

VALUTAZIONE DEI FATTORI DI RISCHIO DEGLI ATTRAVERSAMENTI PEDONALI MEDIANTE ANALISI DI SICUREZZA E ANALISI DEI CONFLITTI

Salvatore Cafiso

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale – Università degli Studi di Catania

Alfonso Montella

Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti “Luigi Tocchetti” - Università degli Studi di
Napoli Federico II

Filomena Mauriello

Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti “Luigi Tocchetti” - Università degli Studi di
Napoli Federico II

Giuseppina Pappalardo

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale – Università degli Studi di Catania

Rosario Cavarra

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale – Università degli Studi di Catania

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. Un efficace approccio preventivo è basato sulle analisi di sicurezza, anche se, nonostante l'intensa attività di ricerca, queste ultime non sono ancora sufficientemente oggettive e non consentono, utilizzate da sole, l'elaborazione di misure quantitative correlate con l'incidentalità. Al fine di ridurre il grado di soggettività della procedura, nell'articolo si presenta una metodologia di individuazione dei fattori di rischio pedonale che associa le analisi di sicurezza e l'analisi dei conflitti di traffico. Un conflitto è una situazione osservabile nella quale due o più utenti si avvicinano nello spazio o nel tempo con un'ampiezza tale da creare un rischio di collisione se i loro movimenti rimangono inalterati. I conflitti rappresentano una misura surrogata della sicurezza e presentano una più elevata frequenza rispetto agli incidenti consentendo misure quantitative significative. Nel presente studio sono stati utilizzati come indice del livello di sicurezza da confrontare con l'indice di rischio calcolato in un campione di 51 attraversamenti pedonali in ambito urbano.

Parole chiave: sicurezza stradale, pedoni, analisi di sicurezza, conflitti di traffico, indice di rischio.

1. INTRODUZIONE

Sebbene il miglioramento delle condizioni di circolazione dei pedoni sia uno degli obiettivi fondamentali della pianificazione della mobilità (Ministero LL.PP., 1998; Harkey e Zegeer, 2004), nella progettazione dei sistemi di trasporto i pedoni sono spesso trascurati (Zegeer et al., 2004), con gravi conseguenze per la sicurezza della circolazione.

In Italia, ogni anno muoiono in incidenti stradali oltre 700 pedoni, che rappresentano circa il 13% dei morti totali in incidenti stradali. Tale dato è rilevante soprattutto se si considera che gli incidenti pedonali rappresentano circa il 7% degli incidenti totali. Ciò significa che il rapporto di mortalità (morti/incidenti) nel caso di investimenti pedonali è quasi pari al doppio di quello delle altre tipologie di incidente.

Il numero dei pedoni coinvolti in incidenti stradali sale notevolmente tra gli individui più anziani. Essi hanno caratteristiche fisiche e comportamentali che li rendono molto vulnerabili come pedoni. Il 50% dei pedoni deceduti, infatti, ha più di 65 anni. Ridotta velocità di attraversamento, difetti di vista e di udito, difficoltà nel giudicare le distanze e nel valutare la velocità dei veicoli e gli intervalli nelle correnti di traffico, rendono più difficile per l'anziano evitare di venir colpito dai veicoli. Inoltre, le persone anziane, a causa della loro minore resistenza fisica, una volta subito un trauma sono più soggette al decesso. I bambini ed i ragazzi, come gli anziani, hanno molte caratteristiche che li rendono particolarmente esposti agli incidenti. Essi hanno una percezione limitata del pericolo e sono spesso impulsivi e imprevedibili. A queste caratteristiche del comportamento vanno sommate quelle fisiche: una limitata capacità visiva periferica e un'abilità limitata nel determinare la fonte e la direzione dei suoni; una modesta capacità di valutare la velocità che limita la loro abilità nel determinare il tempo di arrivo del veicolo e gli intervalli nelle code di traffico; l'altezza contenuta che li rende più difficili da vedere. Nel periodo 2000-2004, nella fascia di popolazione con età maggiore di 65 anni si sono verificati 18,7 morti ogni 100'000 abitanti, mentre nella fascia con età inferiore a 18 anni si sono verificati 6,6 morti ogni 100'000 abitanti. Il più basso rischio di decesso per investimento pedonale lo si registra nella fascia di età 31-45, con soli 3,3 morti ogni 100.000 abitanti.

Confrontando i dati di localizzazione degli incidenti e la localizzazione degli investimenti pedonali, si osserva che questi ultimi rispecchiano il comportamento degli incidenti in ambito generale. Il maggior numero di investimenti pedonali si verifica sui rettilinei (il 64,6%, nel periodo 2000-2004), mentre il rapporto di mortalità più alto si riscontra nelle curve (8,08 morti per 100 incidenti).

I rapporti di mortalità più elevati si rilevano negli incidenti in cui i pedoni sono investiti da un mezzo pesante (8,74 morti per 100 incidenti, nel periodo 2000-2004) e negli incidenti notturni.

L'Italia presenta un rapporto tra pedoni morti e numero di abitanti pari a 12,2 lievemente inferiore alla media EU di 16,3 pedoni morti per milione di abitanti (ERSO, 2008).

