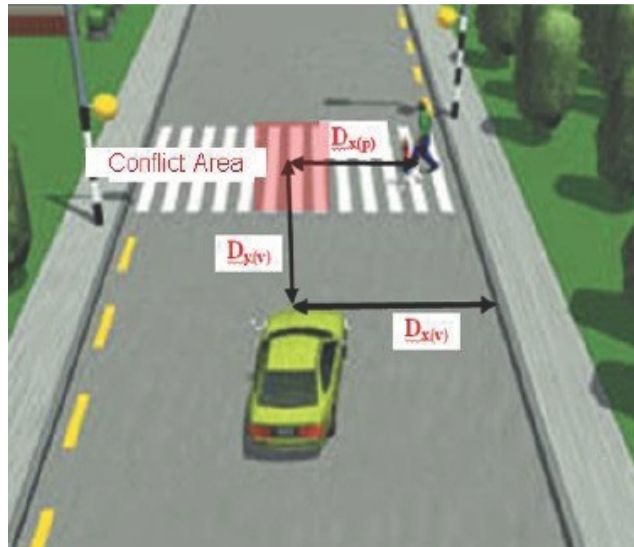


Figura 4.2. Rappresentazione dell'area di conflitto

In tale maniera si vuole analizzare il modo in cui il conducente del veicolo si avvicina all'attraversamento e come egli modifica, eventualmente, il proprio comportamento man mano che si avvicina all'attraversamento.

#### 4.2.2 Fasi di conflitto

In un conflitto veicolo-pedone si possono individuare tre fasi ben distinte:

1. La fase di frenata in sicurezza in cui il veicolo riesce a frenare prima di giungere al punto di conflitto (Figura 4.3).

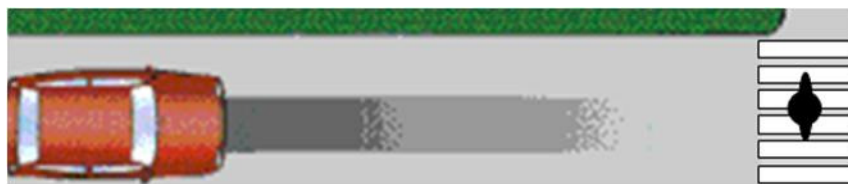


Figura 4.3. Frenata in sicurezza

Questa fase rappresenta la prima parte dell'interazione tra veicoli e pedoni in cui la velocità di percorrenza del veicolo risulta adeguata alla configurazione del contesto infrastrutturale e alla distanza dall'attraversamento e la visibilità è tale da permettere l'individuazione dell'ostacolo (il pedone) in tempo per effettuare una manovra evasiva, quale una decelerazione o una frenata.

2. La fase di conflitto vera e propria dove i due utenti hanno posizioni e velocità tali da portare ad una collisione (Figura 4.4).



Figura 4.4. Collisione

Rappresenta la situazione più gravosa in cui il veicolo si sta avvicinando al punto di conflitto, con una velocità ed ad una distanza tali da non permettergli di frenare in sicurezza una volta che si presenti l'ostacolo improvviso.

L'andamento del veicolo non viene adattato opportunamente e, combinato eventualmente con una scarsa visibilità o un atteggiamento aggressivo del pedone nell'approcciare l'attraversamento, può portare all'incidente se nessuno dei due modifica traiettorie e velocità.

3. Fase di passaggio indisturbato in cui il veicolo passa, sia a velocità costante che in frenatura, prima che il pedone raggiunga l'area di conflitto;

Nonostante il veicolo si trovi molto vicino all'attraversamento, le velocità relative dei due attori del conflitto sono tali da non permettere alcuno scontro. L'utente del veicolo può a questo punto scegliere di comportarsi in due modi:

- non effettuando alcuna frenata e ritenendo che mantenendo la propria velocità il rischio di incidente sia nullo (Figura 4.5).



Figura 4.5. Il veicolo a velocità costante passa prima del pedone

- allarmato dalla presenza del pedone effettua una decelerazione o una frenata che permette cmq di oltrepassare l'attraversamento in sicurezza (Figura 4.6).

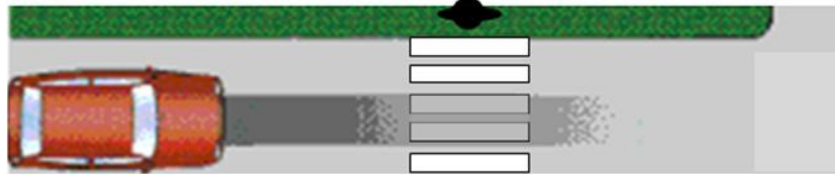


Figura 4.6. Il veicolo in frenata passa prima del pedone

Naturalmente la fase che da piu' indicazioni dal punto di vista della sicurezza è la seconda, in cui vengono individuati i fattori che determinano il conflitto.

Dall'analisi delle traiettorie e delle velocità si possono, quindi estrarre indicazioni che definiscano le tre fasi, e ottenere parametri fisici tali da permettere di valutare l'esistenza del conflitto.

#### 4.2.3 Definizione fisica delle tre fasi di conflitto

Si sono combinate considerazioni fisiche e cinematiche con osservazioni empiriche fatte sul campo.

In maniera da caratterizzare le differenti fasi del conflitto, per ogni frame sono stati calcolati tre indicatori temporali di seguito trattati.

##### 4.2.3.1 Tempo allo scontro per i veicoli (Vehicle Time to Collision)

Il Time to Collision del veicolo (TTC<sub>v</sub>) è considerato come proiezione delle condizioni di marcia al punto in cui avviene l'incidente, basato sulla reale velocità e distanza considerata istante per istante.

La formulazione utilizzata per il calcolo del TTC<sub>v</sub> è quella proposta da Cavallo e Laurent **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** ovvero:

$$TTC_{i(v)} = \frac{D_{yi(v)}}{V_{i(v)}}$$

dove

$TTC_{i(v)}$  è il tempo che un veicolo impiega per raggiungere la zona di conflitto al tempo  $i$ .

$D_{yi(v)}$  è la posizione longitudinale o la distanza tra il veicolo e l'attraversamento all'istante  $i$ .

$V_{i(v)}$  è la velocità del veicolo al tempo  $i$ .

Si ammette che il moto dei veicoli coinvolti nel conflitto è un moto uniforme, e le informazioni che si renderanno necessarie per il calcolo dell'indice sono la velocità iniziale e le interdistanze longitudinali tra il punto iniziale del veicolo e l'area di conflitto, ovvero le strisce pedonali.

#### 4.2.3.2 Tempo allo scontro per i pedoni (Pedestrian Time to Collision)

Analogamente al caso precedente, il Time to Collision del pedone ( $TTC_p$ ) viene calcolato come segue

$$TTC_{i(p)} = \frac{D_{xi(v)} - D_{xi(p)}}{V_p}$$

dove

$TTC_{i(p)}$  è il tempo che un pedone impiega per raggiungere la zona di conflitto al tempo  $i$ .

$D_{xi(v)}$  è la posizione trasversale del veicolo all'istante  $i$ .

$D_{xi(p)}$  è la posizione trasversale del pedone all'istante  $i$ .

$V_p$  è la velocità del pedone.

Viene calcolato allo scopo di stabilire se il pedone giunge al punto di conflitto in un tempo utile a scontrarsi con il veicolo.

La velocità del pedone verrà considerata costante secondo quanto suggerito dal capitolo 13 "Pedestrian" dell'Highway Capacity Manual 2000 [6].

Il capitolo dell'HCM sui pedoni raccomanda una velocità di camminata di 3,9 piedi/ sec (1,2 m/sec), con una velocità ridotta a 3,1 piedi/ sec (1 m/sec) se la percentuale dei pedoni anziani supera il 30%. La variabilità della velocità del pedone è un fattore determinante quando si parla di problemi legati all'attraversamento poiché è direttamente proporzionale al tempo richiesto per superare una determinata distanza.



Inoltre l'interdistanza trasversale tra il veicolo e il pedone coincide, secondo quanto ipotizzato in precedenza, con la posizione relativa del veicolo rispetto al punto di inizio dell'attraversamento del pedone. Tale punto può essere rappresentato dal marciapiede, dallo spartitraffico centrale, o in caso di sosta di veicoli presso o addirittura sopra l'attraversamento, dal punto in cui il pedone diventi visibile al conducente, traslando la posizione del pedone in attesa di una distanza pari alla larghezza del veicolo.

#### 4.2.3.3 Il tempo di frenata (T<sub>fi</sub>)

In fase di frenata il veicolo percorre uno spazio detto di arresto che è la somma di due tratti: il primo è percorso dal veicolo durante il tempo di reazione del conducente, cioè il tempo che intercorre tra l'istante in cui il conducente percepisce il pericolo e quello in cui interviene sul pedale del freno; il secondo tratto è quello percorso dal veicolo durante l'azione frenante fino all'arresto (spazio di frenatura vero e proprio). Lo spazio percorso durante il tempo di reazione dipende dalla velocità del veicolo e dalle condizioni psicofisiche del conducente (prontezza di riflessi).

In termini di tempo quanto detto si traduce nella seguente formula di moto uniformemente decelerato:

$$T_{fi} = T_r + \frac{V_{i(v)}}{a_b}$$

dove

$T_r$  è il tempo di reazione .

$V_{i(v)}$  è la velocità del veicolo all'istante  $i$ .

$a_b$  è la decelerazione in frenata.

Il valore del tempo di frenatura dipende quindi dalla velocità, dal tempo di reazione e dal valore di decelerazione. In realtà il tempo di reazione è spesso correlato alla velocità, ma dipende da una somma di diversi fattori, fra i quali le condizioni psico-fisiche, l'esperienza e l'abilità del conducente.

Per quanto riguarda la decelerazione, si preferisce esprimersi in termini di aderenza impegnata tra pneumatico e strada  $f=g/a_b$  (dove  $g$  è l'accelerazione di gravità pari a  $9,81 \text{ m/sec}^2$ ). L'aderenza è espressa tramite un coefficiente che è molto elevato ( $f=0,9$ ) su strada ruvida ed

asciutta con pneumatici nuovi o quasi; è medio ( $f=0,5$ ) su strada asfaltata liscia e asciutta o con pneumatici usurati ed è molto ridotto ( $f=0,1$ ) su strada sdruciolevole per ghiaccio, fango, sabbia, ghiaietto, specie con pneumatici lisci.

I ricercatori del Texas Transportation Institute hanno portato a termine uno studio sul comportamento dei conducenti in situazioni di frenata di emergenza, pubblicando i dati relativi ai tempi di reazione e ai tassi di decelerazione[8]. In particolare, in 21 prove in cui il soggetto guida la sua auto ed ha effettuato una frenata d'emergenza, il tempo medio tra la comparsa dell'ostacolo e l'applicazione della frenata da parte del conducente è stata di 1,07 secondi, con una deviazione standard di 0,248 secondi. Anche se una analisi dettagliata della distribuzione dei tempi di reazione non è stata fornita da al Koppa [8], i dati hanno evidenziato un'inclinazione positiva, coerente con una distribuzione lognormale, di media e deviazione standard pari ai valori di cui sopra. In 10 delle prove di decelerazione la media registrata è stata  $-0.55g$ , con una deviazione standard di  $0.07g$  ( $g = 9,81 \text{ m/sec}^2$ , accelerazione di gravità). Anche se i risultati riportati non sono sufficienti per determinare una distribuzione per i tassi di frenatura, vi era una certa evidenza dell'inclinazione positiva.

Nel caso in considerazione, i valori di tali parametri sono stati ricercati tramite una correlazione tra i risultati del PRI calcolati con parametri di tempo di reazione e valori di decelerazioni variabili, e un indice di pericolosità, quale quello rappresentato dal numero di incidenti.

La fase di calibrazione del modello proposto descritta nel capitolo 6, ha permesso così di individuare con metodi empirici i coefficienti più verosimili e più vicini al modello di sicurezza pedonale implementato.

#### 4.2.3.4 TTZ duration

Questi parametri temporali sono utilizzati per definire l'intervallo di tempo in cui il conflitto ha senso di essere, ovvero quella che in precedenza è stata chiamata fase di conflitto. In tal maniera se  $TTC_{vi} > T_{fi}$ , allora il veicolo può fermarsi in sicurezza prima dell'area di conflitto (fase di fermata in sicurezza). Allo stesso modo il pedone passa tempo prima del veicolo se  $TTC_{vi} < TTC_{pi}$  (fase di passaggio indisturbato). Il tempo di conflitto potenziale (Fase di Conflitto) è il  $TTZ_{duration}$  (Time To Zebra duration), cioè l'intervallo di tempo all'interno del quale il veicolo non può fermarsi prima di raggiungere l'area di conflitto ( $TTC_{vi} < T_{fi}$ ) e il pedone è esposto alla possibilità di collisione ( $TTC_{pi} > TTC_{vi}$ ), (Figura 4.1)

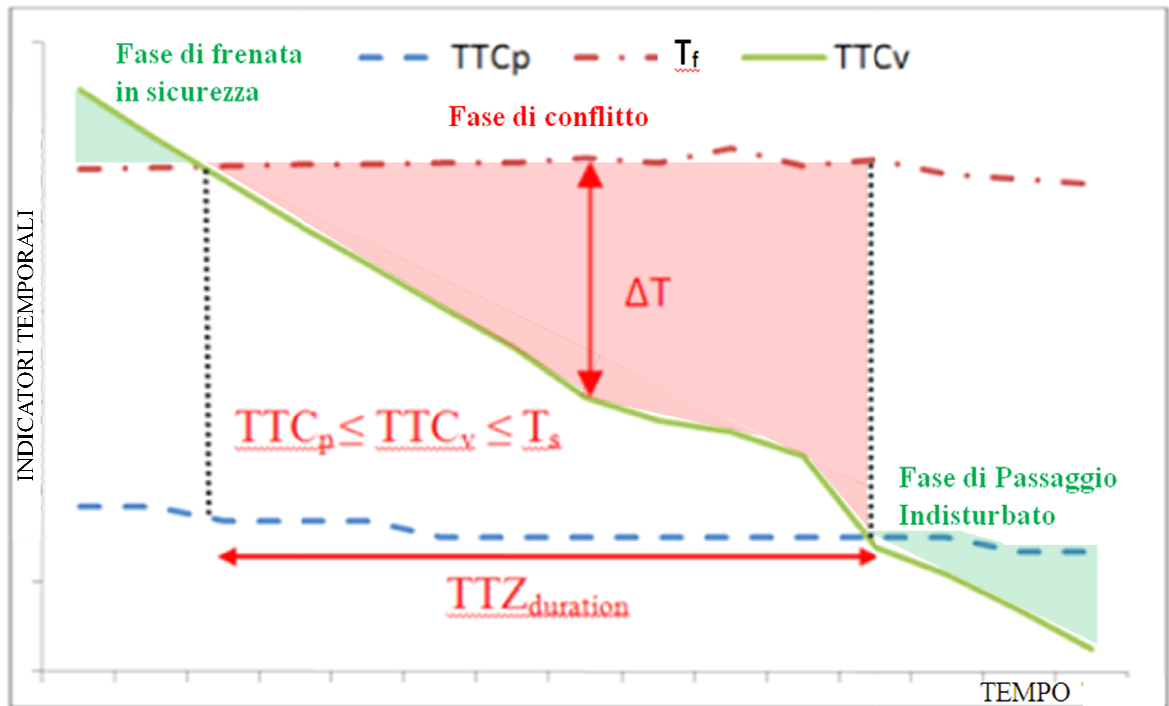


Figura 4.7. Tempo di conflitto potenziale (TTZduration).

#### 4.2.4 Formulazione del PRI

Per descrivere e modellare un problema di definizione del si considerano generalmente tre grandezze: il grado di esposizione, la probabilità di incidente e le possibili conseguenze sui passeggeri derivanti dall'urto. Il Rischio è il prodotto di questi tre fattori

La formulazione del rischio inerente allo studio è la seguente:

##### 4.2.4.1 Probabilità di Incidente

Occorre scegliere dei parametri legati alla condizione fisica e cinematica del singolo veicolo coinvolto nel conflitto. Si è scelto, quindi, di utilizzare la differenza  $\Delta T_i$ , tra il tempo di arresto ( $T_s$ ) e il tempo di collisione del veicolo ( $TTC_v$ ) all'istante  $i$ , come una misura surrogata della probabilità che si verifichi una collisione tra il veicolo e il pedone. Tale differenza rappresenta una misura della mancata possibilità di effettuare una frenata d'emergenza completa, in sicurezza, da parte del conducente del mezzo meccanico.

#### 4.2.4.2 Severità delle conseguenze

Il concetto di severità delle conseguenze può essere interpretato in relazione a quanto fatto in precedenza in letteratura. Secondo gli esperti di sicurezza della circolazione, è comune legare questo fattore all'indice di mortalità dei pedoni, ovvero il numero di pedoni morti posto in relazione con il numero di pedoni coinvolti in incidenti. In realtà questo approccio presenta notevoli difficoltà sia per lo scarso numero di dati sui quali si lavora sia perché spesso molti incidenti con pedoni che restano illesi non vengono nemmeno registrati.

Gli studi sui rischi di lesioni ai pedoni sono stati effettuati in diversi paesi già a partire dal 1960. Tali ricerche hanno stabilito che vi è una forte dipendenza fra la gravità delle lesioni ai pedoni la velocità di impatto. Alcuni modelli di regressione e curve di rischio sono stati ottenuti da questi studi. L'analisi di regressione logistica sono state condotte utilizzando un campione di dati completi di indicazione sulla zona pedonale, l'età, l'altezza, il peso[9][10][11][12][13][16].

Dall'analisi della letteratura[14][15][16][12] **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, si è trovato che ad una velocità d'impatto di 70 km/h vi è una probabilità di circa il 40 per cento che si verifichi la morte di un pedone colpito da un veicolo.

Nonostante in altri studi la probabilità del 50% degli infortuni mortali è stata individuata alla velocità di 45 km/h da Anderson [17], a 53 km/h da Pasanen[5] **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, o a 52 km/h da Ashton[11] , focalizzandosi in particolare sulla forma della correlazione tra velocità d'impatto e la gravità piuttosto che sul valore della probabilità, si può dedurre che la probabilità che si verifichi la morte dell'utente debole è legata al quadrato della velocità d'impatto ( $V_{\text{impact}}^2$ )

Figura 4.8).

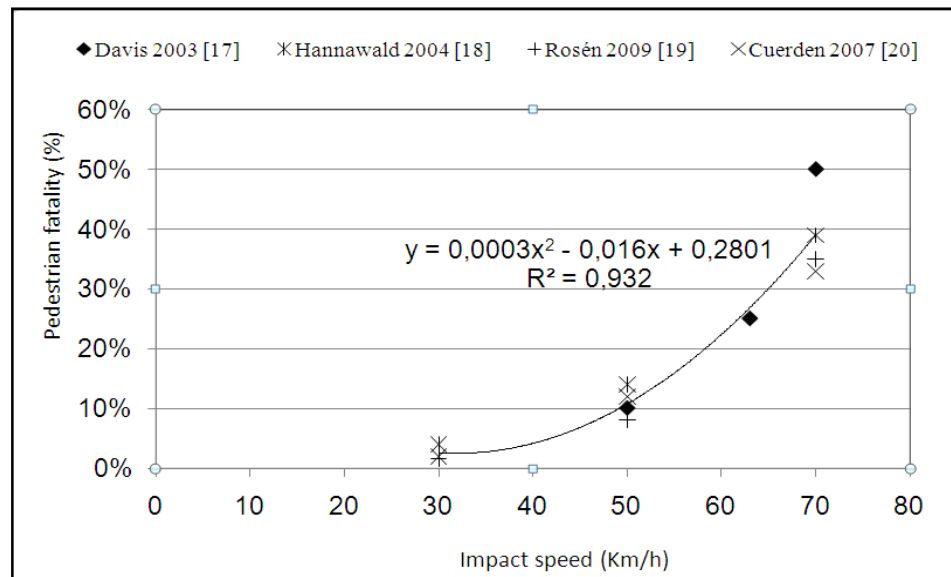


Figura 4.8. Rappresentazione grafica dei precedenti studi sul rischio legato alla  $V_{\text{impact}}$ .  
Assumendo un moto uniformemente decelerato, la velocità d'impatto è ottenuta con la seguente formula:

$$V_{\text{impact } i} = \sqrt{V_{i(v)}^2 - 2a_b \times (D_{yi(v)} - V_{i(v)} \times T_r)}$$

dove

$V_{i(v)}$  è la presunta velocità d'impatto all'istante  $i$ ,

$a_b$  è la decelerazione in frenata,

$D_{yi(v)}$  è la posizione longitudinale del veicolo,

$T_r$  è il tempo di percezione e reazione del conducente del veicolo,.

$V_{i(v)} \times T_r$  è la distanza percorsa prima che il conducente applichi la frenata.

La relazione tra la Velocità di impatto (fattore di gravità) e il  $\Delta T$  (fattore di probabilità) è stata analizzata per evidenziare eventuali correlazioni tra i due parametri.

Infatti, la presenza contemporanea dei due fattori nella formulazione del PRI ( $\Delta T$  come misura della probabilità di conflitto, e  $V_{\text{impact}}$  come misura della gravità dei conflitti) potrebbe comportare, in caso di correlazione, una ridondanza nel calcolo del valore del PRI. valutazione tra.

Una simulazione effettuata su un numero rilevante di osservazioni ha messo in evidenza (Figura 4.9), che durante la prima parte della fase di conflitto, quando  $TTC_v$  è superiore al

tempo di reazione, esiste una evidente correlazione lineare tra  $\Delta T$  e  $V_{\text{impact}}$ . Nella seconda parte del conflitto, quando  $TTC_v$  è inferiore al tempo di reazione, non esiste nessuna correlazione tra i due parametri.

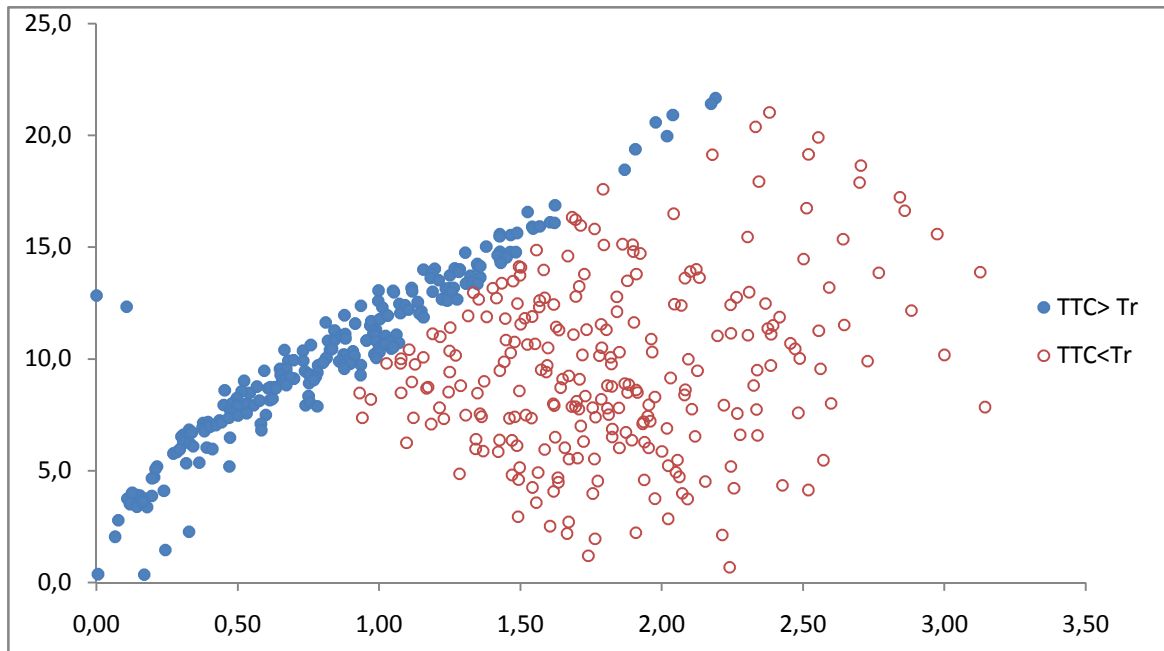


Figura 4.9. Correlazione tra  $V_{\text{impact}}$  e  $\Delta T$  utilizzando  $Tr=1.5\text{sec}$ ,  $a/g=0.6$

Pertanto, volendo considerare una incidenza del quadrato della velocità di impatto ai fini della stima della gravità del conflitto, in questa fase dello studio risulta incerta la scelta di inserire il valore  $V_{\text{impact}}$  o  $V_{\text{impact}}^2$ , per tenere conto o meno della correlazione con  $\Delta T$ .

Infatti, secondo quanto riportato in precedenza la gravità di un incidente che coinvolge pedoni cresce con il quadrato della velocità d'impatto.

Questo porterebbe a formulare un PRI con un fattore funzione di  $V_{\text{impact}}^2$ .

Pertanto, per rispettare quanto detto in precedenza sulla correlazione tra velocità d'impatto e gravità delle conseguenze, dovrebbe essere introdotto nella formulazione del PRI una funzione lineare della  $V_{\text{impact}}$  se viene accertata l'ipotesi che esista una correlazione, altrimenti dovrebbe essere considerato il quadrato della velocità d'impatto  $V_{\text{impact}}^2$ .

#### 4.2.4.3 Fattore di esposizione

Gli indici più comunemente utilizzati per valutare l'esposizione sono il numero di abitanti, il numero di veicoli circolanti, il numero di chilometri percorsi dai veicoli o da coloro che

viaggiano, il numero di ore trascorse in viaggio o il numero di ore di utilizzazione di un certo tipo di veicolo, il numero di viaggi o altre caratteristiche della particolare situazione di traffico.

Molti studi indagano su come le caratteristiche del sito siano associate all'esposizione e agli incidenti pedonali. Hess ha studiato il rapporto tra la configurazione del sito e i percorsi pedonali in un contesto di uso misto e media densità dei flussi [18]. Si sono studiate le caratteristiche del sito, come ad esempio le dimensioni dello spartitraffico centrale, la completezza e la continuità del marciapiede e il parcheggio in strada. I risultati hanno mostrato che questi fattori influenzano in modo significativo l'utente della strada nella scelta o meno di muoversi a piedi. I risultati ottenuti da Shriver hanno supportato la considerazione che le caratteristiche di trasporto presenti nel quartiere, l'uso del territorio e la configurazione interessano le attività pedonali [19].

Un gran numero di studi ha riconosciuto il collegamento indiretto tra gli incidenti pedonali e i fattori economici o demografici. Ad esempio, Bagley ha indagato la probabilità di un sito di essere pericoloso per i pedoni conoscendo dati socio-economico e di criminalità [20]. Epperson [21] ha riconosciuto che la situazione economica del quartiere influenza in modo significativo il numero di incidenti previsto. McMahon e colleghi hanno studiato le variabili demografiche, quali la percentuale di genitori single con figli, la percentuale di abitazioni costruite dopo il 1980 e il tasso di disoccupazione [22]. La conclusione è stata che i fattori che contribuiscono a questo tipo di incidenti non comprendono solo le caratteristiche geometriche dei siti, ma anche la demografia e le caratteristiche del vicinato.

In termini generali, il numero degli incidenti è direttamente correlato al volume di traffico (e cioè all'esposizione al rischio) cosicché le maggiori quote di danno sociale (vittime degli incidenti stradali e costi correlati) si determinano nei territori con la maggiore quota di popolazione e attività economiche, dove si sviluppano anche i maggiori volumi di spostamento. Tale rapporto è però ampiamente alterato dalla maggiore o minore presenza di fattori di rischio, dal loro addensamento in particolari aree e tratte stradali, dalla loro rilevanza (e cioè dalla loro capacità di innalzare il rapporto medio tra numero di spostamenti e numero di incidenti).

Un gran numero di studi presenti in letteratura si sono proposti di analizzare la correlazione tra il livello di rischio dei pedoni e il flusso veicolare che approssima l'attraversamento pedonale.

Sembra essere invece più limitata l'influenza dei flussi pedonali sul livello di sicurezza dei pedoni.

Infatti la presenza di un basso numero di pedoni, potrebbe infondere nei conducenti di veicoli una falsa sicurezza, legata all'improbabilità del passaggio dei pedoni. In questa maniera il

veicolo potrebbe approssimare l'attraversamento a velocità più elevate e ad abbassare il livello di attenzione. D'altronde un numero cospicuo di passaggi di pedoni, correlato direttamente all'esposizione di rischio dei pedoni medesimi, è un fattore di insicurezza. Soprattutto nei casi in cui il traffico veicolare è elevato, la prudenza del pedone è maggiore e il varco di tempo utile accettabile per il passaggio aumenta (Zeeger 2002[23]). D'altra parte è sensato supporre che la frequente presenza di plotoni di pedoni in attesa sul marciapiede o in attraversamento pongano in allerta il conducente che sta giungendo all'attraversamento pedonale.

Nell'analisi del rischio l'"esposizione" è un concetto che descrive l'opportunità che un evento casuale si verifichi. Di conseguenza, individuare la misura di esposizione adeguata per un evento di particolare rischio è estremamente importante per analizzare la probabilità del suo avvenimento. Per l'analisi di sicurezza dei pedoni, questa misura dovrebbe tener conto della misura in cui le persone si trovino a rischio di essere colpiti da un veicolo. Se questi criteri sono soddisfatti, la quantificazione dell'esposizione può essere una variabile affidabile nella previsione degli incidenti pedonali.

In letteratura, si riscontrano diversi tentativi di individuare grandezze che incidono sulla valutazione del livello di sicurezza.

Si tratta soprattutto di elementi legati al TGM, alla configurazione geometrica del tracciato, alla presenza di attività umane particolari.

La scelta del parametro per misurare l'esposizione pedonale influenza fortemente i risultati delle analisi di rischio. Ad esempio Keall in uno studio [24] ha esaminato i dati sugli incidenti pedonali che utilizzano come misure dell'esposizione misure il "tempo speso a piedi" e i "km percorsi". Queste due misure di rischio sono più precise rispetto alla tradizionale abitudine di riferire gli incidenti rispetto alla popolazione.

Da quanto detto, sarebbe corretto prendere un fattore di esposizione strettamente dipendente dal traffico veicolare. Ciononostante, a motivazione della scelta della necessità di considerare anche il flusso pedonale nell'esposizione al rischio di incidente, si è evidenziato come la totale assenza di flusso pedonale (caso limite) non porterebbe ad alcuna delle tipologie di incidente trattate nella presente tesi dottorale.

Il fattore di *esposizione (EXPO)* scelto è quindi rappresentato da una combinazione tra il di traffico veicolare e quello pedonale in maniera da considerare l'incremento di rischio legato all'aumento dell'intensità di traffico in corrispondenza dell'attraversamento.



Considerando essenziale un fattore che sia legato all'esposizione, si sono indagate diverse formulazioni dello stesso utilizzando una combinazione del Traffico Giornaliero Medio registrato per i veicoli ( $TGM_v$ ) e del valore rilevato per i pedoni ( $TGM_p$ ):

$$EXPO = f(TGM_v, TGM_p)$$

Allo scopo di scegliere il fattore di esposizione più opportuno, durante la calibrazione del modello si sono confrontate quindi tre diverse formulazioni del fattore di esposizione:

✓ L' $EXPO_1$  è rappresentato dalla radice quadrata dei prodotti dei due flussi. Come spesso utilizzato nelle SPF per incidenti stradali, la potenza del TGM con esponente inferiore ad uno, è utilizzato come fattore legato alla possibilità che avvenga un incidente pedonale. Nel caso in esame dove i flussi si intersecano, potrebbe essere utilizzato la radice quadrata del loro prodotto. Si è assunto uguale esponente per entrambi i fattori, posto pari a 0,5 [23].

$$EXPO_1 = \sqrt{TGM_v \times TGM_p}$$

✓ Il secondo EXPO è rappresentato dalla somma dei due flussi. E' una formulazione utilizzata spesso nelle intersezioni tra strade di categoria simile o nelle rotatorie. Quindi risulta utile per flussi veicolari confrontabili con quelli pedonali, in maniera da non rendere trascurabile l'apporto del flusso pedonale.

$$EXPO_2 = TGM_v + TGM_p$$

✓ Il terzo fattore di esposizione considerato è estratto dal modello predittivo di incidentalità pedonale adottato nei paragrafi precedenti. La calibrazione della SPF ha infatti tenuto conto di una combinazione dei flussi, elementi che possono essere utilizzati anche come valutazione dell'opportunità che si verifichi l'incidente.

$$EXPO_3 = (TGM_p)^{\beta_1} (TGM_v)^{\beta_2}$$

con  $\beta_1$  e  $\beta_2$  parametri utilizzati anche nel modello di stima di incidentalità pedonale.

