

ANALISI COMPARATIVA DEL RISCHIO DI INCIDENTALITÀ PEDONALE IN CORRISPONDENZA DELLE INTERSEZIONI STRADALI URBANE

Sascia Canale; S.C.

Professore Ordinario – D.I.C.A. – Università di Catania – scanale@dica.unict.it

Natalia Distefano; N.D.

Assegnista di Ricerca – D.I.C.A. – Università di Catania – ndistefa@dica.unict.it

Salvatore Leonardi; S.L.

Ricercatore Universitario – D.I.C.A. – Università di Catania – sleona@dica.unict.it

SOMMARIO

Più di un incidente su tre di quelli che vedono coinvolti i pedoni in ambito urbano si verifica in corrispondenza delle intersezioni stradali. Gli errati comportamenti degli utenti, le caratteristiche geometriche delle intersezioni, le velocità veicolari spesso elevate, sono le principali cause di insicurezza per i pedoni.

In questo contesto, assumono un ruolo fondamentale le procedure di analisi di sicurezza, cioè quelle tecniche di indagine mirate all'individuazione dei problemi di sicurezza e alla proposizione dei possibili interventi risolutivi.

Allo stato attuale, però, le analisi di sicurezza non permettono un giudizio quantitativo in merito al livello di sicurezza offerto ai pedoni. L'obiettivo che si intende perseguire con il presente contributo, pertanto, è proprio quello di proporre una procedura di analisi di rischio quantitativa. A tal fine, il presente gruppo di ricerca che da parecchi anni si occupa delle problematiche di sicurezza specifiche dei contesti urbani, proporrà l'utilizzo di un criterio di comparazione tra i livelli di rischio associati alle possibili configurazioni reali e quelli di configurazioni virtuali caratterizzate dai massimi requisiti in termini di sicurezza.

La prima fase dello studio sarà orientata alla definizione degli schemi virtuali da associare alle possibili configurazioni di intersezioni a raso di tipo lineare. Successivamente si elaboreranno i criteri mirati alla caratterizzazione del livello di sicurezza offerto ai pedoni dalle intersezioni urbane reali; a tale scopo saranno utili tre categorie di informazioni: 1) dati descrittivi della geometria dell'incrocio (utili a comprendere i potenziali conflitti veicoli/pedoni); 2) modalità realizzative degli elementi di arredo funzionale preposti alla salvaguardia delle utenze pedonali; 3) dati di traffico veicolare e pedonale (per la caratterizzazione dell'esposizione al rischio).

La metodologia proposta rappresenta il primo passo verso la definizione di procedure, a supporto delle analisi di sicurezza (Safety Audit e Safety Review), in grado di fornire giudizi quantitativi sul livello di sicurezza offerto da tutti gli elementi componenti le infrastrutture stradali a tutte le categorie di utenti.

1. INTRODUZIONE

Secondo gli ultimi dati ISTAT, nel 2006, il 13,4% dei 5669 morti sulle strade italiane è rappresentato dai pedoni; il restante 86,6% è costituito da conducenti (66,1%) e da trasportati (20,5%). Questi dati assumono un significato ancor maggiore se si considera che i pedoni hanno l'indice di gravità più alto (3,5), ovvero il rapporto tra il numero dei morti e il numero totale dei morti e dei feriti moltiplicato per 100.

Circa 60 pedoni al giorno sono coinvolti in collisioni con i veicoli e, nella maggior parte dei casi, non c'è nessuna responsabilità da parte dei pedoni i quali, da 30 anni a questa parte, patiscono un numero di incidenti mortali in continua ascesa: basti pensare che nel 2000 i pedoni rappresentavano il 12,7% delle vittime totali da incidenti e che nel 2006 tale percentuale ha raggiunto il 13,4%, pari a 758 morti (con un incremento del 7,8% rispetto all'anno precedente). Ad aggravare la situazione, si aggiunge il fatto che, negli ultimi 10 anni, a fronte di 8000 pedoni morti e di 170000 feriti, si è manifestato un trend decrescente sia dei decessi totali da incidenti stradali che del numero dei feriti.

Il problema della sicurezza pedonale è duplice: in primo luogo, è noto che i pedoni sono gli utenti più indifesi tra tutti quelli che usufruiscono delle infrastrutture stradali, inoltre essi rappresentano l'anello debole del sistema dei trasporti anche dal punto di vista culturale, nel senso che solo negli ultimi anni si è iniziato a parlare di sicurezza per chi va a piedi, dopo almeno mezzo secolo di studi mirati alla salvaguardia degli utenti dei veicoli a motore. Un altro aspetto che occorre poi evidenziare è quello relativo ai contesti in cui si verificano le collisioni tra veicoli e pedoni: oltre il 96% dei sinistri si verifica in ambito urbano; di questi, circa il 35% si manifesta in corrispondenza delle intersezioni stradali. In pratica, quindi, un incidente su tre, di quelli che vedono il coinvolgimento di almeno un pedone, si verifica nelle aree di intersezione urbane.

Sulla base delle conoscenze acquisite dal presente gruppo di ricerca nell'arco della pluriennale attività di studio nel settore della sicurezza stradale urbana, è stato possibile individuare le principali problematiche di sicurezza dei pedoni alle intersezioni. In particolare, nella tabella 1, sono stati sinteticamente riportati gli aspetti che possono favorire la pericolosità delle intersezioni stradali a tutto danno delle utenze pedonali.

Tabella 1 – Condizioni di insicurezza per i pedoni alle intersezioni stradali urbane

Tipologia di intervento
Lunghezza degli attraversamenti pedonali maggiore di 10 m (senza interruzioni)
Possibilità di attraversare in ogni punto l'area di intersezione
Ridotta visibilità reciproca conducente/pedone a causa della conformazione geometrica dell'incrocio e/o per effetto di ostacoli alla visuale
Elevata velocità di approccio all'intersezione da parte dei veicoli motorizzati
Presenza di veicoli in sosta a ridosso dell'area d'incrocio
Attraversamenti pedonali distanti dal bordo dell'area d'intersezione
Scarsa visibilità degli attraversamenti pedonali durante le ore notturne
Attraversamenti pedonali non adeguatamente segnalati
Assenza di marciapiedi o presenza di marciapiedi di larghezza inadeguata
Presenza di numerosi poli attrattori per i pedoni (negozi, banche, uffici pubblici, etc.)
Attraversamenti pedonali distanti dalle fermate dei mezzi pubblici poste in corrispondenza dell'intersezione
Presenza di passi carrabili a ridosso degli attraversamenti pedonali

Un ruolo importante per la caratterizzazione della pericolosità dei nodi stradali nei confronti delle utenze pedonali può essere svolto dalle procedure di analisi di sicurezza, cioè quelle tecniche di indagine mirate all'individuazione dei problemi di sicurezza e alla proposizione dei possibili interventi risolutivi.

