

VALUTAZIONE DELL'EFFICACIA DI SISTEMI DI FRENATA AUTONOMA PER PEDONI NELLA RIDUZIONE DELLE LESIONI GRAVI O MORTALI IN AMBITO URBANO

S. Piantini, G. Savino, M. Pierini, N. Baldanzini

*Università degli Studi di Firenze - Dipartimento di Ingegneria Industriale,
Via di Santa Marta, 3, 50139 Firenze, e-mail: simone.piantini@unifi.it*

Sommario

La frenata autonoma d'emergenza (AEB) si è dimostrata efficace nella riduzione degli incidenti a bassa velocità tra veicoli e le versioni più recenti del sistema sono anche progettate per riconoscere e intervenire in caso di coinvolgimento di pedoni. L'obiettivo dello studio è la valutazione dell'efficacia dei dispositivi AEB nel ridurre mortalità e severità degli incidenti con pedoni in ambito urbano.

Dalla banca dati InSAFE sono stati selezionati 17 incidenti gravi con pedoni. Ogni caso è stato prima analizzato con il software VirtualCrash e poi emulato con il software Prescan. La riduzione della severità è stata invece stimata mediante le curve di rischio di Rosen et al. Sulla base della logica AEB impiegata e delle relative caratteristiche d'intervento, il sistema si è mostrato in grado di riconoscere il pedone come oggetto di collisione nell'82% dei casi e di evitare due incidenti. Mentre la velocità d'impatto è stata ridotta del 34% e il rischio di mortalità e di lesioni gravi del 71% e 57%. Tali risultati, derivando dalla simulazione di casi specifici (ad elevata severità) e da una esigua quantità di dati, non hanno tuttavia una validità generale. I fattori che maggiormente ne condizionano l'efficacia sono l'entità della decelerazione, il tempo d'innescò, il campo visivo dei sensori, la presenza di ostacoli e la velocità di auto e pedone.

Abstract

Autonomous Emergency Braking (AEB) has been proven effective in reducing the occurrence of low speed crashes between vehicles, and more recent versions of this system are designed to intervene also in crashes involving pedestrians. The objective of the present study is to evaluate the effectiveness of AEB in reducing the injury outcomes and the avoidability for pedestrians in the urban context. A sample of 17 crashes were selected from the in-depth crash investigation In-Safe of the Metropolitan area of Florence (Italy) including at least one seriously injured road user. Each crash case was first analysed using VirtualCrash software, and then emulated by the Prescan software. The likelihood of injury reductions were estimated using the risk curve proposed by Rosen et al. The AEB recognised pedestrian as a collision object in the 82% of cases avoiding two crashes. The impact speed was reduced by 34%, the mortality risk by 71% and the risk of serious injuries by 57%. The most important factors that condition the AEB efficacy are the braking force, triggering time, sensors field-of-view, presence of obstacles and car and pedestrian speed.

Parole chiave: AEB, ADAS, evitabilità urto, pedone, incidente stradale, rischio, lesioni, mortalità

1. INTRODUZIONE

Durante la guida di un autoveicolo anche una piccola distrazione può far sì che un conducente non riesca a reagire in modo tempestivo all'insorgenza di un evento improvviso, aumentando così il rischio di incidente [1-3]. Proprio per questi motivi nell'ultimo decennio i sistemi di assistenza alla guida (ADAS, Advanced Driver Assistance System) hanno avuto una fortissima espansione e diffusione. Di fatto il loro compito è proprio quello di ridurre le conseguenze, spesso anche fatali, che scaturiscono dalla disattenzione del guidatore o da una sua lenta risposta a cambiamenti improvvisi. Si va dall'assistenza alla frenata (BAS) al controllo dell'angolo cieco (BLIS), dall'avvertimento dell'abbandono della corsia (LDW) al mantenimento della stessa con un intervento autonomo sullo sterzo, e così via.

Il sistema di frenata autonoma d'emergenza, più noto come Autonomous Emergency Braking (AEB), è un dispositivo attivo che prova a mitigare le conseguenze di questo problema, valutando, autonomamente, se applicare o meno al veicolo, in condizioni di imminente urto, la massima forza frenante. Al momento non esiste uno standard che definisce le modalità di intervento dei sistemi AEB. Ogni brand sviluppa una propria logica, per cui AEB installati su auto di brand diversi avranno un diverso funzionamento per quanto concerne il quando e come intervenire. L'algoritmo opera solitamente in tre fasi: nella prima, in genere due/tre secondi prima del probabile impatto, avvisa il guidatore del potenziale pericolo; nella seconda fase invece, attorno ai due secondi dal probabile impatto, il sistema avverte nuovamente il conducente agendo sui freni o tirando bruscamente la cintura di sicurezza; nella terza fase infine, se il guidatore non ha ancora risposto il sistema applicherà la massima azione frenante in modo da evitare o mitigare gli effetti dell'impatto. Tuttavia, qualora il conducente abbia già iniziato o inizi un'azione di evitabilità (sia essa una sterzata o una frenata) l'AEB si disattiva. Attualmente ne esistono di tre tipologie: una che lavora sulla lunga distanza (80÷200 m) e le alte velocità (30÷200 km/h), solitamente basata su sistemi radar a lungo raggio, una invece che lavora sulle brevi distanze (<12 m) e le basse velocità (15÷30 km/h), comunemente basata su sistemi lidar (Light Detection And Ranging), e infine una terza specificamente pensata per il riconoscimento di pedoni e ciclisti (P-AEB).