Per quanto attiene alle cause di incidente, numerosi studi (Corben e Duarte, 2006; ETSC, 1999; Moudon e Lin, 2007; NHTSA, 2008) evidenziano che più di un terzo dei pedoni uccisi si trovava in condizioni di abuso di alcool. Una percentuale elevata di incidenti pedonali avviene per il mancato rispetto delle segnalazioni semaforiche

(Corben e Duarte, 2006) e circa un sesto degli investimenti pedonali coinvolge pedoni che provengono da aree dedicate alla sosta dei veicoli (ETSC, 1999).

Circa un quarto degli incidenti mortali che coinvolgono i pedoni avviene durante le manovre di salita e discesa da mezzi pubblici o da autovetture (Corben e Duarte, 2006). L'Italia presenta una delle incidenze più alte in termini di tasso di incidentalità in corrispondenza degli attraversamenti pedonali con 3,4 pedoni morti per milione di abitanti rispetto ad una media EU di 2,0 (EuroTest, 2008).

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. Un efficace approccio preventivo è basato sulle analisi di sicurezza. In tale ambito l'attività di ricerca si è indirizzata al miglioramento dell'oggettività della procedure e alla possibilità di elaborare misure quantitative correlate con l'incidentalità (Cafiso et al., 2006, 2007a, 2007b, 2008; de Leur e Sayed, 2002; Lyam et al., 2004; Montella, 2005, 2007).

Una misura surrogata di sicurezza è costituita dai conflitti di traffico. Tale tecnica (TCT) è stata sviluppata al fine di aggiungere informazioni relative ai dati incidentali disponibili, spesso incompleti e inaffidabili, per gli studi di valutazione e di diagnosi. Un "conflitto di traffico" è un'interazione fra due utenti della strada (o fra un utente e l'ambiente della strada) che presto condurrebbe ad uno scontro a meno che uno degli utenti coinvolti non realizzi un'azione evasiva.

Al fine di ridurre il grado di soggettività della procedura di valutazione preventiva degli attraversamenti pedonali, nell'articolo si presenta una metodologia di individuazione dei fattori di rischio che associa le analisi di sicurezza e l'analisi dei conflitti di traffico.

2. ANALISI DI SICUREZZA

2.1. Procedura di Analisi

2.1.1 Aspetti generali

Gli attraversamenti pedonali costituiscono l'intersezione tra la rete pedonale e quella veicolare, creando una diminuzione locale del livello di sicurezza che dipende da molteplici fattori, 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, ecc.

La procedura di analisi, i cui principi di base sono conformi alle linee guida del Ministero dei Lavori Pubblici per le analisi di sicurezza delle strade (2001), 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.

L'operato del gruppo di analisi consiste nel porsi nell'ottica 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. È differente difatti il comportamento di pedoni e veicoli nelle ore di punta e di morbida, così come cambiano le condizioni di visibilità di notte ed in presenza di pioggia.

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.

3.1.2 Liste di controllo

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.

Tabella 1 – Liste di controllo

Aspetto di valutazione		Peso
a	Localizzazione	2
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	Visibilità	5
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
c	Accessibilità	1
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
d	Segnaletica	3
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
e	Illuminazione	2
e1	visibilità notturna dei pedoni	3
e2	visibilità all'alba ed al tramonto dei pedoni	1
f	Tipo di traffico	2
f1	velocità del flusso	2
f2	presenza di veicoli commerciali	1
f3	presenza di veicoli a due ruote	1

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.

3.1.3 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:

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

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 (cfr. Tabella 1), 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:

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

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 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 è l'Indice di Rischio all'attraversamento, che dipende dall'Indice di Rischio delle singole categorie e si calcola con la formula:

$$IR = \frac{\sum_{k=1}^6 IR_k \times P_k}{\sum_{k=1}^6 P_k} \quad (3)$$

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:

$$IS = IR \times \sqrt{TGM \times Ped} \quad (4)$$

dove:

IS = Indice di Sicurezza dell'attraversamento;

TGM = traffico giornaliero medio annuo transitante sull'attraversamento;

Ped = flusso pedonale giornaliero medio sull'attraversamento.

3. CONFLITTI DI TRAFFICO

3.1.1 Aspetti generali

La tecnica dei conflitti di traffico è collegata alla capacità di registrare situazioni prossime all'incidente tra due componenti di traffico potenzialmente in conflitto ma che non si sono trasformate in veri e propri incidenti. 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, così come graficamente rappresentato dalla Piramide di Hydén (cfr. Figura 1) (Hydén, 1987, Hanowski, 2000).

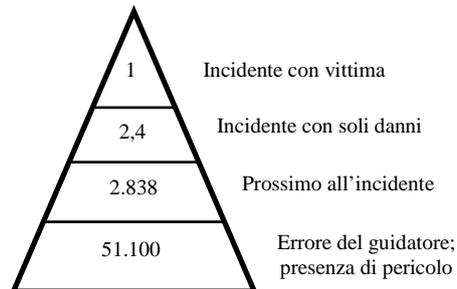


Figura 1 – Una rappresentazione quantitativa della piramide di Hydén

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.