Allo stato attuale, però, le analisi di sicurezza permettono di formulare soltanto giudizi di tipo qualitativo. L'obiettivo che gli autori intendono perseguire, pertanto, consiste propriamente nella elaborazione di una procedura per la stima quantitativa del livello di rischio offerto dalle configurazioni lineari di incrocio, basata su un'originale tecnica di comparazione tra schemi di intersezioni reali e "schemi virtuali", organizzati in modo tale da garantire i massimi requisiti in termini di sicurezza per i pedoni.

2. LA METODOLOGIA DELL'ANALISI COMPARATIVA

La metodologia proposta per la stima del livello di sicurezza offerto dalle intersezioni urbane di tipo lineare si basa su un originale procedimento di comparazione tra le configurazioni reali delle intersezioni e una serie di *schemi virtuali* caratterizzati da tutti i requisiti in grado di ottimizzare le prestazioni di sicurezza per i pedoni. In altre parole, la determinazione del grado di sicurezza di una data intersezione avverrà mediante il confronto tra l'intersezione medesima ed il corrispondente schema virtuale. Le differenze tra i due schemi verranno quantificate a mezzo di un punteggio numerico, la cui entità risulterà indicativa del livello di sicurezza assicurato alle utenze pedonali. Con la metodologia proposta, poi, si metteranno in conto sia l'esposizione al rischio dei pedoni, attraverso i valori delle portate veicolari e pedonali, sia gli aspetti di sicurezza associati alle condizioni di visibilità caratteristiche dell'intersezione, mediante parametri direttamente collegati alla conformazione geometrica complessiva dell'area d'incrocio.

Gli step dell'iter procedurale relativo alla metodologia proposta, sono i seguenti:

- 1) definizione degli schemi virtuali delle intersezioni;
- 2) determinazione dei coefficienti di sicurezza da attribuire agli elementi delle intersezioni preposti ad ottimizzare il livello di sicurezza dei pedoni;
- 3) introduzione dei fattori correttivi per la quantificazione degli effetti sulla sicurezza, indotti dalle condizioni di visibilità all'incrocio;
- 4) introduzione dei fattori correttivi associati al livello di esposizione al rischio;
- 5) definizione analitica del Livello di Rischio di incidentalità pedonale.

2.1 Schemi virtuali delle intersezioni stradali

Per la definizione degli schemi virtuali si è fatto riferimento ad un criterio, appositamente elaborato, definito *principio di minimizzazione del rischio di incidente pedonale*. Tale criterio si può così esprimere: *la configurazione ideale dell'area d'incrocio, sia dal punto di vista geometrico che da quello dell'organizzazione degli elementi di arredo urbano, è quella che, compatibilmente con i vincoli spaziali e funzionali, rende minimo il rischio di incidente tra i pedoni ed i veicoli a motore.*

Nella tabella 2 si sono indicati tutti gli accorgimenti progettuali la cui presenza nelle aree d'intersezione, rappresenta un vantaggio per la salvaguardia delle utenze pedonali.

Dalla combinazione ragionata di tali interventi si possono ottenere i cosiddetti *schemi virtuali*, ovvero quelle configurazioni ideali delle aree d'incrocio in grado di soddisfare il principio di minimizzazione del rischio di incidente pedonale.

Tabella 2 – Accorgimenti progettuali per la sicurezza pedonale alle intersezioni

Tipologia di intervento
Attraversamenti pedonali rialzati
Attraversamenti pedonali disposti in corrispondenza dei poli attrattori di traffico
Attraversamenti vicini al bordo dell'area d'intersezione
Assenza di fermate dei bus disposte lontano dagli attraversamenti pedonali
Assenza di passi carrabili posti in corrispondenza degli attraversamenti pedonali
Elementi di dissuasione per l'attraversamento dei pedoni
Isole salvagente
Avanzamenti dei marciapiedi al fine di ridurre la lunghezza dell'attraversamento pedonale (< 10 m)
Dissuasori di sosta (fittoni dissuasori, avanzamenti dei marciapiedi, etc.)
Illuminazione artificiale
Marciapiedi di larghezza adeguata
Idonea segnaletica ed interventi sulla pavimentazione (vernici, rivestimenti, etc.)

Per la costruzione degli schemi virtuali si è adottato un criterio compositivo basato sull'assemblaggio a partire da una serie di 6 rami-tipo, attrezzati con gli accorgimenti progettuali elencati nella tabella 2.

In figura 1, sono rappresentati i possibili rami-tipo, indicati con le lettere da *a* ad *f*, che si differenziano tra loro riguardo all'ampiezza della sezione trasversale (maggiore o minore di 10 m) e in funzione dell'esigenza di impedire la sosta illegale a ridosso dell'incrocio.

Gli schemi virtuali da utilizzare nella procedura di comparazione con le intersezioni reali scaturiranno dalla composizione dei rami-tipo che, a sua volta, deve essere effettuata a seguito dell'analisi dello schema reale. In altre parole, partendo dall'intersezione di cui si vogliono valutare le prestazioni di sicurezza offerte alle utenze pedonali, se ne individuano, in primo luogo, le caratteristiche peculiari dal punto di vista geometrico (larghezza dei singoli rami) e funzionale (ampiezza dell'area tale da consentire o meno la sosta irregolare dei veicoli) e, in secondo luogo, si assembla lo schema virtuale corrispondente, scegliendo i rami-tipo coerenti con le caratteristiche peculiari suddette.

Si osservi che tutti i rami-tipo rappresentano soluzioni progettuali tra loro non alternative: ciascun ramo-tipo è un elemento modulare da utilizzare univocamente nel processo di composizione dei possibili schemi virtuali. In tale ottica, è opportuno chiarire che gli schemi *c* e *d*, alla stessa stregua di tutti gli altri, definiscono due condizioni di progetto differenti e non interscambiabili: il ramo-tipo indicato con la lettera *c* è rappresentativo di una modalità di dissuasione di parcheggio, quale è l'avanzamento del marciapiede, che funge anche da dispositivo di riduzione della lunghezza dell'attraversamento pedonale, mentre il ramo-tipo denominato *d* prevede una modalità di dissuasione di sosta, realizzata a mezzo di fittoni dissuasori ed un accorciamento dell'attraversamento pedonale ottenuto mediante isola salvagente. La scelta del ramo-tipo *d* prevarrà su quella del ramo-tipo *c* allorquando, tramite la realizzazione del solo avanzamento del marciapiede, a causa della larghezza della piattaforma, non si riesce a ridurre sufficientemente (meno di 10 m) l'estensione dell'attraversamento pedonale.