I sistemi P-AEB sono pensati sia per ridurre le conseguenze derivanti da una distrazione del conducente sia per aiutarlo in tutti quei casi nei quali i fattori ambientali possono inficiare la percezione della presenza del pedone (ostacoli fissi e mobili). La letteratura presenta vari lavori inerenti la valutazione dell'efficacia di tali sistemi nella riduzione dell'investimento di pedone e delle loro conseguenze (mortalità e lesività), nonché sulla relativa utilità altresì riconosciuta da Euroncap con l'introduzione, nel 2016, di uno specifico protocollo di valutazione [4]. Rosen et al. [5] evidenzia come l'efficacia dipenda dall'entità del campo visivo dei sensori, dalla massima decelerazione imposta e dal relativo tempo di attivazione: con un campo visivo di 40° e una decelerazione di 6.0 m/s² applicata 1 s prima dell'impatto, il rischio di decesso e di lesioni gravi si riduce, rispettivamente, del 40% e del 27%. Lindman et al. [6] mostra invece una efficacia del 24% nella riduzione della mortalità ipotizzando un uso estensivo del sistema P-AEB di Volvo. Edwards et al. [7], sulla base di dati incidentologici anglosassoni e tedeschi e della tecnologia del momento, stima in 1 milione di euro l'anno la riduzione dei costi dovuti alla diminuzione della severità degli investimenti in Europa. Ando et al. [8], basandosi su dati giapponesi, mostrano invece una possibile riduzione del 33% della mortalità e del 70% delle lesioni severe (AIS4+). Sulla base di un campione di 100 incidenti reali, Hamdane et al. [9] evidenzia come un campo visivo di almeno 35° e una attivazione del sistema tra 0.5 s e 1 s prima del possibile impatto, porti a circa il 75% la riduzione degli investimenti.

L'obiettivo del presente articolo è la valutazione dell'efficacia dei dispositivi P-AEB nella riduzione della severità e della mortalità degli incidenti con pedoni sulla base di un set d'incidenti stradali gravi provenienti dalla banca dati InSAFE.

2. METODOLOGIA

A partire dallo studio della dinamica di un set d'incidenti provenienti dalla banca dati InSAFE, si è proceduto alla riproduzione virtuale dell'evento nell'ipotesi che l'auto coinvolta nel sinistro fosse dotata di dispositivo P-AEB munito di telecamera e radar. Mediante l'uso del software PreScan, comunemente impiegato nello sviluppo dei sistemi ADAS, è stato possibile sia riprodurre le condizioni ambientali (visibilità, strada, ostacoli) nelle quali l'incidente ha preso luogo che la presenza del dispositivo P-AEB, e quindi valutare la nuova velocità d'investimento del pedone o la sua evitabilità. Attraverso le curve di rischio di Rosen e Fredriksson [10-11], nota la nuova velocità d'investimento del pedone, si è proceduto al calcolo della probabilità che lo stesso aveva di incorrere in lesioni severe o mortali e quindi alla valutazione dell'efficacia del dispositivo.

2.1. Modellazione del sistema P-AEB in ambiente PreScan

Le principali differenze tra un sistema AEB e un sistema P-AEB risiedono principalmente nella tipologia di sensori utilizzati per il monitoraggio dell'ambiente antistante il veicolo. Il sistema AEB impiega di norma sensori quali radar o lidar, mentre il P-AEB utilizza generalmente la combinazione di radar o lidar e una videocamera, ma talvolta anche la sola videocamera, per percepire e riconoscere la presenza di un pedone o un ciclista. Vista la mancanza di uno standard che definisca in modo univoco la modalità di attivazione della logica P-AEB e quindi le diverse tipologie di attivazione riscontrabili sul mercato [12], si è proceduto con la scelta della logica P-AEB direttamente implementata nel software PreScan.

Il P-AEB di PreScan utilizza sia un radar che una videocamera. Il radar rileva gli oggetti presenti nello spazio di fronte al veicolo e la velocità relativa tra auto e ostacolo, mentre la videocamera determina se l'ostacolo rilevato sia o meno un pedone. Le informazioni provenienti da questi due sensori vengono poi elaborate dall' algoritmo di riconoscimento del pedone al fine di valutare la presenza o meno del pedone, e dove e quando (TTC, time to collision) la collisione prenderà luogo.

Sensori e algoritmi sono modellati in ambiente Simulink per simulare l'esecuzione delle misure e il relativo condizionamento dati sulla base dei segnali generati nell'ambiente virtuale (PreScan).

Il processo di riconoscimento del pedone avviene mediante la fusione di dati provenienti dal radar e dalla videocamera. Se l'algoritmo valuta che l'oggetto davanti all'auto è d'imminente collisione ($TTC < 2$ s) attiva il modulo di riconoscimento del pedone. Una volta che il pedone viene riconosciuto come tale e il TTC scende sotto gli 1,6 secondi, il sistema, emettendo un segnale acustico di warning, dà al conducente la possibilità di frenare. Se il TTC scende a 0,6 s e il conducente non frena o non frena al massimo, la collisione si trasforma in inevitabile e il sistema procede applicando la sua massima azione frenante sino all'arresto del veicolo (Tabella 1). Quest'ultimo scelto come tempo ultimo oltre il quale il conducente non è più in grado di reagire [13]. In tabella 2 sono invece riportate le principali caratteristiche del radar e della videocamera usati dal P-AEB di PreScan. Il radar risulta posizionato sulla parte frontale dell'auto ad una altezza di 40 cm dal suolo, mentre la videocamera è posta in corrispondenza dello specchio retrovisore interno. L'ipotesi effettuata è che i sensori implementati nel software siano privi di deriva, rumore e incertezza sulla misura della distanza. Le loro prestazioni risultano inoltre dipendere dalle condizioni meteo o di inquinamento luminoso.