Tra questi citiamo il Time to Accident (TA), che vanta il maggior numero di applicazioni sperimentali ed è calcolato come il tempo necessario all'accadimento dell'incidente che si manifesterebbe se non venissero compiute manovre evasive dall'istante in cui il conflitto si manifesta (Perkins e Harris, 1967).

Altro indicatore è il Time to Collision (TTC), cioè il tempo che, nelle diverse fasi del conflitto, occorrerebbe ad un veicolo per scontrarsi con l'altro utente della strada, se fosse mantenuta la velocità relativa corrente al punto dato (Hayward, 1972). Quando è in corso un conflitto, il valore di TTC varia nel tempo, e la misura critica della severità di conflitto diventa quindi il minimo valore di TTC.

Il Time to Zebra (TTZ) è una variante del concetto di Time-to-Collision, sviluppata con il proposito di stimare la sicurezza della circolazione per l'attraversamento dei pedoni. È stato utilizzato e sviluppato per assegnare frequenza e gravità di eventi critici tra veicoli e pedoni nell'atto di attraversare la strada (Varhelyi, 1996). Lo studio è basato sul fatto che tempi critici e intervalli di distanze sono identificati in funzione della velocità del veicolo.

Interessante per il caso in oggetto potrebbe essere anche un'applicazione del Post Encroachment Time (PET), 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 (Allen, 1978). Riferendosi al precedente indicatore, si può definire anche il DST (Deceleration to Safety Time) ovvero il rallentamento necessario per raggiungere un PET pari a 0 (DST 0) (Hupfer, 1997).

3.1.2 La procedura utilizzata

Per la misura degli indicatori, è stata utilizzata una ripresa video, realizzata con videocamere digitali per ottimizzare la successiva fase di elaborazione. Queste devono essere poste in modo da non essere facilmente visibili dagli utenti della strada, per non influenzarne il comportamento. Il posizionamento ideale prevede una camera puntata sul pedone ed una per dare un'immagine d'insieme dell'attraversamento.

Per l'elaborazione delle immagini è stato utilizzato un programma in Visual Basic "Vision Artificial" (cfr. Figura 2) predisposto presso il Politecnico di Valencia, in grado di restituire la posizione del veicolo per ogni frame. In questo modo sono conosciute la

posizione longitudinale e trasversale, il tempo, la velocità e l'accelerazione del veicolo e del pedone (Garcia, 2006). Il programma sfrutta la trasformazione omologica per riportare le immagini 3D sul piano per rendere possibile la misura della posizione di oggetti presenti nell'immagine.

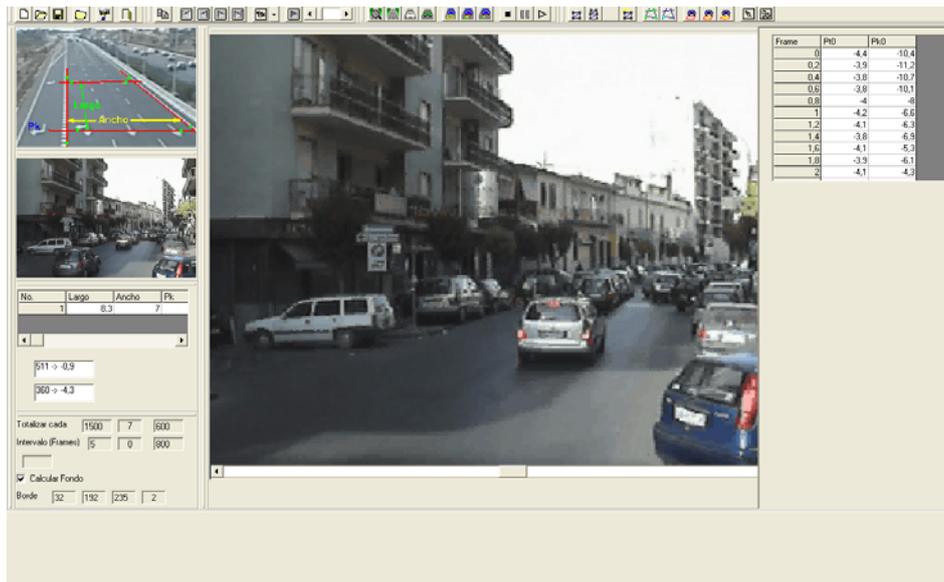


Figura 2 – Schermata con individuazione dei parametri calcolabili

L'inizio del conflitto è stato definito come l'istante in cui il pedone abbandona il marciapiede, nel caso in cui nell'area di osservazione sia presente un veicolo (cfr. Figura 3). Si ritiene che da quest'istante il pedone inizi la potenziale manovra di attraversamento. La presenza di più veicoli in coda e di un pedone sulla carreggiata ha portato a conflitti multipli che sono stati analizzati singolarmente. L'individuazione delle posizioni dei due utenti in conflitto è stata effettuata con step di 0,2 secondi.