Nel caso di strade a doppio senso di marcia si è effettuata una media pesata dei valori di PRI secondo i fattori di esposizione calcolati per senso di marcia.

Secondo tali considerazioni il PRI viene definito come segue:

$$PRI = EXPO_j \times \sum_{TTZ_{duration}} f(V_{impact\ i}) \times \Delta T_i$$

dove

$f(V_{impact\ i})$  è una funzione della presunta velocità d'impatto all'istante  $i$ , la cui definizione viene ottenuta tramite calibrazione (proposta nel capitolo 6);

$EXPO_j$  è il fattore di esposizione con l'indice  $j$  che assume valori da 1 a 3 a seconda della formulazione di esposizione scelto;

$\Delta T_i$  è la differenza tra  $T_{fi}$  e  $TTC_{vi}$ .

In definitiva per individuare quale sia la soluzione migliore si sono analizzate due formulazione differenti del fattore legato alle :

$$PRI^2 = EXPO_j \times \sum_{TTZ_{duration}} V_{impact\ i}^2 \times \Delta T_i$$

$$PRI^1 = EXPO_j \times \sum_{TTZ_{duration}} V_{impact\ i} \times \Delta T_i$$

Il PRI è in grado di valutare il rischio di scontro potenziale per qualsiasi attraversamento pedonale.

Nonostante, le formule di meccanica utilizzate per definire PRI sono ben note e l'approccio analitico per caratterizzare la cinematica del conflitto veicolo / pedone sono stati trattati da altri autori [2][3][4][5][12][25], nel presente lavoro viene mostrato come calcolare un indice derivato dal comportamento di guida reale basandosi sulla Tecnica di Conflitto di Traffico. Inoltre, il PRI è sviluppato per l'analisi del comportamento effettivo di guida osservato presso l'attraversamento pedonale durante l'intero sviluppo della fase di conflitto di traffico.

## **Bibliografia**

- [1] Herms, B., “Pedestrian Crosswalk Study: Accidents in Painted and Unpainted Crosswalks,” Record No. 406, Transportation Research Board, Washington, DC, 1972.
- [2] Davis, G. “Method for estimating effect of traffic volume and speed on pedestrian safety for residential streets”. *Transportation Research Record* 1636, pp. 110–115, Washington, DC, 2000.
- [3] Mayne, A. “The Problem of the Careless Pedestrian, in Almond, J”. *Atti del Secondo Symposium Internazionale sulla Teoria dei Flussi di Traffico*, OECD, Paris, pp. 279-285, 1965.
- [4] Howarth, C., Routledge, D., e Repetto-Wright, R. “An Analysis of Road Accidents Involving Child Pedestrians”, *Ergonomics*, 17, pp. 319-330, 1974.
- [5] Pasanen, E., e Salmivaara, H.. “Driving Speed and Pedestrian Safety in the City of Helsinki”. *Traffic Engineering and Control*, Vol. 34, No. 6, pp. 308–310, 1993.
- [6] Cavallo, V. e Laurent, M. “Visual information and skill level in Time-to-collision estimation”, *Perception*, 17, pp.623-632, 1988.
- [7] TRB, Transportation Research Board. “Highway Capacity Manual, Fourth Edition”, Chapter 18, Pedestrians. Transportation Research Board, Washington, D.C., USA, 2000.
- [8] Koppa, R., Fambro, D., e Zimmer, R.. “Measuring Driver Performance in Braking Maneuvers”, In *Transportation Research Record No 1550*, Washington, D.C., p.8-15, 1996.
- [9] Anderson, R.W.G., McLean, A.J., Farmer, M.J.B., Lee, B.H., Brooks, C.G. “Vehicle travel speeds and the incidence of fatal pedestrian crashes”. *Accident Analysis and Prevention*, 29 (5), 667–674, 1997.
- [10] Ashton, S.J., Pedder, J.B. e Mackay, G.M.. “Pedestrian injuries and the car exterior”. *SAE Technical Paper 770092*, 1997.
- [11] Ashton, S.J. “A preliminary assessment of the potential for pedestrian injury reduction through vehicle design”. *SAE Technical Paper 801315*, 1980.
- [12] Davis, G.A. “Relating severity of pedestrian injury to impact speed in vehicle 445 pedestrian crashes”. In *Transportation Research Record No. 1773*, Washington, D.C., USA, 2001, pp. 108-113, 2001.

- [13] Yaksich, S.J. “Pedestrians with Milage: A Study of Elderly Pedestrian Accidents in St. Petersburg Florida”. American Automobile Association, Traffic Engineering and Safety Dept., Washington, DC, 1964.
- [14] Cuerden, R., Richards, D. e Hill, J.2Pedestrians and their survivability at different impact speeds”. Atti della XX International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, June 18–21, Lyon, France, 2007
- [15] Hannawald, L. e Kauer, F. “Equal Effectiveness Study on Pedestrian Protection”. Presentation. Technische Universität, Dresden, Germany, 2004.
- [16] Rosén, E. e Sander, U. “Pedestrian fatality risk as a function of car impact speed”. Accident Analalysis and Prevention, 2009.
- [17] Anderson, R.W.G., McLean, A.J., Farmer, M.J.B., Lee, B.H. e Brooks, C.G. “Vehicle travel speeds and the incidence of fatal pedestrian crashes”. Accident Analysis and Prevention 29, pp. 667–674, 1997.
- [18] Hess, P. M., Moudon A. V., Snyder M. C., e Stanilov, K. “Site Design and Pedestrian Travel”. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1674, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 9–19, 1999.
- [19] Shriver, K. “Influence of Environmental Design on Pedestrian Travel Behavior in Four Austin Neighborhoods”. In Transportation ResearchRecord 1578, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 64–75, 1997.
- [20] Bagley, C. The Urban Setting of Juvenile Pedestrian Injuries: A Study of Behavioral Ecology and Social Disadvantage. Accident Analysis and Prevention, Vol. 24, No. 6, pp. 673–678,1992.
- [21] Epperson, B. “Demographic and Economic Characteristics of Bicyclists Involved in Bicycle-Motor Vehicle Accidents”. In Transportation Research Record 1502, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 58–64, 1995.
- [22] McMahan, P. J., Duncan, C., Stewart, J. R. , Zegeer, C. V. e Khatlak, A. J.. “Analysis of Factors Contributing to Walking Along Roadway Crashes”. In Transportation Research Recor, No. 1674, TRB, National Research Council, Washington, D.C, 1997.
- [23] Katamine, M.N. e Nad Hamarneh, I.M. “Use of the traffic Conflict Technique to Identify Hazardous Intersections” Australian Road Research Board and Transportation Research, Vol. 7, N.° 3, pp 17-35, 1998.
- [24] Keall, M. D. “Pedestrian Exposure to Risk of Road Accident in New Zealand”. Accident Analysis and Prevention, Vol. 27, No. 27, pp. 729–740, 1995.

- [25] Vaughn, R. "Avoiding the Emerging Pedestrian: A Mathematical Model". SAE Technical Paper 970962, SAE, Inc., Warrendale, PA, USA, 1997.



## CAPITOLO 5

# METODOLOGIA DI RACCOLTA DEI DATI

### **Premessa**

Per permettere la raccolta di quante più informazioni possibili per verificare la precisione della tesi, è stata elaborata una metodologia organica e rapida.

La metodologia utilizzata nel presente lavoro utilizza una combinazione di analisi in situ tramite osservatori umani e registrazione di immagini video tali da permettere un'analisi in post-processing, una volta in ufficio.

Durante l'analisi in situ, sono state effettuate un'analisi di sicurezza tramite "check list" e in alcuni casi il calcolo dei flussi veicolari e pedonali.

Successivamente a questa fase si è proceduto alla registrazione di video sull'attraversamento di interesse per durate variabili dalle 2 alle 4 ore.

Il ricorso alla tecnologia moderna permette di raccogliere un'enorme mole di dati e analizzarli in maniera dettagliata, precisa e adeguata agli scopi.

D'altronde, se è importante affidarsi all'esperienza di esperti del settore della sicurezza stradale, è anche vero che sarebbe impensabile chiedere al cervello dell'osservatore umano di registrare ogni singolo particolare della situazione di traffico. La registrazione video permette di effettuare una verifica di quanto valutato in situ, assicurando una ripetitività dell'osservazione che potrebbe portare all'affinazione dell'analisi.

Inoltre, per quanto teorizzato nel capitolo precedente, non è possibile effettuare la quantificazione di certe grandezze fisiche, necessarie al calcolo dell'indicatore di rischio, dalla solita osservazione in situ. Per sopperire a questa lacuna, si è scelto di utilizzare un software di processing delle immagini video in grado di estrarre, dalle registrazioni, tutte le informazioni necessarie.

Il punto focale della ricerca è la raccolta di quante più informazioni possibili per verificare la precisione della tesi

Di seguito vengono riportate le varie fasi di raccolta dei dati utilizzati nel presente studio.

## 5.1 Analisi in situ

Per ogni attraversamento studiato, è stata effettuata una ispezione preliminare, per pianificare, nella maniera più corretta possibile, l'analisi video. Si sono quindi valutate eventuali singolarità e possibili punti di ripresa video. Per avere una prima valutazione e classificazione dei siti si è proceduto ad un'analisi di sicurezza tramite "check list" approntate "ad hoc" per il caso di attraversamenti pedonali semaforizzati o senza alcuna segnalazione semaforica, dall'Università degli studi di Napoli "Federico II".

### 5.1.1 Analisi di sicurezza

Lo strumento a cui è affidato il compito di valutare le prestazioni in termini di sicurezza delle infrastrutture stradali è rappresentato dalla tecnica delle analisi di sicurezza. In entrambi i casi, gli obiettivi consistono nella individuazione dei problemi presenti e nella proposta di adeguate raccomandazioni relative ad azioni ed interventi finalizzati al miglioramento del livello di sicurezza delle infrastrutture.

Sono molteplici i fattori da cui dipende una diminuzione locale del livello di sicurezza in corrispondenza di attraversamenti pedonali, quali: tipo di strada, volume, composizione e velocità del flusso di traffico, andamento plano-altimetrico della strada, condizioni meteorologiche, caratteristiche dei conducenti, caratteristiche dei pedoni, localizzazione degli attraversamenti, visibilità reciproca tra veicoli e pedoni, accessibilità degli attraversamenti e dei percorsi pedonali, segnaletica, illuminazione.

La procedura di analisi prevede una specifica analisi del rischio che consente di classificare i singoli attraversamenti pedonali in base ad un indice di rischio globale ed in base ad un indice di rischio dei singoli aspetti di valutazione.

Il team di ricerca del dipartimento di Ingegneria dei Trasporti dell'Università "Federico II" di Napoli [1][2] ha diretto la propria ricerca nell'ottica di descrivere l'approccio di tutti i tipi di utente nelle possibili configurazioni ambientali e di traffico e stimare se esistono situazioni di potenziale rischio. La procedura prevede un'ispezione dei siti in differenti condizioni di illuminazione, di traffico e meteorologiche.

I requisiti essenziali del gruppo di analisi sono indipendenza e qualificazione. Il gruppo di analisi deve essere costituito da più persone in quanto lo scambio di idee tra differenti esperti consente l'approfondimento di più punti di vista e una maggiore obiettività nel processo.



### 5.1.2 Liste di controllo

In Italia, gli indirizzi operativi per l'esecuzione delle analisi della sicurezza stradale sono esplicitati nella Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 3699 dell'8 Giugno 2001, contenente le "Linee guida per le analisi di sicurezza delle strade"[3]. L'analisi di sicurezza delle strade è definita, secondo tali Linee guida, come un esame formale di un progetto di una nuova strada, di un piano del traffico, di una strada esistente o di qualsiasi progetto che interagisca con gli utenti della strada, in cui un indipendente e qualificato gruppo di esaminatori riferisce sui potenziali pericoli di incidente e sulle prestazioni in termini di sicurezza, per mezzo di un report redatto nella forma problema/raccomandazione.

Il gruppo di analisi utilizza delle liste di controllo specifiche per gli attraversamenti pedonali. La compilazione delle liste di controllo riduce la possibilità che importanti aspetti di sicurezza siano trascurati, senza essere un sostitutivo della professionalità e dell'esperienza degli analisti (IHT, 1996). Per ciascun aspetto delle liste di controllo l'analista classifica la gravità del problema, assegnando i seguenti punteggi: 0 se il problema non esiste o è trascurabile, 1 se il problema è lieve, 2 se il problema è grave. Per gli aspetti delle liste di controllo non applicabili all'attraversamento in esame l'analista inserisce il codice n.a., in modo da non considerare l'aspetto nel calcolo dell'indice di rischio.

Le liste di controllo (cfr. tabella 1) sono divise in 6 sezioni: localizzazione, visibilità, accessibilità, segnaletica, illuminazione, tipo di traffico.

*Localizzazione.* La sicurezza di ogni attraversamento deve essere valutata analizzando se esso è compatibile con la larghezza della carreggiata (p.e. attraversamenti senza isole salvagente in strade di elevata larghezza) e con la geometria della strada (p.e. attraversamenti localizzati subito dopo una curva). Un fattore di rischio spesso presente in ambito urbano è costituito dall'interferenza degli attraversamenti con le auto in sosta e con le fermate del trasporto pubblico. Affinché siano correttamente utilizzati, gli attraversamenti devono essere ben coordinati con i percorsi pedonali e trovarsi a distanza tale da scoraggiare i pedoni ad attraversare in altri punti. La verifica di questi aspetti può essere effettuata ricorrendo anche all'osservazione diretta del comportamento dei pedoni.

*Visibilità.* La verifica della visibilità reciproca tra veicoli e pedoni deve essere effettuata ponendo attenzione che siano ben visibili anche i bambini e le persone di modesta statura. La visibilità deve essere controllata in relazione sia agli ostacoli fissi che in relazione agli ostacoli mobili. La procedura prevede anche una specifica verifica della visibilità in relazione ai veicoli

in sosta.

*Accessibilità.* L'accessibilità degli attraversamenti è correlata con la sicurezza in quanto la mancanza di accessibilità induce le persone con difficoltà motorie, e le persone che spingono carrozzine e passeggini, a non utilizzare gli attraversamenti ed i percorsi pedonali. Secondo il Codice (art.40/11), gli attraversamenti pedonali devono essere sempre accessibili anche alle persone non deambulanti su sedie a ruote. Inoltre, occorre verificare la presenza di dispositivi di avviso sonoro per i non vedenti e la presenza di ostacoli o veicoli in sosta che ostruiscono l'accessibilità.

*Segnaletica.* L'effetto della segnaletica è proporzionale alla sua chiarezza e visibilità, in ogni ora del giorno e condizione climatica. Numerosi studi hanno dimostrato significative riduzioni degli incidenti per investimento dei pedoni in seguito alla realizzazione o al miglioramento delle strisce pedonali: 36% (sulla base di 70 progetti monitorati) nel Regno Unito (TRL, 2000), 40% in Australia (Austroads, 2004), tra il 10 e il 50% in Canada (TAC, 2004). È opportuno che gli analisti verifichino l'efficacia sia delle strisce pedonali che dei segnali verticali di attraversamento pedonale. Nel caso di attraversamenti semaforizzati il fattore di sicurezza cruciale è costituito dalla visibilità del semaforo.

*Illuminazione.* Occorre verificare l'adeguatezza della visibilità degli attraversamenti di notte, all'alba ed al tramonto.

*Tipo di traffico.* Un'elevata velocità del flusso costituisce un considerevole fattore di rischio, in quanto all'aumentare della velocità aumentano sia il numero che la gravità degli investimenti: la probabilità di morte per un pedone investito a 30 km/h è del 5%, tale valore sale al 40% se la velocità del veicolo è pari a 50 km/h e al 90% se la velocità del veicolo è di 70 km/h (ETSC, 1995; SNRA, 1997; Wegman e Aarts, 2006). La composizione del flusso richiede un attento esame in quanto occorre considerare che l'investimento dei pedoni da parte dei veicoli pesanti ha conseguenza più gravi e la presenza di un'elevata percentuale di veicoli a due ruote può causare un aumento dei conflitti tra veicoli e pedoni causato dall'elevato numero di sorpassi da parte dei veicoli a due ruote.

Tabella 5.1. Liste di controllo

	Aspetto di valutazione	Peso
<b>a</b>	<b>Localizzazione</b>	<b>2</b>
a1	geometria della strada	2
a2	congruenza del tipo di attraversamento con la larghezza della strada	2
a3	interferenza con auto in sosta, approccio i	3
a4	coordinamento con fermate del trasporto pubblico, approccio i	3
a5	interferenza con auto in sosta, approccio j	3
a6	coordinamento con fermate del trasporto pubblico, approccio j	3
a7	coordinamento con gli itinerari preferenziali dei pedoni	1
a8	coordinamento con i percorsi pedonali	1
a9	adeguatezza della distanza dagli altri attraversamenti	1
a10	distanza dalla linea di arresto	1
a11	distanza dalla soglia dell'intersezione	1
a12	distanza dal semaforo	1
<b>b</b>	<b>Visibilità</b>	<b>5</b>
b1	visibilità dei pedoni in attesa di attraversare, approccio i	3
b2	visibilità dei bambini in attesa di attraversare, approccio i	3
b3	veicoli in sosta che ostacolano la visibilità, approccio i	3
b4	ostacoli mobili che ostruiscono la visibilità, approccio i	1
b5	visibilità dei pedoni in attesa di attraversare, approccio j	3
b6	visibilità dei bambini in attesa di attraversare, approccio j	3
b7	veicoli in sosta che ostacolano la visibilità, approccio j	3
b8	ostacoli mobili che ostruiscono la visibilità, approccio j	1
b9	visibilità dei bambini in attraversamento	3
b10	visibilità dei pedoni in attraversamento	2
<b>c</b>	<b>Accessibilità</b>	<b>1</b>
c1	presenza di rampe di invito, approccio i	2
c2	pendenza delle rampe di invito, approccio i	1
c3	altezza marciapiedi, approccio i	2
c4	larghezza marciapiedi, approccio i	2
c5	presenza dispositivi di avviso sonoro per i non vedenti, approccio i	1
c6	veicoli in sosta che ostruiscono l'accessibilità, approccio i	3
c7	ostacoli che ostruiscono l'accessibilità i	3
c8	presenza di rampe di invito, approccio j	2
c9	pendenza delle rampe di invito, approccio j	1
c10	altezza marciapiedi, approccio j	2
c11	larghezza marciapiedi, approccio j	2
c12	presenza dispositivi di avviso sonoro per i non vedenti, approccio j	1
c13	veicoli in sosta che ostruiscono l'accessibilità, approccio j	3
c14	ostacoli che ostruiscono l'accessibilità j	3
c15	presenza taglio nelle isole spartitraffico	2
<b>d</b>	<b>Segnaletica</b>	<b>3</b>
d1	visibilità diurna delle strisce pedonali	2
d2	visibilità notturna delle strisce pedonali	2
d3	contrasto delle strisce rispetto alla pavimentazione	2
d4	lunghezza, distanziamento e direzione delle strisce	1
d5	presenza e lunghezza della striscia continua prima dell'attraversamento, direzione i	1
d6	visibilità del segnale attraversamento pedonale (fig II 313), approccio i	2
d7	visibilità del semaforo, approccio i	3
d8	presenza e lunghezza della striscia continua prima dell'attraversamento, direzione j	1
d9	visibilità del semaforo, approccio j	3
d10	visibilità del segnale attraversamento pedonale (fig II 313), approccio j	2
d11	durata della fase semaforica	1
d12	coordinamento delle strisce pedonali con il semaforo	1
d13	visibilità della linea di arresto	1
<b>e</b>	<b>Illuminazione</b>	<b>2</b>
e1	visibilità notturna dei pedoni	3
e2	visibilità all'alba ed al tramonto dei pedoni	1
<b>f</b>	<b>Tipo di traffico</b>	<b>2</b>
f1	velocità del flusso	2
f2	presenza di veicoli commerciali	1
f3	presenza di veicoli a due ruote	1

### 5.1.3 L'indice di sicurezza

Il metodo fornisce sia un Livello di Sicurezza per l'attraversamento sia un Livello di Sicurezza relativo ad ognuna delle categorie dei fattori di rischio, basandosi sulla stima del numero e della gravità degli incidenti, e rilevando così i principali aspetti che necessitano di miglioramenti.

Per ogni aspetto delle liste di controllo (55 aspetti complessivi), ad eccezione di quelli ritenuti dagli analisti non applicabili per l'attraversamento in esame, si calcola il Rischio Medio:

$$RM_i = \frac{\sum_{j=1}^n R_j}{n}$$

dove:

$RM_i$  = Rischio Medio dell'aspetto di valutazione  $i$ ;

$R_j$  = punteggio assegnato dall'analista  $j$ ;

$n$  = numero di analisti.

Dato che i 55 indici di rischio così ottenuti non esprimono un giudizio sintetico appropriato ad una procedura di veloce e rapida applicazione, si sono elaborati degli indici di valutazione riferiti a ciascuna delle sei categorie definite nelle liste di controllo ed all'attraversamento nel suo insieme.

Per ogni categoria dei fattori di rischio (localizzazione, visibilità, accessibilità, segnaletica, illuminazione, tipo di traffico), il rapporto tra la somma dei prodotti tra il Rischio Medio dell'aspetto  $i$  ed il suo peso, che definisce una misura dell'effetto sulla sicurezza dell'aspetto in esame, e la somma dei prodotti tra il rischio massimo ed i pesi, definisce l'Indice di Rischio. Risulta così:

$$IR_k = \frac{\sum_{i=1}^m RM_{ik} \times P_{ik}}{2 \times m \times \sum_{i=1}^m P_{ik}} \times 100$$

dove:

- $IR_k$  = Indice di Rischio della categoria k;  
 $P_{ik}$  = peso dell'aspetto di valutazione i nella categoria k (cfr. Tabella 1);  
 m = numero di aspetti di valutazione della categoria k, esclusi quelli ritenuti dagli analisti non applicabili per l'attraversamento in esame.

L'Indice di Rischio rappresenta il grado di pericolo associato alla categoria in esame e può essere tradotto in un giudizio di sintesi espresso dal Livello di Sicurezza, variabile da A ad F (cfr. Tabella 2). In analogia al concetto di Livello di Servizio, ampiamente diffuso e accettato, il Livello di Sicurezza A rappresenta le migliori condizioni di sicurezza, mentre il Livello F le peggiori.

Tabella 5.2. Livelli di Sicurezza

Indice di Rischio	Livello di Sicurezza
≤ 12	A
≤ 24, > 12	B
≤ 36, > 24	C
≤ 48, > 36	D
≤ 60, > 48	E
> 60	F

L'indicatore che misura il rischio complessivo dell'attraversamento è l'Indice di Rischio, che dipende dall'Indice di Rischio delle singole categorie e si calcola con la formula:

$$IR = \frac{\sum_{k=1}^6 IR_k \times P_k}{\sum_{k=1}^6 P_k}$$

dove:

- IR = Indice di Rischio dell'attraversamento;  
 $P_k$  = peso della categoria k (cfr. Tabella 1).

L'Indice di Rischio (IR) varia da 0 a 100. Un IR uguale a 0 implica che la sicurezza dell'attraversamento è soddisfacente e non sono necessari miglioramenti. Un IR pari a 100

implica che la sicurezza dell'attraversamento è critica e tutti gli aspetti relativi alla sicurezza necessitano di sostanziali miglioramenti. Valori intermedi indicano che l'attraversamento necessita di miglioramenti, tanto più grandi quanto maggiore è il valore dell'IR. L'Indice di Rischio delle singole categorie evidenzia gli aspetti più rilevanti dal punto di vista della sicurezza. Inoltre, nel rapporto di analisi si dovrebbero evidenziare tutte le voci delle liste di controllo per le quali risulta un valore del Rischio Medio pari a 2. La sicurezza degli attraversamenti dipende da tre fattori: l'esposizione al pericolo, la probabilità di incidente e la gravità dell'incidente. L'Indice di Rischio è una misura indiretta della probabilità e della gravità degli incidenti. Per definire un ordine di priorità tra gli attraversamenti si calcola l'Indice di Sicurezza con la seguente formula:

$$IS = IR \times \sqrt{TGM \times Ped}$$

dove:

IS = Indice di Sicurezza dell'attraversamento;

TGM = traffico giornaliero medio annuo transitante sull'attraversamento;

Ped = flusso pedonale giornaliero medio sull'attraversamento.

#### 5.1.4 Rilievo dei flussi di traffico

L'incidente pedonale può avvenire in qualsiasi ora, anzi è plausibile pensare che durante le ore notturne le difficoltà siano maggiori in condizioni normali di traffico. Pertanto occorrerebbe fare un rilievo continuo dei flussi.

In realtà sono diverse le tecniche di conteggio. La più comune è l'indagine in situ di osservatori umani dotati di foglio e penna per il conteggio manuale. Di solito viene considerato un quarto d'ora come misura rappresentativa dell'intera ora considerata. In ausilio alle analisi di traffico si potrebbero effettuare registrazioni video, analizzabili con semplicità in ufficio.

Le moderne tecniche hanno permesso tramite contatori di traffico automatici di effettuare un conteggio veloce affidabile e sicuro.

Nel presente studio si sono utilizzate sia la tecnica manuale che il conteggio da video

5.1.4.1 Stima dei flussi di traffico veicolare

Per ogni sito di attraversamento pedonale, si è effettuato un conteggio dei flussi limitato ad alcune ore del giorno, utilizzando poi dei coefficienti di proporzionalità riferiti a questi valori rilevati, per calcolare il flusso nelle altre ore. I rilievi sono stati eseguiti da osservatori umani, durante due ore di punta (8,00÷9,00 e 13,00÷14,00) e un'ora di morbida (10,00÷11,00).

Il rilievo è comprensivo del rilievo delle differenti tipologia di utenti della strada, suddividendoli in quattro categorie (veicoli leggeri, pesanti, a due ruote e autobus).

Operativamente si rileva un quarto d'ora per ogni periodo di osservazione per poi riportarlo all'intera ora si riportano anche i flussi pedonali la cui origine-destinazione sono indicati con lettere greche (Figura 5.1).

ATTRAVERSAMENTO:													
										Data		Ora	
												10 0	
										Note:			
										x=			
										y=			
		Da A->B				Da B->A				α->β	β->α		
		Leggeri	Pesanti	Due ruote	Bus	Leggeri	Pesanti	Due ruote	Bus				
8-9	15'	81	3	28	2	132	4	32	1	3	2		
	1h	<b>324</b>	<b>12</b>	<b>112</b>	<b>8</b>	<b>528</b>	<b>16</b>	<b>128</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	<b>8</b>		
10-11	15'	69	3	54	1	122	2	35	1	3	3		
	1h	<b>276</b>	<b>12</b>	<b>216</b>	<b>4</b>	<b>488</b>	<b>8</b>	<b>140</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	<b>12</b>		
13-14	15'	73	1	23	1	145	1	35	1	2	2		
	1h	<b>292</b>	<b>4</b>	<b>92</b>	<b>4</b>	<b>580</b>	<b>4</b>	<b>140</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>8</b>		

Figura 5.1. Foglio di calcolo per la definizione di flussi e parametri geometrici e fisici

Si sono scelti come fattori di proporzionalità quelli riportati in uno studio di monitoraggio ambientale realizzato presso la provincia di Treviso [4] ed adattato alla realtà catanese.

Il Traffico Giornaliero Medio per i veicoli ( $TGM_v$ ) viene calcolato come somma dei flussi orari durante le 24 ore.

Tabella 5.3: Fattori di proporzionalità dei flussi orari veicolari

Intervallo Orario	Modalità di calcolo del flusso orario
0-1	15% flusso 10-11
1-2	15% flusso 10-11
2-3	15% flusso 10-11
3-4	15% flusso 10-11
4-5	15% flusso 10-11
5-6	25% flusso 10-11
6-7	35% flusso max
7-8	75% flusso max
<b>8-9</b>	<b>valore rilevato</b>
9-10	70% flusso 8-9
<b>10-11</b>	<b>Valore rilevato</b>
11-12	70% flusso 10-11
12-13	80% flusso 10-11
<b>13-14</b>	<b>valore rilevato</b>
14-15	flusso 10-11
15-16	60% flusso 10-11
16-17	60% flusso 10-11
17-18	85% flusso max
18-19	70% flusso max
19-20	80% flusso max
20-21	65% flusso max
21-22	80% flusso 10-11
22-23	30% flusso 10-11
23-24	25% flusso 10-11



#### 5.1.4.2 Stima dei flussi di traffico pedonale

La carenza in Italia di studi sulle distribuzioni orarie dei flussi di traffico pedonali su attraversamenti pedonali non semaforizzati hanno portato l'autore della tesi a ricercare soluzioni alternative presso studi americani.

Uno degli studi più completi a questo proposito è la ricerca di Zeeger [5], su circa 1000 attraversamenti semaforizzati e 1000 attraversamenti privi di segnalazione semaforica, in 30 città degli Stati Uniti.

Se la circolazione pedonale fosse uniformemente distribuita, ogni ora del giorno conterebbe circa il 4,2 per cento del totale del flusso pedonale giornaliero. In realtà, come nel caso del flusso veicolare, i volumi pedonali variano lungo l'arco della giornata a seconda dell'attività sociale che è motivazione dello spostamento a piedi. Quindi l'utilizzo di un coefficiente di ripartizione orario uniforme potrebbe falsare la stima del Traffico Giornaliero Medio pedonale (TGMp).

I fattori di proporzionalità sono stati calcolati sulla base del metodo usato da Zeeger per i conteggi pedonale in uno studio a Seattle, WA [6]. La ricerca in questione ha stabilito che confrontando siti e attraversamenti differenti le distribuzioni dei volumi pedonali, nei vari momenti della giornata, presentava andamenti simili tra loro.

Tabella 5.4: Fattori di proporzionalità dei flussi pedonali nelle ore del giorno  
(CBD:central business district)

Time of Day	CBD (%)
7 a.m. – 8 a.m.	2.4
8 a.m. – 9 a.m.	2.4
9 a.m. – 10 a.m.	4.9
10 a.m. – 11 a.m.	8.2
11 a.m. – 12 N	10.4
12 N – 1 p.m.	11.4
1 p.m. – 2 p.m.	11.6
2 p.m. – 3 p.m.	8.5
3 p.m. – 4 p.m.	16.2
4 p.m. – 5 p.m.	4.4
5 p.m. – 6 p.m.	3.5
Remaining 13 hours	16.0

A seguito di tali considerazioni, per trovare il flusso giornaliero occorre moltiplicare il flusso orario per un fattore pari a 100 fratto il valore percentuale del fattore di distribuzione.

Considerando i tre periodi di analisi adoperati in precedenza nel caso del volume dei veicoli, si osserva che circa il 25% ( $2,4+8,2+11,6=22,2\%$ , la sovrastima va a favore di sicurezza) dei flussi pedonali giornalieri ricade in queste tre ore.

Si è quindi sfruttato il rilievo fatto nelle ore già analizzate, prendendo per buono che la somma dei flussi pedonali trovati nel rilievo rappresentasse  $\frac{1}{4}$  dei flussi giornalieri.

## 5.2 Elaborazione video

L'elaborazione video passa attraverso diverse fasi :

- Cattura delle immagini attraverso video camere istallate in punti strategici;
- la digitalizzazione delle immagini catturate dei video catturati dal formato analogico a quello digitale (nel caso di riprese fatte con videocamera analogica);
- la trasformazione omografica per ricostruire opportune relazioni tra gli oggetti 3D e le immagini piane per facilitare la ricezione di alcune variabili interessanti;
- Il post-processing con il software "Vision Artificial aplicada al trafico".

L'aspetto fondamentale è quello di raccogliere dati sulla velocità e l'accelerazione che consente di ottenere notizie su grandezze fisiche, geometriche e cinematiche che altrimenti sarebbero di difficile valutazione.

### 5.2.1 *Trattamento delle immagini: cattura*

E' possibile raggiungere un quadro completo della situazione con soltanto un piccolo numero di videocamere. La mente del singolo osservatore non è adatta per registrare tutte le informazioni che derivano dalla strada, ma il video coglie ogni momento del caso in studio.

È necessario pianificare l'applicazione per cogliere gli aspetti che riguardano i presupposti della ricerca. Già nella prima fase della ricerca occorre avere chiare le ipotesi che si devono verificare. Raccogliere i dati prima di aver chiarito lo scopo di ricerca può condurre ad un'analisi insufficiente. Infatti una volta formulate le ipotesi, qualora vi fossero evidenti differenze fra gruppi di dati, si può attribuire il tutto a fattori causali specifici o sconosciuti, interpretando se le differenze osservate siano dovute alla variabilità naturale delle misure e degli strumenti utilizzati o è un caso specifico che le ha determinate.