Tabella 1. Azioni compiute dall'algoritmo P-AEB di PreScan

Condizione	Riconoscimento pedone	Warning $1.6 \leq TTC < 0.6$	Il P-AEB frena $TTC \leq 0.6s$	Comportamento P-AEB
1	si	no	no	nessuna azione
2	si	no	si	frenata massima
3	si	si	no	solo segnale di warning
4	si	si	si	frenata massima
5	no	si/no	si/no	nessuna

Tabella 2 Proprietà di Radar e Videocamera

<i>Radar</i>		<i>Videocamera</i>	
percorso scansione	linea di scansione	stereo visione	disabilitata
tipo di fascio	ellittica	risoluzione orizzontale [pixel]	500
range fascio [m]	40	risoluzione verticale [pixel]	375
fascio $\Delta\theta$ [deg]	60	frame rate [Hz]	50
fascio $\Delta\varphi$ [deg]	monocromia	colore/Monocromia	monocromia
sistema coerente	attivo	fattore di intensità [RGB]	01/01/2001
freq. FoV [Hz]	25	parametri specifici	attiva
fasci	1	lunghezza focale [mm]	7.5
max oggetti catturati	32	CCD chip size	1/2" (6.4x4.8mm)

2.1. Modellazione dell'ambiente e dei veicoli coinvolti

Mediante il software PreScan è stato possibile riprodurre con sufficiente realismo le caratteristiche del luogo del sinistro, quali: l'infrastruttura, la segnaletica, condizioni di luce, presenza di pioggia o nebbia, e sul comportamento degli utenti coinvolti (conducente e pedone). In figura 1 sono riportati come esempio alcuni scenari.

I casi esaminati sono stati riprodotti con le seguenti ipotesi semplificative:

- Strada: pianeggiante
- Condizioni di luce: giorno / notte (senza illuminazione pubblica)
- Condizioni meteo: sereno / pioggia
- Conducente: frena / non frena (no altre manovre)
- Il P-AEB può intervenire a qualsiasi velocità

A seguito della limitata libreria di veicoli presente in PreScan, i veicoli coinvolti nei casi studiati sono stati raggruppati in 5 diverse categorie (piccola, compatta, media, SUV, Van) e rispettivamente modellate con Toyota Yaris, Ford Fiesta, FIAT Bravo, BMW X5 e Toyota Previa.

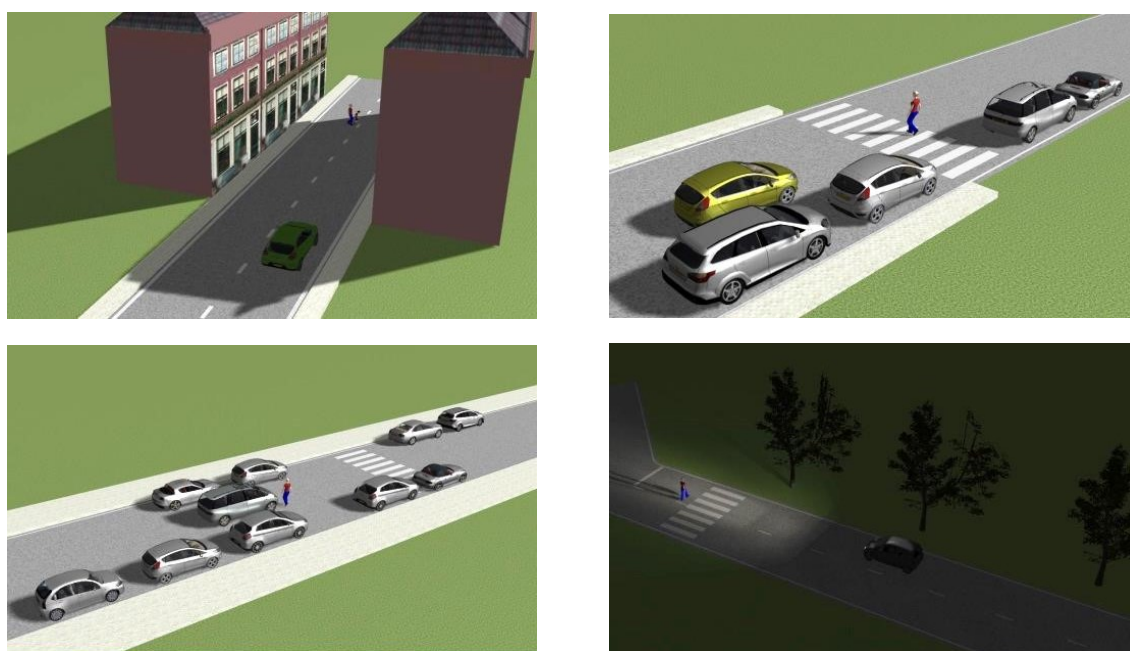


Figura 1 Esempi di scenari riprodotti in ambiente PreScan.

2.2. Valutazione del rischio di lesioni severe o mortali

La probabilità di rischio che un pedone ha di incorrere in lesioni gravi (AIS3+) o mortali è stata calcolata applicando le curve di rischio proposte da Rosen et al. [10] e Fredriksson et al. [11] in funzione della velocità d'impatto del veicolo, secondo la formula:

$$P_{AIS3+/Mortale}(V) = \frac{1}{1+e^{(-a_i - b_i V)}} \quad 1)$$

Tabella 3. Rischio di lesioni gravi (AIS3+) (Rosen et al. [10] e Fredriksson et al. [11]).