Dall'analisi delle immagini è possibile individuare le posizioni del pedone e del veicolo in maniera tale da poter calcolare i parametri necessari all'analisi dei conflitti. Si tratta di indicatori di un conflitto potenziale e come tali offrono la possibilità di svincolarsi dall'effettiva azione del pedone e studiare un comportamento ideale in corrispondenza dell'attraversamento. Di conseguenza, per ogni step, sono state considerate le reali posizioni occupate dai due utenti della strada (veicolo e pedone) in modo da individuare l'istante in cui ha inizio la manovra potenziale, ipotizzando che gli attori del conflitto si muovano con una velocità costante senza modificare la propria direzione.

I parametri calcolati sono (figura 3):

$$TTC_v = \frac{D_{y(v)}}{V_v} \quad (5)$$

$$TTC_p = \frac{D_{x(v)}}{V_p} \quad (6)$$

dove:

TTC_v = tempo che il veicolo impiegherebbe per raggiungere l'attraversamento, mantenendo costante la sua velocità;

TTC_p = tempo che il pedone impiegherebbe per raggiungere l'area di conflitto, mantenendo costante la sua velocità;

$D_{y(v)}$ = distanza del veicolo dall'area di conflitto all'istante fissato;

$D_{x(p)}$ = distanza del pedone dall'area di conflitto all'istante fissato;

V_v = velocità del veicolo;

V_p = velocità del pedone, posta pari a 1,2 m/sec (MUTCD, 2003).

La sicurezza dell'attraversamento è stata valutata tramite tre diversi parametri (Figura 4):

- il valore minimo del TTC del veicolo ($TTC_{v \min}$), ovvero il valore minimo del tempo che il veicolo impiegherebbe per raggiungere l'attraversamento mantenendo costante la sua velocità, rilevato durante tutte le fasi del conflitto;
- il PET, ovvero il TTC del veicolo nell'istante in cui il pedone supera l'area di conflitto, ovvero l'area di base pari alla larghezza del pedone e altezza pari alla larghezza del veicolo (posta pari a 1,6 m);
- il valore minimo del ΔTTC , calcolato come differenza tra il TTC del veicolo (TTC_v) e quello del pedone (TTC_p):

$$\Delta TTC = |TTC_v - TTC_p| \quad (6)$$

Inoltre, durante la fase di analisi per ogni conflitto sono state individuate la tipologia di veicoli ed età e sesso del pedone.

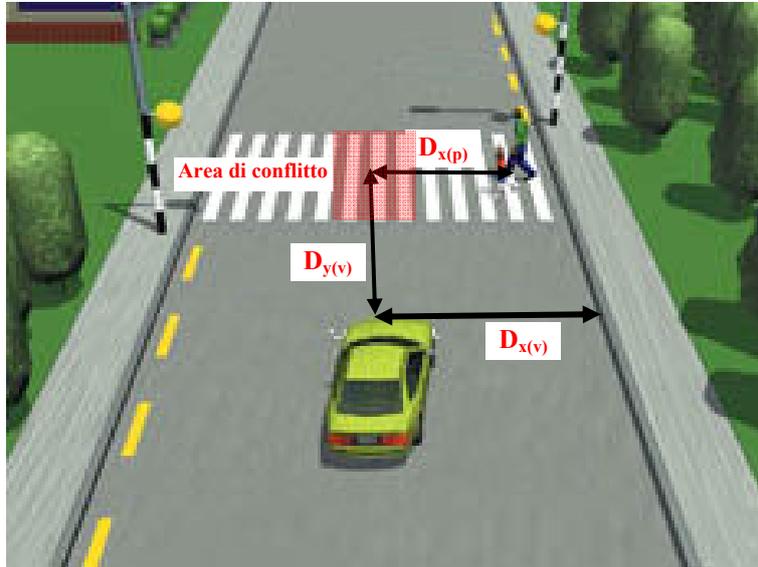


Figura 3 – Manovra di attraversamento

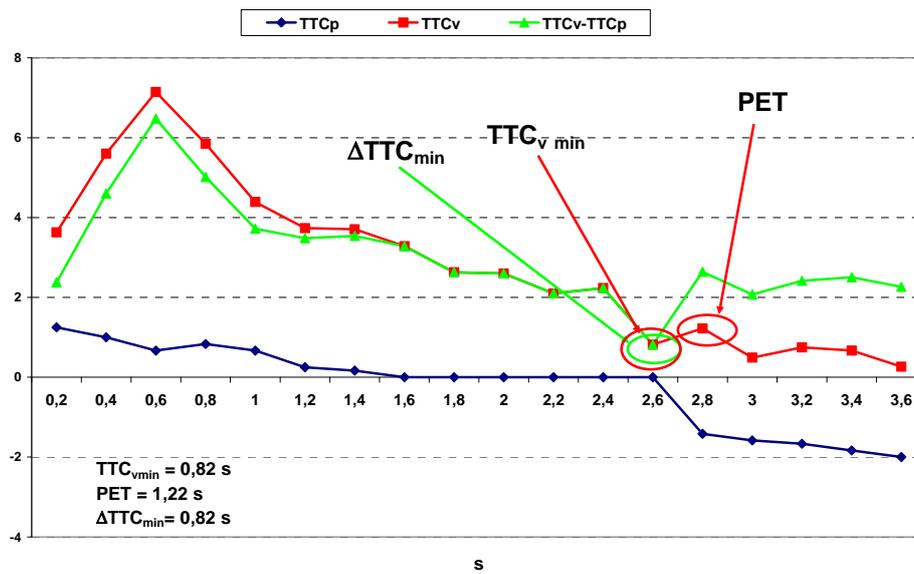


Figura 4 – Andamento dei parametri analizzati con individuazione degli indicatori di sicurezza

4.2. Analisi di sicurezza

Applicando la procedura descritta nel paragrafo 2 si è effettuata l'analisi di sicurezza di 51 attraversamenti pedonali nel comune di Giugliano in Campania. L'analisi è stata effettuata da un gruppo di 4 analisti.