La posizione delle videocamere deve essere scelta con grande attenzione per assicurare un quadro completo della situazione. In presenza di più telecamere, è consigliabile che via sia un'ampia zona di sovrapposizione delle immagini in maniera da non perdere informazioni e per avere una ridondanza degli elementi. Quindi la distanza fra i diversi punti di ripresa, l'orientamento e la posizione, più o meno nascosta per evitare condizionamenti nel comportamento dell'utente, sono elementi fondamentali nella pianificazione dell'analisi.

Le tecnologia utilizzata può essere costituita da videocamere analogiche poste su supporti adeguati dove l'unico limite tecnologico è rappresentato dalla durata della video-cassetta. In alternativa, per superare tale carenza, si possono adoperare videocamere digitali per evitare il passaggio descritto nel prossimo paragrafo.

### 5.2.2 *Trattamento di immagini: digitalizzazione*

Questa operazione contiene il passaggio ai pixel, che è una zona definita a cui è assegnato un valore come ad esempio un colore. Per utilizzare un calcolatore per maneggiare le immagini, la prima cosa da fare è dotarlo di una chiave di lettura, un tipo di rappresentazione e di registrazione comprensibile dal linguaggio interno.

È possibile rappresentare l'immagine con una funzione  $f(x,y)$  di due variabili, in cui la  $x$  e la  $y$  sono le coordinate dello spazio bidimensionale ed i valori della funzione in ogni punto rappresentano il collegamento visivo delle informazioni alla stessa. Il processo di digitalizzazione di un'immagine consiste nel convertire l'immagine da un formato continuo come quella del mondo reale in una rappresentazione numerica utilizzabile dal calcolatore. Questa operazione si realizza in due livelli.

In primo luogo è necessario discretizzare il dominio spaziale della funzione che è chiamata "campione". Si assegnano i valori di  $x$  e  $y$  in modo che assumano valori interi, così la funzione si converte in una serie di tabelle che sono facilmente trattabili per un sistema di elaborazione.

A questo punto si può rappresentare un'immagine nell'insieme costituita da elementi denominati pixel.

È abitudine dividere l'immagine in parti uguali, che per convenzione sono di forma rettangolare: appunto i pixel. Il valore di ogni pixel è proporzionale alla quantità di luce riflessa dalla parte dell'oggetto che è proiettato sul pixel. Il valore di ogni pixel dipende dalla riflessione speculare (o diretta) e da quella diffusa (assorbita e rimessa).

In realtà viene registrato per ogni pixel un valore centrale legato all'integrale delle quantità di luce delle immagini nel rettangolo che lo costituisce. Il numero di elementi è un fattore importante della qualità delle immagini e costituisce la risoluzione spaziale.

Il secondo livello è la quantificazione, cioè la digitalizzazione dei valori della funzione delle immagini. Si possono in genere utilizzare due tipi di scale di valori per le immagini: scale grigie o a colori (quale quella adottata nel presente studio).

Dopo che un'immagine è stata trattata come in precedenza, normalmente viene registrato anche il numero di righe e di colonne che contiene, la quantificazione utilizzata, la risoluzione. Questi dati rappresentano il titolo dell'immagine.

I passaggi precedenti sono fatti in maniera semplice grazie a molti software di trattamento di immagini. Quello utilizzato in questo studio è il "Pinnacle Studio" (versione 10) che permette di registrare il video analogico, manipolarlo e riconvertirlo in una forma digitale.

Questo atto comporta due scelte: un codec opportuno (indice di codificazione) ed il numero di frame in un secondo.

Per i codec, la scelta è caduta "sul codec by Radius" come suggerisce l'autore del software presentato nei seguenti paragrafi.

, sia con le videocamere digitali che analogiche, può essere essenziale per evitare di introdurre le sorgenti di errore. Nel caso in esame il sistema tv utilizzato è il sistema PAL (ovvero il sistema correntemente usato in Europa), e vengono registrati 25 frame al secondo con una frequenza di 60 HZ.

In realtà il software pur registrando 25 frame al secondo, riesce a restituire i dati ogni 5 frame, ovvero ha un intervallo di campionamento pari a 0,2 secondi.

I video vengono suddivisi in file più piccolo da un quarto d'ora per video. Questa divisione è giustificata soltanto dai motivi di semplicità logistica, per avere video semplicemente spostabili fra i software differenti della procedura e conciliare le caratteristiche dei calcolatori che spesso non sostengono i complicati oneri di calcolo.

### 5.2.3 *Trasformazione omografica*

Una volta catturato e digitalizzato, il filmato è elaborato per mezzo di un'applicazione sviluppata usando la tecnica della restituzione conica prospettica.

Questa tecnica permette la ricostruzione in scala le dimensioni di oggetti 3D in rilievo con l'aiuto della conoscenza delle misure delle sue proiezioni in pianta, per mezzo dei rapporti esistenti di omografia fra una figura piana e la relativa prospettiva (Figura 5.2).

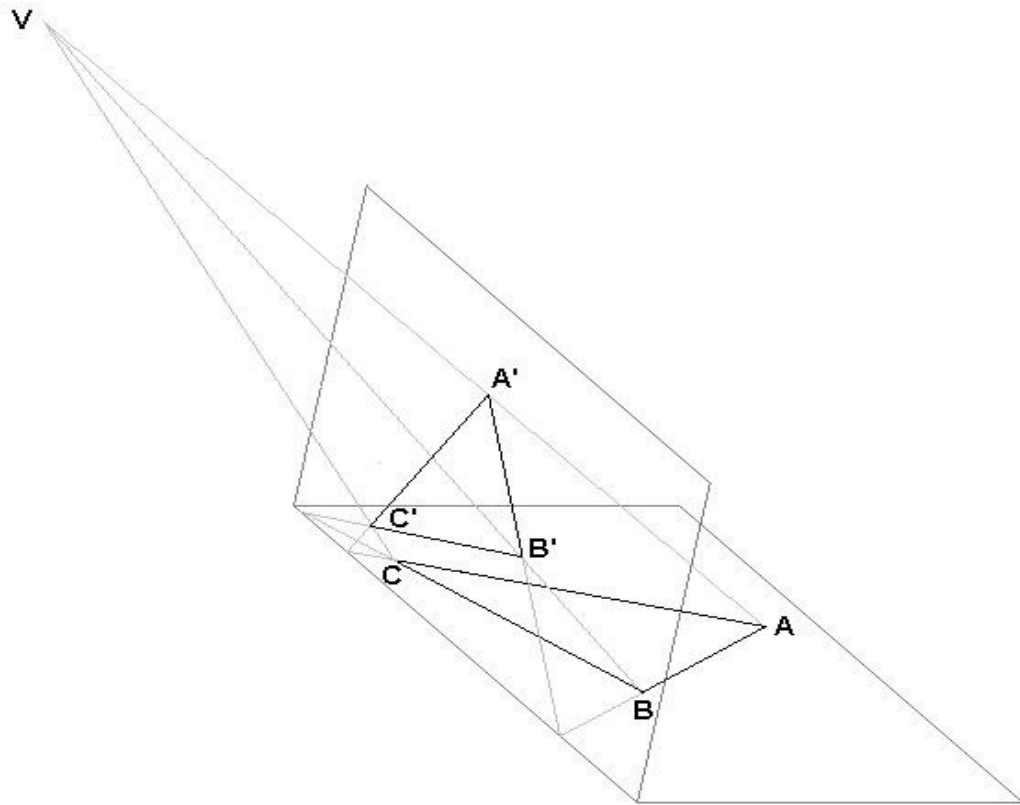


Figura 5.2. Trasformazione omografica

Dal punto di vista geometrico, due figure sono omografiche, quando sono sezioni piane di radiazioni coniche.

I fotogrammi della strada, ottenuti a partire dalla videotape, saranno prospettive del quadro inclinato, con tre punti di fuga principali, dove fare la restituzione, il trapezio che corrisponde al tratto di via si trasforma in un rettangolo, con le due omologia seriali, senza necessità di calcolo del centro dell'omologia, ma a partire da due misure della pianta (lunghezza e larghezza).

Poiché i parametri della formulazione matematica della conversione di coordinate è molto complessa e poco pratica, gli autori del software utilizzano un metodo più semplice, basato su fattori per convertire lo spazio dello schermo in spazio reale che introducono una certa imprecisione.

Per ridurre l'imprecisione vengono effettuate due trasformazioni omografiche successive permettendo una maggiore precisione di calcolo.

Una prima omografia trasforma il trapezoide (il tratto di strada in prospettiva) in trapezio di dimensioni note e una seconda trasforma questo trapezio in un rettangolo (dove si fissa il sistema di riferimento).

Per la conversione coordinate è necessario disporre dei riferimenti, essendo necessari almeno quattro punti per definire il poligono-strada sullo schermo e dopo due punti per determinare la sparizione prospettica.

Successivamente, dalle dimensioni note della strada vengono costruite le due righe basse omologiche (BL1 e BL2) e le tre diagonali omografiche (HD1, HD2 e HD3) (Figura 5.3)

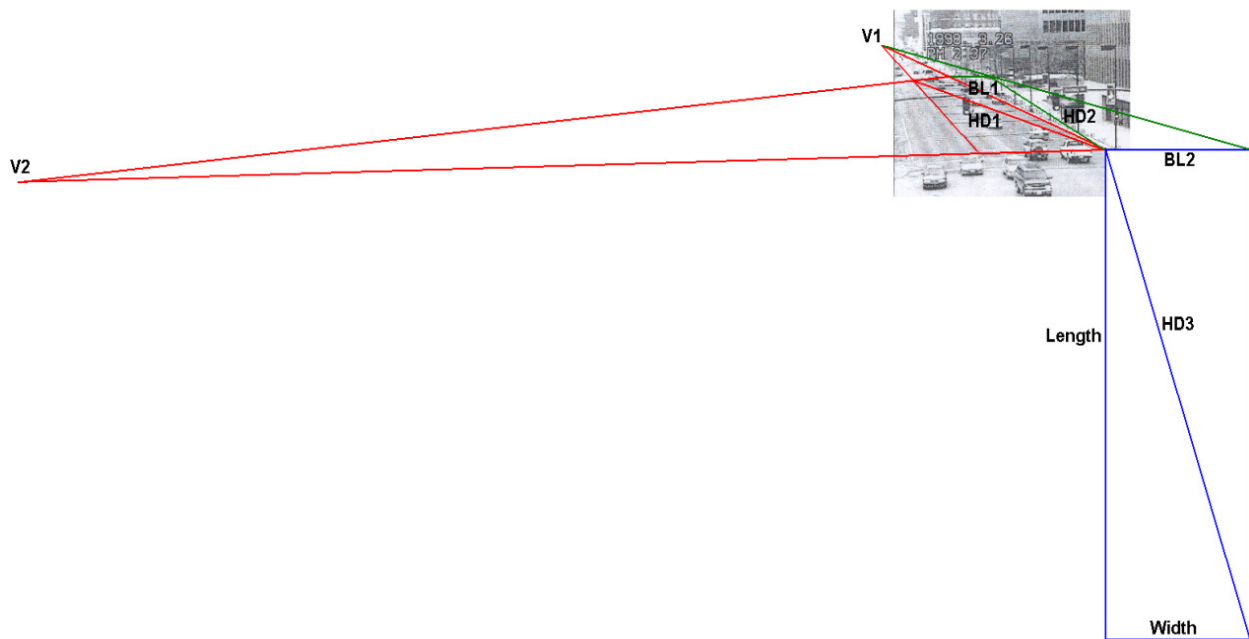


Figura 5.3. Omografia usata nel software

Sono state usate misure e distanze determinate precedentemente in situ, per fissare il sistema di riferimento, e permette una referenziazione nello spazio della traiettoria dei veicoli del video. Nel caso la strada avesse cambiamenti di pendenza e tenendo presente che le omografie sono date per una figura piana, il metodo prevede la sequenza di diversi sistemi di riferimento, ognuno per ogni tratto di strada in cui si registra la variazione di livelletta, in modo da applicare l'omografia con il minimo dell'errore (Figura 5.4).

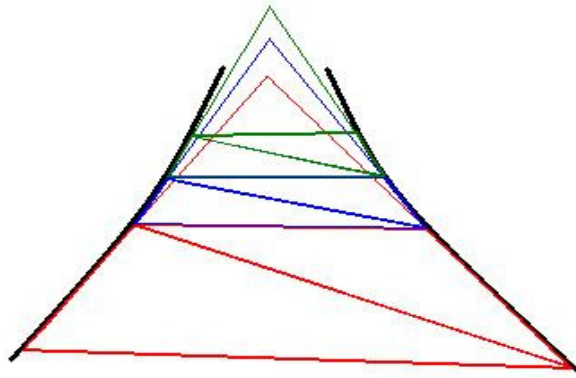


Figura 5.4. Omografia in caso di cambio della pendenza

#### 5.2.4 “*Vision Artificial aplicada al trafico*”

I punti dei paragrafi passati sono elaborati in un software progettato e creato appositamente per questa analisi ma che può essere utilizzato anche in altri casi.

Il software è un'applicazione di Visual Basic, in grado di restituire la posizione del veicolo per ogni frame. In questo modo si conosce la posizione longitudinale e trasversale, il tempo e la velocità e l'accelerazione.

Il programma è creato dal prof Alfredo Garcia Garcia e Mario Alfonso Romero Rojas [7], del dipartimento di Trasporti dell'Università di Valencia.

In questo paragrafo l'autore approfitta per creare un piccolo manuale del software, convinto che con i cambiamenti adatti, “*Vision Artificial aplicada al trafico*” può trasformarsi in un aiuto valido nello studio di molti problemi riguardanti al traffico e di conflitto in particolare.

Il software è un file eseguibile di Visual Basic di piccole dimensioni ( 2.76 Mb) e con un'interfaccia semplice per tutti gli utenti. La prima finestra che viene aperta dal software è le seguente.

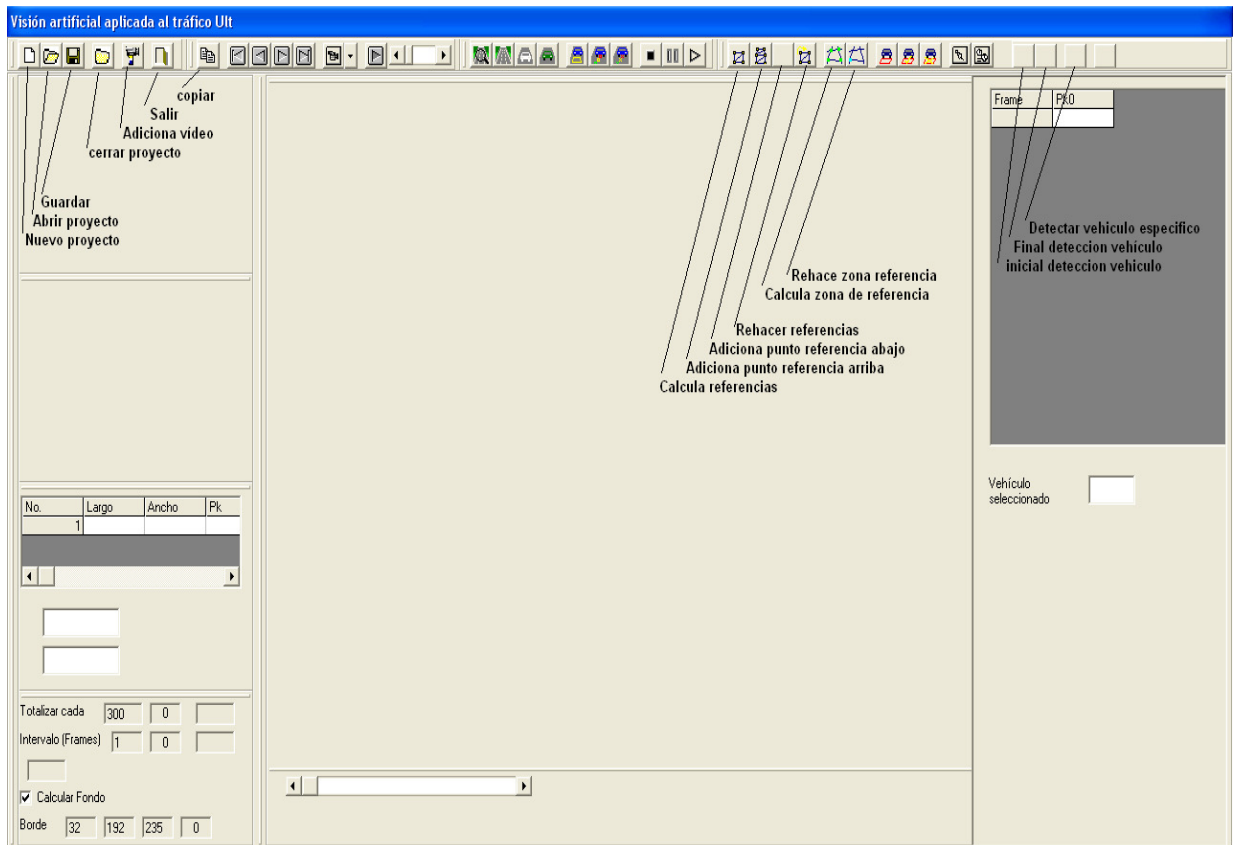


Figura 5.5. Le finestre iniziali di Vision Artificiale applicata al traffico

La notazione è in spagnolo ma in questo manuale è spiegato tutto quello può servire per un uso corretto del programma.

Nella parte alta della finestra, ci sono vari comandi che possono essere divisi in differenti barre degli strumenti (Figura 5.5).

La prima barra (a sinistra) può essere chiamata "la barra file". Le icone hanno gli stessi significati che hanno altri programmi. Scorrendo rapidamente verso la destra avremo: nuovo progetto ("Nuevo proyecto"), aprire progetto ("Abrir proyecto"), salvare il progetto ("Guardar"), chiudere il progetto ("Cerrar proyecto"), aggiungere il video ("Adiciona video"), uscire (Salir) e copiare (Copiar).

Vicino alla barra precedente, una seconda barra è regolata con alcuni comandi per quanto riguarda il movimento all'interno del video ("barra video"). I primi due tasti possono essere utilizzati per spostarsi indietro, in particolare il primo porta il video indietro fino al primo frame del video, l'altro porta indietro il video di un frame. Una funzione simile è assunta dagli altri due. Come si capisce dal simbolismo, sono usati per muoversi in avanti soltanto di un frame o verso l'ultimo frame del video, rispettivamente. L'icona con il simbolo della videocamera apre



simultaneamente più di un video. L'ultimo tasto di questa barra è "il Play" di cui ognuno conosce la funzione. C'è inoltre una barra per decidere la velocità di riproduzione video.

La terza barra è "la barra del rivelatore e di calcolo". La prima parte di questa è dedicata ad un calcolo del campo catturato. Le icone in questione hanno un'importanza soprattutto per la minimizzazione degli oneri di calcolo. I primi calcolano la dimensione del campo sullo studio ("Calcula fondo"); le altre servono per definire e mostrare il campo di studio ("Maestra fondo" y "Trae fondo").

La seconda parte di questa barra è per l'elaborazione delle coordinate. Questa è l'innovazione del software, perché grazie a queste icone il software elabora la posizione e il tempo per tutti i veicoli. C'è un comando per il trovare le coordinate facendo un click sul pixel ("Detectar"), cominciando da un rivelatore di forma rettangolare ("Evolucion un partir de detectors"), o segnalando con un click un veicolo ("Evolucion a partir de vehiculo").

Le altre tre icone hanno gli stessi significati che tutti conoscono ma sono riferite al momento nel quale è in atto la cattura delle posizioni.

L'ultima barra è "la barra di riferimento" ed è fondamentale nella prima parte dell'analisi. I quattro tasti a sinistra sono le icone che permetteranno di stabilire un sistema di riferimento. Il primo è utilizzato per fissare un sistema di riferimento ("Calcula referencia"), il secondo è il comando per fissare un sistema di riferimento aggiuntivo (nel caso di cambio di pendenza della strada all'interno dello scenario registrato), ma è possibile solo se la base inferiore coincide con quella superiore ("Adiciona punto de referencia arriba"). I due restanti, aggiungono un punto di riferimento nella parte inferiore del primo sistema di riferimento ("Adiciona punto de referencia abajo") e pone un nuovo sistema di riferimento ("Rehace referencia"). Naturalmente una corretta esecuzione prevede la creazione di uno o più sistemi di riferimento e solo in seguito si fissa il tutto con il tasto descritto prima come "calcula Referencia".

I due tasti vicini sono utilizzati per creare degli elementi utili per l'individuazione dei veicoli in conflitto come spiegato nei seguenti paragrafi.

Le tre icone seguenti sono il comando disporre ("Ubica detector"), selezionare ("Selecciona detector") e rimuovere il rivelatore ("Elimina detector").

Gli ultimi due tasti sono usati per sincronizzare i video.

Dopo la spiegazione della finestra iniziali, passiamo all'utilizzo del software.

Il primo punto è aprire il video con l'icona opportuna.

Si fissano i due tipi di sistema di riferimento da fissare: uno globale e uno locale.

Per globale si intende un riferimento riferito all'intera immagine ed è necessario per gestire il movimento relativo della videocamera dovuta a vento o a altre cause atmosferiche. Questa operazione è condotta cliccando su un punto che rimarrà sempre visibile (utilizzando il tasto di "rehace zona de referencia"), durante tutta la durata del video. Il punto cliccato individua una zona di 16x16 pixel che è utilizzato come quadrato di riferimento. La procedura corretta suggerisce di scegliere un punto che non è oscurato mai dal passaggio delle macchine. Il software cerca questi punti intorno al punto selezionato, in questo modo si trova come l'immagine si è spostata ed può correggere i riferimenti frame a frame.

Allo scopo di limitare l'attività computazionale, si può utilizzare un quadrilatero modellabile per individuare una zona del video su cui il software può concentrare l'attenzione che fa diminuire i calcoli.

Dopo questa operazione il software valuta il campo di studio.

È fatto come calcolo della media di colore di ogni pixel nelle categorie differenti di video.

Ora il procedimento da fare è di riferire una massa di pixel numerati ad un sistema coordinato che può essere usato nell'analisi attuale. Il riferimento assegna a tutti pixel del video una loro identità sotto forma di coordinate. Attraverso il tasto "Rehacer referencia", è possibile regolare un sistema di coordinate sul video. Un quadrilatero deformabile compare a sinistra.

Le quattro righe possono essere traslate per individuare un trapezio che contiene la parte del video che è referenziata.. Una volta che il sistema è regolato l'ultima cosa da fare è quella di assegnare le dimensioni al trapezio. Vi è un rettangolo in basso a sinistra, dove sarà inserita la lunghezza ("largo"), la larghezza ("Ancho") e le coordinate dell'origine ("Pt" e "Pk"), che sono rilevati in una fase preliminare (Figura 5.6).

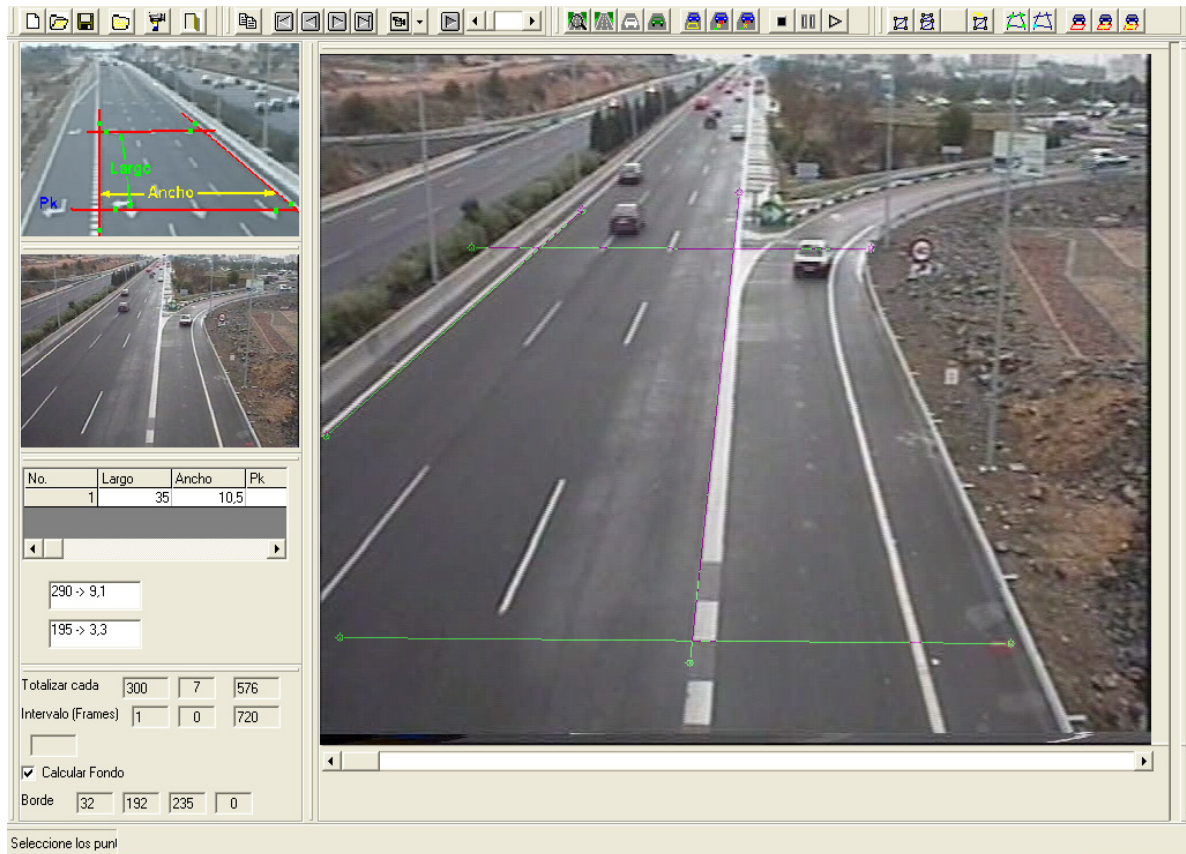


Figura 5.6. Posizionamento del sistema di riferimento nel software

I passi seguenti sono di analizzare le manovre ed ottenere la posizione. Sono registrate sulla destra della finestra iniziale (nell'immagine tale tabella è nascosta), indicando il frame e le coordinate x e y per ogni rivelatore.

Da quanto è stato possibile osservare, le differenze di precisione nel calcolo delle coordinate hanno un rapporto di circa 7 - 1. Di conseguenza, più videocamere disposte in luoghi differenti possono essere usate per potere avere un'esattezza migliore. In quel caso, il software dovrebbe occuparsi simultaneamente di vari video, coordinandone la sovrapposizione.

Per facilitare la cattura dei dati, ci sono a disposizione diversi rivelatori. Il primo è un rivelatore posto sull'immagine come rappresentato nella la figura qui sotto (Figura 5.7).

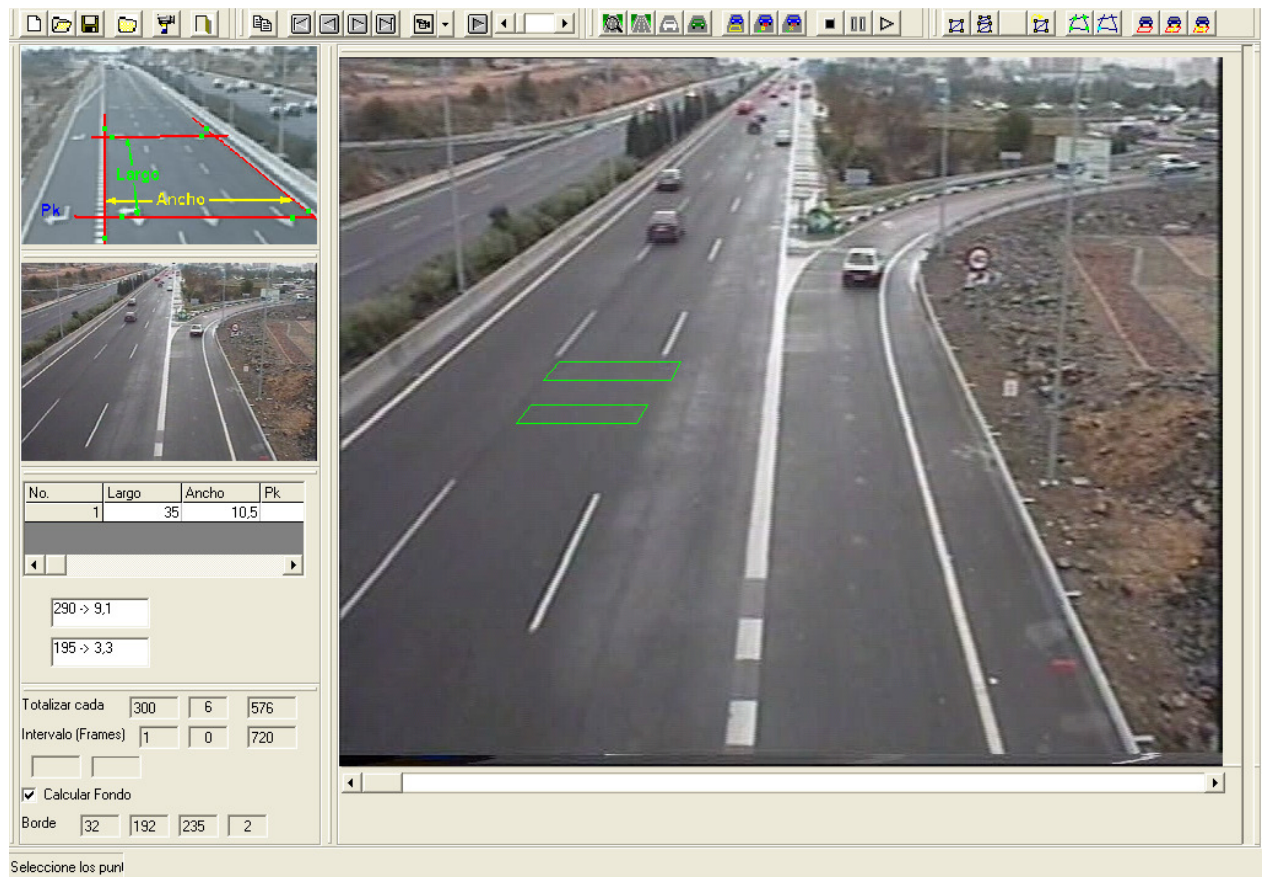


Figura 5.7. Posizionamento del rivelatore per catturare la posizione dei veicoli

In seguito al movimento il software fa sì che registri più volte un punto, riconoscendo quel punto come pavimentazione o altro. Il punto identificato come pavimentazione è segnato con 0, le altre parti hanno valori diversi. In questo modo sono identificate le zone dove le immagini cambiano e sono definite due tabelle: il campo dell'immagine e la superficie della strada.

Per il controllo il programma definisce una zona di ricerca variabile di posizione, cioè comincia dal luogo indicato e non si muove fino a che non riscontra un cambio nella percentuale di colore presente nel pixel.

Lo spostamento della zona va dalla parte più inferiore dello schermo al punto di fuga dell'immagine (definita dai riferimenti che sono stati definiti).

Per considerare i movimenti laterali dei veicoli, questa zona di conflitto è definita con una larghezza più grande ed allora in funzione dei punti che sono cambiati il software riposiziona l'indicatore al centro della macchia di colore (definita dai punti che sono cambiati).

Qualcosa di simile accade con il rivelatore che lavora a partire dal veicolo. La zona è individuata cliccando sull'automobile ed allora, secondo la % del colore presente nella tabella dei punti, il rivelatore segue il veicolo.

In alcuni casi i veicoli che sono più lontani vanno confondendosi ed il programma perde la precisione, per quello questi due tasti, che creano alcuni archivi che memorizzano la posizione dei veicoli, possono essere corretti manualmente (cliccando semplicemente sul punto in cui si trova il pericolo), in maniera da avere la posizione definitiva

### 5.2.5 *Calcolo delle velocità e delle accelerazioni*

Per il calcolo di accelerazioni e di velocità, il software fornisce valori derivati dai valori discreti per ogni frame tramite un'interpolazione spline che è un'approssimazione migliore al valore reale.

L'interpolazione spline è un particolare metodo di interpolazione basato sulle funzioni spline. Una spline è una funzione, costituita da un insieme di polinomi raccordati tra loro, il cui scopo è interpolare in un intervallo un insieme di punti (detti *nodi* della spline), in modo da essere continua (almeno fino ad un dato ordine di derivate) in ogni punto dell'intervallo. A differenza dell'interpolazione polinomiale, che utilizza un unico polinomio per approssimare la funzione su tutto l'intervallo di definizione, l'interpolazione spline è ottenuta suddividendo l'intervallo in più sotto-intervalli ( $I_k=[x_k, x_{k+1}]$  con  $k=1, \dots, N-1$ ) e scegliendo per ciascuno di essi un polinomio di grado piccolo. Verrà poi imposto che due polinomi successivi si saldino in modo liscio, cioè osservando la continuità di qualche derivata. La funzione che si ottiene con un procedimento di questo genere si chiama funzione spline. L'interpolazione lineare, che utilizza una funzione lineare, ossia un polinomio di grado 1, su ogni sotto-intervallo può essere considerata un caso particolare di interpolazione spline.