I rami-tipo *e* ed *f*, invece, si differenziano in relazione al fatto che, pur avendo entrambi un'ampiezza della piattaforma inferiore a 10 m, presentano una diversa

organizzazione delle modalità di parcheggio. Lo schema *e* garantisce il parcheggio regolare fino ad un certo punto della sua estensione, poi, presenta un sistema di dissuasione di sosta a ridosso dell'incrocio; lo schema *f*, per contro, prevede la sola dissuasione della sosta in prossimità dell'attraversamento pedonale, non consentendo la realizzazione di stalli regolari per il parcheggio. È evidente che la scelta dell'una o dell'altra soluzione sarà legata all'esigenza di assicurare o meno i parcheggi in linea sui rami di approccio all'intersezione; tale esigenza, a sua volta è fortemente condizionata dalla larghezza e dall'organizzazione complessiva della sezione stradale.

L'esempio applicativo svolto al paragrafo 2.6, fungerà da chiarimento in merito alle modalità compositive degli schemi virtuali.

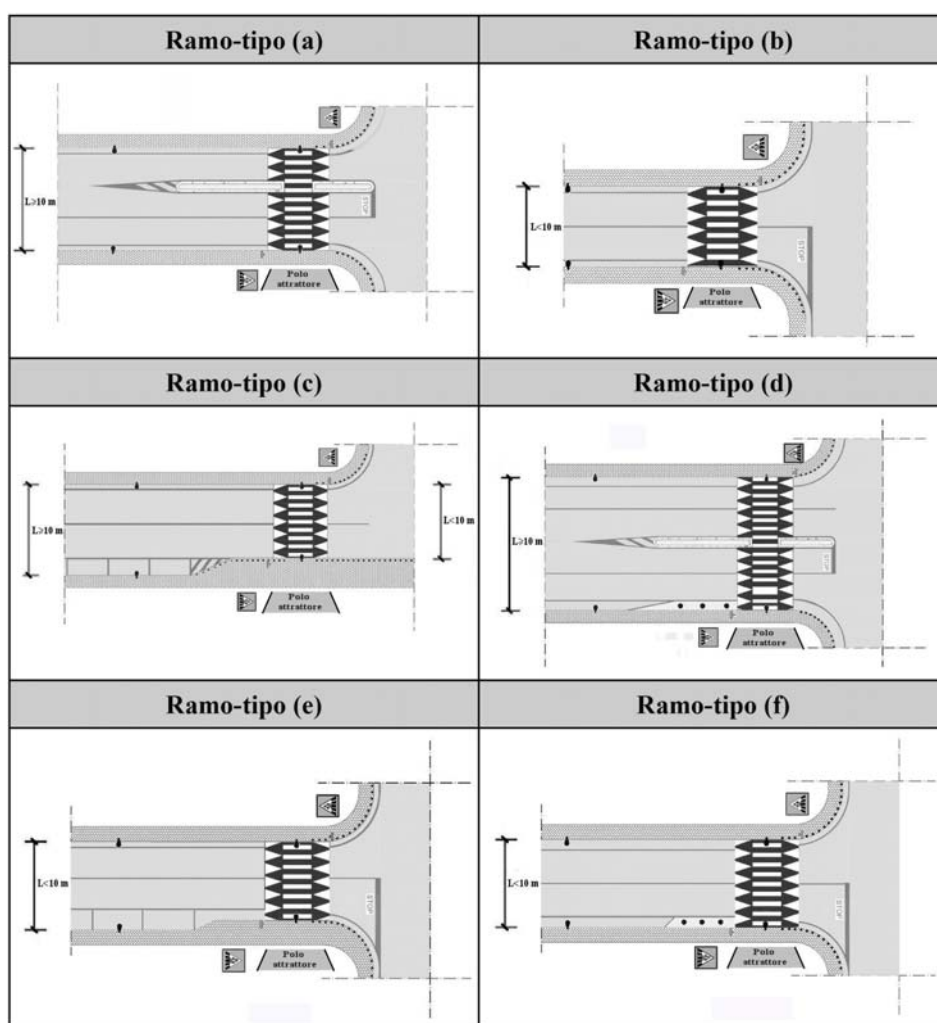


Figura 1 –Rami-tipo per la composizione degli schemi virtuali

2.2 Determinazione dei coefficienti di sicurezza

Per la stima dei “pesi” da attribuire a ciascuno degli interventi finalizzati al miglioramento della sicurezza pedonale alle intersezioni, si è scelto un criterio basato sull’efficacia, adeguatamente documentata, di tali azioni in termini di riduzione dei tassi incidentali riferiti ai pedoni in ambito urbano.

A tale scopo si è operato, alle volte, in maniera “diretta”, sfruttando i dati di letteratura riguardanti l’efficienza specifica della singola azione o dello specifico intervento; altre volte, si è reso necessario agire in maniera “indiretta”, elaborando i dati relativi agli incidenti pedonali attraverso ragionevoli ipotesi in merito alla riduzione dei tassi incidentali per effetto della realizzazione degli accorgimenti progettuali riportati nella tabella 2.

Le fonti principali impiegate nel processo di definizione dei coefficienti di sicurezza, sono stati i *dati ISTAT* relativi al quadriennio 2001-2004, il *The handbook of road safety measures* (R. Elvik, T. Vaa, 2006), il Report dal titolo: *A Guide for Reducing Collisions Involving Pedestrians* (NCHRP, 2004). Ulteriori indicazioni sono poi state dedotte da altri documenti di cui si riferisce nella bibliografia del presente contributo.

La tabella 3, dedotta dal *The handbook of road safety measures*, riporta gli effetti degli attraversamenti pedonali rialzati e delle isole centrali salvagente sulla sicurezza degli utenti. Si può notare la rilevante efficacia degli attraversamenti pedonali rialzati (dimezzamento del numero di incidenti) e le buone prestazioni offerte dalle isole salvapedone (abbattimento dei tassi incidentali intorno al 20%).