Gli aspetti che hanno evidenziato i maggiori problemi di sicurezza sono la segnaletica e l'accessibilità (cfr. Tabella 3 e Figura 6). Solo l'8% degli attraversamenti analizzati ha un Livello di Sicurezza della segnaletica pari ad A o B e solo il 10% degli attraversamenti ha un Livello di Sicurezza dell'accessibilità pari ad A o B. Il 69% degli attraversamenti ha un Livello di Sicurezza della segnaletica pari ad F. In particolare, la visibilità delle strisce pedonali è spesso insufficiente sia di giorno che di notte e sono quasi sempre assenti le rampe di invito nei marciapiedi ed i dispositivi di ausilio sonoro per i non vedenti.

Sia per quanto riguarda la visibilità che la localizzazione un problema riscontrato di frequente è costituito dall'interferenza con i veicoli in sosta. In molti casi, l'area di sosta autorizzata a pagamento si sovrappone all'attraversamento pedonale.

Il Livello di Sicurezza complessivo degli attraversamenti (cfr. Tabella 3 e Figura 7) è nella maggior parte dei casi C (35%) o D (31%).

Tabella 3 – Caso di studio: ripartizione percentuale dei Livelli di Sicurezza

	A	B	C	D	E	F
LS _{localizzazione}	43%	20%	24%	10%	2%	2%
LS _{visibilità}	31%	16%	16%	18%	10%	10%
LS _{accessibilità}	4%	6%	14%	27%	18%	31%
LS _{segnaletica}	6%	2%	2%	8%	14%	69%
LS _{illuminazione}	41%	24%	0%	24%	6%	6%
LS _{tipo di traffico}	0%	4%	76%	14%	6%	0%
LS	2%	16%	35%	31%	16%	0%