La funzione interpolante ottenuta con la interpolazione spline, rispetto alla interpolante ottenuta con l'interpolazione lineare, come quella ottenuta con la interpolazione polinomiale, presenta errori inferiori ed è più liscia, nel senso che è la funzione interpolante con curvatura media minima.

Differenze importanti sono state osservate nei valori di accelerazione, mentre sono stati osservati una tendenza d'errore e variazioni di accelerazione fra i punti successivi poco più bassi dei 7.33 ft/s<sup>2</sup> (2.23 m/s<sup>2</sup>), con differenze rispetto ai valori di originale di 18.42 ft/s<sup>2</sup> (5.61 m/s<sup>2</sup>).

### 5.3 Elaborazione dati

Per uniformare la stima PRI, sono stati considerati soltanto i veicoli leggeri. Infatti si è preferito non inserire conflitti con mezzi pesanti, per tenere in conto di particolari condizioni cinematiche del mezzo meccanico.

Anche i motociclisti e i ciclisti vengono esclusi dall'analisi, perché il loro comportamento aggressivo, in corrispondenza di un passaggio pedonale, potrebbe falsare i valori di PRI, come evidenziato in uno studio presentato presso il SIIV 2008 [2].

Infine i dati estratti riguardano una condizione di libera circolazione dei veicoli (veicolo isolato) in presenza di un pedone visibile sul marciapiede, in attesa di attraversare.

Determinati i dati di partenza come visto al paragrafo precedente si è passati alla loro elaborazione.

Avvalendosi, di un foglio di calcolo Excel è stato possibile automatizzare la procedura, inserendo come dati di input tempi e distanze, e ottenendo come dati di output prima, i valori degli indicatori temporali  $TTC_v$ ,  $TTC_p$  e  $T_f$  e le velocità d'impatto del veicolo coinvolto nel conflitto e dopo, l'indicatori di conflitto proposto PRI (Figura 5.8).

DATI																		
f	0.5																	
af	4.9 $m/v_{1,2}$																	
Tr	2 s																	
Vp	1.2 $m/v_1$																	
conflitto1																		
$T_{arr}$	$T_{rel}$		$D_x$	$D_y$	$V[m/sec]$		$TTC_p$	$T_f$	$TTC$		$DT$	$TTC_{(staton)}$	$\Sigma$	$V_0$	$V_{impato}$	Potenza		
4.4	0		-2.1	-29.7							0.00	no						
4.6	0.2		-2	-28.1	8.0		1.67	2.82	3.51		-0.70	0.00	no					
4.8	0.4		-2	-26.4	8.3		1.67	2.84	3.20		-0.36	0.00	no					
5.0	0.6		-2	-24.6	8.5		1.67	2.87	2.89		-0.03	0.00	no					
5.2	0.8		-2	-22.7	9.0		1.67	2.92	2.52		0.40	0.21	0.08	8.5	3.9	6.02		
5.4	1		-2	-20.8	9.3		1.67	2.95	2.23		0.72	0.20	0.14	9.3	8.1	47.92		
5.6	1.2		-2	-19.3	8.8		1.67	2.90	2.18		0.72	0.20	0.14	8.8	7.9	44.44		
5.8	1.4		-2	-17.3	9.0		1.67	2.92	1.92		1.00	0.20	0.20	9.0	9.0	80.69		
6.0	1.6		-2	-15.3	9.2		1.67	2.94	1.67		1.27	0.01	0.01	9.2	9.2	106.40		
6.2	1.8		-2	-14	8.8		1.67	2.90	1.58		-0.08	0.00	no					
6.4	2		-2	-12.3	8.3		1.67	2.85	1.48		-0.19	0.00	no					
6.6	2.2		-1.9	-10.8	7.5		1.58	2.77	1.44		-0.14	0.00	no					
6.8	2.4		-2	-9.4	7.7		1.67	2.78	1.23		-0.44	0.00	no					
7.0	2.6		-1.9	-8.1	7.0		1.58	2.71	1.16		-0.43	0.00	no					
7.2	2.8		-1.9	-6.6	7.0		1.58	2.71	0.94		-0.64	0.00	no					
7.4	3		-2	-4.8	7.7		1.67	2.78	0.63		-1.04	0.00	no					
7.6	3.2		-2	-2.7	9.0		1.67	2.92	0.30		-1.37	0.00	no					
7.8	3.4		-1.9	-1.1	9.2		1.58	2.94	0.12		-1.46	0.00	no					
8.0	3.6		-1.8	0.2	8.3		1.50	2.85	-0.02		-1.52	0.00	no					
												<b>0.82</b>	<b>0.58</b>		<b>9.2</b>	<b>285.47</b>		

Figura 5.8. Foglio di calcolo per l'analisi dei dati

Di seguito si spiegano i vari elementi del foglio

1.  $T_{rel}$ : tempo dall'inizio del conflitto
2.  $D_x$ : posizione trasversale del veicolo relativo alla carreggiata (negativo nei conflitti con dorso prima dell'attraversamento perché nel software di simulazione si è posto il punto zero nel vertice alto del quadrilatero in maniera da avere punto di  $x=0$  in corrispondenza del marciapiede )
3.  $D_y$ : posizione trasversale del veicolo relativamente alla carreggiata ((negativo nei conflitti con dorso prima dell'attraversamento perché nel software di simulazione si è posto il punto zero nel vertice alto del quadrilatero in maniera da avere punto di  $y=0$  in corrispondenza dell'attraversamento )
4.  $V$ : velocità del veicolo all'inizio dello step, calcolata tenendo conto di condizioni di moto uniforme e interpolazione tramite finzione spline
5.  $TTC_p$ = il tempo che occorre perché un pedone che viaggia a 1,2 m/s, raggiunga il punto di conflitto, definito come il punto di coordinate  $y=0$  e  $x=D_x$

$$TTC_{pi} = \frac{D_{xi}}{1.2m/s}$$

6.  $T_f$ = Tempo di frenatura, ovvero il tempo necessario perché il veicolo si fermi completamente assumendo un tempo di reazione  $T_r$  e una decelerazione che per un coefficiente  $f=a/g=0,6$  è pari a  $a_f = -9,81 * f \text{ m/s}^2$ .

$$T_{fi} = T_r + \frac{V_i}{a}$$

7.  $TTC$ : Time To Collision del veicolo calcolato come il tempo che occorre per raggiungere la zona di conflitto, ovvero l'attraversamento pedonale, ipotizzando che il veicolo mantenga costanti la traiettoria e la velocità.

$$TTC_i = \frac{D_{yi}}{V_i}$$

8. DT: Differenza tra il Tf e il TTC( con  $TTC > TTC_p$ ) e tra TTC e  $TTC_p$  (con  $TTC < TTC_p$ )

9.  $TTZ_{duration}$  : Individua il tempo durante il quale un potenziale pedone che utilizza l'attraversamento con una velocità media di 1,2 m/s , si trova esposto al pericolo di un incidente, dovuto alla presenza del veicolo analizzato.

10.  $\Sigma$  = è la sommatoria dell'aree comprese tra Tf e TTC, nei punti in cui risulta calcolabile la  $TTZ_{duration}$  .Viene calcolata come  $DT \times TTZ_{duration}$  i (ovvero il contributo di  $TTZ_{duration}$  per ogni step che può essere pari a 0,2 nei punti interni del range di definizione del  $TTZ_{duration}$  o  $<0,2$  nei punti estremi calcolato per interpolazione) e ci da quindi un primo peso sulla gravità.

11.  $V_0$ : Velocità iniziale per il calcolo della velocità di impatto all'interno del range di definizione della  $TTZ_{duration}$ .

12.  $V_{impatto}$ : Velocità del veicolo nel punto di conflitto tenendo conto di una decelerazione  $a = -5,3 \text{ m/s}^2$  . Si è calcolata questa velocità tenendo conto di condizione di moto uniformemente accelerato utilizzando formule dipendenti esclusivamente da spazio e decelerazione.

$$v^2 = v_0^2 + 2a \cdot D_y$$

In questa velocità si è tenuto conto dello spazio percorso nel tempo in cui l'utente reagisce. La formula viene modificata come segue:

$$v^2 = v_0^2 + 2a \cdot (D_y - T_r \cdot V_0)$$



13. PRI: formulazione dell'indicatore relativa alla velocità e alla differenza tra TTC e Tf ( $\Delta T$ ), in maniera da pesare le conseguenze e la gravità.

$$PRI = f(V_{impact}) \cdot \Delta T$$

## **Bibliografia**

- [1] Cafiso S., La Cava G., Montella A., Pappalardo G.. “Una procedura per il miglioramento dell’efficacia e dell’affidabilità delle ispezioni di sicurezza delle strade esistenti”. XXV Convegno Nazionale Stradale dell’Associazione Mondiale della Strada Comitato Nazionale Italiano, Napoli, 2006.
- [2] Cafiso, S., A. Montella, F. Mauriello,G. Pappalardo e. Cavarra R.. “Valutazione dei fattori di rischio degli attraversamenti pedonali mediante analisi di sicurezza e analisi dei conflitti. Atti del 17° Convegno SIIV ,Enna, IT, 2008.
- [3] Ministero LL.PP. “Circolare n.3699: Linee guida per le analisi di sicurezza delle strade”.Ispettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale, 2001.
- [4] ARPAV. “Campagna di rilevamento della qualità dell’aria nel comune di San Vendemiano”, Dipartimento provinciale di Treviso , 2002.
- [5] Zegeer, C., Stewart, J., e Huang, H. “Safety Effects of Marked vs. Unmarked Crosswalks at Uncontrolled Locations”, Report No. FHWA-RD-01-142, Federal Highway Administration, McLean, VA, 2001.
- [6] Zegeer, C.V., Opiela, K.S. e Cynecki, M.J., “Pedestrian Signalization Alternatives”, Report No. FHWA-RD-83-102, Federal Highway Administration, Washington, DC, 1985.
- [7] Romero, M. e García A. “Deceleration Lane Length Evaluation Based on a New Conflict Indicator”, Presentato al IV International Symposium on Highway Geometric Design, Valencia, Spagna, 2010.

## CAPITOLO 6

### CALIBRAZIONE DEL PEDESTRIAN RISK INDEX

#### **Premessa**

Il capitolo 5 ha offerto una trattazione concettuale dell'indicatore di rischio proposto.

In esso si sono fatte delle ipotesi qualitative, relative a fattori fisici influenzanti il comportamento del conducente dei veicoli, ma si è lasciato in sospeso la completa formulazione degli stessi.

Al fine di approfondire calibrare ed affinare il modello proposto, in maniera da scegliere la formulazione quanto più adeguata possibile, si è scelto di operare su un campione di riferimento che possa fornire supporto allo studio dei differenti parametri.

Perché la calibrazione sia legata alle condizioni di sicurezza, si è effettuato uno studio sui dati degli incidenti, considerati tradizionalmente come misure di rischio incidentale.

Sono stati acquisiti dati provenienti da diversi attraversamenti ubicati nella città di Catania e di Biancavilla (provincia di CT), ponendo particolare attenzione nella scelta degli stessi, in maniera da considerare siti di diversa pericolosità. Sono stati attenzionati 15 attraversamenti che hanno registrato almeno un incidente negli ultimi 5 anni e 8 attraversamenti pedonali che non presentano alcun incidente e che sono situati lungo gli stessi tronchi di strada e con configurazioni analoghe a quelli con incidente.

In tale maniera si vuole accentuare l'efficacia e l'affidabilità dell'indicatore nell'evidenziare specifici problemi di sicurezza.

Naturalmente l'autore è consapevole che, soprattutto nel caso di incidenti pedonali, dove i numeri sono molto bassi, l'avvenimento dell'evento critico per la sicurezza può essere dovuto ad un fattore di casualità, piuttosto che ad effettive carenze nella configurazione dell'attraversamento o a comportamenti sbagliati e consueti degli utenti coinvolti nel conflitto. Ciò è anche evidenziato dal fatto che non sono stati trovati siti che nel periodo di riferimento di 5 anni avessero registrato più di 1 incidente. Ulteriore elemento di incertezza in questo tipo di analisi è legato alla ben nota difficoltà di valutazione del traffico pedonale.

Si è utilizzata l'approccio metodologico proposto dall'Highway Safety Manual [1] per valutare correttamente il numero di incidenti, combinando osservazioni reali e valutazioni

provenienti da un modello previsionale del traffico (Safety Performance Function) di formulazione generale.

## 6.1 Campione di calibrazione

Per un corretto studio sugli incidenti stradali, è importante analizzare preliminarmente l'influenza delle caratteristiche e delle forme dello spazio urbano, quali, ad esempio, la configurazione delle infrastrutture, degli spazi pubblici, la morfologia della rete viaria e della città, e degli usi che ne derivano, sui fenomeni di insicurezza stradale.

La scelta dei siti per la calibrazione si è sviluppata inizialmente sull'analisi degli incidenti da opportune fonti informative, quindi a seguito di ipotesi fatte ad hoc per il caso in studio, si è scelto un campione di siti con caratteristiche omogenee. È stata effettuata un'ulteriore selezione, scartando i siti posti su tronchi di strada a senso unico o a più di una corsia per senso di marcia.

La motivazione di tale ipotesi è da ricercarsi nella difficoltà di modellazione del comportamento del pedone che tali configurazioni determinano. Infatti le strade a senso unico vedono un atteggiamento più aggressivo del pedone che deve concentrarsi su un solo senso del flusso veicolare. D'altra parte le strade a più di una corsia per senso di marcia, presentando un attraversamento più lungo espongono maggiormente al rischio di incidente il pedone che perde in sicurezza e confidenza, non considerando che una tale configurazione può permettere un atteggiamento aggressivo del guidatore consapevole del fatto che in determinate condizioni vi è la possibilità di schivare semplicemente il pedone.

### 6.1.1 Analisi dei dati sugli incidenti

Prima di presentare i risultati ottenuti e per capire quale sia l'oggetto di questo studio, è indispensabile definire che per incidente stradale si intende un: "evento nel quale risulti coinvolto almeno un veicolo in movimento che sulla sede stradale sia venuto in collisione con altro veicolo, persona, animale o ostacolo".

Tuttavia è possibile perseguire altre strade dalle quali attingere dati relativi ad incidenti che superano l'ostacolo della diretta osservazione.

Queste sono ad esempio:

- Le forze di polizia che presentano dei verbali statistici di ogni incidente che perviene alla loro attenzione

- Le forze di polizia che compiono delle indagini speciali su ogni incidente con il proposito di accertare o meno responsabilità degli utenti coinvolti; la consultazione di questo materiale non è di pubblico dominio, ma per fini di ricerca è possibile esaminarli.
- Gli ospedali che però, spesso, sono provvisti di registri statistici dai quali si può risalire al numero di persone accompagnate all'ospedale per ferite causate da incidenti stradali
- Le compagnie di assicurazioni possiedono statistiche su tutti i casi rilevati

Le informazioni sopra viste vengono prese ed elaborate da ognuno di questi enti ( polizia, ospedale, ecc.) per motivi differenti da quelli che noi ci siamo prefissati.

Infine l'ISTAT (l'istituto italiano di statistica) fornisce un'elaborazione statistica di tipo descrittivo dei diversi dati raccolti dalle fonti elencate in precedenza.

Nel presente lavoro la fonte di dati utilizzata sono state le statistiche ISTAT 2008 [2] [1] sugli incidenti stradali.

Il foglio ISTAT analizzato presenta diverse informazioni, non tutte utili allo studio in oggetto.

Le informazioni principali, tra le tante riportate (Figura 6.1), che possono essere estratte sono:

1. L'anno, il mese, il giorno e l'ora in cui è avvenuto l'incidente: permette di individuare con certezza il periodo di studio, evidenziando alcune caratteristiche, come ad es. la corretta definizione di incidente diurno o notturno;
2. Il comune: naturalmente l'analisi ha riguardato realtà prossime all'autore e di cui si hanno esperienze di studio (come accennato sopra Catania e Biancavilla);
3. La localizzazione: se l'incidente è accaduto su strada urbana o extraurbana. Nel caso in esame il filtro è stato impostato su strade interne alla città dove verosimilmente la promiscuità di flussi pedonali e veicolari può determinare incidenti;
4. Intersezione o non Intersezione: utile per comprendere l'elemento geometrico sul quale si è svolto l'incidente. Si sono considerati attraversamenti non semaforizzati;
5. La natura dell'incidente: il filtro è stato ovviamente impostato su "investimento pedone";
6. Veicolo A: circostanze dell'incidente: si valutano i comportamenti imputabili al veicolo A (il veicolo a motore);

7. Veicolo A: circostanze dell'incidente: nel caso in esame l'eventuale azione sbagliata del pedone;
8. Pedone Ferito: il numero di pedoni feriti coinvolti;
9. Pedone Ferito: il numero di pedoni morti coinvolti, questi ultimi dati combinati possono dare una prima stima della gravità;

1	A	B	D	K	Q	U	AE	AH	DZ	EA
anno	mese	comune	localizzazi	intersezione o non i	natura incidente	veicolo 'a' - circostanze incident	veicolo 'b' - circostanze incidente: inconvi	pedone fe	pedone mort	
10	3	9 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	61		
11	3	10 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	54		
12	3	6 Catania	Strada urbana	Intersezione non segnalata	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	69		
13	3	5 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	67		
14	3	11 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	79		
15	3	12 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	78		
16	3	3 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	45		
17	3	7 Catania	Strada urbana	Incrocio	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	75		
18	3	3 Catania	Strada urbana	Incrocio	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	69		
19	3	1 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Sorpassava un veicolo fermatosi per conse	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	53		
20	3	2 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	81		
21	3	10 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	30		
22	3	2 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Sorpassava un veicolo fermatosi per conse	Sorpassava un veicolo fermatosi per consentire l'attrav	81		
23	3	8 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	42		
24	3	1 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Sorpassava un veicolo fermatosi per conse	Sorpassava un veicolo fermatosi per consentire l'attrav	85		
25	3	12 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Superava irregolarmente un tram fermo per	Non dava la precedenza al pedone sugli apposti attrave	61		
26	3	12 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	53		
27	3	2 Catania	Strada urbana	Intersezione con semaforo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	86		
28	3	10 Catania	Strada urbana	Incrocio	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	55		
29	3	4 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	60		
30	3	3 Catania	Strada urbana	Intersezione con semaforo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	62		
31	3	2 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	33		
32	3	5 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	70		
33	3	6 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	29		
34	3	6 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	38		
35	3	11 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	65		
36	3	9 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Sorpassava un veicolo fermatosi per conse	// Attraversava la strada irregolarmente	48		
37	3	9 Catania	Strada urbana	Incrocio	Investimento di pedone	Superava irregolarmente un tram fermo per	// Attraversava la strada irregolarmente	21		
38	3	9 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	47		
39	3	5 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	47		
40	3	1 Catania	Strada urbana	Incrocio	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	68		
41	3	6 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	68		
42	3	5 Catania	Strada urbana	Incrocio	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	72		
43	3	3 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	81		
44	3	2 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	67		
45	3	6 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	36		
46	3	2 Catania	Strada urbana	Intersezione con semaforo	Investimento di pedone	Sorpassava un veicolo fermatosi per conse	// Attraversava la strada irregolarmente	48		
47	3	10 Catania	Strada urbana	Rettilineo	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaggio pedonale nor	80		
48	3	7 Catania	Strada urbana	Incrocio	Investimento di pedone	Non dava la precedenza al pedone sugli app	// Attraversava la strada ad un passaaqio pedonale nor	71		

Figura 6.1. Foglio ISTAT utilizzato nell'analisi di incidente[1]

Una volta selezionati gli incidenti con le caratteristiche sopra elencate, si è provveduto un'analisi cartografica della ripartizione spaziale degli incidenti.

### 6.1.2 Selezione dei siti

Dalle considerazioni fatte sono stati selezionati 23 siti aventi le seguenti caratteristiche:

- ✓ 19 attraversamenti sono localizzati nel Comune di Catania;
- ✓ i rimanenti 4 sono localizzati nel Comune di Biancavilla;

- ✓ 13 attraversamenti tra quelli siti in Catania hanno riportato almeno un incidente negli ultimi cinque anni rilevati dall'ISTAT;
- ✓ Gli altri 6 attraversamenti del Comune di Catania non presentano incidenti in cinque anni e sono situati lungo gli stessi tronchi di strada e con configurazioni analoghe a quelli con incidente;
- ✓ I 4 attraversamenti di Biancavilla si ripartiscono analogamente ai precedenti con due attraversamenti con e due senza incidente, considerando un periodo di studio degli ultimi cinque anni in cui si hanno statistiche.

Al fine di valutare, come fatto più avanti, un fattore di esposizione legato ai flussi, si sono effettuati in contemporanea i rilievi di traffico.

Come definito nel capitolo riguardante la metodologia, il rilievo di flusso è stato effettuato lungo tre ore, due di punta (8,00-9,00 e 13,00-14,00) e una di morbida (10,00-11,00).

Ai fini della ricerca si sono considerate solo i veicoli leggeri a motore, escludendo mezzi pesanti, motociclisti e ciclisti in condizione di libera circolazione dei veicoli (veicolo isolato) in presenza di un pedone visibile sul marciapiede, in attesa di attraversare.

Di seguito si esegue un'elencazione dei siti del campione con indicazione cartografica degli stessi.

#### 6.1.2.1 Attraversamenti Catania

Di seguito si esegue un'elencazione dei siti del campione siti nel Comune di Catania con indicazione cartografica degli stessi. Per ognuno di essi è stata effettuata anche una safety review con le modalità descritte nel capitolo precedente.

Per maggiore leggibilità, la localizzazione degli attraversamenti è stata divisa secondo tre zone della città: nord, centro, e sud-ovest (Figura 6.1).



Figura 6.2. Rappresentazione delle zone in cui sono localizzati i siti del campione

Nelle figure che seguono si indicheranno i siti secondo l'ID assegnato loro in precedenza.

I siti che vanno che hanno ID che va da 1 a 13 sono attraversamenti che hanno riportato un incidente, mentre i restanti 6 sono siti senza alcun sinistro (Figura 6.3, Figura 6.4 e Figura 6.5).



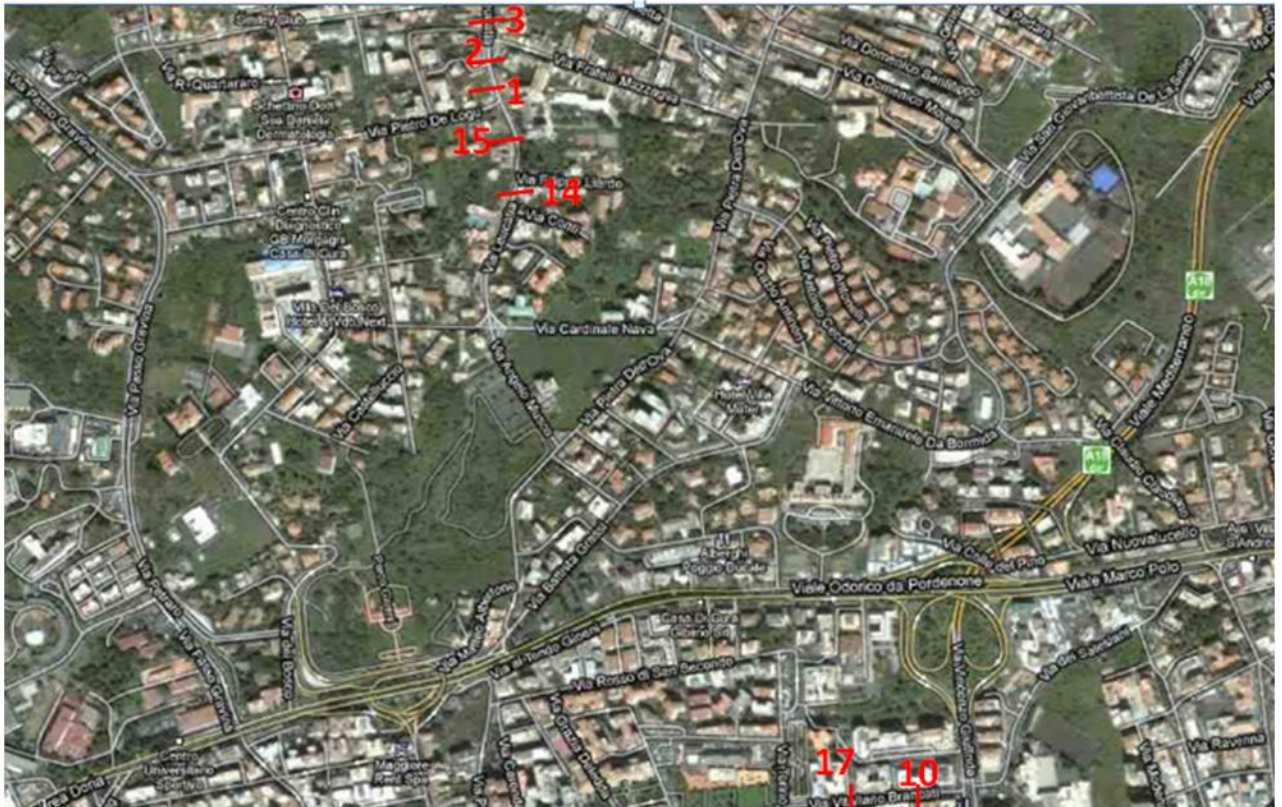


Figura 6.3. Localizzazione siti nella zona nord di Catania



Figura 6.4. Localizzazione siti nella zona centrale di Catania



Figura 6.5. Localizzazione siti nella zona sud-ovest di Catania

Tabella 6.1. : Attraversamenti selezionati nel comune di Catania

ID	Attraversamento	Num Incidenti	IR (Safety Review)	Cat. (Safety Review)
1	VIA LEUCATIA 70	1	14,05	B
2	VIA LEUCATIA 113	1	37,31	C
3	VIA LEUCATIA 125	1	58,05	D
4	C.SO INDIPENDENZA-VIA QUERIN	1	29,47	C
5	CORSO INDIPENDENZA,21	1	29,78	C
6	C.SO INDIPENDENZA 18	1	29,59	C
7	VIA SELVOSA - VIA MENOTTI	1	16,31	B
8	VIA A. CARACCIOLO 76	1	22,22	B
9	VIA A CARACCIOLO 17	1	30,64	C
10	VIA VITALIANO BRANCATI,11	1	30,64	C
11	VIA R. IMBRIANI VIA CANFORA	1	32,35	C
12	VIA LAVAGGI 25	1	26,36	C
13	VIA F FILZI 51	1	32,10	C
14	VIA LEUCATIA 38	0	18,52	B
15	VIA LEUCATIA 48	0	39,29	C
16	VIA A. CARACCIOLO 59	0	38,14	C
17	VIA VITALIANO BRANCATI,14	0	31,21	C
18	CORSO INDIPENDENZA,75	0	31,41	C
19	CORSO INDIPENDENZA,79	0	29,10	C

#### 6.1.2.2 Attraversamenti Biancavilla

Come fatto in precedenza, di seguito sono riportati i siti individuati nella città di Biancavilla, completi di valutazione a seguito di safety review (Figura 6.6).



Figura 6.6. Localizzazione siti di Biancavilla

Tabella 6.2. : Attraversamenti selezionati nel comune di Biancavilla

ID	Attraversamento	Numero Incidenti	IR (Safety Review)	Cat. (Safety Review)
20	VIA COLOMBO-VIA GRAMSCI	1	47,24	D
21	VIA DEI FIORI-VIA DEI GERANI	1	44,98	D
22	VIA COLOMBO-VIA D'ANNUNZIO	0	33,51	C
23	VIA DEI FIORI-VIA DELLE PRIMULE	0	42,17	D

## 6.2 Metodologia predittiva proposta dall'HSM

L'HSM fornisce un metodo predittivo per stimare la frequenza degli incidenti di una rete o un singolo sito [1]. La stima può essere utilizzata per condizioni esistenti, per interventi proposti o per nuove opere.

Il metodo fornisce una misura quantitativa della frequenza degli incidenti attesi, permettendo di valutare altri aspetti come le esigenze della comunità, la capacità, i tempi, i costi e le considerazioni ambientali.

Il metodo predittivo suddivide la rete in differenti siti, siano esse intersezioni o tronchi stradali, e utilizza la stima fatta per il campione, per individuare la frequenza di incidenti prevista per un singolo sito.

La stima è operata per un determinato periodo di tempo (di solito definito in anni) durante il quale la configurazione dei siti è rimasta invariata e il TGM è noto o misurabile.

Il risultato di tale metodo,  $N_{\text{expected}}$ , ovvero la frequenza di incidenti attesa, si basa su una combinazione della frequenza osservata,  $N_{\text{observed}}$ , e quella prevista,  $N_{\text{predicted}}$ .

La metodologia si basa su modelli di regressione sviluppati a partire dai dati di incidenti osservati, mentre la frequenza di incidenti prevista è stimata sulla base modelli predittivi funzione della geometria, delle caratteristiche di controllo del traffico, dei volumi di traffico o altre caratteristiche del sito in esame.

Si tratta di una stima di frequenza a lungo termine che in un campo di osservazioni raramente risulta possibile. Inoltre la fluttuazione casuale della frequenza degli incidenti osservati su brevi periodi, potrebbe falsare la stima e creare problemi associati alla regressione alla media.

Nel HSM, sono stati sviluppati modelli di regressione, le Safety Performance Funzioni (SPF), per i tipi di siti specifici e "condizioni di base".

### 6.2.1 Safety Performance Function (SPF)

I modelli previsionali d'incidentalità (conosciuti come Safety Performance Functions) vengono ormai da anni impiegati nelle valutazioni di sicurezza.

Si tratta di un differente approccio, che può essere applicato nell'adeguamento delle reti stradali, inteso anche come miglioramento delle condizioni di sicurezza.

Le SPF effettuano una correlazione tra il numero di incidenti e i parametri geometrici e funzionali delle strade, classificando i diversi siti a seconda della loro pericolosità e stimando in termini numerici i benefici, intesi come riduzione del numero e della gravità degli incidenti, che i differenti

interventi possibili possono apportare.

L'applicazione della metodologia richiede la suddivisione dell'infrastruttura in unità di analisi che consistono in segmenti di strada omogenei (rispetto al traffico, alle caratteristiche di piattaforma, alla curvatura, alla pendenza ed alle condizioni ai bordi) e nelle intersezioni. Una

stima attendibile degli effetti dei parametri di traffico sull'incidentalità richiede inoltre accurati rilievi dei flussi di traffico durante il periodo di analisi .

I modelli SPF proposti dall'HSM sono basati sulla distribuzione binomiale negativa, che risulta più adatti a modellare l'elevata variabilità dei dati di incidente rispetto alle tecniche di modellazione tradizionale, basate sulla distribuzione normale.

I risultati saranno correlati alle caratteristiche geometriche di piattaforma e di tracciato (larghezza corsia, larghezza e tipologia di banchina, curvatura orizzontale e pendenza), al momento di traffico (veic x Km all'anno), alle condizioni ai margini della strada (sistemazione dei margini, densità degli accessi).

L'espressione generale di una SPF per un tratto stradale è la seguente:

$$\text{Incidenti all'anno} = \exp(\alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_n x_n)$$

dove:

$x_1, \dots, x_n$  = varibili geometriche o di traffico (ad esempio TGM oppure la larghezza della carreggiata).

$\alpha$  e  $\beta_1, \dots, \beta_n$  = coefficienti stimati da processi di calibrazione su campioni

Oltre alla forma funzionale ed i coefficienti della equazione di regressione, nello sviluppo di una SPF si dovrà specificare anche il valore di K, un parametro di sovradisersione (overdispersion parameter) stimato durante la calibrazione del modello. I coefficienti di regressione e il parametro di sovra-dispersione sono essenziali per i calcoli di screening della rete [3].

Il modello generale proposto dall'HSM per predire il numero di incidenti di un tratto omogeneo è così strutturato:

$$N_{rs} = N_{br} \cdot C_r \cdot AMF_{1r} \cdot AMF_{2r} \cdot \dots \cdot AMF_{nr}$$

in cui  $N_{rs}$  è il numero previsto,  $N_{br}$  è il numero annuo di incidenti previsto nelle condizioni nominali,  $C_r$  è il fattore di calibrazione e  $AMF_{ir}$  sono i fattori di modifica dell'incidente (*Accident Modification Factor*) i quali consentono di tenere conto degli scostamenti delle caratteristiche effettive del tronco omogeneo rispetto alle condizioni nominali o di base.

Una grande importanza assume il fattore di calibrazione Cr che necessita di opportuna quantificazione al fine di poter adattare il modello predittivo a situazioni diverse rispetto a quelle sulle quali è stato tarato.