Livello di lesione		Stimatore	S.E.	p-value
AIS3+	a	-4.6	0.01	<0.0001
	b	0.078	0.37	<0.0001
AIS3+ Testa	a	-5.5	0.46	<0.0001
	b	0.072	0.010	<0.0001
AIS3+ Torace	a	-6.5	0.57	<0.0001
	b	0.088	0.012	<0.0001
AIS3+ Gambe	a	-4.8	0.37	<0.0001
	b	0.064	0.0087	<0.0001

Tabella 4 Rischio di lesioni mortali (Rosen et al. [10]).

Livello di lesione		Stimatore	S.E.	p-value
Mortale	a	-7.5	0.79	<0.0001
	b	0.096	0.015	<0.0001

La valutazione dell'efficacia dei sistemi di frenata autonoma in termini di riduzione della mortalità e della severità delle lesioni è stata effettuata mediante la seguente equazione:

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n P_{morte/AIS3+}(v'_i)}{\sum_{i=1}^n P_{morte/AIS3+}(v_i)} \quad 2)$$

Dove v e v' sono le velocità di investimento del pedone con e senza l'impiego del sistema di frenata autonoma P-AEB ed n è il numero dei casi.

2.3. Database InSAFE

L'In-depth Study of Accident in FlorencE (InSAFE) è uno studio congiunto tra il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università degli Studi di Firenze e il Dipartimento di Anestesia e Rianimazione d'Emergenza (ICU) dell'Azienda Ospedaliera Universitaria di Careggi, Firenze.

Il team InSAFE, attivo principalmente sull'area metropolitana di Firenze e dintorni [14-15], dal 2009 ha raccolto più di 350 incidenti gravi, studiandone in modo approfondito circa 150. Il criterio di inclusione nello studio è l'accesso di almeno una persona coinvolta nel sinistro presso la ICU. L'investigazione, condotta sia da personale tecnico che medico, avviene in modo retrospettivo. Nelle 24h dell'ingresso del traumatizzato presso la rianimazione, l'ICU allerta il team della presenza di un nuovo caso studio. Il team procede quindi alla raccolta delle informazioni inerenti i veicoli (ispezione e misura delle deformazioni) e le persone coinvolte e all'ispezione del luogo del sinistro. E attraverso la ricostruzione della dinamica del sinistro procede alla valutazione delle condizioni di accadimento dell'evento (angolazione, velocità d'impatto, delta-V, etc.), i cui parametri vengono poi ottimizzati e validati mediante il software multibody Virtual Crash [16]. Lo studio del singolo caso si conclude con la correlazione tra lesioni e possibili cause.

2.4. Descrizione del dataset

Il campione analizzato consiste in 17 incidenti stradali gravi selezionati in accordo ai seguenti criteri: i) investimento di pedone; ii) area urbana; iii) tipo di veicolo (auto, SUV, Van).

La maggior parte degli investimenti risultano essere avvenuti con condizioni di tempo sereno (82%, 14/17), luce diurna (65%, 11/17) e con il pedone che impegna la strada provenendo dalla destra del conducente (82%, 14/17). Il campione, costituito da 14 auto, 2 SUV ed un Van, risulta principalmente composto da veicoli registrati nel periodo 2000-2014 (94%). Il 53% (9/17) dei veicoli si è dimostrato tenere una velocità di viaggio superiore ai 50 km/h consentiti in ambito urbano (range 33-70 km/h, SD 8,7 km/h) e nessuno essere dotato di sistema di frenata autonoma d'emergenza per pedoni (P-AEB). Sulla base dei dati raccolti e della dinamica d'impatto, il 90% (15/17) dei conducenti ha azionato i freni prima dell'impatto e 1 su 3 è arrivato al bloccaggio degli pneumatici. La decelerazione varia tra 0 e 5 m/s² (SD 1,48 m/s²) con un valor medio di 3,41 m/s². Nel 65% dei casi il tempo di reazione è compreso tra 1,25 e 1,5 s, mentre solo 4/17 frenano a meno di 1 s dall'impatto. Le velocità d'investimento risultano comprese tra i 23 e i 68,5 km/h (media 39,9 km/h, SD 12,4), ma la maggioranza dei casi (il 59%) si colloca nella fascia 30-50 km/h. Per quanto concerne la porzione del frontale più urtata dal pedone, la destra risulta la più frequente (53%, 9/17), seguita dalla centrale e dalla sinistra (23,5%, 4/17). Inoltre nell'80% dei casi non erano presenti ostacoli fissi o mobili tali da impedire o ridurre la visibilità del conducente sul pedone.

I pedoni gravemente feriti risultano essere 11 maschi e 7 femmine. L'età varia tra i 18 e i 90 anni (SD 23,1), con una media di 55,6 anni e una mediana di 59. L'88% (15/17) dei pedoni trattati dalla ICU ha riportato un trauma maggiore severo (Injury Severity Score, ISS > 15) e il 12% (2/17) è deceduto entro il 30° giorno dall'accesso in ospedale. L'ISS varia tra 9 e 38 (mediana pari a 22). Le regioni del corpo più soggette a lesioni gravi (Abbreviated Injury Scale, AIS ≥ 3) risultano essere la testa (15 pedoni su 17 riportano un MAIS3+), il torace (7/17 riportano un MAIS3+) e le estremità (superiori ed inferiori) (3/17 riportano un MAIS3+).

3. RISULTATI

Dalla riproduzione in PreScan del set di incidenti selezionato dopo aver dotato i veicoli di dispositivo P-AEB, sono stati ottenuti i seguenti risultati.