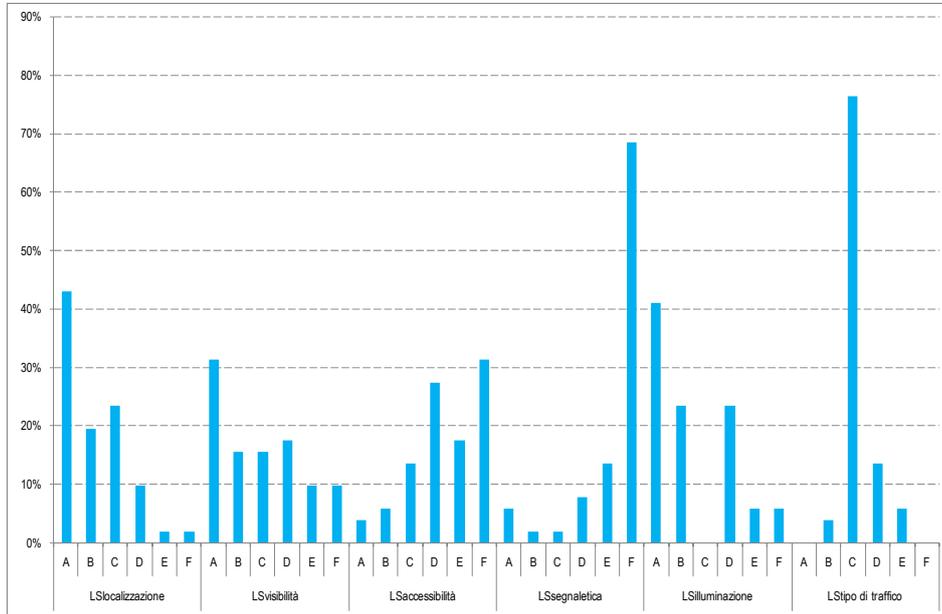


Figura 6 – Livelli di Sicurezza delle singole categorie

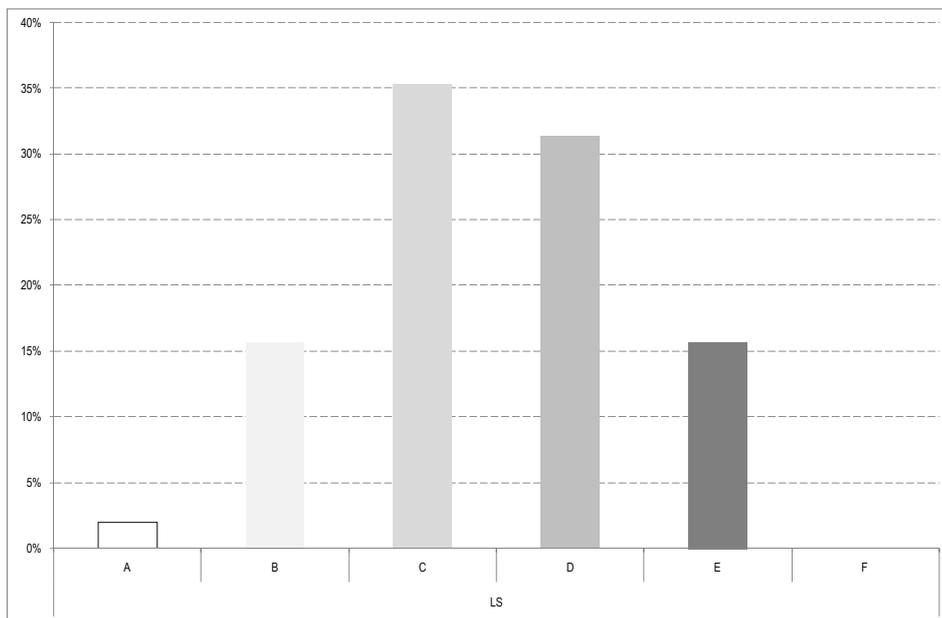


Figura 7 – Livello di Sicurezza

4.3. Conflitti di traffico

Applicando la procedura descritta nel paragrafo 3 si è effettuata l'analisi dei conflitti in 3 attraversamenti pedonali nel comune di Giugliano in Campania.

La scelta dei siti è stata effettuata considerando un attraversamento con Livello di Sicurezza E (IR = 58,41), un attraversamento con Livello di Sicurezza D (IR = 37,08) ed un attraversamento con Livello di Sicurezza C (IR = 27,45). Gli attraversamenti sono, rispettivamente, A6, A11 e A34, rappresentati in Figura 8.

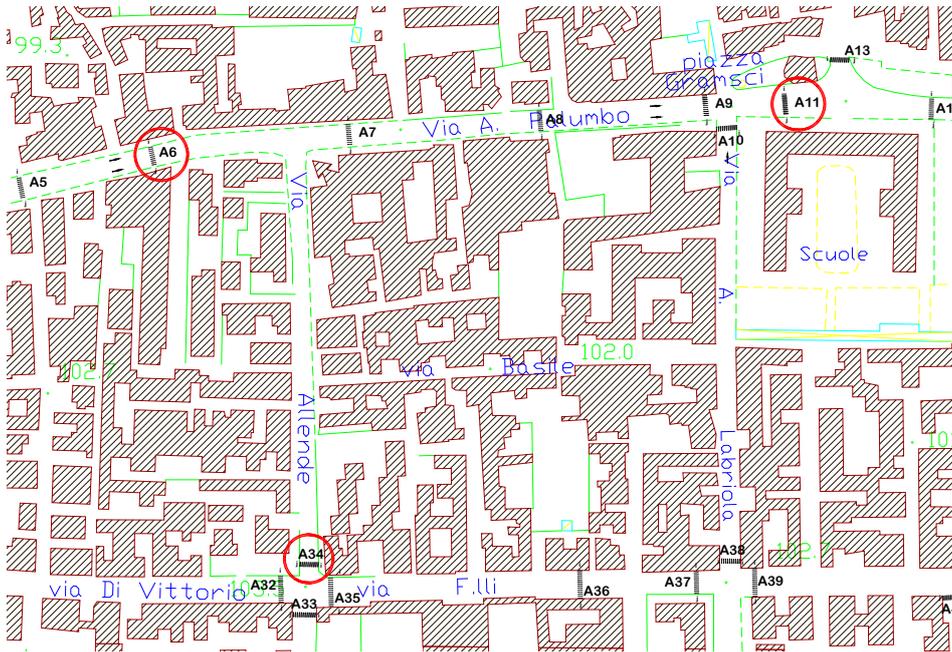


Figura 8 – Attraversamenti pedonali analizzati mediante i conflitti di traffico

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.

Per ciascun attraversamento sono state analizzate le manovre di conflitto, per le quali sono stati calcolati gli indicatori di sicurezza prima esaminati.

I valori medi e la deviazione standard dei parametri TTC_{vmin} , PET, ΔTTC_{min} , ottenuti nei tre attraversamenti analizzati, sono riportati in tabella 4.

Tabella 4 – Valori medi e deviazione standard degli indici di conflitto

Sito	LS	IR	Numero di manovre	TTC_{vmin}		PET		ΔTTC_{min}	
				μ	σ	μ	σ	μ	σ
A34	C	27,45	10	0,38	0,42	0,34	0,39	0,27	0,56
A11	D	37,08	41	0,61	0,85	0,66	1,19	1,12	1,90
A6	E	58,41	50	0,80	0,85	0,80	0,87	0,76	0,87

Al fine di verificare la significatività statistica delle differenze tra i valori medi di TTC_V , PET e ΔTTC 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 5 – Test di significatività sulla differenza tra le medie

Variabile	ANOVA F-test			t-student					
	A6	A11	A34	A34	A11	A6	A11	A6	A34
TTC_V	73 %			60 %		69 %		87 %	
PET	60 %			60 %		45 %		89 %	
ΔTTC	83 %			83 %		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, ΔTTC_{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 6 – Risultati delle analisi dei conflitti di traffico