Secondo quanto proposto dall'HSM le differenze presenti tra le condizioni di base e quelle locali del sito in studio, sono rappresentate dal Cr secondo la formulazione seguente:

$$Cr = \frac{\sum N_{os}}{\sum N_{pred}}$$

dove:

$N_{pred}$ : n. di incidenti da modello;

$N_{os}$ : n. di incidenti rilevati;

Ci sono infatti alcuni fattori non direttamente considerati nella metodologia di previsione della sicurezza come le differenze climatiche, la popolazione di autisti e scopi del viaggio, il valore del danno materiale minimo che richiede la registrazione dell'incidente, le modalità di investigazione di incidenti. La procedura di calibrazione è concepita proprio per prendere in considerazione queste differenze e offrire previsioni di incidenti che sono comparabili alle stime che gli enti proprietari o gestori della strada vorrebbero ottenere dai propri sistemi di registrazione degli incidenti. In estrema sintesi, la procedura di calibrazione prevede i seguenti passi (Figura 6.7):

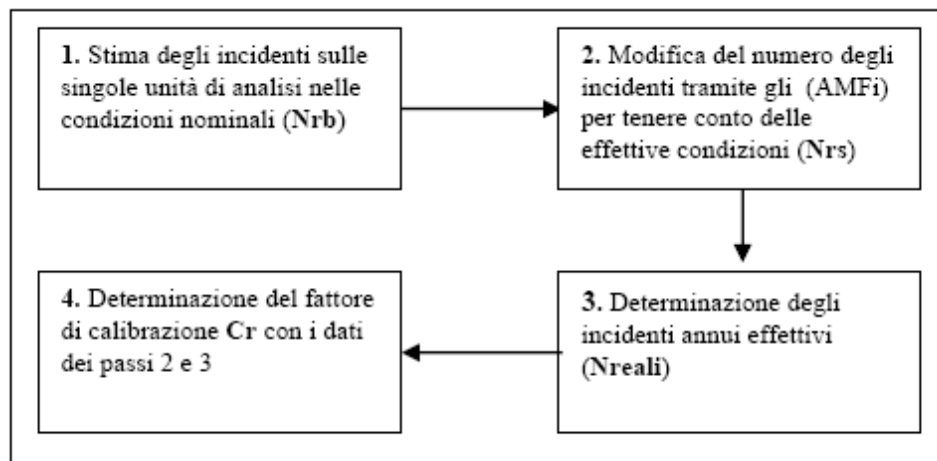


Figura 6.7. Procedura di calibrazione di una Safety Performance Function

Ai fini della presente ricerca è necessario adoperare un modello di stima dell'incidentalità pedonale in grado sia di fornire una stima ponderata della frequenza di incidentalità media attesa, sia di tener conto delle principali caratteristiche geometrico-funzionali che potenzialmente influiscono sul livello di sicurezza dei siti.

Il modello suggerito dall'HSM [1] nel caso di incidenti all'interno del contesto urbano include gli incidenti con pedoni e ciclisti come mostrato dalla seguente equazione:

$$N_{predicted} = C_r \times (N_{br} + N_{pedr} + N_{biker})$$

dove:

$C_r$ : coefficiente di calibrazione;

$N_{br}$ : numero incidenti tra veicoli previsto in condizioni nominali;

$N_{pedr}$ : numero di incidenti che coinvolgono pedoni;

$N_{biker}$ : numero di incidenti che coinvolgono ciclisti.

L' $N_{pedr}$ , che è il valore che deve essere indagato, viene calcolato come una percentuale del numero di incidenti tra veicoli che varia a secondo della configurazione del sito e i limiti di velocità, ovvero:

$$N_{pedr} = N_{br} \times f_{pedr}$$

dove  $f_{pedr}$  è un fattore di aggiustamento per gli incidenti pedonali

Tabella 6.3. : Valori dei  $f_{pedr}$

Tipo di strada	Fattore di modificazione $f_{pedr}$	
	$\geq 30$ mph (~ 50 km/h)	$< 30$ mph (~ 50 km/h)
2U	0,036	0,005
3T	0,041	0,013
4U	0,022	0,009
4D	0,067	0,019
5T	0,030	0,023

2U: strada a carreggiata unica e due corsie; 3T: strada a carreggiata unica e due corsie + una per la svolta a sx; 4U: strada a carreggiata unica e quattro corsie; 4D: strada a carreggiate separate e quattro corsie; 5T: ; strada a carreggiate separate e cinque corsie inclusa una per la svolta a sx

Modello HSM incidenti pedoni



Come tutti i modelli sviluppati per una specifica realtà, essa presenta un'evidente difficoltà nell'adattamento a realtà diverse.

Lo stesso HSM incoraggia gli utenti a sostituire i valori del parametro sopra riportato con altri provenienti da studi in situ o da processi di calibrazione.

Quindi, in mancanza di un adeguato modello HSM per l'incidentalità pedonale e vista la mancanza di un modello basato su dati italiani, che descrivesse l'incidentalità pedonale su attraversamenti non semaforizzati e che si svincolasse dalla semplice relazione con il TGM, ma considerasse anche elementi geometrici del sito, si è optato per un modello sviluppato negli USA dalla FHWA (Federal Highway Administration) [4].

Si tratta di uno studio che ha interessato 1000 attraversamenti non semaforizzati con strisce pedonali e 1000 senza la segnaletica orizzontale. Sono state raccolte informazioni dettagliate per ciascuno dei 2.000 siti, in merito all'analisi storica degli incidenti pedonali (in media 5 anni per ogni sito), al volume pedonale e veicolare, al numero di corsie, al tipo di zona, al tipo di attraversamento pedonale, al posizionamento nella rete (tronco stradale o intersezione) e di altre caratteristiche del sito.

A causa di un numero relativamente basso di incidenti pedonali in un determinato sito, sono stati adottati modelli di Poisson e di regressione binomiale negativa per analizzare i dati. Queste tecniche di analisi hanno permesso la determinazione dei rapporti di sicurezza statisticamente validi.

Nell'analisi dei diversi fattori che influenzano la sicurezza pedonale, si sono compiuti confronti tra coppie di attraversamento, uno segnalato e uno privo di strisce, in maniera da individuare quali elementi attenzionare e quali trascurare. Si sono evidenziate sostanziali differenze tra i volumi pedonali tra le due tipologie di attraversamenti, rafforzando la convinzione che tali flussi debbano trovare spazio nella formulazione della SPF.

Per indagare il rapporto tra il numero di incidenti previsti e altri fattori o combinazioni degli stessi, sono stati studiati interpolazioni con modelli di regressione lineare generalizzate per valutare l'influenza di tali variabili.

Si sono considerate, come variabili, i flussi pedonali e veicolari, due fattori legati alla configurazione del sito, ovvero ad una carreggiata fino a due corsie convenzionali (L2) o costituita da tre quattro corsie (L4), la presenza di spartitraffico centrale e l'area geografica.

Per quel che riguarda gli attraversamenti pedonali con strisce, lo studio mostra che gli incidenti crescono con una certa significatività con l'aumento dei flussi pedonali e veicolari, con quest'ultimo maggiormente vincolante. Inoltre si è individuata una significatività marginale per

la variabile legata ad una larghezza della carreggiata pari a due corsie convenzionali (L2), mentre nessuna relazione affidabile viene riscontrata nel caso di tre o quattro corsie (L4).

Alcuni modelli preliminari hanno indicato che la presenza di spartitraffico centrale determinava risultati leggermente migliori (con tassi di incidente più bassi) rispetto alle strisce pedonali che ne erano sprovviste, mentre risultava significativa l'influenza di corsie dedicate alla svolta a sinistra. In realtà con l'introduzione delle variabili regionali, l'effetto delle corsie di sinistra è venuto meno rafforzando invece la significatività dello spartitraffico centrale. In particolare la variabile regionale in questione è quella che contrappone l'est all'ovest degli USA. Per adattarlo al caso in esame, questa variabile regionale è stata considerata con il valore massimo che possa assumere andando a favore di sicurezza.

Si è infine giunti ad una formulazione della Safety Performance Function che è di seguito riportata:

$$E(tnc) = n \times e^{\beta_0} (TGM_p)^{\beta_1} (TGM_v)^{\beta_2} e^{\beta_3 L_2} e^{\beta_4 W}$$

dove:

n: anni considerati nella stima;

TGM<sub>p</sub>= traffico giornaliero medio pedonale;

TGM<sub>v</sub>= traffico giornaliero medio veicolare;

L2= variabile che assume valore 1 se la strada è larga meno di due corsie (~8 m) e 0 in caso contrario;

W= variabile relativa all'area geografica, assunta pari a 1 (valore massimo) per porsi in sicurezza.

β<sub>i</sub>: parametri del modello che assumono i valori riportati nella tabella seguente:

Tabella 6.4. : Valori dei parametri del modello

Parametri	Valore	Dev. St.	Livelo di conf del 95%	Variabile p
β <sub>0</sub> (Intercetta)	-15,09	1,65	(-11,83 ÷ -11,86)	<0,0001
β <sub>1</sub> (log TGM <sub>p</sub> )	0,33	0,05	(0,2 ÷ 0,45)	<0,0001
β <sub>2</sub> (log TGM <sub>v</sub> )	0,99	0,17	(0,65 ÷ 1,19)	<0,0001
β <sub>3</sub> (due corsie)	-0,68	0,26	(-1,19 ÷ -0,18)	0,0074
β <sub>4</sub> (spartitraffico rialzato)	-0,58	0,27	(-1,12 ÷ -0,04)	0,0338
β <sub>5</sub> (fattore regionale)	0,77	0,19	(0,40 ÷ 1,14)	<0,0001
k (sovradisersione)	0,68	0,41	(0,44 ÷ 1,18)	.....

### 6.2.2 *Correzione Empirico Bayesiana (EB)*

Una volta stimato il numero di incidenti previsti e osservato il numero di quelli occorsi, è necessario considerare quei fenomeni, quali la “regressione alla media” e/o la “migrazione”, che sono connessi alla caratteristica “fluttuazione spazio-temporale” del dato di incidentalità

A questo scopo si è optato per una correzione tramite stima Empirica Bayesiana(EB) del dato di incidente.

Quando integrati in una procedura di stima empirico-bayesiana, i modelli previsionali d’incidentalità concorrono alla correzione della distorsione dovuta alla regressione verso la media ed all’accrescimento della precisione della stima.

Il metodo EB rappresenta la struttura teorica fondamentale per correlare le informazioni sui dati di incidentalità pregressa alla conoscenza sulla sicurezza di elementi infrastrutturali simili a quelli da esaminare; ciò è reso possibile attraverso l’impiego delle Safety Performance Functions (SPFs).

I principali vantaggi attribuibili al metodo EB, come descritti da Hauer [5], sono riconducibili alla correzione del fenomeno della regressione alla media ed all’aumento di precisione nella stima.

Entrambi i due aspetti influenzano positivamente l’affidabilità complessiva della stima, di particolare interesse sia quando devono essere effettuate decisioni in merito a scelte progettuali con ricadute sulla sicurezza, sia pure quando si presenta la necessità di valutare in modo accurato gli effetti reali di un determinato intervento migliorativo.

Relativamente alla precisione della stima, può farsi notare che la varianza stimata con il metodo EB non è mai superiore alla varianza stimata solamente in base ai dati di incidenti ed è generalmente minore di quest’ultima. Stime più accurate ottenute con il metodo EB sono riconducibili principalmente all’efficienza delle stime con SPFs, che a loro volta dipendono dall’accuratezza dell’analisi di regressione dei dati di incidentalità utilizzati nei modelli previsionali

Il metodo EB per un singolo sito utilizza come fattore di ponderazione la variabile  $w$ , strettamente dipendente dal parametro di sovradisersione della SPF, la cui conoscenza è requisito base per l’applicazione della correzione empirico bayesiana.

La formulazione dell’EB è la seguente:

$$N_{expected} = w \times N_{predicted} + (1 - w) \times N_{observed}$$

$$w = \frac{1}{1 + k \times (\sum_{years} [N_{predicted}])^2}$$

dove

k: parametro di dispersione del modello di stima dell'incidentalità proposto prima;

$N_{predicted}$ : n. di incidenti da modello;

$N_{observed}$ : n. di incidenti rilevati;

$N_{expected}$ : n. di incidenti da stima bayesiana.

Quindi se il valore del parametro di sovradisersione è alto, il fattore di rettifica  $w$  diminuisce, e viene data più enfasi sul dato osservato piuttosto che sulle previsioni della SPF. Infatti quando i dati utilizzati per sviluppare un modello sono molto dispersi, la precisione della SPF saranno probabilmente più bassi, e in questo caso, è ragionevole dare meno peso alla stima prevista e una maggiore importanza alla frequenza osservata. D'altra parte, quando i dati utilizzati per sviluppare un modello hanno piccole dispersioni, l'affidabilità del risultato è probabilmente più alto e il fattore di ponderazione sposta il peso sui valori predetti.

### 6.2.3 *Analisi dei risultati*

Per ogni sito si sono evidenziati i diversi elementi che fanno parte della SPF, trovando così il numero previsto di incidenti. A questa si è operata una correzione tramite il coefficiente di calibrazione definito in accordo alla procedura HSM, per ottenere i valori previsti adattati alla realtà in esame. Infine, una volta calcolato il parametro di ponderazione  $w$  del metodo EB, per ogni sito, si è ottenuto il valore di incidenti aspettati, ottenendo un valore di frequenza degli incidenti che risulta più affidabile e che verrà utilizzato nelle successive analisi (Figura 6.8).

Pedestrian Crosswalk	Reale	SPF						Calibration	Correction	EB		
	N <sub>observed</sub>	ADT <sub>v</sub>	ADT <sub>ped</sub>	L <sub>2</sub>	M <sub>raised</sub>	west	N <sub>predicted(5years)</sub>	C'=ΣN <sub>ob</sub> /ΣN <sub>pred</sub>	C'xN <sub>predicted</sub>	w	N <sub>expected</sub>	
VIA LEUCATIA 70	1	19362	336	0	0	1	0,36	2,48	0,89	0,62	0,93	
VIA LEUCATIA 113	1	22969	800	0	0	1	0,57		1,41	0,51	1,21	
VIA LEUCATIA 125	1	20498	704	0	0	1	0,49		1,21	0,55	1,11	
C.SO INDIPENDENZA-VIA QUERIN	1	15505	448	0	0	1	0,32		0,79	0,65	0,86	
CORSO INDIPENDENZA,21	1	15941	624	0	0	1	0,37		0,91	0,62	0,94	
C.SO INDIPENDENZA 18	1	15505	448	0	0	1	0,32		0,79	0,65	0,86	
VIA SELVOSA - VIA MENOTTI	1	14378	160	1	0	1	0,11		0,26	0,85	0,38	
VIA A. CARACCILO 17	1	10455	272	1	0	1	0,09		0,23	0,87	0,33	
VIA A. CARACCILO 76	1	10787	352	1	0	1	0,10		0,26	0,85	0,37	
VIA VITALIANO BRANCATI,11	1	11017	544	0	0	1	0,24		0,60	0,71	0,72	
VIA R. IMBRIANI VIA CANFORA	1	14032	848	0	0	1	0,36		0,88	0,63	0,93	
VIA LAVAGGI 25	1	11247	1360	1	0	1	0,17		0,42	0,78	0,55	
VIA F FILZI 51	1	11931	992	0	0	1	0,32		0,79	0,65	0,86	
VIA COLOMBO-GRAMSCI (BIANCAVILLA)	1	13028	656	1	0	1	0,15		0,38	0,79	0,51	
VIA FIORI-GERANI (BIANCAVILLA)	1	18006	512	0	0	1	0,39		0,96	0,61	0,97	
NOINC												
VIA LEUCATIA 38	0	17810	240	0	0	1	0,30		0,74	0,67	0,49	
VIA LEUCATIA 48	0	17760	208	0	0	1	0,28		0,70	0,68	0,48	
VIA A. CARACCILO 59	0	10149	320	1	0	1	0,09		0,24	0,86	0,20	
VIA VITALIANO BRANCATI,14	0	11910	576	0	0	1	0,27		0,66	0,69	0,46	
CORSO INDIPENDENZA,75	0	15525	192	0	0	1	0,24		0,60	0,71	0,43	
CORSO INDIPENDENZA,79	0	15525	192	0	0	1	0,24		0,60	0,71	0,43	
VIA COLOMBO-D'ANNUNZIO (BIANCAVILLA)	0	12439	224	1	0	1	0,10		0,26	0,85	0,22	
VIA FIORI-PRIMULE (BIANCAVILLA)	0	16085	64	0	0	1	0,17		0,43	0,77	0,33	

Figura 6.8. Calcolo del numero atteso di incidenti

### 6.2.4 Fattore di esposizione (EXPO)

Come accennato nel capitolo 4, una definizione di rischio non può prescindere da un fattore legato all'esposizione.

Considerando essenziale un fattore che sia legato all'esposizione, si sono indagate diverse formulazione dello stesso utilizzando una combinazione del Traffico Giornaliero Medio registrato per i veicoli (TGM<sub>v</sub>) e del valore rilevato per i pedoni (TGM<sub>p</sub>):

$$EXPO = f(TGM_v, TGM_p)$$

Allo scopo di scegliere il fattore di esposizione più opportuno, durante la calibrazione del modello

$$EXPO_1 = \sqrt{TGM_v \times TGM_p}$$

$$EXPO_2 = TGM_v + TGM_p$$

$$EXPO_3 = (TGM_p)^{\beta_1} (TGM_v)^{\beta_2}$$

con β<sub>1</sub> e β<sub>2</sub> parametri utilizzati anche nel modello di stima di incidentalità pedonale.

### 6.2.5 Fattore $f(V_{\text{impact}})$

La velocità d'impatto risulta fondamentale per discriminare la severità della collisione.

Per individuare quale sia la soluzione migliore si sono analizzate due formulazione differenti di PRI:

$$PRI^2 = \sum_{TTZ_{\text{duration}}} V_{\text{impact } i}^2 \times \Delta T_i$$

$$PRI^1 = \sum_{TTZ_{\text{duration}}} V_{\text{impact } i} \times \Delta T_i$$

### 6.2.6 Scelta dei parametri e della corretta formulazione del modello

Se da un lato si è tenuto conto di studi presenti in letteratura, dall'altro, nella scelta dei parametri del modello si è optato per un analisi dei dati rilevati in situ procedendo ad uno screening delle soluzioni meno affidabili e giungendo a quella ottimale.

Analizziamo i diversi parametri utilizzati per l'ottimizzazione del modello

#### 6.2.6.1 Velocità del pedone

Il valore adottato della velocità del pedone è 1,2 m/sec, secondo quanto suggerito dal capitolo 13 "Pedestrian" dell'Highway Capacity Manual 2000 [6].

#### 6.2.6.2 Tempo di reazione e valore di decelerazione

Secondo Lamm [7], il tempo di reazione è una funzione della prontezza di riflessi, l'esperienza, e la complessità stessa della situazione di traffico, della vigilanza dell'utente e del tempo di attesa. L'attenzione del conducente è collegata anche alla condizione fisica di una persona. La fatica può giocare un ruolo importante, così come la distrazione, ad esempio nel parlare con un passeggero o utilizzare un telefono cellulare. Il tempo di reazione è determinata anche dall'aspettativa di rischio. Quando un conducente del veicolo vede improvvisamente un ostacolo in autostrada, il tempo di reazione risulta più lungo di quello che sarà a un incrocio. A

un incrocio ci si aspetta un ostacolo e si può quindi reagire più rapidamente. Il rapporto fra tempo di reazione e la complessità della decisione è descritto da Alexander & Lunenfeld [8].

Naturalmente il tempo di reazione è funzione della velocità di percorrenza del veicolo; maggiore è la velocità minore è il tempo di reazione del conducente, che presta maggiore attenzione alla situazione di traffico.

In ogni caso, la maggior parte dei conducenti può reagire in due secondi, solo per una piccola minoranza questo tempo è insufficiente per prendere una decisione.

Nella calibrazione si sono considerati tempi di reazione variabili a step di 0,5 sec compresi tra 2 e 1 sec ed il valore 0 per tenere in conto il caso in cui si voglia valutare la sola azione evasiva attuata dal conducente, ovvero la misura del margine fisico di sicurezza, non tenendo in conto quindi dell'abilità dell'utente.

Nella selezione del valore di decelerazione utilizzato nel calcolo del tempo d'arresto, indicatore utile per la definizione dell'indicatore, si preferisce considerare il rapporto tra la stessa e l'accelerazione di gravità, il rapporto  $a/g$ . Tale rapporto rappresenta un coefficiente di frizione che si sviluppa tra il veicolo e la pavimentazione, in relazione alla forza peso sviluppata dal veicolo e alla forza cinetica esercitata in frenata.

Conoscendo i valori medi dei coefficienti di frizione delle strade oggetto di studio, si è scelto un range che comprende i valori 0,5-0,6-0,7.

Dalla calibrazione si otterrà la formulazione ottimale del modello, assegnando valori quanto più verosimili alla decelerazione e al tempo di reazione.

### 6.2.7 *Analisi dei risultati*

Anche se non si può stabilire con certezza il rapporto di dipendenza della pericolosità dei siti con i flussi di traffico in gioco, è evidente come l'aumento di tale fattore di esposizione sia direttamente proporzionale con la frequenza degli eventi critici.

Questo porta a considerare che entrambe le misure sintetiche di sicurezza utilizzate per la classificazione dei siti, ovvero il numero di incidenti in 5 anni e i valori di PRI, siano influenzati dai TGM veicolari e pedonali.

Tale dipendenza permette di effettuare un confronto tra un dato proveniente da un'analisi storica, la cui validità è riconosciuta, a meno di limiti menzionati nei capitoli precedenti, e i valori di PRI, indicatore di conflitto che è il risultato di una tecnica, la TCT, che tutt'oggi incontra critiche sulla propria validità.

Ciò permette di considerare la bontà e la consistenza della stima, fatta dall'indice proposto, nell'identificare i problemi nella sicurezza pedonale, evidenziandone la sensibilità e la capacità di portare alla luce considerazioni su carenze del sito e sull'atteggiamento degli utenti che altrimenti, ricorrendo all'analisi incidentale, potevano essere rilevati solo dopo un periodo più o meno lungo di studio.

Il PRI così come è definito, esprime un giudizio delle condizioni di sicurezza pedonale per senso di marcia. Poiché i dati di incidente, a disposizione, non presentano indicazioni sulla direzione del flusso del veicolo colpevole dell'incidente, occorre uniformare il dato fornito dall'indice all'intero attraversamento.



Tabella 6.5: Valori di PRI secondo i diversi modelli utilizzati

	TGM <sub>p</sub>	DA A-> B							DA B-> A						
		TGM <sub>v A-&gt;B</sub>	EXPO1 <sub>A-&lt;B</sub>	EXPO2 <sub>A-&lt;B</sub>	EXPO3 <sub>A-&lt;B</sub>	stat	PRI <sup>2</sup>	PRI <sup>1</sup>	TGM <sub>v B-&gt;A</sub>	EXPO1 <sub>B-&lt;A</sub>	EXPO2 <sub>B-&lt;A</sub>	EXPO3 <sub>B-&lt;A</sub>	stat	PRI <sup>2</sup>	PRI <sup>1</sup>
A LEUCATIA 70	336	12056	2012,664	12392	74831,28	$\mu$ 7,29 $\sigma$ 18,88	1,23 2,77	7306	1566,785	7642	45575,86	$\mu$ 200,77 $\sigma$ 444,63	19,21 28,23		
VIA LEUCATIA 113	800	10787	2937,618	11587	89246,54	$\mu$ 12,57 $\sigma$ 34,47	1,87 4,38	12182	3121,794	12982	100665,6	$\mu$ 13,38 $\sigma$ 37,17	2,07 5,00		
VIA LEUCATIA 125	704	9808	2627,705	10512	77868,83	$\mu$ 5,18 $\sigma$ 14,88	0,89 2,29	10690	2743,312	11394	84798,25	$\mu$ 15,03 $\sigma$ 38,44	2,33 5,24		
C.SO INDIPENDENZA-VIA QUERIN	448	7150	1789,749	7598	49055,16	$\mu$ 3,37 $\sigma$ 12,23	0,66 1,96	8355	1934,694	8803	57233,29	$\mu$ 0,47 $\sigma$ 2,11	0,11 0,46		
CORSO INDIPENDENZA,21	624	7336	2139,548	7960	56132,66	$\mu$ 2,40 $\sigma$ 14,00	0,35 1,97	8605	2317,222	9229	65737,67	$\mu$ 17,68 $\sigma$ 86,03	1,82 8,62		
C.SO INDIPENDENZA 18	448	7150	1789,749	7598	49055,16	$\mu$ 15,82 $\sigma$ 34,68	2,78 5,47	8355	1934,694	8803	57233,29	$\mu$ 212,88 $\sigma$ 332,36	23,11 29,55		
VIA SELVOSA - VIA MENOTTI	160	5097	903,0615	5257	24980,5	$\mu$ 50,14 $\sigma$ 177,46	5,02 15,42	9281	1218,589	9441	45214,57	$\mu$ 10,15 $\sigma$ 32,56	1,41 4,27		
VIA A. CARACCILO 76	272	3723	1006,308	3995	21806,8	$\mu$ 0,01 $\sigma$ 0,09	0,01 0,04	6732	1353,183	7004	39198,59	$\mu$ 1,84 $\sigma$ 8,86	0,33 1,46		
VIA A CARACCILO 17	352	3506	1110,906	3858	22372,93	$\mu$ 1,92 $\sigma$ 6,28	0,45 1,22	7281	1600,91	7633	46124,13	$\mu$ 13,73 $\sigma$ 70,48	1,61 7,32		
VIA VITALIANO BRANCATI,11	544	4608	1583,273	5152	33855,17	$\mu$ 23,70 $\sigma$ 79,94	2,69 8,30	6409	1867,216	6953	46932,1	$\mu$ 28,17 $\sigma$ 97,28	3,36 9,54		
VIA R. IMBRIANI VIA CANFORA	848	6174	2288,133	7022	52363,85	$\mu$ 0,69 $\sigma$ 4,49	0,14 0,80	7858	2581,392	8706	66485,9	$\mu$ 0,82 $\sigma$ 3,17	0,23 0,81		
VIA LAVAGGI 25	1360	3734	2253,495	5094	37198,07	$\mu$ 0,01 $\sigma$ 0,08	0,01 0,0	7513	3196,511	8873	74322,98	$\mu$ 10,62 $\sigma$ 73,73	1,03 6,51		
VIA F FILZI 51	992	6542	2547,482	7534	58398,58	$\mu$ 1,85 $\sigma$ 6,18	0,40 1,02	5389	2312,118	6381	48199,44	$\mu$ 0,44 $\sigma$ 2,08	0,12 0,48		
VIA COLOMBO-GRAMSCI (BIANCAVILLA)	656	6087	1998,267	6743	47439,22	$\mu$ 34,61 $\sigma$ 70,22	4,98 8,21	6941	2133,845	7597	54023,92	$\mu$ 7,83 $\sigma$ 19,54	1,44 2,93		
VIA FIORI-GERANI (BIANCAVILLA)	512	8973	2143,403	9485	64190	$\mu$ 4,28 $\sigma$ 11,63	0,79 1,85	9033	2150,557	9545	64614,91	$\mu$ 8,03 $\sigma$ 27,63	1,31 3,53		

Continua nella pagina seguente

Segue da pagina precedente

ATTRAVERSAMENTI SENZAINCIDENTI															
	TGMp	DA A-> B							DA B-> A						
		TGMv <sub>A-&gt;B</sub>	EXPO1 <sub>A-&lt;B</sub>	EXPO2 <sub>A-&lt;B</sub>	EXPO3 <sub>A-&lt;B</sub>	stat	PRI <sup>2</sup>	PRI <sup>1</sup>	TGMv <sub>B-&gt;A</sub>	EXPO1 <sub>B-&lt;A</sub>	EXPO2 <sub>B-&lt;A</sub>	EXPO3 <sub>B-&lt;A</sub>	stat	PRI <sup>2</sup>	PRI <sup>1</sup>
VIA LEUCATIA 38	240	10028	1551,361	10268	55804,84	$\mu$ 1,19 $\sigma$ 4,34	0,25 0,79	7782	1366,631	8022	43416,02	$\mu$ 13,78 $\sigma$ 22,60	2,29 3,40		
VIA LEUCATIA 48	208	7207	1224,359	7415	38382,91	$\mu$ 0,01 $\sigma$ 0,06	0,01 0,05	10553	1481,561	10761	55989,05	$\mu$ 1,78 $\sigma$ 8,55	0,33 1,49		
VIA A. CARACCILO 59	320	3869	1112,69	4189	23901,34	$\mu$ 0,45 $\sigma$ 2,87	0,10 0,56	6280	1417,604	6600	38608,2	$\mu$ 8,62 $\sigma$ 62,68	1,03 7,47		
VIA VITALIANO BRANCATI,14	576	4670	1640,098	5246	34959,33	$\mu$ 10,05 $\sigma$ 44,23	1,35 5,03	7240	2042,117	7816	53961,08	$\mu$ 5,23 $\sigma$ 22,34	0,68 2,42		
CORSO INDIPENDENZA,75	192	8661	1289,539	8853	44841,67	$\mu$ 0,82 $\sigma$ 2,58	0,20 0,56	6864	1147,993	7056	35620,57	$\mu$ 0,29 $\sigma$ 1,81	0,07 0,40		
CORSO INDIPENDENZA,79	192	8661	1289,539	8853	44841,67	$\mu$ 1,41 $\sigma$ 7,77	0,27 1,40	6864	1147,993	7056	35620,57	$\mu$ 1,91 $\sigma$ 5,88	0,41 1,14		
VIA COLOMBO-D'ANNUNZIO (BIANC)	224	6177	1176,286	6401	33763,83	$\mu$ 1,77 $\sigma$ 5,28	0,40 1,11	6262	1184,351	6486	34223,76	$\mu$ 2,17 $\sigma$ 9,61	0,43 1,66		
VIA FIORI-PRIMULE (BIANCAVILLA)	64	8227	725,6225	8291	29657,09	$\mu$ 14,50 $\sigma$ 46,48	2,47 6,36	7858	709,1629	7922	28339,9	$\mu$ 16,24 $\sigma$ 49,70	2,68 6,58		

E' stato studiata inizialmente una regressione lineare tra il numero di incidenti e il PRI analizzando come fattore discriminante il parametro statistico  $R^2$ .

Una volta calcolati i fattori di esposizione relativi ai due sensi di marcia, la normalizzazione delle misure di sicurezza allo scopo di poter permetterne il confronto diretto passerà attraverso due differenti soluzioni:

- ✓ verranno pesati il numero di incidenti proveniente dalla correzione Empirico-Bayesiana e i valori di PRI secondo i tre diversi fattori di Esposizione, ovvero per ogni sito avremo:

$$I' = \frac{I}{EXPO_i} \times 10000 = \frac{I}{EXPO_{i, A \rightarrow B} + EXPO_{i, B \rightarrow A}} \times 10000$$

$$PRI' = \frac{PRI_{i, A \rightarrow B} + PRI_{i, B \rightarrow A}}{EXPO_{i, A \rightarrow B} + EXPO_{i, B \rightarrow A}}$$

dove  $I$  è il numero di incidenti a seguito di correzione EB,  $I'$  e  $PRI'$  sono i valori normalizzati e pesati,  $A$  e  $B$  indicano due punti di origine/destinazione che indicano la direzione di marcia, mentre  $i$  è un indice per indicare secondo quale dei tre fattori di esposizione si sta mediando il valore del PRI. Il fattore moltiplicativo 10000 è utilizzato per considerare numeri non troppo piccoli esclusivamente per motivi di rappresentazione grafica.

Il fattore di esposizione è stato inserito per considerare l'influenza dei flussi sul rischio di incidente.

Di seguito si riporta il parametro  $R^2$  della regressione lineare, a seguito delle ipotesi fatte per i vari parametri e per i diversi modelli teorizzati, in maniera da riassumere la significatività della regressione lineare considerata.