3.1. Intervento del P-AEB

Il sistema P-AEB, nei 17 incidenti analizzati, lavorando su tutti gli oggetti in movimento inclusi nel proprio campo visivo, è sempre riuscito a identificarne almeno uno di possibile collisione. Il riconoscimento risulta avvenire mediamente 1.46 s (SD 0.57) prima del possibile punto d'impatto, con un range che varia tra 0.43 e 2 s.

Premesso che l'algoritmo prosegue se e solo, dopo l'identificazione del possibile impatto, riesce a classificare l'oggetto come pedone, nel set studiato il riconoscimento non risulta essere avvenuto in 3 casi su 17 (18%) (ID32, ID60, ID69), ed avvenire in media 0.78 s (SD 0.27) del possibile punto d'impatto e in generale tra 0.24 e 1.2 s. A seguito del riconoscimento di una possibile collisione e del fatto che l'oggetto sia o meno un pedone, l'algoritmo emette un segnale di avvertimento (warning) in modo da dare al conducente l'opportunità d'intervento. Il warning risulta emesso in contemporanea al riconoscimento del pedone (stessi tempi). Se il conducente non frena o frena ma non applica la pressione massima, il P-AEB procede applicando autonomamente la massima forza frenante (in generale al di sotto di 0.6 s dal possibile punto d'impatto). Nel campione indagato questo è avvenuto in media 0.56 s (SD 0.13) prima e in generale tra 0.24 e 0.81 s. Solo in due casi (ID73 e ID91) la frenata è stata applicata a più di 0.6 s dal possibile punto d'impatto (0.81 e 0.71 s, rispettivamente). Nel 57% dei casi (8/14) il tempo che intercorre tra il riconoscimento del pedone e l'applicazione della massima frenata risulta minore di 0.25 s. Il 29% (4/14) è invece compreso tra 0.26 e 0.5 s, mentre in soli due casi su 14 (14%) avviene dopo 0.51÷0.75 s.

3.2. Evitabilità e variazione delle condizioni d'impatto con il P-AEB

In 2 casi su 17 (ID71 e ID74) il sistema P-AEB è riuscito ad evitare l'investimento del pedone arrestando il veicolo prima dell'impatto, riducendo così il rischio di investimento del 1.13 (CI 0.95-1.35)

Per quanto invece riguarda i casi in cui l'impatto non sia stato evitabile, la velocità d'impatto risulta adesso compresa tra 5.4 e 56.0 km/h, e con un valor medio di 26.4 km/h (SD 13.4 km/h).

Mentre la porzione di frontale con cui il pedone entra più frequentemente in contatto risulta essere la centrale (40.0%, 6/15), seguita dalla destra (33.5%, 5/15) e dalla sinistra (26,5%, 4/15).

3.3. Valutazione della riduzione della lesività

Sulla base della seconda equazione e del campione preso in esame, l'efficacia del sistema P-AEB nella riduzione dei decessi risulta essere di circa il 70%, che scende al 57% circa per quanto riguarda la riduzione delle lesioni gravi (AIS3+). Focalizzandosi invece su specifici segmenti corporei quali la testa, il torace e le gambe, l'efficacia risulta essere rispettivamente del 60.5%, 67% e 56% (Tabella 5).

Tabella 5 Efficacia dell'AEB per pedoni nella riduzione del rischio

	Decesso	AIS3+	AIS3+ Testa	AIS3+ Torace	AIS3+ Gambe
Efficacia	71.0%	57.0%	60.5%	66.8%	56.0%

4. DISCUSSIONE

Come noto, i macro fattori responsabili del sinistro stradale sono legati all'ambiente, al veicolo e al comportamento, in questo caso di conducente e pedone. Un'errata interazione comporta sempre il manifestarsi dell'incidente. Basta ad esempio pensare a una barriera che ostruisce la visuale del conducente, a un pedone che esegue una manovra improvvisa, o a un conducente che distratto percepisce in ritardo il pericolo e così via.

Per una piena comprensione e valutazione delle problematiche legate alla sicurezza stradale e nella fattispecie dei pedoni, l'investigazione e la ricostruzione approfondita dell'incidente stradale risulta essere uno strumento fondamentale. Lo studio di casi reali consente l'individuazione dei fattori che maggiormente li causano o che interferiscono sul livello di sicurezza del particolare utente della strada considerato.

I sistemi di sicurezza attiva nascono proprio per mitigare le conseguenze legate all'errata interazione veicolo-uomo-macchina, ma risultano comunque anch'essi non completamente indipendenti da questi aspetti. L'obiettivo dello studio era quindi la valutazione dell'efficacia dei sistemi P-AEB nella riduzione della severità e della mortalità dei pedoni, sulla base di una riproduzione dettagliata delle reali condizioni di accadimento di investimenti gravi in ambito urbano.

Mantenendo invariate le caratteristiche dei sensori e i parametri di attivazione della logica P-AEB, l'utilizzo del software PreScan, riproducendo fedelmente il luogo del sinistro, ha permesso di valutare gli effetti che l'ambiente urbano e i comportamenti tenuti da conducente e pedone possono avere su tali sistemi.

L'analisi preliminare condotta su 17 incidenti, mostra come circa il 12% dei casi gravi studiati poteva essere evitato attivando la massima frenata a 0.6 s dall'impatto e con velocità dell'auto inferiori a 30 km/h. La velocità d'investimento si riduce invece di circa il 34%, passando dai 39.9 km/h ai 26.4 km/h (valori medi). Mentre il rischio di morte e di lesioni gravi (AIS3+), valutati sulla base delle nuove velocità d'investimento, risultano rispettivamente riducibili del 71% e 57%. La regione del corpo che maggiormente risulta beneficiare dall'intervento del P-AEB è invece il torace, con una riduzione del 67% della probabilità di lesioni AIS3+.