Tabella 3 – Efficacia degli attraversamenti pedonali rialzati e delle isole salvagente

Tipo di intervento	Gravità incidente	Tipologia di incidente	Variazione percentuale del numero di incidenti	
			Stimatore puntuale	Intervallo di confidenza al 95%
Realizzazione degli attraversamenti pedonali rialzati	Incidenti con morti e/o feriti	Incidenti pedonali	-49	(-75, +3)
Realizzazione di isole salvagente	Incidenti con morti e/o feriti	Incidenti pedonali	-18	(-30, -3)

Nella tabella 4, si riportano i dati di incidentalità (fonte: ISTAT), espressi in percentuale sul totale, relativi ai fenomeni sinistrosi avvenuti in ambito urbano, in cui sono rimasti coinvolti i pedoni. Il periodo di riferimento è il quadriennio 2001/2004; l’ultima colonna della tabella indica i valori medi nei quattro anni considerati.

I dati della tabella 4, sono stati impiegati per ricavare, tramite un processo logico indiretto, l’efficacia degli interventi di progetto dei quali non si possedevano informazioni certe in merito alla riduzione dei tassi incidentali indotta dalla loro realizzazione. A titolo d’esempio, l’efficienza dei dispositivi di dissuasione per l’attraversamento dei pedoni è stata stimata considerando che la loro installazione comporterebbe il potenziale abbattimento degli incidenti dovuti a tre cause: 1) pedone che attraversava la strada irregolarmente; 2) pedone che camminava in mezzo alla carreggiata; 3) pedone che sostava, indugiava o giocava sulla carreggiata. Poiché le tre

cause suddette sono mediamente responsabili del 25% degli incidenti occorsi ai pedoni in ambito urbano, si può ragionevolmente affermare che l'efficacia potenziale dei dissuasori per l'attraversamento pedonale, in termini di riduzione dei tassi di incidentalità, sia proprio pari al 25%.

Tabella 4 – Dati ISTAT sull'incidentalità pedonale (anni: 2001-2004)

Cause di incidente	2001	2002	2003	2004	Media
	Dati di incidentalità (%)				
Eccesso di velocità veicolare	17,33	14,47	14,26	14,26	15,08
Veicolo contromano	1,21	1,20	1,40	0,94	1,19
Veicoli che sorpassavano veicoli in movimento	1,06	1,02	1,17	1,11	1,09
Veicoli in manovra	9,02	7,95	9,15	8,49	8,65
Veicoli che non hanno rispettato il semaforo	2,44	2,58	2,00	2,40	2,36
Veicolo in uscita da passo carrabile	0,43	0,48	0,49	0,44	0,46
Fuoriuscita del veicolo dalla carreggiata	0,80	0,63	0,79	0,96	0,79
Veicolo che non rispettava la precedenza dei pedoni sugli attraversamenti	31,67	33,16	34,23	35,62	33,67
Veicoli che sorpassavano veicoli che si erano fermati per consentire l'attraversamento pedonale	1,16	1,05	0,92	0,88	1,00
Urto tra il carico veicolare ed il pedone	0,88	0,74	0,60	0,89	0,78
Veicoli che sorpassavano un tram fermo	0,39	0,35	0,31	0,29	0,33
Difetti o avaria del veicolo	0,11	0,13	0,12	0,10	0,12
Anormale stato psico-fisico del conducente	0,66	0,84	0,90	0,88	0,82
Pedone che camminava contromano	0,43	0,32	0,31	0,47	0,38
Pedone che camminava in mezzo alla carreggiata	3,40	4,45	4,27	4,23	4,09
Pedone che sostava, indugiava o giocava sulla strada	1,85	1,62	1,48	1,86	1,70
Pedone che lavorava sulla carreggiata non protetto da apposito segnale	0,21	0,12	0,15	0,29	0,19
Pedone che saliva su veicolo in marcia	0,10	0,27	0,12	0,19	0,17
Pedone che scendeva da veicolo con imprudenza	0,00	0,02	0,25	0,70	0,24
Pedone che veniva fuori improvvisamente da dietro un veicolo in sosta	4,27	4,44	5,25	4,74	4,68
Pedone che attraversava la strada ad un passaggio pedonale protetto da semaforo o agente, senza rispettare le segnalazioni	2,54	2,61	2,79	2,79	2,68
Pedone che attraversava la strada irregolarmente	19,90	21,42	18,96	17,33	19,40
Pedone ubriaco	0,11	0,09	0,07	0,14	0,10
Pedoni che praticavano azioni morbose	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01
Pedone colpito da improvviso malore	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01
Pedone che aveva ingerito sostanze stupefacenti	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01

La deduzione dell'efficacia dell'illuminazione artificiale degli attraversamenti pedonali ubicati in corrispondenza delle intersezioni urbane, è avvenuta con riferimento ad uno studio condotto a Perth (Australia), i cui risultati sono stati pubblicati all'interno di *A Guide for Reducing Collisions Involving Pedestrians* (NCHRP, 2004). Secondo tale studio, la riduzione percentuale degli incidenti notturni in cui sono stati coinvolti i pedoni, risulta pari al 62%. Poiché gli incidenti notturni che occorrono mediamente ai pedoni in ambito urbano sono all'incirca il 20% di quelli che complessivamente si verificano nelle 24 ore della giornata, si evince chiaramente che la presenza di un

efficiente impianto di illuminazione artificiale nelle aree d'intersezione comporta un abbattimento di circa il 12% degli incidenti totali, rispetto alle condizioni operative di incroci privi di qualunque impianto di illuminazione notturna. Una volta determinato, per ciascuno dei 12 interventi riportati nella tabella 2, il valore percentuale della riduzione del tasso di incidentalità pedonale, si è proceduto disponendo gli interventi suddetti in ordine decrescente di efficacia e rapportando il tasso di riduzione di ciascuno di essi a quello minimo associato all'ultimo elemento della lista. In questo modo si è ottenuta la matrice dei coefficienti di sicurezza (C_s) riportata nella tabella 5.