Tabella 6.5. :Valori di R2 per regressione lineare e valori normalizzati e pesati secondo EXPO

Tr	f=a/g	I'/PRI <sup>2</sup> <sub>EXPO1</sub>	I'/PRI <sup>2</sup> <sub>EXPO2</sub>	I'/PRI <sup>2</sup> <sub>EXPO3</sub>	I'/PRI <sup>1</sup> <sub>EXPO1</sub>	I'/PRI <sup>1</sup> <sub>EXPO2</sub>	I'/PRI <sup>1</sup> <sub>EXPO3</sub>
0	0,5	26,22%	1,50%	0,12%	26,23%	0,17%	0,46%
0	0,6	27,73%	2,26%	10,42%	32,43%	1,58%	9,27%
0	0,7	20,67%	4,71%	12,37%	22,18%	6,02%	14,31%
1	0,5	25,87%	0,24%	1,66%	31,14%	2,24%	11,18%
1	0,6	25,89%	0,18%	1,58%	30,83%	1,58%	8,98%
1	0,7	25,96%	0,04%	1,90%	31,34%	1,88%	8,97%
1,5	0,5	17,60%	0,72%	1,34%	13,83%	1,30%	0,35%
1,5	0,6	27,49%	0,98%	0,70%	30,67%	1,88%	0,02%
1,5	0,7	19,24%	7,17%	12,22%	17,24%	10,70%	13,95%
2	0,5	16,29%	11,78%	14,26%	17,23%	2,95%	0,01%
2	0,6	19,99%	0,19%	4,45%	16,39%	0,23%	3,18%
2	0,7	20,23%	2,66%	0,16%	16,99%	3,30%	0,04%

✓ Un ulteriore confronto è stato operato prendendo in considerazione i valori del PRI non pesati e il numero di incidenti attesi, calcolati tramite correzione Empirico-Bayesiana :

$$PRI = PRI_{i,A \rightarrow B} + PRI_{i,B \rightarrow A}$$

dove il significato degli indici presenti sono già stati menzionati in precedenza.

Tabella 6.6.: Valori di R2 per regressione lineare e valori non pesati per i diversi EXPO

Tr	f=a/g	I'/PRI <sup>2</sup> <sub>EXPO1</sub>	I'/PRI <sup>2</sup> <sub>EXPO2</sub>	I'/PRI <sup>2</sup> <sub>EXPO3</sub>	I'/PRI <sup>1</sup> <sub>EXPO1</sub>	I'/PRI <sup>1</sup> <sub>EXPO2</sub>	I'/PRI <sup>1</sup> <sub>EXPO3</sub>
0	0,5	19,07%	10,47%	18,96%	25,44%	12,28%	24,90%
0	0,6	15,60%	11,42%	16,30%	19,34%	17,82%	23,40%
0	0,7	12,20%	10,10%	12,51%	15,72%	12,82%	15,99%
1	0,5	32,92%	12,02%	30,59%	48,89%	22,79%	44,49%
1	0,6	32,43%	11,25%	21,34%	47,29%	23,64%	40,18%
1	0,7	32,47%	14,64%	31,02%	47,09%	24,06%	42,71%
1,5	0,5	40,32%	11,05%	34,62%	52,89%	14,26%	45,97%
1,5	0,6	36,17%	10,25%	32,00%	46,49%	12,95%	42,15%
1,5	0,7	36,87%	23,40%	35,34%	46,02%	30,34%	44,24%
2	0,5	32,61%	4,93%	27,36%	47,24%	8,70%	43,66%
2	0,6	31,80%	4,57%	26,58%	46,52%	8,66%	43,06%
2	0,7	32,02%	4,64%	26,90%	46,78%	9,01%	43,27%

Si nota come valori più alti si hanno nel caso in cui non si tenuto conto del fattore di esposizione. Nel presente studio si sono comunque tenuti in considerazione entrambe le analisi, scegliendo il modello che presentasse le caratteristiche di correlazione ottimali in entrambi i modelli.

In realtà studiando con attenzione la forma della regressione lineare si evidenzia come essa abbia un intercetta dell'asse delle y negativa. Tale dato risulta contrario a quanto teorizzato dal PRI, che per definizione è un indicatore positivo o al massimo uguale a zero.

Ci si verrebbe a trovare quindi in casi limite, con numero di incidenti pari a zero, ovvero condizioni di sito sicuro, e valori di PRI negativi, ovvero al di fuori del range di definizione dell'indice( Figura 6.9).

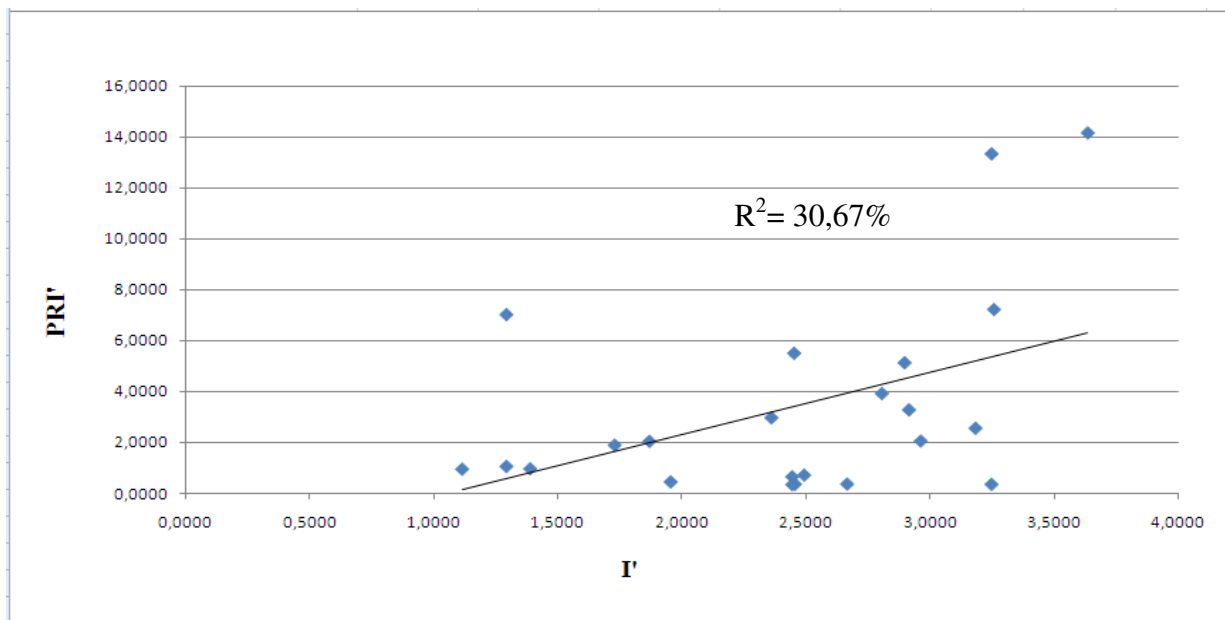


Figura 6.9. Regressione lineare e valori normalizzati e pesati secondo EXPO

Per correggere tale carenza, si è effettuata una successiva analisi considerando stavolta una regressione esponenziale in maniera da assicurare il passaggio per l'origine (PRI=0 coincidente con I=0).

Anche per questa regressione si sono analizzati i due casi visti in precedenza, ovvero considerando da un lato i flussi e pesando gli elementi della regressione in relazione a questi, mentre dall'altro si effettuato un confronto diretto tra valori di PRI e I.

Tabella 6.7.: Valori di  $R^2$  per regr. esponenziale e valori normalizz. e pesati secondo EXPO

Tr	f=a/g	$I'/PRI^2_{EXPO1}$	$I'/PRI^2_{EXPO2}$	$I'/PRI^2_{EXPO3}$	$I'/PRI^1_{EXPO1}$	$I'/PRI^1_{EXPO2}$	$I'/PRI^1_{EXPO3}$
0	0,5	19,58%	3,77%	2,53%	26,23%	0,53%	0,20%
0	0,6	22,13%	4,50%	2,99%	<b>29,34%</b>	0,04%	1,74%
0	0,7	15,26%	5,34%	11,09%	16,89%	6,59%	12,88%
1	0,5	19,98%	0,48%	1,44%	25,12%	1,85%	11,25%
1	0,6	20,13%	0,31%	1,43%	<b>26,24%</b>	1,41%	9,23%
1	0,7	20,14%	0,07%	1,77%	25,18%	1,84%	9,31%
1,5	0,5	13,21%	1,55%	1,04%	9,97%	2,69%	0,21%
1,5	0,6	24,53%	1,76%	0,53%	<b>26,98%</b>	3,20%	0,00%
1,5	0,7	17,66%	8,54%	12,28%	17,14%	12,78%	14,79%
2	0,5	5,23%	14,95%	14,68%	13,93%	5,22%	0,02%
2	0,6	16,05%	0,45%	4,37%	13,29%	0,55%	3,29%
2	0,7	16,38%	4,44%	0,07%	13,98%	5,52%	0,11%

Per una maggiore chiarezza nella comprensione dei risultati si è riportata una rappresentazione a curve di livello, adatta all'individuazione dei valori che danno i migliori risultati.

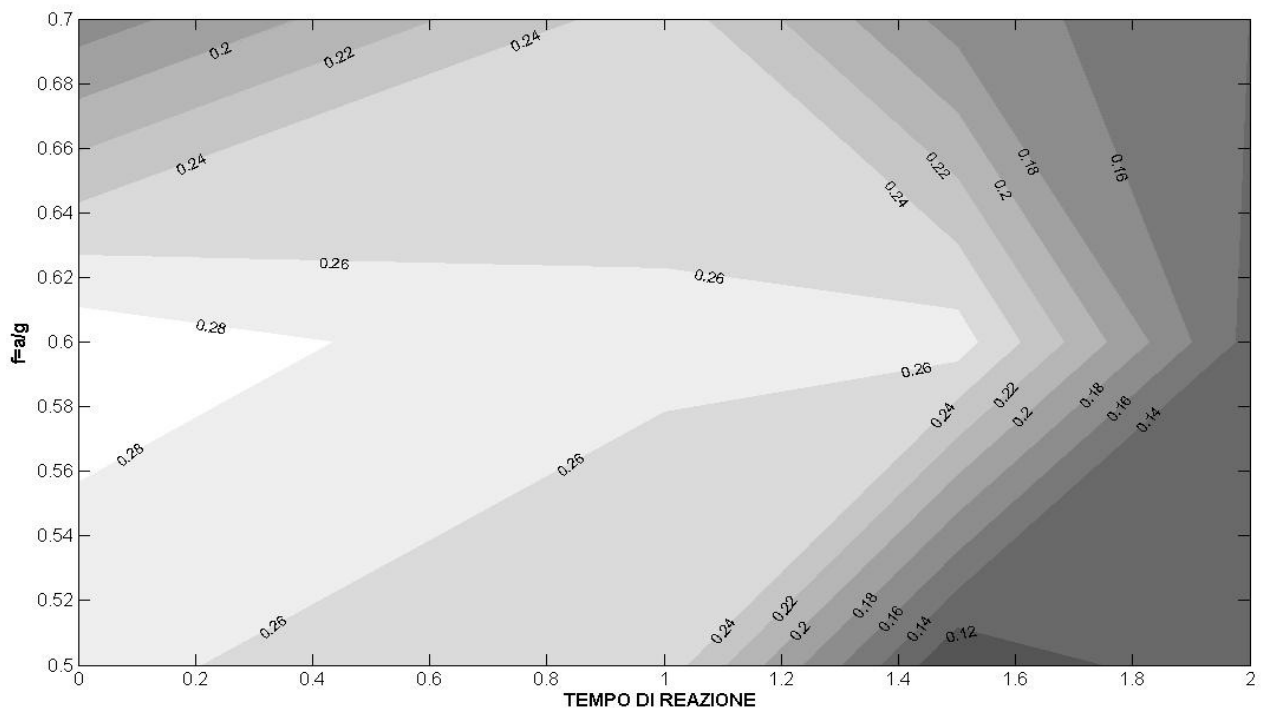


Figura 6.10. Rappresentazione a curve di livello per per regr. esponenziale e valori normalizz. e pesati secondo EXPO

Tabella 6.8.: Valori di  $R^2$  per regr. esponenziale e valori non pesati per i diversi modelli teorizzati

Tr	f=a/g	$I'/PRI^2_{EXPO1}$	$I'/PRI^2_{EXPO2}$	$I'/PRI^2_{EXPO3}$	$I'/PRI^1_{EXPO1}$	$I'/PRI^1_{EXPO2}$	$I'/PRI^1_{EXPO3}$
0	0,5	18,75%	10,12%	17,90%	23,96%	11,24%	22,43%
0	0,6	16,20%	11,68%	16,30%	19,25%	17,60%	22,50%
0	0,7	12,88%	10,55%	12,85%	15,59%	12,73%	15,53%
1	0,5	30,54%	10,57%	27,04%	42,47%	19,98%	38,63%
1	0,6	30,04%	8,74%	14,21%	<b>44,16%</b>	18,37%	27,94%
1	0,7	29,89%	12,96%	27,32%	41,86%	20,97%	36,66%
1,5	0,5	38,26%	10,04%	31,39%	<b>48,62%</b>	12,57%	40,99%
1,5	0,6	34,71%	9,45%	29,23%	<b>49,56%</b>	11,52%	37,75%
1,5	0,7	35,79%	23,33%	33,36%	<b>44,04%</b>	29,78%	41,05%
2	0,5	33,36%	4,96%	26,53%	43,36%	8,36%	41,23%
2	0,6	32,80%	4,66%	25,95%	43,64%	8,31%	40,63%
2	0,7	33,15%	4,79%	26,39%	43,69%	8,62%	40,72%

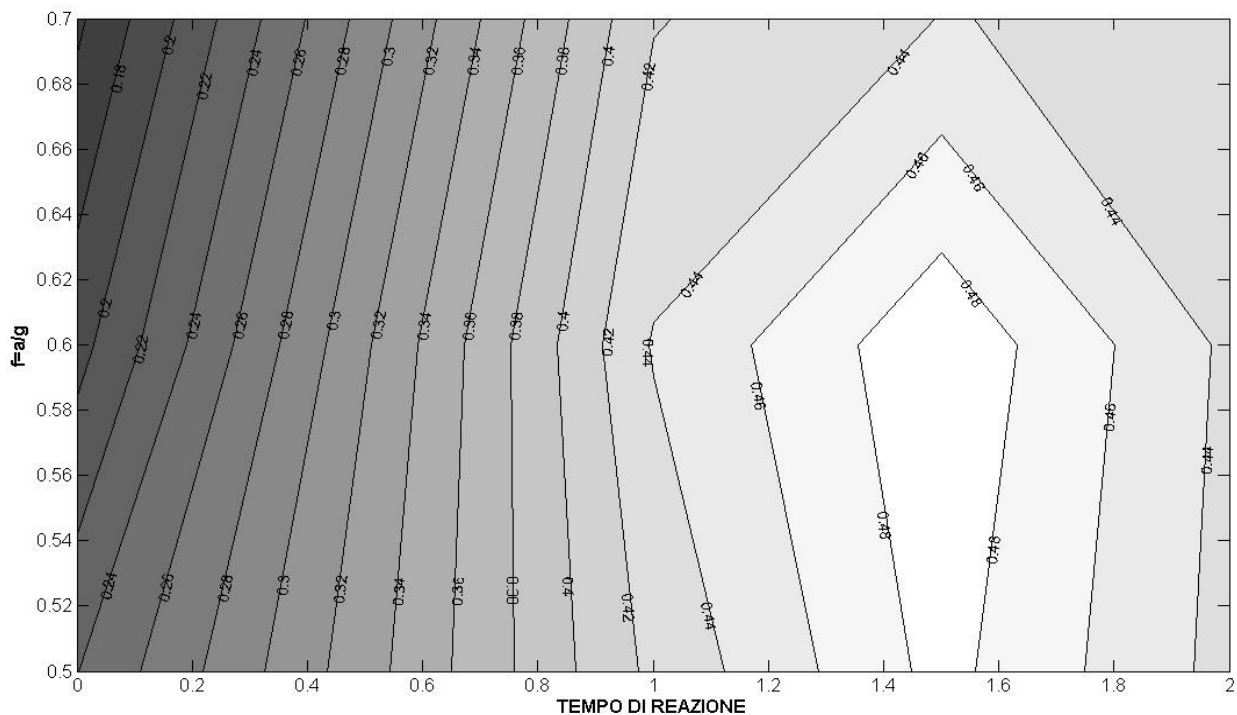


Figura 6.11. Rappresentazione a curve di livello per per regr. esponenziale e valori non pesati per i diversi modelli teorizzati

Il fattore di esposizione che dà i migliori risultati è sicuramente l'EXPO1, mentre i valori ottimali di  $R^2$  si hanno in corrispondenza della formulazione PRI<sup>1</sup>. Tra i coefficienti f, quello che presenta valori in media più alti è 0,6, con tempi di reazione pari a 1,5 sec .

Di seguito si riportano i valori ottimali dei parametri del modello, con riferimento ai test statistici che riassumono le caratteristiche di variabilità della regressione.

Tabella 6.9.:Riepilogo delle statistiche della regressione esponenziale e valori normalizz. e pesati secondo EXPO

Parametri statistici					
coeff di correlazione		R <sup>2</sup>		Media errore	Dev St. errore
0,502		26,98%		0,280	0,218
Statistica T					
Parametro	Stima	Errore	Statistica		P-Value
Intercetta	0,559	0,137	4,086		0,001
Inclinazione	0,009	0,003	2,659		0,015
ANOVA					
	Somma dei quadrati	Δf	Media	F-test	P-value
Modello	0,556	1	0,556	7,07	0,015
Residui	1,652	21	0,079		
Totale	2,208	22			

Tabella 6.10.:Riepilogo delle statistiche della regressione esponenziale e valori non pesati per i diversi modelli teorizzati

Parametri statistici					
coeff di correlazione		R <sup>2</sup>		Media errore	Dev St. errore
0,683		49,86%		0,304375	0,393919
Statistica T					
Parametro	Stima	Errore	Statistica		P-Value
Intercetta	-1,235	0,182	-6,781		0,000
Inclinazione	0,000	0,000	4,061		0,001
ANOVA					
	Somma dei quadrati	Δf	Media	F-test	P-value
Modello	2,559	1	2,559	16,40	0,001
Residui	3,259	21	0,155		
Totale	5,818	22			



Tabella 6.11.: Valori dei parametri del modello

Parametri Modello (PRI <sup>1</sup> ; EXPO1)	
$g/a$	0,6
$a_f = gxf = 9,81xf$	$5,9 \text{ m/s}^2$
$T_r$	1,5 s
$V_p$	$1,2 \text{ m/s}$

## **Bibliografia**

- [1] TRB, Transportation Research Board. "Highway Safety Manual". Transportation Research Board, Washington, D.C., USA, 2010.
- [2] ISTAT, Istituto Italiano Statistica, "Rapporto sugli Incidenti stradali. Anno 2008", 2008.
- [3] Pham, T. e Ragland, D. "Summary of Crash Prediction Models Also known as Safety Performance Functions (SPFs)". Rhode Island Statewide Planning, Rhode Island, 2005.
- [4] Zegeer, C., Stewart, J., e Huang, H. "Safety Effects of Marked vs. Unmarked Crosswalks at Uncontrolled Locations", Report No. FHWA-RD-01-142, Federal Highway Administration, McLean, VA, 2001.
- [5] Hauer, E., Harwood, D.W., Council, F.M. e Griffith, M.S. "Estimating Safety by the Empirical Bayes Method: A Tutorial". Transportation Research Board, Washington, D.C., USA, 2002.
- [6] TRB, Transportation Research Board. "Highway Capacity Manual, Fourth Edition", Chapter 18, Pedestrians. Transportation Research Board, Washington, D.C., USA, 2000.
- [7] Lamm, R., Psarianos, B. e Mailaender, T. "Highway design and traffic safety engineering handbook". McGraw-Hill, New York, USA, 1999.
- [8] Alexander, G.H. e Lunenfeld, H. "A user's guide to positive guidance. (Third edition)". FHWA-SA-90-017. Federal Highway Administration FHWA, U.S. Department of Transport, Washington D.C., 1990.

## CAPITOLO 7

### APPLICAZIONI SPERIMENTALI

#### **Premessa**

Questo capitolo è presenta diverse applicazioni pratiche del nuovo indicatore proposto.

Usando la metodologia descritta nel capitolo cinque, si desidera spiegare come è stata sviluppata la procedura basata sulla Tecnica dei Conflitti di Traffico, valutando le condizione di sicurezza dei differenti siti.

Gli obiettivi di questo capitolo sono quelli di ottenere una validazione dell'efficacia e della sensibilità dell'indicatore nell'individuare i problemi nel sistema "sicurezza stradale" o valutando gli effetti di eventuali contromisure adottate.

Si vuole inoltre dimostrare come, ricorrendo ad una metodologia rapida e affidabile come quella proposta nella presente tesi, si possa rappresentare lo stato attuale di sicurezza di un sito e valutarne il livello del rischio avvertito, nel giro di pochi giorni di studio, rendendo poco attraenti gli anni di analisi sui dati di incidentalità come tradizionalmente viene fatto.

Allo scopo di prendere in considerazione configurazioni dell'attraversamento pedonale non semaforizzato tra loro differenti, si è optato per effettuare tre studi in situ presso tre differenti realtà:

- Giugliano (Napoli, Italia);
- Cittadella Universitaria di Catania (Catania, Italia);
- Belgida (Valencia, Spagna).

Il campione di dati trattato è considerato sufficiente, se non per una convalida globale, almeno

per comprendere le potenzialità del nuovo indicatore di conflitto proposto, valutando eventuali carenze, anche a seguito del confronto con altre metodologie, quali le Safety Review.

## 7.1 Applicazione I: Giugliano (Napoli, Italia)

### 7.1.1 Descrizione

Si è effettuata l'analisi dei conflitti in attraversamenti pedonali nel centro storico del comune di Giugliano in Campania, in provincia di Napoli (Figura 7.1).

In collaborazione con l'Università "Federico II" di Napoli è stata elaborata una metodologia di individuazione dei fattori di rischio pedonale che associa le analisi di sicurezza e l'analisi dei conflitti di traffico, che ha portato alla redazione di un articolo presentato al SIIV 2008 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

L'analisi di sicurezza ha interessato 51 attraversamenti pedonali nel comune di Giugliano con l'impiego di un gruppo di 4 analisti.

I siti non sono stati scelti a caso, ma solo a seguito di un'analisi dettagliata dei dati di incidentalità effettuata facendo riferimento ai dati relativi agli anni dal 2005 al 2007 reperiti presso la Polizia Municipale.

Al fine di ridurre il grado di soggettività si è associata a tale analisi di sicurezza, un'analisi dei conflitti di traffico su tre siti con un livello di sicurezza più o meno basso, così come valutato tramite l'analisi di sicurezza per check list, portata avanti dal team di ricerca del Prof. Montella (Università degli studi di Napoli).

Gli attraversamenti scelti sono situati su Via Palumbo e Via Allende (Figura 7.2), denominati dal team di ricerca A6, A11 e A34 che hanno registrato, rispettivamente, Livello di Sicurezza E (Indice di Rischio IR = 58,41), un attraversamento con Livello di Sicurezza D (IR = 37,08) ed un attraversamento con Livello di Sicurezza C (IR = 27,45).



Figura 7.1. Localizzazione dei siti in studio nel comune di Giugliano (NA)

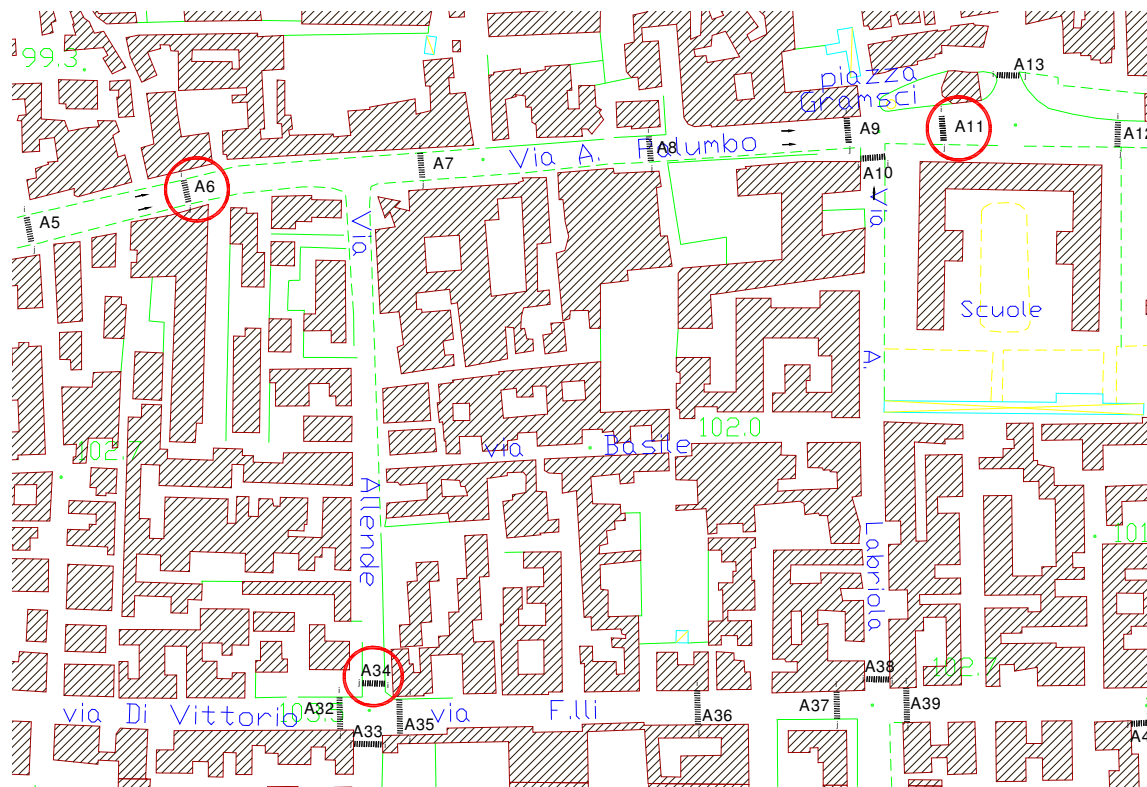


Figura 7.2. Attraversamenti pedonali analizzati mediante i conflitti di traffico a Giugliano(Na)

I tre attraversamenti presentano attraversamenti pedonali senza segnalazione semaforica in prossimità di poli attrattivi di intense attività sociali, quali la presenza di una scuola, del Municipio e della Chiesa principale della città. Questo assicura un flusso pedonale pressoché costante durante le ore della giornata.

Trattandosi di strade a senso unico, si è optato per compiere un'unica ripresa da una videocamera posta dietro il flusso di veicoli che si approssimano alle strisce pedonali, distante dai 30 ai 50 metri dall'attraversamento.

Lo studio è stato effettuato nelle ore centrali della giornata, effettuando più riprese per ogni sito in diversi giorni dei mesi di Giugno e Luglio 2008.

Di seguito vengono definite le specifiche delle configurazioni dei tre attraversamenti:

1. Attraversamento A6, Via Palumbo: il tronco di strada su cui si trova l'attraversamento è caratterizzato dalla presenza di un elevato flusso di traffico pedonale e veicolare, la larghezza della strada in corrispondenza dello stesso è di 9,25 metri, mentre la larghezza delle strisce pedonali è di 2,5 metri.

La presenza di parcheggi autorizzati nei pressi dell'attraversamento, combinata con saltuarie soste abusive al di sopra delle strisce, comporta delle difficoltà nella visibilità del pedone in attesa sul marciapiede (Figura 7.3).

Non si sono riscontrati comportamenti illegali da parte dei pedoni.



Figura 7.3. Attraversamento A6, Via Palumbo

2. Attraversamento A11, Via Palumbo: anche lungo questo il tratto di strada il flusso di traffico pedonale e veicolare risulta particolarmente elevato, mentre la strada presenta un ampliamento della sezione che porta la larghezza della strada a valori di 9,75 metri.

La larghezza delle strisce è uguale al caso precedente (Figura 7.4)

Anche qui la presenza di automobili parcheggiate, abusivamente e non, lungo lo stallo o in seconda fila, riducono il campo di visibilità del conducente in approccio all'attraversamento.

Il flusso dei pedoni, forse per l'elevato traffico, risulta correttamente canalizzato lungo le strisce pedonali



Figura 7.4. Attraversamento A11, Via Palumbo

3. Attraversamento A46, Via Allende: la sezione del tronco di strada è sensibilmente inferiore ai due precedenti (larghezza di 6m), così come minori sono i flussi.

Il parcheggio nei pressi dell'attraversamento è completamente vietato, tuttavia, si riscontra spesso la sosta abusiva almeno lungo un lato. D'altronde la larghezza è tale da non permettere il parcheggio su entrambi i lati. Rispetto alle altre intersezioni presenta un semaforo che non assolve alcuna funzione, trovandosi fuori uso (Figura 7.5).



Figura 7.5. Attraversamento A36, Via Allende

7.1.2 *Analisi dei risultati*

Allo scopo di comprendere le potenzialità del nuovo indicatore, si è ricorso al confronto con indici di conflitto già presenti in letteratura con diverse applicazioni.

Gli indici sono stati selezionati tenendo conto dell'analisi fatta nel capitolo 3. Si elencano di seguito riportando una breve definizione allo scopo di fissare i concetti nella mente del lettore della presente:

-TTC, ovvero intervallo di tempo che occorrerebbe ad un veicolo per scontrarsi con un altro utente se mantenesse velocità e traiettoria costante;

-PET, ovvero l'intervallo di tempo dal momento in cui il primo utente (il pedone) sta lasciando la zona di conflitto fino a che il secondo utente (il veicolo) non la raggiunga.

I valori medi e la deviazione standard dei parametri  $TTC_{vmin}$ , PET e PRI, ottenuti nei tre attraversamenti analizzati, sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 7.1.: Valori medi e deviazione standard degli indici di conflitto (Giugliano)

Sito	LS	IR	Numero di manovre	TTC <sub>v min</sub>		PET		PRI	
				$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
A34	C	27,45	10	0,38	0,42	0,34	0,39	13,1	10,1
A11	D	37,08	41	0,61	0,85	0,66	1,19	10,0	15,4
A6	E	58,41	50	0,80	0,85	0,80	0,87	9,9	7,0

Al fine di verificare la significatività statistica delle differenze tra i valori medi di  $TTC_v$ , PET e DTTC è stato condotto un test ANOVA tra tutti i tre siti e un test t-student tra le coppie di siti. I risultati riportati in tabella 5 mettono in evidenza che non vi è una differenza significativa al 85 % tra le medie dei tre siti per tutte le variabili definite. Nel confronto a due il sito A6 è risultato significativamente differente dal sito A34 al 85 % di livello di confidenza per tutti le variabili di riferimento.



Tabella 7.2.: Test di significatività sulla differenza tra le medie (Giugliano)

Variabile	ANOVA F-test	t-student		
	A6_A11_A34	A34_A11	A6_A11	A6_A34
<b>TTC<sub>v</sub></b>	73 %	60 %	69 %	87 %
<b>PET</b>	87 %	60 %	45 %	89 %
<b>PRI</b>	61 %	56 %	76 %	91 %

Per verificare l'influenza del tipo di veicolo in conflitto con il pedone, gli indici di conflitto (valori medi e la deviazione standard dei parametri  $TTC_{vmin}$ , PET,  $DTTC_{min}$ ) sono stati calcolati per le diverse categorie di veicoli (autovetture, bus, veicoli a due ruote, pesanti), come riportato in tabella 6. Anche se le differenze sono basate una ridotta dimensione del campione di osservazione, si rileva che i veicoli a due ruote hanno un comportamento più aggressivo rispetto alle autovetture che determina valori molto bassi degli indici di conflitto (situazioni molto prossime all'incidente).

Tabella 7.3.: Risultati delle analisi dei conflitti di traffico per categoria di veicolo (Giugliano)

Sito	Tipo di veicolo	Numero di manovre	TTC <sub>v min</sub>		PET		PRI	
			$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
<b>A34</b>	Autovettura	9	0,44	0,44	0,39	0,40	10,9	7,10
	Due ruote	1	0,58		0,58		32,84	
<b>A11</b>	Autovettura	35	0,67	0,90	0,80	1,22	10,5	17,15
	Pesante	1	0,32		0,00		0,51	
	Due ruote	5	0,28	0,22	0,00	0,00	9,20	3,40
<b>A6</b>	Autovettura	42	0,80	0,84	0,82	0,89	10,4	7,1
	Bus	5	0,84	1,26	0,77	0,85	5,4	3,07
	Due ruote	3	0,66	0,28	0,47	0,54	9,8	4,50

È stata eseguita un'ulteriore analisi degli indicatori di sicurezza in cui si tiene conto della fascia di età del pedone in relazione ai conflitti con le autovetture. Sono state infatti considerate quattro fasce di età: Bambino (0-14 anni), Giovane (14-25 anni), Adulto (25-60 anni), Anziano (oltre 60 anni). I risultati relativi ai conflitti tra autovetture e pedoni sono sintetizzati in tabella 7. Anche in questo caso le differenze le differenti classi presentano una ridotta dimensione del

campione di osservazione. Si rileva comunque che i tempi degli indici di conflitto diminuiscono per i pedoni anziani (maggiore rischio di incidente per i pedoni anziani), risultato coerente con i molti studi che evidenziano un elevato rischio di incidente per i pedoni anziani.