I valori trovati rappresentano senz'altro una sovrastima della realtà, e questo è dovuto a molteplici fattori, tra i quali, la tipologia di campione preso in considerazione, la scarsa numerosità, le ipotesi di modellazione del P-AEB e dello scenario e la rappresentatività del dato con cui sono costruite le curve

di rischio e la modellazione della curva. Il campione sul quale si basano le curve è infatti rappresentativo del dato nazionale tedesco [10-11]. Inoltre il modello utilizzato prende in considerazione la sola velocità d'investimento e non altri importanti fattori quali, ad esempio, l'età del pedone [17-18].

Un altro aspetto non considerato e che invece influenza moltissimo l'outcome è il punto d'impatto del pedone sull'auto. Come noto la parte laterale del frontale e la zona del telaio e della porzione di vetro ad esso più vicina sono aree altamente lesive, mentre la porzione centrale del veicolo risulta essere meno pericolosa poiché più facilmente ottimizzabile e ottimizzata a livello costruttivo. Dal campione esaminato si vede che è la parte destra del frontale la porzione del veicolo maggiormente coinvolta nell'investimento del pedone (53%). Con l'impiego dei dispositivi P-AEB si nota invece come tale percentuale si ridistribuisca e di come l'impatto avvenga maggiormente nella porzione centrale (passando dal 23.5% al 40%). Tale effetto, anche se non direttamente valutato mediante le curve di rischio, rappresenta comunque un ulteriore possibile fonte di riduzione della lesività.

Considerando gli aspetti legati all'ambiente urbano preso in esame, a livello funzionale, la logica P-AEB è sempre riuscita a identificare almeno un oggetto come possibile fonte di collisione e nell'82% dei casi (14/17) lo ha correttamente identificato come pedone. Il tempo impiegato nel riconoscimento è stato sempre inferiore a 1s e nel 57% casi avvenuto entro gli 0.25s.

Come già posto in evidenza nell'introduzione, gli effetti del sistema P-AEB in condizioni reali dipenderanno dai parametri di attivazione scelti. Fermo restando questi parametri, le ragioni del mancato riconoscimento dei tre pedoni non sono purtroppo facilmente deducibili da questo piccolo set di dati. In due casi si riscontra una strada abbastanza stretta che porta il conducente a percorrere la corsia tenendosi maggiormente spostato a destra. Inoltre in entrambi i casi il pedone risulta avere una maggiore velocità rispetto agli altri casi e, a causa di ostacoli fissi, diventa visibile al radar molto tardi (il riconoscimento di una possibile collisione avviene a meno di 0.8s dal TTC). Il terzo caso mostra invece caratteristiche diverse dai precedenti e apparentemente non così poi difficoltose.

5. CONCLUSIONI

Lo studio è stato rivolto alla valutazione dell'efficacia dei sistemi di frenata autonoma per pedoni (P-AEB) nella riduzione della severità e della mortalità degli investimenti avvenuti in ambito urbano, sulla base di una riproduzione dettagliata delle reali condizioni di accadimento del sinistro. I casi studiati sono tutti provenienti dalla banca dati InSAFE.

Dall'analisi preliminare condotta su 17 casi emerge un buon funzionamento dei sistemi P-AEB anche in spazi urbani non troppo aperti e con presenza di ostacoli. Nell'82% dei casi il pedone è stato riconosciuto come tale e grazie all'intervento del sistema si sarebbero potuti evitare 2 investimenti su 17 (12%), riducendo del 34% la velocità d'investimento. Il rischio di morte e di lesioni grave potrebbe invece essere ridotto del 71% e 57%, rispettivamente.

In generale gli aspetti più importanti da tenere in considerazione per la progettazione e che successivamente dovranno essere maggiormente indagati sono l'entità della forza frenante, il tempo di azionamento, il campo visivo di radar e telecamera, la posizione laterale del pedone rispetto al veicolo e infine la presenza di ostacoli e la velocità di auto e pedone.

BIBLIOGRAFIA

- [1] R. Horberry, J. Anderson, M.A. Regan, Y.J. Triggs, J. Brown. Driver distraction: the effects of concurrent in-vehicle tasks, road environment complexity and age on driving performance. *Accid. Anal. Prev.*, 38 (2006), pp. 185-191
- [2] S.G. Klauer, T.A. Dingus, V.L. Neale, J.D. Sudweeks, D.J. Ramsey. The Impact of Driver Inattention on Near-crash/crash Risk: An Analysis Using the 100-Car Naturalistic Driving Study Data. (Technical Report No. DOT HS 810 594) National Highway Traffic Safety Administration, Washington, C (2006)
- [3] S.P. McEvoy, M.R. Stevenson, M. Woodward. The prevalence of, and factors associated with, serious crashes involving a distracting activity. *Accid. Anal. Prev.*, 39 (2007), pp. 475-482