Tabella 5 – Matrice dei coefficienti di sicurezza

N°	Tipologia di intervento	Coefficienti di sicurezza (C_s)
1	Attraversamenti pedonali rialzati	17
2	Elementi di dissuasione per l'attraversamento dei pedoni	8
3	Attraversamenti vicini al bordo dell'area d'intersezione	6
4	Isole salvagente	6
5	Attraversamenti pedonali disposti in corrispondenza dei poli attrattori di traffico	6
6	Assenza di fermate dei bus disposte lontano dagli attraversamenti pedonali	6
7	Avanzamenti dei marciapiedi al fine di ridurre la lunghezza dell'attraversamento pedonale (< 10 m)	5
8	Dissuasori di sosta (fittoni dissuasori, avanzamenti dei marciapiedi, etc.)	4
9	Illuminazione artificiale	4
10	Marciapiedi di larghezza adeguata	2
11	Idonea segnaletica ed interventi sulla pavimentazione (vernici, rivestimenti, etc.)	1
12	Assenza di passi carrabili posti in corrispondenza degli attraversamenti pedonali	1

Per ognuno dei possibili schemi virtuali ottenibili a mezzo della procedura di composizione esposta al paragrafo 2.1, è possibile calcolare il punteggio (P_v), come somma dei coefficienti di sicurezza associati ai vari interventi presenti nello specifico schema. La presenza di più interventi dello stesso tipo (ad esempio una serie di attraversamenti pedonali rialzati), verrà computata eseguendo la media dei coefficienti di sicurezza caratteristici di ogni specifico intervento.

2.3 Fattori correttivi per la visibilità

I coefficienti definiti al paragrafo precedente, consentono di caratterizzare il livello di sicurezza offerto ai pedoni dagli elementi di arredo funzionale delle intersezioni stradali. La conformazione geometrica degli incroci e l'ambiente al contorno, tuttavia, svolgono un ruolo fondamentale nel condizionare le prestazioni di sicurezza per le utenze pedonali. In particolare, le grandezze geometriche dei rami (larghezza, inclinazione, raggi di svolta), unite alla presenza di eventuali ostacoli laterali, influiscono in maniera determinante sulla visibilità reciproca veicolo-pedone.

Con riferimento allo schema a) di figura 2, si ha che la condizione di visibilità ottimale si ha quando il conducente ha la visione complessiva dell'attraversamento pedonale. Tale condizione, può essere espressa dalla seguente uguaglianza geometrica:

$$L_v = L_{ap} \quad [1]$$

Dove:

- L_{ap} = lunghezza della porzione di attraversamento pedonale ricadente nella corsia di interesse del veicolo che esegue la manovra di svolta a destra, espressa in metri. Coincide con la lunghezza del segmento AB evidenziato in figura 2;
- L_v = lunghezza, espressa in metri, della base del triangolo, avente come vertice l'occhio del conducente - situato a 3 metri dalla linea di fermata nel caso di incrocio regolato dal segnale di STOP, a 20 metri nel caso di intersezione regolata dal segnale di dare precedenza, ubicato ad una distanza pari a quella di arresto, a partire dall'attraversamento pedonale, nel caso dei rami principali e comunque non regolati dalla segnaletica di precedenza - e come lati i 2 segmenti congiungenti il vertice, rispettivamente, con il punto A coincidente con un estremo del segmento di lunghezza L_{ap} , e il punto C ottenuto come intersezione tra il segmento AB e la linea passante per l'occhio del conducente orientata secondo il massimo angolo possibile che consente di intercettare l'allineamento AB senza l'interposizione di ostacoli disposti trasversalmente. Il segmento AC, pertanto, coincide con il segmento AB, soltanto se non sussistono ostacoli alla visione dell'attraversamento pedonale per i conducenti dei veicoli a motore.

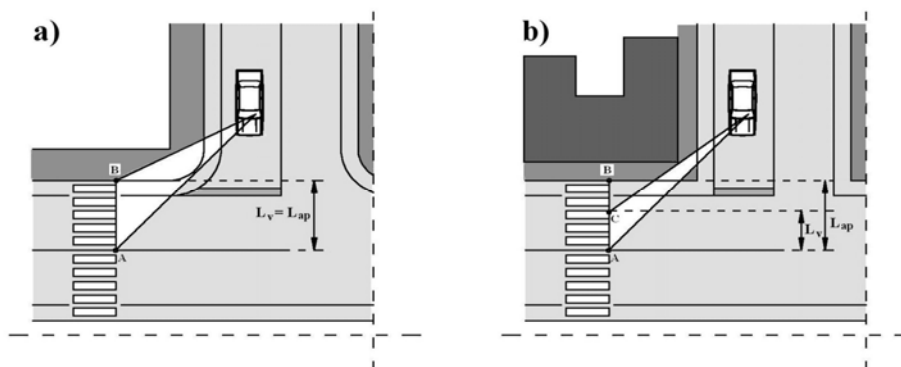


Figura 2 – Condizioni di visibilità veicolo/pedone alle intersezioni

Nello schema b) di figura 2, è riportato il caso in cui, a causa della presenza di un edificio in corrispondenza del margine dell'area d'incrocio (situazione frequente nei contesti urbani), il segmento AC è di lunghezza inferiore rispetto al segmento AB. In tale situazione, quindi, è presente una condizione indicativa di un difetto di visuale e, conseguentemente, una situazione di potenziale pericolo per i pedoni in attraversamento; tale condizione è geometricamente espressa dalla relazione seguente:

$$L_v < L_{ap} \quad [2]$$

Sulla base delle considerazioni svolte fino a questo punto si è elaborato un criterio finalizzato a mettere in conto il maggiore livello di rischio per i pedoni, associato a quelle situazioni in cui sono pregiudicate le condizioni di visibilità all'intersezione.

Tale criterio, riassunto nella tabella 6, prevede l'introduzione di fattori correttivi per

la visibilità (F_v) in funzione del rapporto tra le lunghezze L_v ed L_{ap} . In particolare, sono stati definiti 4 livelli di rischio associati a condizioni di riduzione della visibilità veicolo-pedone via via crescenti.

Tabella 6 – Fattori correttivi per la visibilità e corrispondenti livelli di rischio

Condizione di riferimento	Livello di rischio	Fattore correttivo (F_v)
$L_v/L_{ap} = 1$	Trascurabile	1,00
$2/3 \leq L_v/L_{ap} < 1$	Basso	1,10
$1/3 \leq L_v/L_{ap} < 2/3$	Medio	1,30
$L_v/L_{ap} < 1/3$	Alto	1,50

Poiché i problemi di visibilità reciproca veicolo/pedone sono potenzialmente presenti su tutti i rami di una stessa intersezione, si è introdotto il *fattore di correzione totale per la visibilità*, ottenuto come media ponderata dei singoli fattori correttivi ricavabili dalla tabella 6, in funzione delle portate pedonali caratteristiche degli attraversamenti pedonali presenti sui bracci dell'incrocio. Si ha quindi:

$$F_{v(T)} = \frac{\sum_{y=1}^B F_{vy} \cdot Q_{py}}{\sum_{y=1}^B Q_{py}} \quad [3]$$

Dove:

- $F_{v(T)}$ = fattore di correzione totale per la visibilità;
- F_{vy} = fattore di correzione per la visibilità, dedotto dalla tabella 6, relativo allo y-esimo braccio dell'intersezione;
- B = numero di rami dell'intersezione;
- Q_{py} = flusso pedonale orario (riferito all'ora di punta) che transita sull'attraversamento pedonale posto alla destra del ramo y-esimo.