Sito	Tipo di veicolo	Numero di manovre	TTC_{Vmin}		PET		TTC_{min}	
			μ	σ	μ	σ	μ	σ
			A34	Autovettura	9	0,44	0,44	0,39
	Due ruote	1	0,58		0,58		0,38	
A11	Autovettura	35	0,67	0,90	0,80	1,22	1,24	2,03
	Pesante	1	0,32		0,00		0,20	
	Due ruote	5	0,28	0,22	0,00	0,00	0,45	0,28
A6	Autovettura	42	0,80	0,84	0,82	0,89	0,76	0,87
	Bus	5	0,84	1,26	0,77	0,85	0,88	1,23
	Due ruote	3	0,66	0,28	0,47	0,54	0,53	0,21

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 – Risultati delle analisi dei conflitti di traffico

Sito	Età del pedone	Numero di manovre	TTC _{v min}		PET		TTC _{min}	
			μ	σ	μ	σ	μ	σ
A34	Tutti	9	0,44	0,44	0,39	0,40	0,44	0,59
	Adulto	9	0,44	0,44	0,39	0,40	0,44	0,59
A11	Tutti	35	0,67	0,90	0,72	1,21	1,24	2,03
	Giovane	3	0,76	0,81	0,83	1,30	1,46	1,58
	Adulto	23	0,69	0,86	0,58	0,95	0,75	0,83
	Anziano	9	0,57	1,12	1,01	1,79	2,41	3,57
A6	Tutti	42	0,80	0,84	0,82	0,89	0,76	0,87
	Giovane	13	0,80	0,46	0,94	0,57	0,70	0,46
	Adulto	27	0,91	1,01	0,87	1,04	0,87	1,04
	Anziano	2	0,25	0,24	0,13	0,19	0,25	0,24

5. CONCLUSIONI

Lo studio presentato nell'articolo ha definito una metodologia di individuazione dei fattori di rischio degli attraversamenti pedonali che associa le analisi di sicurezza e l'analisi dei conflitti di traffico.

La procedura di analisi di sicurezza definita nello studio, che si basa su liste di controllo specifiche per gli attraversamenti pedonali, fornisce sia un Livello di Sicurezza per l'attraversamento sia un Livello di Sicurezza relativo alle specifiche categorie dei fattori di rischio (localizzazione, visibilità, accessibilità, segnaletica, illuminazione, tipo di traffico), basandosi sulla stima del numero e della gravità degli incidenti, e rilevando così i principali aspetti che necessitano di miglioramenti.

La procedura definita per l'analisi dei conflitti di traffico in corrispondenza degli attraversamenti pedonali individua tre parametri temporali per la misura della prossimità dell'incidente: il minimo TTC del veicolo, il PET dopo l'attraversamento del pedone e il ΔTTC_{min} relativo tra veicolo e pedone..

Applicando la procedura definita nello studio si sono effettuate l'analisi di sicurezza di 51 attraversamenti pedonali e l'analisi dei conflitti di traffico di 3 attraversamenti caratterizzati da differenti Livelli di Sicurezza.

L'analisi ha evidenziato 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.

BIBLIOGRAFIA

Allen B.L., Shin B.T., Cooper P.J., 1978. *Analysis of Traffic Conflict Collisions*. Transportation Research Record 667, TRB, National Research Council, Washington, DC pp. 67–74.

Austrroads, 2004. *Guide to Traffic Engineering Practice series PART 4: Treatment of crash locations*. Austrroads Publication AP-G11.4/04, Sydney, New South Wales, Australia.

Cafiso S., La Cava G., Montella A., Pappalardo G., 2006. *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.

Cafiso S., La Cava G., Montella A., 2007a. *Safety Index for Evaluation of Two-Lane Rural Highways*. Transportation Research Record – Journal of Transportation Research Board n. 2019, Washington, D.C., U.S., , pp. 136-145.

Cafiso S., La Cava G., Montella A., 2007b. *Identification of Hazard Location and Ranking of Measures to Improve Safety on Local Rural Roads (IASP). Final Research Report*. European Union DG TREN Project-03-ST-S07.31286, http://ec.europa.eu/transport/roadsafety/publications/projectfiles/iasp_en.htm

Cafiso S., La Cava G., Montella A., Pappalardo G., 2008. *Manuale per le Ispezioni di Sicurezza delle Strade Extraurbane Secondarie e Locali. Operative Procedures for Safety Inspections on Two-Lane Rural Roads*. Aracne editrice, Roma.

Corben B., Duarte A., 2006. *Injury Reduction Measures in Area Hazardous to Pedestrian. Stage 1: Countermeasure Options*. Report n.169, Monash University, Accident Research Centre.

De Leur P., Sayed T., 2002. *Development of a Road Safety Risk Index*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board n. 1784, D.C., U.S., pp. 33-42.

ERSO, European Road Safety Observatory, 2008. *Traffic Safety Basic Facts 2007: Pedestrians*. <http://www.erso.eu>

ETSC, European Traffic Safety Council, 1995. *Reducing Traffic Injuries Resulting from Excess and Inappropriate Speed*. Brussels.

ETSC, European Transport Safety Council, 1999. *Safety of Pedestrian and Cyclist in Urban Areas*. Brussels.