-
- [4] Euro NCAP, Autonomous Emergency Braking, Brussels, Belgium (2014) (downloaded June 2017), <http://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-rewards-explained/autonomous-emergency-braking>
- [5] E. Rosen et al. Pedestrian injury mitigation by autonomous braking. *Accid. Anal. Prev.*, 42 (2010), pp. 1949-1957
- [6] M. Lindman et al. Benefit Estimation Model for Pedestrian Auto Brake Functionality. Proceedings of the "4th International ESAR Conference". 2010
- [7] M. Edwards, A. Nathanson, M. Wisch. Estimate of Potential Benefit for Europe of Fitting Autonomous Emergency Braking (AEB) Systems for Pedestrian Protection to Passenger Cars. *Traffic Injury Prevention*, 15 (2014), pp. S173-S182
- [8] K. Ando, N. Tanaka. An evaluation protocol for collision avoidance and mitigation systems and its application to safety estimation. Proceedings of the 23rd International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles
- [9] H. Hamdane, T. Serre, C. Masson, R. Anderson. Issues and challenges for pedestrian active safety systems based on real world accidents. *Accid. Anal. Prev.*, 82 (2015), pp. 53-60
- [10] E. Rosén, U. Sander. Pedestrian fatality risk as a function of car impact speed. *Accid. Anal. Prev.*, 41 (2009), pp. 536-542
- [11] R. Fredriksson et al. Priorities of pedestrian protection - A real-life study of severe injuries and car sources. *Accid. Anal. Prev.*, 42 (2010), pp. 1672-1681
- [12] A. Lopez et al. Analysis of the Braking Behaviour in Pedestrian Automatic Emergency Braking. EEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems. 2015, pp. 1117-1122
- [13] N. Lubbe, A. Kullgren. Assessment of Integrated Pedestrian Protection Systems with Forward Collision Warning and Automated Emergency Braking. IRCOBI Conference 2015
- [14] Piantini S, Grassi D, et al. A Pilot Study of an Integrated Accident Research System Based on a Medical and Engineering Data in the Metropolitan Area of Florence. Proceedings of Conference IRCOBI, 2012, Dublin (Ireland) (2012).
- [15] Piantini, S., Grassi, D., et al. Advanced accident research system based on a medical and engineering data in the metropolitan area of Florence. *BMC Emerg Med*, 14 (1): 3 (2013).
- [16] Belobrad, M., Sucha, V. Virtual Crash Technical Manual, pp.57. Virtual Crash Software.
- [17] Niebuhr, T., Junge, M., Rosén, E. Pedestrian injury risk and the effect of age. *Accident Analysis & Prevention*, 86 (2016), pp. 121-128
- [18] Li, G., Lyons, M., Wang, B., Yang, J., Otte, D., Simms, C. The influence of passenger car front shape on pedestrian injury risk observed from German in-depth accident data. *Accident Analysis & Prevention*, 101 (2017), pp. 11-21

APPENDICE

Tabella 6 Campione incidenti.

<p>ID 32</p>	<p>ID 35</p>	<p>ID 47</p>
<p>ID 51</p>	<p>ID 54</p>	<p>ID 56</p>
<p>ID 60</p>	<p>ID 62</p>	<p>ID 66</p>
<p>ID 69</p>	<p>ID 72</p>	<p>ID 73</p>
<p>ID 74</p>	<p>ID 76</p>	<p>ID 77</p>
<p>ID 88</p>	<p>ID 91</p>	

Tabella 7 Condizioni di accadimento, tipologia veicoli, caratteristiche impatto

ID	Luce	Tempo	Dir.ne pedone	Tipo veicolo	Anno veicolo	Massa [kg]	Punto Impatto	Vel. [km/h]	Frena	TTC [s]	Vel. Imp. [km/h]	Ostacoli
32	Giorno	Sole	Destra	Comp.ta	2002	950	Destra	50	Si	1.25	34	No
35	Giorno	Sole	Destra	Comp.ta	2000	930	Destra	58	Si	1.25	40	No
47	Giorno	Sole	Destra	Comp.ta	1991	720	Centro	68.5	No	0	68.5	No
51	Giorno	Sole	Destra	Comp.ta	2010	940	Destra	54.6	Si	0.6	42	Mobili
54	Giorno	Sole	Destra	Comp.ta	2004	1010	Sinistra	50	Si	0.6	40	No
56	Notte	Sereno	Sinistra	Comp.ta	2004	970	Sinistra	60	Si	1.25	38	No
60	Giorno	Sole	Sinistra	Piccola	2008	830	Centro	58	Si	1.25	56	No
62	Giorno	Sole	Sinistra	Comp.ta	2006	1125	Sinistra	49	Si	1.25	25	No
66	Notte	Sereno	Destra	Media	2003	1420	Destra	70	Si	1.25	46	No
69	Giorno	Sole	Destra	VAN	2002	2300	Destra	49	Si	1	35	Fissi
72	Giorno	Sole	Destra	Comp.ta	2004	1050	Destra	48	Si	1.25	28	Fissi
73	Notte	Pioggia	Destra	Comp.ta	2012	1200	Sinistra	60	No	0	60	No
74	Notte	Pioggia	Destra	SUV	2012	1770	Destra	33	Si	1.25	23	Fissi
76	Giorno	Sole	Destra	Comp.ta	2011	1050	Centro	59	Si	1.25	45	No
77	Notte	Pioggia	Destra	Piccola	2009	830	Sinistra	51	Si	1.25	34	No
88	Notte	Sereno	Destra	Comp.ta	2007	1170	Destra	47	Si	1.25	27	No
91	Giorno	Sole	Destra	SUV	2001	1300	Destra	55	Si	1	36	Mobili

Tabella 8 Generalità e lesività dei pedoni.