2.4 Fattori correttivi per l'esposizione al rischio

Numerosi studi presenti in letteratura forniscono interessanti correlazioni tra il livello di rischio per i pedoni e l'entità dei flussi veicolari che transitano sugli attraversamenti pedonali.

Da questi studi emerge qualche incertezza in merito alla stima della reale influenza dell'entità dei flussi pedonali sul livello di sicurezza associato a questa categoria di utenti. Molte ricerche portano a considerare come situazione sfavorevole, quella in cui i pedoni in attraversamento siano relativamente pochi rispetto alle portate veicolari; in tal caso, infatti, i conducenti dei veicoli, non considerando il passaggio dei pedoni come un evento probabile, sono portati a ridurre al minimo il livello di attenzione verso gli utenti deboli e a procedere a velocità piuttosto sostenute anche in corrispondenza degli attraversamenti pedonali. Per contro, altri studi dimostrano che l'incremento del numero di utenze pedonali, essendo direttamente correlato all'aumento dell'esposizione al

rischio da parte dei pedoni medesimi, è un fattore di insicurezza, soprattutto in corrispondenza degli attraversamenti maggiormente battuti dal traffico motorizzato. In ogni caso, quasi tutte le ricerche sull'argomento concordano nel ritenere l'incremento delle portate veicolari come un fattore sfavorevole alla salvaguardia dei pedoni.

Sulla base delle osservazioni svolte fino a questo punto, si è voluto introdurre un fattore di correzione che tenesse conto dell'esposizione al rischio dei pedoni, in funzione di diverse classi di portate veicolari (espresse in termini di TGM). Per il perseguimento di tale scopo si è rivelato particolarmente utile uno studio della Federal Highway Administration (FHWA) del 2002, che fornisce precise raccomandazioni per incrementare il livello di sicurezza degli attraversamenti pedonali in prossimità delle intersezioni non semaforizzate, in funzione di 4 classi di traffico. A partire da tali raccomandazioni, si è redatta la tabella 7 che riporta i fattori di correzione (F_e) associati a quattro livelli di rischio, in funzione delle classi di traffico proposte dalla FHWA.

Tabella 7 – Fattori correttivi per l'esposizione e corrispondenti livelli di rischio

Tipo di sezione	Classi di traffico in termini di TGM (veicoli/giorno)							
	≤ 9000		9000 ÷ 12000		12000 ÷ 15000		> 15000	
	Livello di rischio	F_e	Livello di rischio	F_e	Livello di rischio	F_e	Livello di rischio	F_e
a 2 corsie	Trascurabile	1,00	Basso	1,10	Basso	1,10	Basso	1,10
a 3 corsie	Trascurabile	1,00	Basso	1,10	Medio	1,30	Medio	1,30
a più di 3 corsie con spartitraffico	Trascurabile	1,00	Basso	1,10	Medio	1,30	Alto	1,50
a più di 3 corsie senza spartitraffico	Trascurabile	1,00	Medio	1,30	Alto	1,50	Alto	1,50

Anche in questo caso si è definito il *fattore di correzione totale per l'esposizione al rischio*, come media ponderata dei singoli fattori deducibili dalla tabella 7, in funzione dei flussi pedonali tipici degli attraversamenti pedonali presenti sui rami dell'intersezione. Si ha quindi:

$$F_{e(T)} = \frac{\sum_{x=1}^B F_{ex} \cdot Q_{px}}{\sum_{x=1}^B Q_{px}} \quad [4]$$

Dove:

- $F_{e(T)}$ = fattore di correzione totale per l'esposizione al rischio;
- F_{ex} = fattore di correzione per l'esposizione al rischio, dedotto dalla tabella 7, relativo allo x-esimo braccio dell'intersezione;
- B = numero di rami dell'intersezione;
- Q_{px} = flusso pedonale orario (riferito all'ora di punta) che transita sull'attraversamento pedonale posto sul ramo x-esimo dell'incrocio.

2.5 Definizione analitica del Livello di Rischio di incidentalità pedonale

Gli step procedurali esposti nei paragrafi precedenti hanno portato alla definizione degli schemi virtuali ed all'introduzione dei coefficienti di sicurezza e dei fattori correttivi. Occorre ora specificare le modalità applicative della metodologia proposta.

Il primo passo consiste nella quantificazione del livello di rischio relativo all'intersezione di cui si intendono valutare le prestazioni di sicurezza offerte ai pedoni. A tal fine, occorre svolgere il confronto tra lo schema reale ed il corrispondente schema virtuale, ottenuto dalla combinazione dei rami-tipo illustrati precedentemente.

Dalla comparazione dei due schemi possono emergere differenze parziali in relazione a quegli interventi che, negli schemi virtuali, sono risolti nello stesso modo. Consideriamo, ad esempio, lo schema virtuale derivante dall'assemblaggio di tre rami-tipo indicati con la lettera *a*: esso presenterà 3 attraversamenti pedonali provvisti di isole salvagente. Può accadere che l'intersezione reale si discosti dallo schema virtuale solo parzialmente, avendo, ad esempio, un attraversamento pedonale attrezzato come nello schema virtuale, un altro privo di isola salvagente e un altro provvisto di avanzamento del marciapiede tramite il quale si riduce l'estensione dell'attraversamento stesso. Il punteggio da attribuire ai 3 accorgimenti suddetti deve, pertanto, mettere in conto le disomogeneità presenti nella configurazione; ciò si può fare tramite la valutazione della media ponderata dei coefficienti di sicurezza attinenti al tipo di intervento considerato. La ponderazione deve essere effettuata in funzione del flusso pedonale (nell'ora di punta) che grava sull'elemento considerato. Si ha dunque la seguente espressione:

$$C_{s(N)} = \frac{\sum_{i=1}^N C_{si} \cdot Q_{pi}}{\sum_{i=1}^N Q_{pi}} \quad [5]$$

Dove:

- $C_{s(N)}$ = coefficiente di sicurezza relativo alla serie di N elementi dello schema reale con caratteristiche disomogenee rispetto alla corrispondente serie dello schema virtuale;
- N = numero di elementi che compongono la serie di accorgimenti progettuali dell'incrocio considerato. Tali accorgimenti potrebbero far perseguire l'obiettivo di sicurezza previsto (ad es., riduzione della lunghezza dell'attraversamento pedonale) o con le modalità indicate nello schema virtuale (ad es., isola salvagente), o con modalità differenti (ad es., avanzamento del marciapiede), oppure potrebbero non garantire il raggiungimento della finalità attesa;
- C_{si} = coefficiente di sicurezza relativo all'i-esimo elemento della serie di N elementi dello schema d'incrocio reale (assume uno dei valori della tabella 5, oppure vale zero se l'elemento considerato non è riconducibile a nessuno degli interventi a favore di sicurezza riportati nella tabella medesima);
- Q_{pi} = flusso pedonale orario (riferito all'ora di punta) transitante sull'i-esimo elemento della serie di N elementi dello schema reale.