Tabella 7.4.: Risultati delle analisi dei conflitti di traffico per fasce d'età (Giugliano)

Sito	Età del pedone	Numero di manovre	TTC <sub>v min</sub>		PET		PRI	
			$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
<b>A34</b>	Tutti	9	0,44	0,44	0,39	0,40	13,1	10,1
	Adulto	9	0,44	0,44	0,39	0,40	13,1	10,1
<b>A11</b>	Tutti	35	0,67	0,90	0,72	1,21	10,0	15,4
	Giovane	3	0,76	0,81	0,83	1,30	11,9	21,6
	Adulto	23	0,69	0,86	0,58	0,95	8,80	12,80
	Anziano	9	0,57	1,12	1,01	1,79	12,68	7,6
<b>A6</b>	Tutti	42	0,80	0,84	0,82	0,89	9,9	7,0
	Giovane	13	0,80	0,46	0,94	0,57	10,9	7,46
	Adulto	27	0,91	1,01	0,87	1,04	9,47	9,04
	Anziano	2	0,25	0,24	0,13	0,19	9,94	12,4

Come si evidenzia dai valori riscontrati, il PRI sovrverte quanto definito dall'analisi di sicurezza, ritenendo come più sicuro l'attraversamento A11, relegando in fondo al ranking quello che invece era considerato il più sicuro, l'A34.

La motivazione principale va ricercata sulla base delle due differenti metodologie di analisi. Mentre la prima riguarda gli elementi che all'occhio di un osservatore allenato ed addestrato possano presentare carenze comunque strettamente legate alla configurazione, la tecnica dei conflitti di traffico valuta l'effettivo approccio del conducente del veicolo all'attraversamento.

E' infatti noto che un guidatore che si avvicina ad una configurazione che percepisce come pericolosa, si trova ad aumentare la soglia d'attenzione ed eventualmente ad abbassare la velocità.

Nel caso in esame l'attraversamento A34 che si presenta come il più sicuro secondo le Road Safety Review, ha infatti una configurazione meno complessa che negli altri due casi, dove

veicoli in prima o seconda fila, portano il conducente a sentirsi meno a proprio agio nel percorrere un tratto di strada soggetto al passaggio pedonale a velocità sostenuta.

Anche la larghezza della carreggiata può influire notevolmente. Maggiore è tale larghezza maggiore è la possibilità di compiere in sicurezza una manovra evasiva più leggera come un cambio di direzione. L'attraversamento più pericoloso presenta infatti una carreggiata di soli 6 metri in parte occupata da veicoli in sosta, che non danno grossi margini di sicurezza all'eventuale manovra evasiva.

L'analisi combinata tra la metodologia delle Analisi di Sicurezza e la Tecnica dei Conflitti di Traffico ha evidenziato inoltre che i maggiori problemi di sicurezza degli attraversamenti esaminati riguardano la segnaletica e l'accessibilità, i veicoli a due ruote hanno un comportamento più aggressivo rispetto alle autovetture, ed i pedoni anziani sono soggetti a maggiore rischio di incidente.

A causa della ridotta dimensione del campione di osservazione, non è possibile individuare correlazioni statisticamente significative tra i risultati delle metodologie diagnostiche utilizzate. D'altra parte le due metodologie, l'analisi di sicurezza e l'analisi dei conflitti, si sono dimostrate tra di loro complementari in quanto ognuna è in grado di rilevare problematiche non evidenziate dall'altra metodologia.

## **7.2 Applicazione II: Cittadella Universitaria di Catania (Catania, Italia)**

### *7.2.1 Descrizione*

La seconda applicazione ha avuto come scenario le strade interne alla Cittadella Universitaria di Catania, analizzando diversi attraversamenti pedonali con presenza o meno di elementi di traffic calming.

La realtà analizzata è prettamente pedonale e la presenza del veicolo è limitata alla ricerca del parcheggio o allo smaltimento del flusso in uscita dalla cittadella. Le velocità sono condizionate fortemente dai flussi pedonali.

Sono stati scelti due attraversamenti con due configurazioni differenti: l'attraversamento posto davanti l'edificio "Matematica" e l'attraversamento sito presso edificio "Didattica" (Figura 7.6).



Figura 7.6. Localizzazione dei siti in studio presso la Cittadella Universitaria di Catania (Catania)

Diversamente dal caso precedente, per le strade a doppio senso, come quelle in oggetto, si rilevano ulteriori problemi nella cattura delle immagini. Le condizioni ideali prevederebbero il posizionamento di due videocamere, una per senso di marcia poste dietro il flusso di veicoli, distante circa 40-50 metri dall'attraversamento.

Nella realtà in studio si è utilizzata una sola videocamera, posta dietro il flusso di un solo senso di marcia ma in una posizione elevata, in maniera da evitare che il flusso in opposizione sia coperto da quello in altra direzione, dimostrando ancora una volta come la procedura elaborata per l'analisi di sicurezza sia rapida e poco costosa.

La cattura delle immagini è stata fatta durante il mese di Novembre 2008, cercando di focalizzarsi sulle ore in cui il flusso pedonale è tale da provocare conflitti, ovvero dalle 10,00 alle 14,00, tenendo in conto dell'uscita dalle lezioni universitarie.

Le configurazioni analizzate presentano differenze sostanziali che condizionano fortemente l'atteggiamento del conducente del veicolo in approccio all'attraversamento:

-Attraversamento Edificio Didattica: la presenza di un dosso posto poco prima del flusso in uscita funge da dissuasore di velocità. Il tratto di strada ha larghezza pari a 8,5 m, e anche in questo caso si alternano parcheggi a nastro paralleli al flusso di marcia e un'area a parcheggio( Figura 7.7 e Figura 7.8).

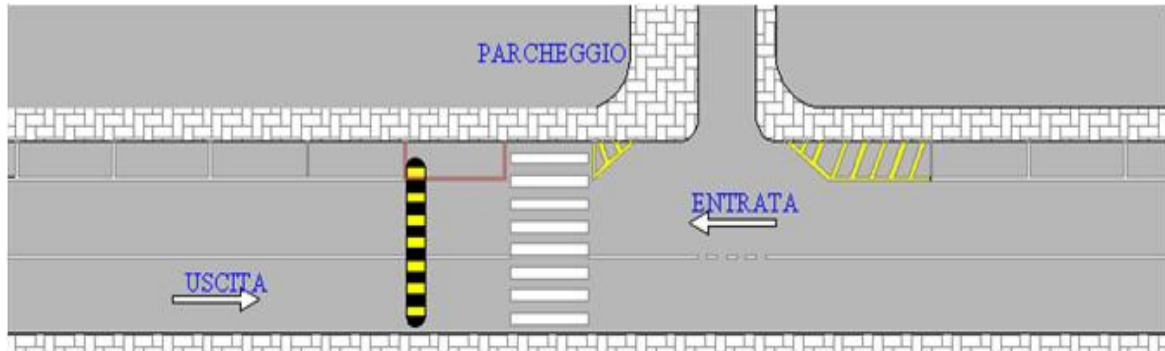


Figura 7.7. Configurazione dell'attraversamento Edificio Didattica



Figura 7.8. Attraversamento Edificio Didattica

-Attraversamento Edificio Matematica: la larghezza della carreggiata è pari a 8,75 m, sono presenti sia parcheggi a nastro paralleli al flusso di marcia che a spina di pesce presso ampliamenti della carreggiata ricavati appositamente. Inoltre la vicinanza di un'area a parcheggio costituisce una fonte di afflusso di veicoli e pedoni. Non si riscontra la presenza di elementi di traffic calming.

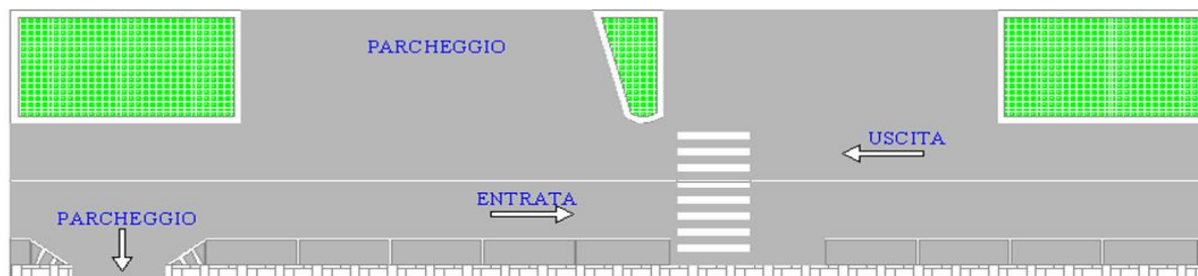


Figura 7.9. Configurazione dell'attraversamento Edificio Matematica



Figura 7.10. Attraversamento Edificio Matematica

### 7.2.2 Analisi dei Risultati

Sono stati calcolati i valori di PRI per un campione di conflitti sufficientemente corposo, analizzando 50 conflitti nei diversi sensi di marcia, per entrambi gli attraversamenti.

Di seguito si riportano le variabili statistiche che riassumono l'analisi effettuata.

Tabella 7.5.: Valori medi e deviazione standard di PRI (Cittadella Universitaria)

Attraversamento	PRI	
		$\mu$
Didattica in uscita	$\sigma$	36,02
		$\mu$
Didattica in entrata	$\sigma$	31,61
		$\mu$
Matematica in entrata	$\sigma$	92,13
		$\mu$
Matematica in uscita	$\sigma$	36,73

Supponendo che il traffico sia uguale su entrambi gli attraversamenti, considerando quindi uguale il fattore di esposizione, si è effettuato un confronto statistico.

Per verificare se i valori di PRI ottenuti presentano differenze statisticamente significative si è adoperato un test t-Student. Questo test viene utilizzato per la significatività e per l'intervallo di confidenza della differenza tra due medie. Si vuole capire se la differenza è dovuta al caso o esiste una reale diversità tra le medie delle due popolazioni da cui i campioni stessi derivano (l'ipotesi nulla).

Nella pratica un test T-student rivela differenze statisticamente significative, se si ottiene un *p-value* inferiore a 0,05 per un livello di confidenza del 95%. Il valore della variabile *p* è un test di verifica d'ipotesi e indica la probabilità di ottenere un risultato pari o superiore a quello osservato, supposta vera l'ipotesi nulla (l'ipotesi che si vuole verificare nel test, in contrapposizione all'ipotesi alternativa). Talvolta viene anche chiamato livello di significatività osservato.

Per effettuare un confronto tra le due distribuzioni normali, si è valutato preventivamente un *F-test* in maniera da valutare se i campioni potessero assumere o meno uguale varianza.

Anche qui l'ipotesi nulla (varianze dei campioni diverse tra loro) viene verificata da valori p inferiori allo 0,05 (livello di confidenza del 95%).

Tabella 7.6.: Test statistici sui dati rilevati (Cittadella Universitaria)

	$\Delta$ PRI	F-Test		T-Student	
		F-ratio	P-value	T-value	P-value
Didat_ent vs Didat_usc	15,00	0,770	0,3809	2,147	0,0344
Mat_ent vs Mat_usc	-6,18	6,291	0,0000	-0,440	0,0461
Didat_ent vs Mat_ent	-10,98	0,118	0,0000	-0,793	0,4310
Didat_usc vs Mat_usc	-2,16	0,961	0,8911	-0,296	0,7681
Didat_usc vs Mat_ent	4,02	0,153	0,0000	0,287	0,0177
Didat_ent vs Mat_usc	-17,16	0,740	0,3134	-3,337	0,0172

*(in grigio le coppie di campioni che presentano differenze significative)*

Dai test statistici non sono state rilevate differenze significative nel caso di confronto tra i due flussi di entrata o i due flussi d'uscita.

Questa osservazione combinata con i valori di PRI trovati in precedenza porta ad affermare che il rischio, legato all'attraversamento del pedone, è correlato al motivo dello spostamento del veicolo.

In entrata, infatti il flusso è condizionato dalla presunta ricerca del parcheggio e le basse velocità e l'innalzamento della soglia di attenzione riducono il rischio di incidente con il pedone.

Ne conseguono valori più bassi del PRI, che sono pressoché simili per due attraversamenti.

Il conflitto con il flusso in uscita presenta valori di PRI più alti, legati alla psicologia del conducente che si sente più tranquillo nel lasciare una zona a carattere prettamente pedonale, percorrendo la stessa a velocità più elevate.

Dal confronto tra gli attraversamenti, risulta sensibile la diminuzione del rischio pedonale grazie alla presenza del dosso.



### 7.3 Applicazione III: Belgida (Valencia, Spagna)

#### 7.3.1 Descrizione

E' stato condotto uno studio sperimentale presso Belgida, città della Comunità Valenciana (Spagna), nel trimestre febbraio/maggio 2009, durante un periodo di formazione all'estero. Si è posto in essere uno studio before-after, per la valutazione dell'efficacia, in ambito di sicurezza stradale, di alcuni elementi di moderazione del traffico, quali attraversamenti rialzati e dossi, posti in differenti configurazioni.

Lo studio è parte di un progetto sovvenzionato dal CEDEX (Centro de Estudios y Experimentacion: Centro di Studio e Sperimentazione) del Ministero alle Opere Pubbliche di Spagna.

Il progetto denominato "MODETRA- Metodología para el diseño e implantación de sistemas de moderación de tráfico", ha avuto inizio nel dicembre del 2007 avrà una durata di tre anni.

Il progetto ha coinvolto il Dipartimento dei Trasporti dell'Università Politecnica di Valencia, una fondazione dedicata alla promozione e allo sviluppo di progetti di ricerca, la CIDAUT (Compania de Investigacion y Desarrollo transporte energia y AUTomacion), e due imprese private, una che si occupa di tecnologia (ETRA) e una di progettazione (TYPESA).

Al progetto hanno lavorato anche enti pubblici come la Direzione Generale del Traffico, il Dipartimento delle Infrastrutture e Trasporti della Generalitat Valenciana e la città di Valladolid.

L'obiettivo principale del progetto è di sviluppare una metodologia per la progettazione e realizzazione di sistemi di moderazione del traffico, stabilendo una serie di criteri tecnici per valutare e classificare questi sistemi oggettivamente. Si cerca di sistematizzare il loro utilizzo, ottimizzando le risorse economiche, la loro efficacia come elementi di sicurezza del traffico, il suo impatto sulla sicurezza stradale e il comfort degli utenti.

I contributi scientifici attesi dal progetto riguarderanno lo sviluppo di una metodologia di progettazione e applicazione di elementi di moderazione del traffico, che consentono alle amministrazioni di affrontare il miglioramento della sicurezza stradale attraverso l'ottimizzazione delle risorse disponibili.

Un'innovazione tecnologica sarà la creazione di un laboratorio mobile per il traffico che dal punto di vista metodologico, acquisirà informazioni tramite l'implementazione di una rete di

sensori e videocamere wireless, in maniera da stabilire con più precisione le velocità, le traiettorie, le accelerazioni e decelerazioni intraprese dagli utenti della strada.

Il laboratorio mobile di cattura video utilizzato per la raccolta dei dati risulta composto da una piattaforma elevatrice, su cui, in corrispondenza del cestello, sono state montate 6 videocamere, per una ripresa completa e dettagliata del contesto in studio.

La piattaforma in questione può raggiungere un'altezza massima di 13,2 metri in verticale e ha un braccio che può estendersi in orizzontale per 6 metri portando il cestello all'altezza di 5,9 metri. Attraverso la piattaforma si può realizzare un punto di ripresa privilegiato, posto in una posizione non visibile al conducente e libero da qualsiasi ostacolo (Figura 7.11).



Figura 7.11. Laboratorio mobile dell'Università Politecnica di Valencia

Si è quindi implementato un sistema di telecamere a circuito chiuso, che assieme ad un armadietto costituiscono l'apparecchiatura posta sul cestello. Le videocamere sono collegate a questo armadio che ha funzione di protezione di altri due elementi del sistema: un hard disk per la registrazione dati di capienza di 4 TeraByte e un modem switch wireless in maniera da realizzare un collegamento remoto da terra, attraverso un pc. L'interfaccia tra il pc e le videocamere è realizzato tramite un controller PTZ (per telecamere comandate a distanza, sta per PAN/TILT/ZOOM. PAN è il movimento in orizzontale, TILT il movimento in verticale e

ZOOM il controllo della focale dell'obiettivo.), posto anch'esso all'interno dell'armadietto (Figura 7.12).

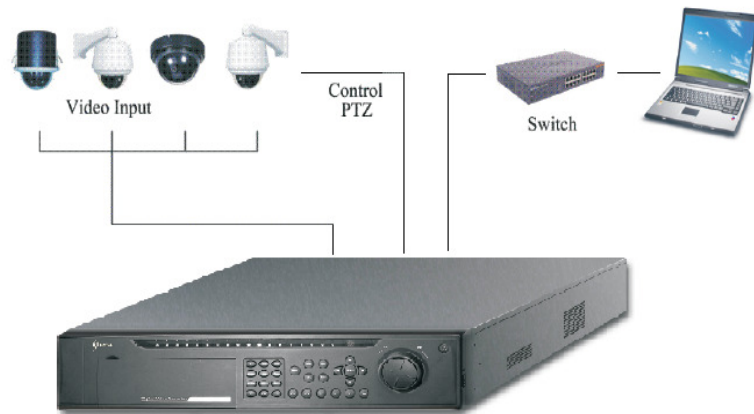


Figura 7.12. Architettura del sistema

Lo studio è stato ubicato in corrispondenza di un'intersezione lungo una strada di attraversamento del paese di Belgida (Figura 7.13) che presenta due attraversamenti pedonali [2][3].

A causa della configurazione del sito, la velocità sulla strada principale assume valori elevati, influenzando il traffico pedonale e creando situazioni di pericolo potenziale e un senso di insicurezza negli utenti più vulnerabili (Figura 7.14).



Figura 7.13. Localizzazione dello studio



Figura 7.14. Configurazione del sito in studio

E' stato strutturato uno studio composito Before-After sviluppato in 4 differenti fasi in cui si sono posti in essere diverse combinazioni di interventi di traffic calming, cominciando dalla configurazione originale (configurazione zero) per arrivare alla configurazione più completa con dossi e attraversamenti rialzati.

Uno dei principali vantaggi di uno studio prima-dopo è quello di valutare direttamente con misurazioni sul campo ed in maniera rapida ed immediata quanto un intervento di traffic calming influisce sul sistema "sicurezza stradale".

#### 7.3.1.1 Prima fase (Nord 1 & Sud 1)

La configurazione iniziale include due attraversamenti non semaforizzati che presentano una cattivo stato di manutenzione delle strisce che rendono scarsamente visibile la pittura della segnaletica orizzontale.

Lo studio ha avuto luogo il 3 Aprile 2009, prevedendo la registrazione di video tra le 9,00 e le 13,00, in collaborazione con il team di ricerca del Prof. Alfredo Garcia Garcia (Dipartimento dei Trasporti dell'Università Politecnica di Valencia).



Figura 7.15. Attraversamento Sud (A) e Nord (B) nel primo scenario

### 7.3.1.2 Seconda fase (Nord 2 & Sud 2)

Il primo intervento sulla configurazione iniziale comprende il rifacimento delle strisce, aumentandone il contrasto con la pavimentazione e riportando l'attraversamento a condizioni ottimali.

Questo permette di individuare facilmente un tratto di strada adibito all'attraversamento dei pedoni, ma non interviene sulla moderazione della velocità.

Il rifacimento della pittura è stata realizzato il 9 Aprile 2009, mentre i video sono stati registrati tra le 9,00 e le 13,00 del 28 Aprile 2009.



Figura 7.16 Attraversamento Sud (A) e Nord (B) nel secondo scenario

### 7.3.1.3 Terza Fase(Nord 3 & Sud 3)

Nella terza fase sono stati realizzati degli interventi di traffic calming sui due attraversamenti non semaforizzati

L'attraversamento nord è stato lasciato come nelle configurazioni precedenti ma è stato posizionato un dosso posto in opera 60 metri prima nella direzione di percorrenza nord-sud.

Il dosso ha un'altezza massima di 6 cm e un'estensione di 1,5 m.



Figura 7.17. Esempio di dosso posto in opera

L'attraversamento posto a sud è stato modificato con la realizzazione di un attraversamento rialzato in corrispondenza delle strisce allo scopo di moderare la velocità di percorrenza media.

Anche l'attraversamento rialzato così come il dosso è stato realizzato in opera ed ha un'altezza massima di circa 10 cm e un'inclinazione media delle rampe di 1:20, mentre le dimensioni in pianta sono di 7 m in larghezza e 9 m in lunghezza.



Figura 7.18. Esempio di Attraversamento rialzato posto in opera

L'intervento è stato effettuato il 2 Luglio 2009, ma la registrazione è stata effettuata solo il 15 Luglio dello stesso mese, nelle stesse ora di ripresa in cui si sono effettuate anche le precedenti fasi.

Lo sfalsamento delle date è dovuto all'intento di eliminare le fluttuazioni che possono crearsi nel comportamento dell'utente che si trova di fronte ad una nuova situazione di traffico, faticando, soprattutto le prime volte, a leggerne la configurazione.

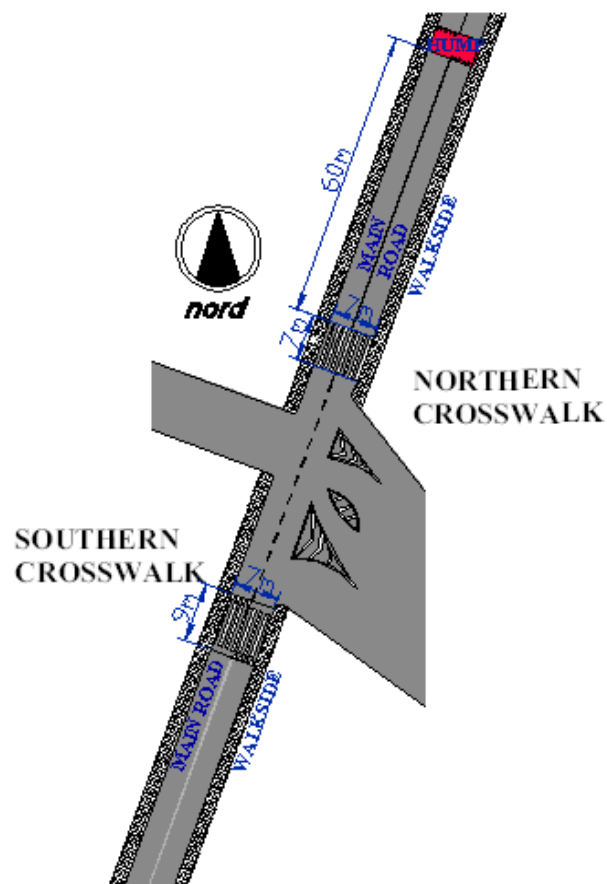


Figura 7.19. Attraversamento Sud (A) e Nord (B) nel terzo scenario

7.3.1.4 Quarta Fase(Nord 4 & Sud 4 )

L'ultimo miglioramento riguarda la realizzazione di un attraversamento rialzato prefabbricato (casa costruttrice 3M) in corrispondenza dell'attraversamento Nord che risulta, ora, combinato con l'intervento realizzato in precedenza, ovvero il dosso posto 60 metri prima.

L'altezza massima dell'intervento è di circa 7,5 cm per una lunghezza di 7 metri (pari alla larghezza della carreggiata) e una larghezza di 5,5 metri, con un'inclinazione delle rampe pari a 1:10.

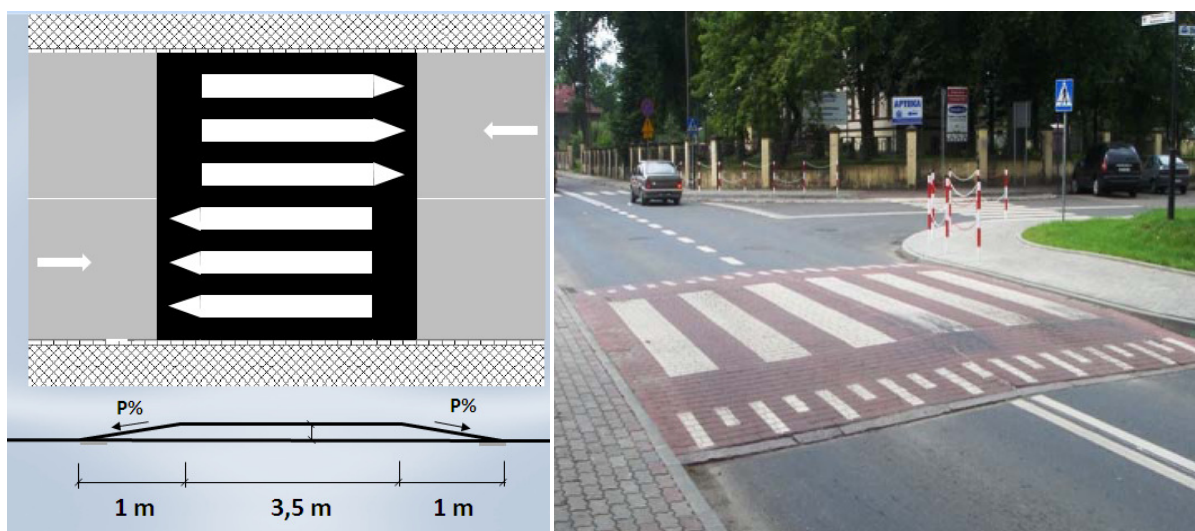


Figura 7.20. Esempio di attraversamento rialzato prefabbricato

L'attraversamento sud rimane come nella fase precedente ma viene aggiunto un dosso prefabbricato 200 metri prima dello stesso, di altezza massima pari a 3 cm e larghezza di 60 cm .

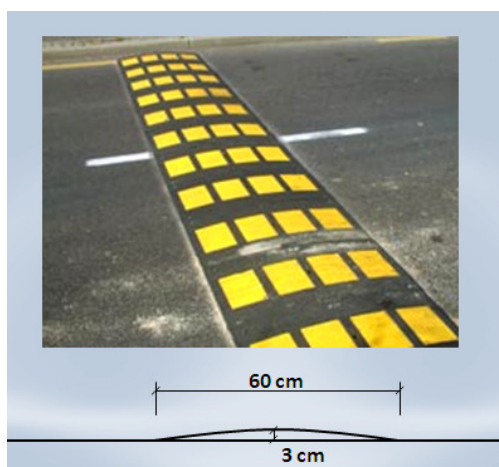


Figura 7.21. Esempio di dosso prefabbricato



La data scelta per la cattura de video è stata il 3 Settembre 2009, più di 30 giorni dopo l'intervento, sopra descritto avvenuto il 30 Luglio dello stesso anno. Il periodo di analisi è sempre quello che considera le 4 ore della mattina che vanno dalle 9,00 alle 13,00.

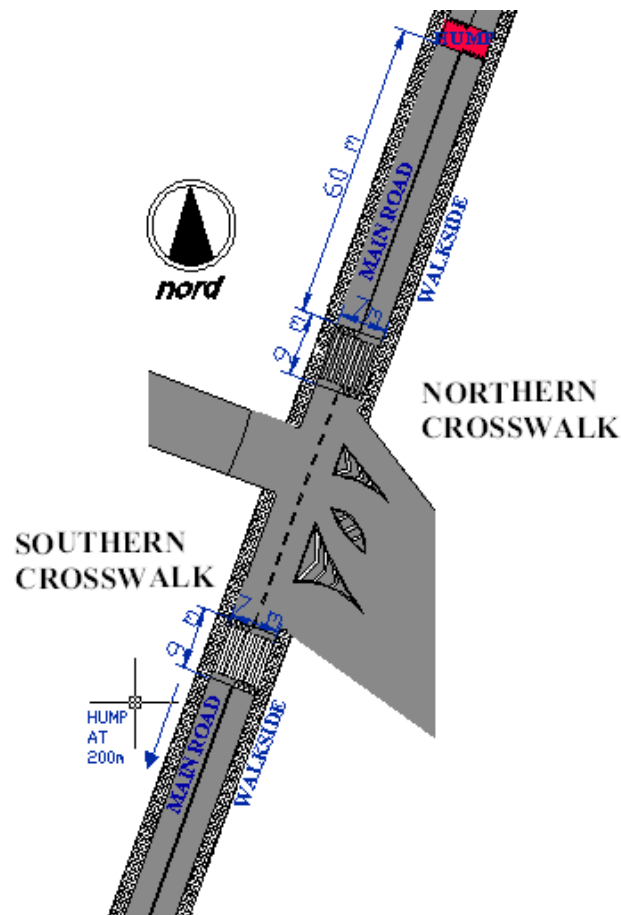


Figura 7.22. Attraversamento Sud (A) e Nord (B) nel quarto scenario

### 7.3.2 Analisi dei risultati

I valori del PRI ottenuti hanno rivelato che l'indicatore proposto risulta sensibile alla determinazione dell'efficacia dei miglioramenti apportati e all'identificazione dei cambiamenti indotti sul comportamento dell'utente, individuando quali configurazioni risultino più efficaci e quali ridondanti o addirittura inadeguate.

Diversamente da quanto fatto nelle applicazioni precedenti si sono tenute in considerazione situazioni in assenza del pedone, per comprendere l'influenza che il pedone possa avere nella guida del conducente del veicolo.

Le diverse tipologie di conflitto presenti in una configurazione così complessa hanno portato l'autore a selezionare quelle che risultano più vincolanti per la sicurezza dei pedoni.

Si sono quindi escluse le manovre di svolta, per le velocità molto basse e per l'obbligo di precedenza dei flussi in attraversamento, e le manovre di attraversamento dell'intersezione sulla strada principale all'interno dei due attraversamenti, in cui il comportamento di guida sarebbe influenzato da quanto presente nel tratto di strada precedente, ovvero l'attraversamento pedonale o gli interventi di traffic calming, piuttosto che al semplice approccio al percorso pedonale.

Le tabelle di seguito riportano i valori medi e la deviazione standard del PRI per le 4 configurazioni, facendo riferimento alle situazioni con e senza pedone per entrambi gli attraversamenti, indicando la numerosità del campione studiato.

Tabella 7.7.: Media e deviazione standard dei valori di PRI per l'attraversamento nord (Bélgida)

		1^Fase		2^ Fase		3^ Fase		Campione	PRI
		Campione	PRI	Campione	PRI	Campione	PRI		
Nord->Sud senza pedone	$\mu$	60	<b>209,14</b>	32	<b>181,03</b>	40	<b>67,60</b>	38	34,9
	$\sigma$		134,01		93,74		30,48		32,6
Nord->Sud con pedone	$\mu$	38	<b>269,80</b>	37	<b>173,42</b>	35	<b>58,33</b>	37	<b>33,2</b>
	$\sigma$		132,17		103,48		22,36		17,2

Tabella 7.8.: Media e deviazione standard dei valori di PRI per l'attraversamento sud (Bélgida)

		1^Fase		2^ Fase		3^ Fase		4^fase	
		Campione	PRI	Campione	PRI	Campione	PRI	Campione	PRI
Sud->Nord senza pedone	$\mu$	60	<b>116,50</b>	55	<b>142,60</b>	30	<b>22,54</b>	34	<b>59,47</b>
	$\sigma$		86,95		69,65		62,55		21,62
Sud->Nord con pedone	$\mu$	47	<b>106,68</b>	35	<b>115,61</b>	30	<b>30,03</b>	32	<b>47,85</b>
	$\sigma$		50,14		52,99		22,20		21,61

Per verificare la significatività e l'intervallo di confidenza della differenza tra le medie dei valori di PRI ottenuti e comprendere se la differenza è dovuta al caso o esiste una reale diversità tra le medie delle due popolazioni si effettua un test T-student .

Il valore discriminante che indica il livello di significatività osservato è, come detto in precedenza, il p-value. Un test T-student rivela differenze statisticamente significative, se si ottiene un p-value inferiore a 0,05 per un livello di confidenza del 95%.

Anche nel caso in esame si è verificato che le varianze dei campioni siano diverse tramite un F-test ( valori di P-value inferiori allo 0,05 per un livello di confidenza del 95%).