ID	Sesso	Età	Velocità [km/h]	MAIS Testa	MAIS Faccia	MAIS Torace	MAIS Addome	MAIS Estremità	MAIS Esterno	MAIS	Morte
32	F	18	5	4	0	0	0	0	0	4	no
35	M	28	5	4	0	2	0	2	0	4	no
47	M	43	3	5	2	2	3	2	1	5	no
51	F	20	2.5	3	0	3	0	2	0	3	no
54	F	59	3	3	2	2	0	2	1	3	no
56	M	90	2	0	0	3	3	3	0	3	no
60	M	26	7	5	2	3	0	2	0	5	no
62	M	79	1.5	4	0	2	0	0	0	4	no
66	M	49	3	4	2	2	2	4	1	4	no
69	F	78	1.5	3	0	3	2	3	1	3	no
72	F	71	4	3	2	3	2	0	1	3	no
73	M	56	3	4	1	0	2	1	0	4	yes
74	M	63	1.5	3	0	3	0	0	1	3	no
76	M	72	2	2	0	2	0	0	1	2	no
77	M	39	3	4	2	3	2	0	1	4	no
88	F	76	3	3	2	0	0	0	1	3	no
91	F	78	2.5	3	2	2	2	2	1	3	yes

Tabella 9 Risultati delle simulazioni PreScan con applicazione del sistema P-AEB.

ID	Punto Impatto	Oggetto rilevato tempo [s]	Riconosc.to pedone tempo [s]	Warning [s]	Frenata max [s]	Diffe.za [s]	Velocità impatto [km/h]	Riduz.ne velocità [km/h]	Riduz.ne velocità [%]
32	Destra	0,8	-	-	-	-	34	0	-
35	Centro	0,87	0,87	0,87	0,59	0,28	25	-15	37,5%
47	Centro	1,97	0,93	0,93	0,57	0,36	44,6	-23,9	34,9%
51	Destra	1,01	0,51	0,51	0,51	0	26,7	-15,3	36,4%
54	Sinistra	2	1,08	1,08	0,59	0,49	19,1	-20,9	52,3%
56	Sinistra	2	0,69	0,69	0,57	0,12	25,3	-12,7	33,4%
60	Centro	0,43	-	-	-	-	56	0	-
62	Centro	1,96	0,84	0,84	0,58	0,26	12,3	-12,7	50,8%
66	Destra	0,59	0,59	0,59	0,59	0	36,7	-9,3	20,2%
69	Destra	1,97	-	-	-	-	35	0	-
72	-	1,51	0,24	0,24	0,24	0	-	-28	100,0%
73	Sinistra	1,21	0,81	0,81	0,81	0	18,8	-41,2	68,7%
74	-	1,98	0,43	0,43	0,43	0	-	-23	100,0%
76	Centro	2	1,14	1,14	0,57	0,57	24,7	-20,3	45,1%
77	Sinistra	1,99	1,2	1,2	0,58	0,62	5,4	-28,6	84,1%
88	Centro	1,43	0,82	0,82	0,57	0,25	9,1	-17,9	66,3%
91	Destra	1,1	0,71	0,71	0,71	0	23,1	-12,9	35,8%

Tabella 10 Probabilità di decesso e lesioni severe (AIS3+) con e senza P-AEB.

ID	Senza P-AEB					Con P-AEB				
	Prob.tà di morte	Prob.tà AIS3+	Prob.tà AIS3+ Testa	Prob.tà AIS3+ Torace	Prob.tà AIS3+ Gambe	Prob.tà di morte	Prob.tà AIS3+	Prob.tà AIS3+ Testa	Prob.tà AIS3+ Torace	Prob.tà AIS3+ Gambe
32	1,4%	12,5%	4,5%	2,9%	6,8%	1,4%	12,5%	4,5%	2,9%	6,8%
35	2,5%	18,5%	6,8%	4,8%	9,6%	0,6%	6,6%	2,4%	1,3%	3,9%
47	28,4%	67,8%	36,2%	38,4%	39,7%	3,8%	24,6%	9,2%	7,1%	12,5%
51	3,0%	21,0%	7,8%	5,7%	10,8%	0,7%	7,5%	2,7%	1,6%	4,3%
54	2,5%	18,5%	6,8%	4,8%	9,6%	0,3%	4,3%	1,6%	0,8%	2,7%
56	2,1%	16,3%	5,9%	4,1%	8,6%	0,6%	6,7%	2,5%	1,4%	4,0%
60	10,7%	44,2%	18,7%	17,2%	22,9%	10,7%	44,2%	18,7%	17,2%	22,9%
62	0,6%	6,6%	2,4%	1,3%	3,9%	0,2%	2,6%	1,0%	0,4%	1,8%
66	4,4%	26,7%	10,1%	7,9%	13,5%	1,8%	15,0%	5,4%	3,7%	7,9%
69	1,6%	13,4%	4,8%	3,2%	7,2%	1,6%	13,4%	4,8%	3,2%	7,2%
72	0,8%	8,2%	3,0%	1,7%	4,7%	0,1%	1,0%	0,4%	0,2%	0,8%
73	14,9%	52,0%	23,5%	22,8%	27,7%	0,3%	4,2%	1,6%	0,8%	2,7%
74	0,5%	5,7%	2,1%	1,1%	3,5%	0,1%	1,0%	0,4%	0,2%	0,8%
76	4,0%	25,2%	9,4%	7,3%	12,8%	0,6%	6,5%	2,4%	1,3%	3,8%
77	1,4%	12,5%	4,5%	2,9%	6,8%	0,1%	1,5%	0,6%	0,2%	1,1%
88	0,7%	7,6%	2,8%	1,6%	4,4%	0,1%	2,0%	0,8%	0,3%	1,5%
91	1,7%	14,3%	5,2%	3,4%	7,6%	0,5%	5,7%	2,1%	1,1%	3,5%