In definitiva, il punteggio caratteristico dello schema reale (P_r) sarà fornito dalla relazione seguente:

$$P_r = \sum_{j=1}^M C_j \quad [6]$$

Dove:

- M = numero degli accorgimenti, singoli o in serie, presenti nello schema reale;
- C_j = coefficiente di sicurezza, relativo al j-esimo degli M elementi presenti nello schema reale. Viene dedotto dalla tabella 5 per gli interventi singoli, si valuta con l'equazione [5] per gli elementi in serie, si pone pari a zero se l'intervento non figura all'interno della matrice dei coefficienti di sicurezza (Tab. 5);

Una volta noti i punteggi (P_v e P_r) corrispondenti alla coppia di schemi per la quale si è svolto il processo di comparazione, si può stimare il Livello di Rischio (L_R) per lo schema di incrocio oggetto di studio, tramite la seguente espressione:

$$L_R = \frac{P_v - P_r}{P_v} \cdot 100 \quad [7]$$

L'ultimo passaggio della procedura consiste nella stima del cosiddetto Livello di Rischio Globale (L_{RG}) per l'intersezione reale, attraverso la messa in conto dei fattori di correzione definiti nei paragrafi precedenti e valutabili tramite la [3] e la [4].

L'espressione del Livello di Rischio Globale sarà, pertanto, la seguente:

$$L_{RG} = L_R \cdot F_{v(T)} \cdot F_{e(T)} \quad [8]$$

In funzione dei valori assumibili dal parametro L_{RG} , si sono infine definiti i 4 livelli di rischio riportati nella tabella 8. L'ultima colonna della tabella fornisce le raccomandazioni da seguire per migliorare il grado di sicurezza offerto ai pedoni.

Tabella 8 – Livelli di Rischio di incidentalità pedonale per le intersezioni stradali

Condizione di riferimento	Livello di rischio	Raccomandazioni
$L_{RG} < 25$	Trascurabile	L'organizzazione dell'incrocio è prossima a quella ottimale. Non si richiedono specifici interventi di adeguamento.
$25 \leq L_{RG} < 50$	Basso	La realizzazione di modesti interventi di adeguamento dell'intersezione, può garantire livelli di sicurezza ottimali per i pedoni.
$50 \leq L_{RG} < 75$	Medio	Le azioni di ammodernamento e di riqualificazione dell'intersezione possono essere rilevanti. Attraverso interventi di medio onere economico si può abbassare il livello di rischio. Il raggiungimento di condizioni di sicurezza ottimali, però, richiede sforzi economici di notevole entità.
$L_{RG} \geq 75$	Alto	L'intersezione è caratterizzata da un livello di rischio intollerabile per i pedoni. Anche il raggiungimento di un livello di rischio accettabile richiede pesanti azioni di potenziamento e riqualificazione, associati a costi di realizzazione elevati. È pensabile l'eventuale semaforizzazione dell'incrocio, al fine di traslare nel tempo i conflitti tra pedoni e veicoli a motore.

2.6 Esempio applicativo della metodologia proposta

L'applicazione della procedura elaborata è stata eseguita su un incrocio urbano della città di Catania. Si tratta di un'intersezione a 4 rami tra due strade (Via Ughetti e Via Lago di Nicito), entrambe di larghezza inferiore a 10 m e caratterizzate dalla presenza di parcheggi sia legali che abusivi, a ridosso del centro dell'incrocio (Fig. 3).

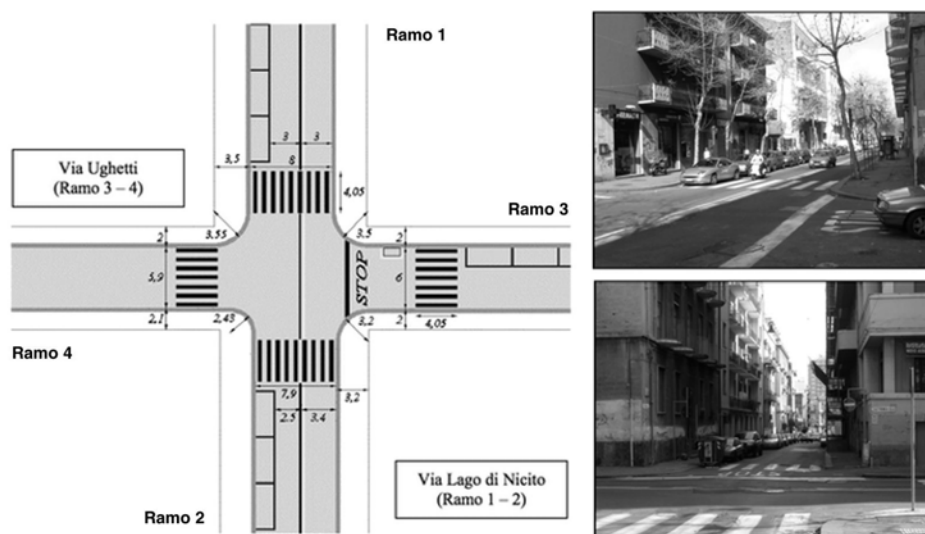


Figura 3 – Intersezione urbana oggetto di studio

Nella tabella 9 sono indicati i flussi veicolari (TGM) e le portate pedonali (nell'ora di punta) per ciascuno dei 4 rami.

Tabella 9 – Flussi veicolari e pedonali per l'intersezione oggetto di analisi

	Ramo 1	Ramo 2	Ramo 3	Ramo 4
TGM (veic/g)	11000	11000	8500	1900
Flusso pedonale (ped/h)	236	234	228	248

Tutti i rami dell'intersezione presentano larghezze comprese tra 6 m e 8 m, inoltre, come si evince anche dalle foto dell'incrocio (Fig. 3), sussiste il problema della sosta irregolare (anche sopra le strisce pedonali).