Tabella 7.9.: F-test and test T-Student nelle 4 configurazioni nell'attraversamento nord (Bélgida)

CONFIGURAZIONE	SENZA PEDONE					CON PEDONE				
	ΔPRI	F-Test		T-Student		ΔPRI	F-Test		T-Student	
		F-ratio	P-value	T-value	P-value		F-ratio	P-value	T-value	P-value
Nord_1 vs Nord_2	28,12	2,04	0,03	1,17	0,24	96,38	1,63	0,14	3,51	0,00
Nord_1 vs Nord_3	141,55	19,33	0,00	7,88	0,00	211,48	34,93	0,000	9,71	0,00
Nord_1 vs Nord_4	174,23	16,88	0,000	9,63	0,00	236,62	58,75	0,000	10,94	0,00
Nord_2 vs Nord_3	113,43	9,46	0,00	6,57	0,00	115,10	36,01	0,00	8,13	0,00
Nord_2 vs Nord_4	146,11	8,26	0,00	8,40	0,00	140,24	367,74	0,000	5,52	0,00
Nord_3 vs Nord_4	32,68	0,87	0,68	4,57	0,00	25,14	1,68	0,13	5,36	0,00

*(in grigio le coppie di campioni che presentano differenze significativi)*

Tabella 7.10.: F-test and test T-Student nelle 4 configurazioni nell'attraversamento sud (Bélgida)

CONFIGURAZIONE	SENZA PEDONE					CON PEDONE				
	ΔPRI	F-Test		T-Student		ΔPRI	F-Test		T-Student	
		F-ratio	P-value	T-value	P-value		F-ratio	P-value	T-value	P-value
Sud_1 vs Sud_2	-26,10	1,56	0,10	-1,77	0,08	-8,93	0,90	0,72	-0,78	0,44
Sud_1 vs Sud_3	93,96	1,93	0,06	5,27	0,00	76,65	5,10	0,00	9,17	0,00
Sud_1 vs Sud_4	57,03	16,18	0,000	4,82	0,00	58,84	5,38	0,00	7,13	0,00
Sud_2 vs Sud_3	120,07	1,24	0,54	8,12	0,00	85,58	5,70	0,00	8,70	0,00
Sud_2 vs Sud_4	83,14	10,38	0,00	8,23	0,00	67,76	6,01	0,00	6,96	0,00
Sud_3 vs Sud_4	-36,93	8,37	0,00	-3,08	0,00	-17,82	1,06	0,88	-3,20	0,00

*(in grigio le coppie di campioni che presentano differenze significativi)*

Da quanto riportato in precedenza, si rileva che l'uso di elementi di traffic calming come attraversamenti rialzati o dossi presso l'attraversamento rivela miglioramenti consistenti nel comportamento degli utenti della strada.

Il rifacimento delle strisce non ha mostrato una riduzione significativa dei valori di PRI, dimostrando che il problema della sicurezza non è legato all'individuazione di un tratto di strada in cui si ha la possibilità di incontrare pedoni in attraversamento.

La sequenza di un dosso e un attraversamento rialzato lungo la stessa direzione porta benefici rispetto alle soluzioni con solo uno dei due elementi, solo nel caso in cui il dosso è abbastanza vicino da influenzare il comportamento di guida.

Il conducente del veicolo non sembra percepire la presenza di un pedone in attesa di attraversare sul marciapiede come una limitazione del proprio spazio di manovra, come indicato dall'assenza di differenze significative tra i valori di PRI rilevati nelle situazioni di conflitto con e senza pedone.

## **Bibliografia**

- [1] Cafiso, S., Montella, A., Mauriell, F., Pappalardo, G. e. Cavarra R.. “Valutazione dei fattori di rischio degli attraversamenti pedonali mediante analisi di sicurezza e analisi dei conflitti”. Atti del 17° Convegno SIIV ,Enna, IT, 2008.
- [2] Cafiso, S., Garcia, A., Romero, M. e Cavarra R.. “Pedestrian crossing safety improvements: Before and after study using Traffic Conflict Technique”. Atti del IV International Symposium on Highway Geometric Design, Valencia, ES, 2010.
- [3] Cafiso, S., Garcia, A., Romero, M. e Cavarra R.. “Before and After Study of Crosswalks using a Pedestrian Risk Index”. In atto di presentazione al convegno annuale del Transportation Research Board, Washington, DC, USA, Gennaio 2011.



## CONCLUSIONI

L'analisi delle statistiche di incidentalità stradale rappresenta tradizionalmente il principale strumento per analizzare il livello di sicurezza e valutare programmi intervento. Sono, comunque, da tempo note le limitazioni di questo approccio, la cui criticità è spesso legata all'incompletezza o addirittura alla mancanza di informazioni sugli incidenti che possono portare a falsare una corretta stima delle condizioni di sicurezza.

In letterature, già dai primi anni '70, si registrano diversi tentativi di sviluppare processi di valutazione che si svincolassero dalla semplice registrazione e analisi dei dati di incidentalità.

Una soluzione interessante che supera le limitazioni legate alle tradizionali strategie di intervento basate sull'individuazione dei siti ad elevata incidentalità, è il ricorso a misure surrogate di sicurezza, le Surrogate Safety Measures, che si basa sull'analisi di parametri fisici osservabili che sono legati in maniera prevedibile agli incidenti.

La tecnica dei conflitti di traffico (TCT) è forse la misura surrogata più sviluppata nella sicurezza stradale. La tecnica in se è collegata alla capacità di registrare situazioni vicine all'incidenti, i conflitti appunto, direttamente sul traffico in tempo reale e quindi offre un modo più veloce e, per molti aspetti più efficace dal punto di vista operativo per la valutazione della sicurezza e degli effetti degli interventi attuati. Si tratta, inoltre, di un approccio mirato alla prevenzione e alla determinazione delle cause che conducono ad eventi che coinvolgono due o più utenti della strada.

Il vantaggio fondamentale della TCT è quello di analizzare dei fenomeni che si presentano con maggiore frequenza rispetto agli incidenti, permettendo di analizzare un campione di grandi dimensioni in un breve periodo di osservazione.

In letteratura si ritrova una diffusa trattazione sulla validità della tecnica, soprattutto per quel che riguarda la presenza di una precisa correlazione statistica tra la frequenza dei conflitti e quella degli incidenti. Diversi studi hanno puntato il dito contro l'affidabilità della tecnica, basandosi su questa mancanza. Altri hanno evidenziato l'utilità dell'approccio per la capacità di identificare e valutare le carenze operative, mettendo in luce eventuali comportamenti corrotti degli utenti e suggerendo l'adozione di contromisure e miglioramenti legati alla sicurezza stradale, rispetto al dato incidentale che risulta condizionato da aleatorietà statistica. In

---

quest'ottica per alcuni ricercatori, sembra non preoccupare eccessivamente la difficoltà di stabilire una correlazione statistica ben definita con gli incidenti, legata forse alla complessità della modellazione del fenomeno dell'incidentalità.

Nonostante la TCT registri applicazioni già da qualche decennio, si è evidenziato come nel campo dei conflitti tra veicoli e pedoni, pochi ricercatori abbiano sviluppato metodologie specifiche per tale particolare tipologia di evento.

Nella presente tesi, si sono analizzati quegli indicatori di conflitto di traffico che hanno registrato applicazioni nel campo dell'incidentalità pedonale, focalizzandosi, principalmente, sulle loro potenzialità e limitazioni, in maniera da comprendere le carenze degli stessi e proporre soluzioni adeguate.

Dalle considerazioni fatte, si è proposto un nuovo indice di conflitto "ad hoc" per analizzare i conflitti tra veicoli e pedoni, ponendo particolare attenzione a quegli eventi che avvengono in corrispondenza di attraversamenti pedonali non semaforizzati: il "Pedestrian Risk Index"(PRI).

Il PRI è un indicatore del tipo "se...allora" ed è in grado di valutare la probabilità e severità di un potenziale conflitto tra veicolo e pedone, prendendo in considerazione come elementi l'esposizione, la pericolosità della situazione del traffico e la gravità di un eventuale scontro.

Al fine di validare l'indicatore di conflitto e calibrare alcuni parametri presenti nella sua formulazione, si è effettuata un'analisi statistica su un campione di attraversamenti pedonali non semaforizzati, situati nel contesto limitrofo alla sede in cui ha avuto luogo la di ricerca: Catania e Biancavilla.

I siti scelti presentano caratteristiche omogenee, e una storia incidentale agli ultimi 5 anni, valore preso come parametro di confronto indicativo delle condizioni di sicurezza del sito.

La procedura di calibrazione ha consentito di individuare i valori dei parametri di input che massimizzano la correlazione statistica con i dati incidentali. Inoltre, la correlazione statistica trovata risulta significativa al fine di definire una relazione tra PRI e numero atteso di incidenti.

Per valutare sul campo l'applicabilità e l'affidabilità dell'indice proposto, si sono effettuate diversi studi sperimentali, nell'arco del periodo di ricerca. Le applicazioni in situ hanno riguardato realtà anche diverse tra loro, ma accomunate dalla presenza di attraversamenti pedonali non semaforizzati:



- Prima applicazione “Giugliano (Napoli)”: analisi di tre attraversamenti e confronto con una metodologia di Road Safety Review;
- Seconda applicazione “Cittadella Universitaria (Catania)”: confronto tra due attraversamenti con presenza o meno di elementi di Traffic Calming.
- Terza applicazione “Bélgida( Valencia-ES)”: studio before-after strutturato in quattro differenti fasi, in cui si sono implementate diverse soluzioni di moderazione del traffico.

Tali applicazioni che hanno permesso di fornire indicazioni e spunti di discussione sulle potenzialità del PRI, così come su possibili limiti, da una prospettiva teorica e pratica, portando in evidenza l'esigenza di una metodologia ragionevolmente efficace, veloce e sicura che può essere utilizzata come strumento preventivo di sicurezza.

Si è sviluppata una metodologia organica di analisi dei dati, che combina le Road Safety Review, l'elaborazione video e l'analisi delle immagini tramite applicativi Visual Basic, in grado di estrarre le informazioni geometriche e cinematiche necessarie al calcolo del PRI.

La possibilità dell'utilizzo della tecnologia moderna, come le tecniche automatizzate di video-analisi, ha permesso di semplificare e rendere più veloce e sicura la fase di acquisizione dati. L'osservazione sul posto è comunque necessaria, e resta una parte qualitativa importante delle metodologie presenti e future di analisi di sicurezza.

I casi studio hanno mostrato la bontà dell'indice proposto, evidenziando l'efficacia nell'individuare le carenze del sistema di sicurezza pedonale, nel valutare gli effetti dei miglioramenti implementati in configurazioni successive e le conseguenti modifiche nel comportamento del conducente a cui può attribuirsi una variazione nella probabilità e nella gravità di uno scontro pedone-veicolo.

Pertanto, il PRI può essere considerato un fattore "specifico" di rischio, che può essere adoperato al fine di confrontare diversi siti ed effettuare un network screening, ovvero una classificazione della pericolosità dei siti di una rete, in maniera da intervenire solo dove eventualmente necessario nell'ottica di un'ottimizzazione delle risorse finanziarie e logistiche.

La sensibilità dimostrata dal modello nell'individuare le variazioni nelle configurazioni degli attraversamenti pedonali e la correlazione statistica con i dati di incidentalità, consentono di affermare che la metodologia risulta efficace nell'analisi dei fattori influenzanti la sicurezza pedonale.

---

Ulteriori sviluppi della ricerca potrebbero puntare sull'affinamento nella modellizzazione del comportamento dell'utente pedonale e sull'ampliamento del campione di verifica relativo alla correlazione con gli incidenti.

---

## **Ringraziamenti**

*Giunto alla fine di questa affascinante esperienza nel campo della ricerca delle Infrastrutture Viari, penso sia più che giusto spendere parole di ringraziamento verso coloro che mi hanno aiutato e sostenuto in questo mio percorso.*

*Ringrazio, prima di tutti, il prof. Salvatore Cafiso, tutor di questa tesi, per i consigli, la pazienza e la disponibilità mostrata nei miei confronti, per aver dato soddisfazione al mio amore per la ricerca, per avermi spronato nel portare avanti idee e soluzioni ed essersi rivelato aiuto infaticabile per lo sviluppo della ricerca.*

*Ricorderò sempre con affetto i tre anni passati all'interno di un gruppo di ricercatori, costituito senza dubbio da elementi validissimi nel campo dello studio della sicurezza stradale, ma che si sono dimostrati essere per me veri amici più che semplici colleghi.*

*Non posso esimermi dal menzionare tutti coloro che hanno reso possibile portare a compimento la tesi, cominciando dal prof Alfredo Garcia Garcia, che nel periodo passato in Spagna mi ha fornito spunti interessanti per i miei studi, brillando sempre per disponibilità e cortesia. Aggiungo un ringraziamento a tutti i colleghi dell'ufficio dottorandi di "Ingeniería de Caminos" di Valencia ed in particolare a Mario Romero, ottimo amico ed elemento fondamentale nella realizzazione del presente lavoro.*

*Quanto fatto non sarebbe stato possibile senza la presenza, alle mie spalle, di persone che hanno saputo infondere in me serenità e fiducia nei miei mezzi. Per tale motivo, desidero ringraziare la mia famiglia e i miei amici e soprattutto Federica, che mi hanno supportato e "sopportato" instancabilmente, "godendosi" i miei momenti sereni e quelli che invece non lo sono stati affatto, sempre pronti a darmi una parola d'incoraggiamento.*

*A loro dedico la mia tesi*



---

## RIEPILOGO BIBLIOGRAFICO

- Alexander, G.H. e Lunenfeld, H. “A user’s guide to positive guidance. (Third edition)”. FHWA-SA-90-017. Federal Highway Administration FHWA, U.S. Department of Transport, Washington D.C., 1990.
- Allen, B.L., Shin, B.T. e Cooper, D.J. “Analysis of traffic conflicts and collision”. Transportation Research Record, 667, 67-74, 1978.
- Almqvist, S. e Hydén, C. “Methods for Assessing Traffic Safety in Developing Countries”, Lund University, Lund, Sweden, 1994.
- Amundsen, F.H. e Hyden, C., “Eds. 1977” Atti del Primo Workshop sul Traffic Conflct. Institute of Transport Economics, Oslo/Lund Institute of Technology, Oslo, Norway, 1977.
- Anderson, R.W.G., McLean, A.J., Farmer, M.J.B., Lee, B.H. e Brooks, C.G. “Vehicle travel speeds and the incidence of fatal pedestrian crashes”. Accident Analysis and Prevention 29, pp. 667–674, 1997.
- Archer, J., e Kosonen, I. “The Potential of Micro-Simulation Modelling in Relation to Traffic Safety Assessment”, ESS Conference, Germania, 2000.
- ARPAV. “Campagna di rilevamento della qualità dell’aria nel comune di San Vendemiano”, Dipartimento provinciale di Treviso , 2002.
- Ashton, S.J. “A preliminary assessment of the potential for pedestrian injury reduction through vehicle design”. SAE Technical Paper 801315, 1980.
- Ashton, S.J., Pedder, J.B. e Mackay, G.M.. “Pedestrian injuries and the car exterior”. SAE Technical Paper 770092, 1997.
- Bagley, C. The Urban Setting of Juvenile Pedestrian Injuries: A Study of Behavioral Ecology and Social Disadvantage. Accident Analysis and Prevention, Vol. 24, No. 6, pp. 673–678,1992.
- Bennett,S., Felton, A. e Akçelik, R. “Pedestrian movement characteristics at signalised intersections.” Presentato alla 23^ Conferenza dell’ Australian Institutes of Transport Research, Monash University, Melbourne, Australia, 2001.

- 
- Cafiso S., La Cava G., Montella A., Pappalardo G.. “Una procedura per il miglioramento dell’efficacia e dell’affidabilità delle ispezioni di sicurezza delle strade esistenti”. XXV Convegno Nazionale Stradale dell’Associazione Mondiale della Strada Comitato Nazionale Italiano, Napoli, 2006.
  - Cafiso, S., Montella,A., Mauriell, F., Pappalardo, G. e Cavarra R.. “Valutazione dei fattori di rischio degli attraversamenti pedonali mediante analisi di sicurezza e analisi dei conflitti”. Atti del 17° Convegno SIIV ,Enna, IT, 2008.
  - Cafiso, S., Garcia, A., Romero, M. e Cavarra R.. “Before and After Study of Crosswalks using a Pedestrian Risk Index”. In atto di presentazione al convegno annuale del Transportation Research Board, Washington, DC, USA, Gennaio 2011.
  - Cafiso, S., Garcia, A., Romero, M. e Cavarra R.. “Pedestrian crossing safety improvements: Before and after study using Traffic Conflict Technique”. Atti del IV International Symposium on Highway Geometric Design, Valencia, ES, 2010.
  - Cavallo, V. e Laurent, M. Visual information and skill level in Time-to-collision estimation”, Perception, 17, pp.623-632, 1988.
  - Chaloupka, C., Van der Horst, R. e Mulrad, N. “Pedestrian Problem” . Atti del 6° Workshop di ICTCT , Praga, 1994.
  - Chin, H.C. e Quek, S.T. “Measurement of Traffic Conflicts”, Safety Science, Vol. 26, No. 3, pp. 169-187.1997.
  - Cinecki, M.J. “Development of a Conflicts Analysis Technique for Pedestrian Crossings. Transportation Research Record, n.743, TRB, Washington, D.C., 1980.
  - Cuerden, R., Richards, D. e Hill, J.2Pedestrians and their survivability at different impact speeds”. Atti della XX International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, June 18–21, Lyon, France, 2007
  - Davis, G. “Method for estimating effect of traffic volume and speed on pedestrian safety for residential streets”. Transportation Research Recordo 1636, pp. 110–115, Washington, DC, 2000.
  - Davis, G.A. “Relating severity of pedestrian injury to impact speed in vehicle 445 pedestrian crashes”. In Transportation Research Record No. 1773, Washington, D.C., USA, 2001, pp. 108-113, 2001.
  - Deflorio F. P, Cantarella G.E. eRusso F., “La simulazione delle richieste di viaggio nei sistemi di trasporto a chiamata”. In: Metodi e tecnologie dell’ingegneria dei trasporti. Seminario 2002, FrancoAngeli Vol. 1798.13, pagine da 186 a 199, 2002.

- 
- Douglas Robertson, H. e Hummer, J.E. “Manual of transportation engineering studies”. Prentice Hall, 1994.
  - Dunn, R. e Pretty, R., “Mid-Block Pedestrian Crossings - An Examination of Delay.” Presentato al 12° Annual Australian Road Research Board Conference, Hobart, Tasmania, Australia, 1984.
  - Epperson, B. “Demographic and Economic Characteristics of Bicyclists Involved in Bicycle-Motor Vehicle Accidents”. In Transportation Research Record 1502, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 58–64, 1995.
  - ERSO, European Road Safety Observatory, “Annual Statistical Report 2008”, 2008.
  - Farber, B. “Designing a distance warning system from the user point of view”. APSIS report, Glonn-Haslach, 1991.
  - Ferrandez, F. “L’étude détaillée d’accidents orientée vers la sécurité primaire, méthodologie de recueil et de pré-analyse”. Rivista dell’Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Parigi, 1995.
  - Ferrandez, F., Fleury, D. e Malaterre, G., 1986. “L’étude détaillée d’accidents (EDA), une nouvelle orientation de la recherche en sécurité routière”. Recherche Transports Sécurité, 9/10, 17-20, 1986.
  - Fitzpatrick, K., Turner, S.M., Brewer, M., Carlson, P.J., Ullman, B., Trout, N.D., Park, E.S., Whitacre, J., Lalani, N., e Lord, D. “Improving Pedestrian Safety at Unsignalized Crossings”. NCHRP Report 562, pubblicato dal Transportation Research Board, Washington, D.C., 2006.
  - Garder, P. “Occurrence of evasive manoeuvres prior to accidents”. Atti del Secondo Workshop su International Cooperation on Theories and Concepts in Traffic Safety, Munich, pp. 29-38, 1989.
  - Geruschat, D.R. e Hassan, S.E. “Driver Behavior in Yielding to Sighted and Blind Pedestrians at Roundabouts”. Journal of Visual Impairment and Blindness. Volume 99, Numero 5, 2005.
  - Gettman, D. e Head, L. “Surrogate Safety Measures From Traffic Simulation Models”, Final Report Federal Highway Administration, 2003.
  - Glauz, W.D. e Migletz, D.J. “Application of Traffic Conflict Analysis at Intersections”. Report No. NCHRP 219. Transportation Research Board, 1980.
  - Grayson, G.B. “The Malmö study. A calibration of traffic conflict techniques”. Institute for Road Safety Research SWOV, Leidsendam, 1984.

- 
- Grayson, G.B. e Hakkert, A.S. “Accident Analysis and conflict behavior”. In Road User and Traffic Safety, ed. J.A. Rotherngatter and R.A.de Bruine, pp.27-59. Van Gorcum, 1987.
  - Hannawald, L. e Kauer, F. “Equal Effectiveness Study on Pedestrian Protection”. Presentation. Technische Universität, Dresden, Germany, 2004.
  - Harrel, W.A. “The Impact of Pedestrian Visibility and Assertiveness on Motorist Yielding” . Journal of Social Psychology, Vol. 133(3), pp. 353-360, 1993.
  - Hauer, E. “Methodological assessment of the techniques.” Atti del Secondo Workshop su International Traffic Conflict Technique, Paris, France, pp. 169-176, 1979.
  - Hauer, E. e Gårder, P. “Research into the Validity of the Traffic Conflict Technique”, Accident Analysis and Prevention, Vol 18., No. 6, pp.471-481, 1986.
  - Hauer,E., Harwood,D.W., Council,F.M. e Griffith,M.S. “Estimating Safety by the Empirical Bayes Method: A Tutoria”l. Transportation Research Board, Washington, D.C., USA, 2002.
  - Hayward, J. “Near miss determination through use of a scale of danger”. Report No. TTSC 7715, Pennsylvania State University, Penn., USA, 1972.
  - Herms, B., “Pedestrian Crosswalk Study: Accidents in Painted and Unpainted Crosswalks,”Record No. 406, Transportation Research Board, Washington, DC, 1972.
  - Hess, P. M., Moudon A. V., Snyder M. C., e Stanilov, K. “Site Design and Pedestrian Travel”. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1674, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 9–19, 1999.
  - Hirst, S. e Graham, R. “The Format and Presentation of Collision Warnings”. In: Noy. N.I. (Ed.), Ergonomics and Safety of Intelligent Driver Interfaces, 1997.
  - Hogema, J.H., Janssen, W.H., Coëmet, M., e Soeteman, H.J. Effe”cts of Intelligent Cruise Control on driving behaviour; a simulator study”. Paper No. 2081. Atti del III World Congress on Intelligent Transport Systems, 1996.
  - Howarth, C., Routledge, D., e Repetto-Wright, R. 2An Analysis of Road Accidents Involving Child Pedestrians”, Ergonomics, 17, pp. 319-330, 1974.
  - Hupfer, C. “ Computer Aided Image Processing to Modify Traffic Conflicts Technique”. University Kaiserslautern. Transportation Department, Kaiserslautern, Germany, 1997.
  - Hyden, C. “The Development of Method for Traffic Safety Evaluation: The Swedish Traffic Conflict Technique”. Bull. 70, Lund Institute of Technology, Lund,1987.



- 
- Hyden, C. “Traffic Conflict Technique: State-of-the-art”. In : Topp H.H. (Ed.), Traffic Safety Work with Video-Processing. University Kaiserslautern. Transportation Department, 1996, Green Series No. 43, Kaiserslautern, Germany, 1996.
  - ISTAT, Istituto Italiano Statistica,” Rapporto sugli Incidenti stradali. Anno 2008”, 2008.
  - Keall, M. D. “Pedestrian Exposure to Risk of Road Accident in New Zealand”. Accident Analysis and Prevention, Vol. 27, No. 27, pp. 729–740, 1995.
  - Koppa, R., Fambro, D., e Zimmer, R.. “Measuring Driver Performance in Braking Maneuvers”, In Transportation Research Record No 1550, Washington, D.C., p.8-15, 1996.
  - Lamm, R., Psarianos, B. e Mailaender, T. “Highway design and traffic safety engineering handbook”. McGraw-Hill, New York, USA, 1999.
  - Le Corbusier, “Le Mensaje a los estudiantes de arquitectura”, Edicion Infinito, Buenos Aires, 1957.
  - Marezke, J. e Jacob, U. “Distance warning and control as a means of increasing road safety”. Technical papers : XXIV FISITA Congress. (pp. 105-114), Londra, 1992.
  - Mayne, A. “The Problem of the Careless Pedestrian, in Almond, J”. Atti del Secondo Symposium Internazionale sulla Teoria dei Flussi di Traffico, OECD, Paris, pp. 279-285, 1965.
  - McMahan, P. J., Duncan, C., Stewart, J. R. , Zegeer, C. V. e Khattak, A. J.. “Analysis of Factors Contributing to Walking Along Roadway Crashes”. In Transportation Research Recor, No. 1674, TRB, National Research Council, Washington, D.C, 1997.
  - Migletz, D.J., Glauz, W.D. e Bauer, K.M. “Relationships between Traffic Conflicts and Accidents”. Report No: FHWA/RD-84/042. US Department of Transportation, Federal Highway Administration, 1985.
  - Minderhoud, M.M. e Bovy, P.H.L. “Extended time-to-Collision Measures for Road Traffic Safety Assessment”, Accident Analysis and Prevention, Vol. 33, pp. 89-97, 2001.
  - Ministero LL.PP. “Circolare n.3699: Linee guida per le analisi di sicurezza delle strade”.Ispettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale, 2001.
  - Muhlrad N. “A short history of pedestrian safety policies in Western Europe”. Atti del Workshop ICTCT, Pechino, 2007.
  - Mulrhad , N. “Traffic safety research for developing countries”. Methodologies and first results. Synthèse INRETS n°7, Arcueil, Francia, 1987.

- 
- Nilsson , G. “Safety for different road-user groups. Data collection, problems, consequences and costs”. Atti del Second European Workshop on Recent Developments in Road Safety Research, Parigi, 1989.
  - OCSE, Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico, “Rapporto OCSE sulla sanità”, 2009.
  - Older, S.J. e Spicer, B.R.. “Traffic Conflicts – A Development in Accident Research”. Human Factors, Vol.18 , pp. 335-350, 1976.
  - OMS, Organizzazione Mondiale della Sanità, “World health statistic 2010”, Ginevra, 2010
  - OMS, Organizzazione Mondiale della Sanità, “World report on road traffic injury prevention”, Ginevra, 2004
  - Oppe, S. “The international calibration of conflicts”. Atti del Workshop su Traffic Conflict and other Intermediate Measures in Safety Evalutation, Budapest, 1986b.
  - Oppe, S. “Evaluation of traffic conflict techniques”. Atti del Workshop su Traffic Conflict and other Intermediate Measures in Safety Evalutation, Budapest, 1986a.
  - Parker, M.R., Zegeer, C.V. “Traffic Conflict Techniques for Safety and Operations: Engineer’s Guide2, FHWA-IP-88-026,1986.
  - Pasanen, E., e Salmivaara, H.. “Driving Speed and Pedestrian Safety in the City of Helsinki”. Traffic Engineering and Control, Vol. 34, No. 6, pp. 308–310, 1993.
  - Perkins, S.R. e Harris, J.I. “Traffic Conflict Characteristics: Accident potential at intersections”. Highway Research Record, Vol. 225, pp.45-143, Highway Research Board, Washington DC, 1968.
  - Perkins, S.R., e Harris, J.I. “Criteria for Traffic Conflict Characteristics”. Report GMR632, Warren, MI, General Motors Corporation, 1967.
  - Pham,T. e Ragland, D. “ Summary of Crash Prediction Models Also known as Safety Performance Functions (SPFs)” . Rhode Island Statewide Planning, Rhode Island,2005.
  - Pietrantonio, H. “Avaliação da Técnica Sueca de Análise de Conflitos de Tráfego – Aplicação ao Estudo de Problemas de Segurança de Pedestres em Interseções Semaforizadas da Cidade de São Paulo”. EPUSP - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Working Report LEMT No.2/98, São Paulo, Brazil, 1999.
  - Romero, M. e García A. “Deceleration Lane Length Evaluation Based on a New Conflict Indicator”, Presentato al IV International Symposium on Highway Geometric Design, Valencia, Spagna, 2010.

- 
- Rosén, E. e Sander, U. “Pedestrian fatality risk as a function of car impact speed”. *Accident Analysis and Prevention*, 2009.
  - Sayed, T. e Zein, S. “Traffic Conflict Standards for Intersections” , *Transportation Planning and Technology* , Vol. 22, pp. 309-323, 1999.
  - Shriver, K. “Influence of Environmental Design on Pedestrian Travel Behavior in Four Austin Neighborhoods”. In *Transportation Research Record 1578*, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp. 64–75, 1997.
  - Spicer, B.A. “Study of traffic conflicts at six intersections”. TRRL Report LR551. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, UK, 1973.
  - Sultan, B. , Brackstone, M. e McDonald M. “Parameter Analysis for Collision Avoidance Systems”, *World Congress on ITS 2002*. Chicago, ILL,U.S.A., 2002.
  - Sun, D. “Modeling of Motorist-Pedestrian Interaction at Uncontrolled Mid-Block Crosswalks”. Presentato al meeting annual del Transportation Research Board, Washington, DC, 2003.
  - Svensson, A. “Further Development and Validation of the Swedish Traffic Conflicts Techniques”. Dept of Traffic Planning and Engineering, Lund University, Lund, Sweden, 1992.
  - Tarko, A., Davis, G. e Washington S., “Surrogate measures of safety-White paper”. Presentato all’ 88° Annual TRB Meeting, Washington, D.C., 2009.
  - Tiwari, G., Mohan, D. e Fazio, J.. “Conflict Analysis For Prediction Of Fatal Crash Locations in Mixed Traffic Streams”. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 30, No. 2, Pp. 207-215, 1998.
  - TRB, Transportation Research Board. “Highway Capacity Manual, Fifth Edition”. Transportation Research Board, Washington, D.C., USA, 2010.
  - TRB, Transportation Research Board. “Highway Capacity Manual, Fourth Edition”, Chapter 18, Pedestrians. Transportation Research Board, Washington, D.C., USA, 2000.
  - TRB, Transportation Research Board. “Highway Safety Manual”. Transportation Research Board, Washington, D.C., USA, 2010.
  - Turner, S., Fitzpatrick, K., Brewer, M., e Park, E.S. “Motorist yielding to pedestrians at unsignalized intersections: Findings from a national study on improving pedestrian safety”. *Transportation Research Record 1982* pp 1-12, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2006.

- 
- Van der Horst, R. “A Time-Based Analysis of Road-User Behaviour at Intersections”. Atti del Terzo Workshop su International Cooperation on Theories and Concepts in Traffic Safety, Cracow, Poland, pp. 91-107, 1990
  - Van der Horst, R. “A Time-Based Analysis of Road-User Behaviour at Intersections”. Atti del Terzo Workshop su International Cooperation on Theories and Concepts in Traffic Safety, Cracow, Polonia, pp. 91-107, 1990.
  - Van der Horst, R. “Time-to-collision as a cue for decision making in braking”. In A.G.Gale et al. (Ed.), Vision in Vehicles III. Amsterdam: Elsevier Science, pp.9-26, 1991.
  - Van der Horst, R., and Kraay, J. “The Dutch Conflict Observation Technique-DOCTOR”. Atti del Workshop su Traffic Conflict and other Intermediate Measures in Safety Evaluation, Budapest, Hungary, 1986.
  - Van der Horst. “The ICTCT calibration study at Malmö: a quantitative analysis of video-recordings”. Report IZF 1984-37, TNO Institute for Perception, Soesterberg, Svezia, 1984.
  - Varhelyi, A” Innovative speed management tools: Summary report on research area 3”. Working Paper all’interno del MASTER Project, Espoo, Finlandia, 1998.
  - Vaughn, R. “Avoiding the Emerging Pedestrian: A Mathematical Model”. SAE Technical Paper 970962, SAE, Inc., Warrendale, PA, USA, 1997.
  - Wakabayashi, H. e Renge, K. “Traffic Conflict Analysis using Vehicle Tracking System with Digital VCR and New Conflict Indicator under High Speed and Congested Traffic Environment”, Infrastructure Planning Review, Vol.20, pp.949-956, 2003.
  - Yaksich, S.J. “Pedestrians with Milage: A Study of Elderly Pedestrian Accidents in St. Petersburg Florida”. American Automobile Association, Traffic Engineering and Safety Dept., Washington, DC, 1964.
  - Zegeer, C., Stewart, J., e Huang, H. “Safety Effects of Marked vs. Unmarked Crosswalks at Uncontrolled Locations”, Report No. FHWA-RD-01-142, Federal Highway Administration, McLean, VA, 2001.
  - Zegeer, C.V., Opiela, K.S. e Cynecki, M.J., “Pedestrian Signalization Alternatives”, Report No. FHWA-RD-83-102, Federal Highway Administration, Washington, DC, 1985.

- 
- Zegeer, C.V., Randolp, D.A., Flak M.A., e Bhattacharya, R.K. “Use of Pedestrian Conflict Analysis for the Hazard Assessment in School Zones”. Transportation Research Record, n.743, TRB, Washington, D.C., 1980.
  - Zimolong, B. “ Traffic conflict at urban junctions”. Atti del Secondo Workshop Internazionale su Traffic Conflict Technique Workshop, Paris, France, pp. 130-139, 1980.
  - Zimolong, B. “Tecnica dei Conflitti di Traffico - Fondamenti e Applicazioni<sup>2</sup>. in Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr. Nr 35, Bonn, 1982.