Eurotest, 2008. *Pedestrian Crossing Survey In Europe*. <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>

FHWA, 2003. *MUTCD, Manual Uniform Traffic Control Devices*, Federal Highway Administration, USA

Hanowski R. J., Wierwille W. W., Garness S. A., Dingus T. A. (2000). *Impact of local/short haul operations on driver fatigue*. Final Report No. DOT-MC-00-203. FMCSA, U.S. Department of Transportation, September 2000.

Harkey D.L., Zegeer C.V., 2004. *PEDSAFE: Pedestrian Safety Guide and Countermeasure Selection System*. Report FHWA-SA-04-003, Washington, D.C., U.S.

Hayward J. C., 1972. *Near-Miss Determination Through Use of Scale of Danger*. Report No. HRR 384, pp. 24-35. Highway Research Board

Hupfer C., 1997. *Computer Aided Image Processing to Modify Traffic Conflicts Technique*. University Kaiserslautern. Transportation Department, Kaiserslautern, Germany.

Hydén C., 1987. *The Development of a Method for Traffic Safety Evaluation: the Swedish Traffic Conflicts Technique*. Department of Traffic Planning and Engineering, Lund University, Lund, Sweden.

Hydén, C., 1996. *Traffic Conflict Technique: State-of-the-art*. In : Topp H.H. (Ed.), (1996). *Traffic Safety Work with Video-Processing*. University Kaiserslautern. Transportation Department, 1996, Green Series No. 43

García A., Romero M. (2006). *Influencia de la longitud del carril de deceleración en la funcionalidad y seguridad*. Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera, ISSN 0212-6389, N°. 145, 2006 , pags. 6-16

IHT, The Institution of Highways and Transportation, 1996. *Guidelines for the Safety Audit of Highways*. London, UK.

Lynam D., Hummel T., Barker J., Lawson S.D., 2004. *European Road Assessment Programm. Eurorap I Technical Report*. <http://www.eurorap.org>.

Moudon V.A., Lin L., 2007. *Managing Pedestrian Safety I: Injury Severity*. Department of Urban Design and Planning. Washington State Transportation Center (TRAC).

Ministero LL.PP., 1989. *Decreto del Ministro dei Lavori Pubblici 14 giugno 1989, n. 236, Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visitabilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica sovvenzionata e agevolata, ai fini del superamento e dell'eliminazione delle barriere architettoniche*.

Ministero LL.PP., Ispettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale, 2001. *Circolare n.3699: Linee guida per le analisi di sicurezza delle strade*.

Ministero LL.PP., 1998. *Direttive per la redazione, adozione ed attuazione dei piani urbani del traffico*.

Montella A., 2005. *Safety Reviews of Existing Roads: Quantitative Safety Assessment Methodology*. Transportation Research Record – Journal of Transportation Research Board n. 1922, Washington, D.C., U.S., pp. 62-72.

Montella A., 2007. *Roundabout In-Service Safety Reviews: Safety Assessment Procedure*. Transportation Research Record – Journal of Transportation Research Board n. 2019, Washington, D.C., U.S., pp. 40-50.

NHTSA, National Highway Traffic Safety Administration, 2008. *National Pedestrian Crash Report*. National Center for Statistics and Analysis, U.S. Department of Transportation.

Perkins S.R., Harris J.I., 1967. *Criteria for Traffic Conflict Characteristics*. Report GMR632, Warren, MI, General Motors Corporation

Perkins S.R., Harris J.I., 1968. *Traffic Conflict Characteristics: Accident potential at intersections*. Highway Research Record, Vol. 225, pp.45-143, Highway Research Board, Washington, D.C.

SNRA, Swedish National Road Administration, 1997. *En Route to a Society with Safe Road Traffic*.

Svensson Å., 1998. *A Method For Analyzing The Traffic Process In A Safety Perspective*. Department of Traffic Planning and Engineering, Lund University, Lund, Sweden.

Svensson Å., Hydén C., 2006. *Estimating the Severity of Safety Related Behaviour*. Accident Analysis & Prevention, 38:379-385.

TAC, Transportation Association of Canada, 2004. *The Canadian guide to in-service road safety reviews*. Ottawa, Canada.

TRL, Transportation Research Laboratory, 2000. *Monitoring of Local Authority Safety Schemes (MOLASSES) Database*. Crowthorne, UK, <http://www.trl.co.uk/molasses>

Várhelyi A., 1996. *Dynamic Speed Adaptation Based on Information Technology – A Theoretical Background*, Bulletin 142, Dept. of Traffic Planning and Engineering, Lund University, Lund, Sweden.

Wegman F., Aarts L., 2006. *Advancing Sustainable Safety: National Road Safety Outlook for 2005-2020*. SWOV, Institute for Road Safety Research, Leidschendam, The Netherlands.

Zegeer C.V., Stutts J., Huang H., Cynecki M.J., Van Houten H., Alberson B., Piferer R., Neuman T.R., Slack K.L., Hardy K.K., 2004. *Guidance for Implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan. Volume 10: A Guide for Reducing Collisions Involving Pedestrians*. NCHRP Report 500, Washington, D.C., U.S.