L'assemblaggio dello schema virtuale, dunque, deve avvenire a partire dalla scelta di quei rami-tipo compatibili con le peculiarità suddette (Fig. 1). In definitiva, lo schema virtuale al quale far riferimento per il caso in esame è quello rappresentato in figura 4, derivante dalla composizione di 2 rami di tipo *b* e 2 rami di tipo *e*.

La tabella 10 riporta la valutazione del punteggio P_r dello schema reale ed il confronto con il punteggio P_v associato allo schema virtuale. La stima dei fattori correttivi ha portato, poi, ai risultati della tabella 11.

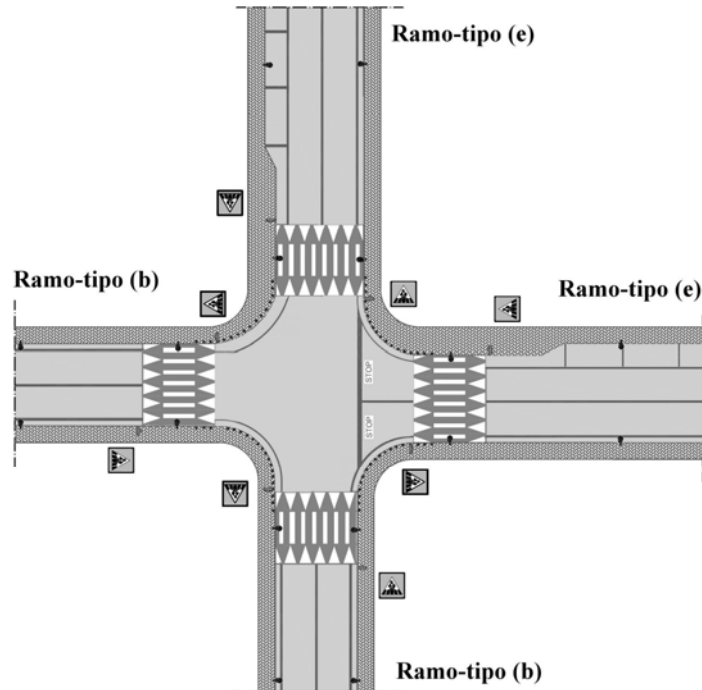


Figura 4 – Schema virtuale associato all’incrocio oggetto di studio

Tabella 10 – Punteggi e indicatori di sicurezza per gli schemi a confronto

SCHEMA	TIPOLOGIE DI INTERVENTO (secondo la tabella 5)												Punteggi
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	Coefficienti di sicurezza												
Reale	-	-	6	-	6	6	-	-	4	2	-	1	$P_r = 25$
Virtuale	17	8	6	-	6	6	-	4	4	2	1	1	$P_v = 55$

Tabella 11 – Fattori correttivi per la visibilità e per l’esposizione al rischio

	F_v	$F_v(T)$	F_e	$F_e(T)$
Ramo 1	1,00	1,0	1,10	1,07
Ramo 2	1,00		1,10	
Ramo 3	1,00		1,00	
Ramo 4	1,00		1,00	

Dall’applicazione della [7] e della [8], si ottiene:

$$L_{RR} = \frac{P_v - P_r}{P_v} \cdot 100 = \frac{55 - 25}{55} \cdot 100 = 54,54$$

$$L_{RRG} = L_{RR} \cdot F_{v(T)} \cdot F_{e(T)} = 54,54 \cdot 1,00 \cdot 1,07 = 58,36$$

In definitiva, sulla base della tabella 8, il Livello di Rischio Globale per l'intersezione oggetto di studio è classificabile come *medio*.

3. CONCLUSIONI

Attraverso l'introduzione della tecnica dell'analisi comparativa, si è resa possibile la quantificazione del rischio di incidentalità pedonale in corrispondenza delle intersezioni stradali urbane di tipo lineare.

Nell'ottica di un perfezionamento delle modalità di svolgimento delle analisi di sicurezza (Safety Audit e Safety Review), il presente gruppo di ricerca si propone, nell'immediato futuro, di affinare la metodologia dell'analisi comparativa, estendendola agli schemi a circolazione rotatoria, mettendo in conto anche le questioni globalmente riferibili a tutte le categorie di utenti.

Si ritiene, infatti, che la possibilità di impiegare indicatori di rischio di semplice valutazione, costituisca un vantaggio per i gruppi di analisi che, oltre ad una stima prettamente qualitativa, possono così fornire un giudizio avvalorato da parametri numerici, utile anche ai fini di poter meglio supportare le Amministrazioni verso la scelta di quegli interventi di adeguamento funzionale, che possono incidere più o meno significativamente sul budget finanziario.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ISTAT (2001-2006). *Statistica degli incidenti stradali*. Sistema Statistico Nazionale. Istituto Nazionale di Statistica. Automobile Club d'Italia.
- [2] A.A.V.V. (2004). *A Guide for Reducing Collisions Involving Pedestrians*. Volume 10. Report 500. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP).
- [3] A.A.V.V. (2003). *Pedestrian Safety Guidelines*. City of Sacramento. Public Works Department Traffic Engineering Division.
- [4] A.A.V.V. (2003). *Road Safety Manual*. PIARC Technical Committee on Road Safety (C13). World Road Association (AIPCR).
- [5] A.A.V.V. (1998). *Implementing Pedestrian Improvements at the Local Level*. Federal Highway Administration (FHWA). Publication n. FHWA-98-138.
- [6] A.A.V.V. (1998). *Design and Safety of Pedestrian Facilities*. Institute of Transportation Engineers (ITE). Washington.
- [7] BUSI, R.; ZAVANELLA, L. (2003). *La protezione del pedone negli attraversamenti stradali*. Egaf Edizioni srl.
- [8] ELVIK, T.; VAA, T. (2006). *The handbook of road safety measures*. Elsevier.
- [9] MAZZONE, F. (2008). *Allarme zebre. Indagine Eurotest sugli attraversamenti pedonali in Europa*. Riv. OndaVerde. N. 112.
- [10] ZEGEER, C. V.; STEWART, J. R., HUANG, H. H., LAGERWEY, P. A. (2002). *Safety Effects of Marked vs. Unmarked Crosswalks at Uncontrolled Locations: Executive Summary and Recommended Guidelines*. University of North Carolina. Highway Safety Research Center for Federal Highway Administration.