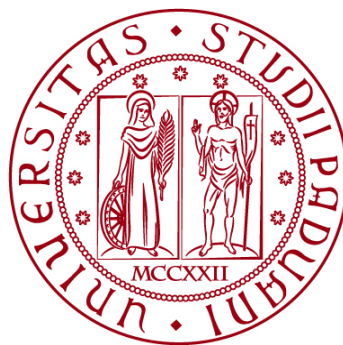


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE

Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea in Ingegneria Civile



ELABORATO FINALE

DAI SISTEMI DI SICUREZZA ATTIVA AGLI ADAS

Supervisione: Chiar.mo PROF. RICCARDO ROSSI

Laureando: NASSI MATTEO

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

SOMMARIO

INTRODUZIONE

1 LA SICUREZZA ATTIVA NELL’AUTOMOBILE.....	4
1.1 Sistema di antibloccaggio delle ruote (ABS).....	5
1.1.1 Principio di funzionamento	6
1.1.2 Benefici	7
1.2 Controllo elettronico della stabilità (ESC o ESP).....	9
1.2.1 Principi di funzionamento.....	9
1.2.2 Benefici	11
1.2.3 Analisi comportamentale del conducente in presenza di sistemi ESC.....	11
1.3 Sistema di controllo della trazione (TCS o ASR).....	13
1.3.1 Principio di funzionamento e benefici.....	14
2 DISPOSITIVI ADAS E LORO VALUTAZIONE	16
2.1 Frenata automatica di emergenza (AEB) e avviso di collisione imminente (FCW).....	17
2.2 Avviso di avvicinamento alla linea di corsia (LDW) e Sistema di mantenimento della corsia (LKA).....	19
2.2.1 Principio di funzionamento	19
2.2.2 Componenti di sistema.....	20
2.2.3 Algoritmi impiegati nei sistemi LDW/LKA.....	21
2.2.4 Benefici	22
2.3 Riconoscimento della segnaletica stradale (TSR)	24
2.3.1 Principio di funzionamento	25
2.3.2 Benefici	26
2.4 Monitoraggio dello stato del conducente (DSM).....	28
2.4.1 Distrazione.....	29
2.4.2 Fatica.....	29
2.4.3 Malore alla guida	30
2.5 Cruise control adattivo (ACC)	31
2.5.1 Principio di funzionamento	31
2.5.2 Algoritmo di base.....	33
2.5.3 Benefici	34
2.6 Sistemi di parcheggio assistito (PAS).....	35
2.6.1 Principio di funzionamento	36

2.6.2	Benefici	38
2.7	Sistema di monitoraggio dell'angolo cieco (BSD)	39
2.7.1	Principio di funzionamento e benefici.....	40
2.8	Sistemi di illuminazione adattiva (AFS).....	41
2.8.1	Principio di funzionamento	42
2.8.2	Benefici	44
3	VALUTAZIONE DEI SISTEMI ADAS	45
3.1	Frenata automatica di emergenza (AEB).....	45
3.1.1	AEB Car-to-Car	45
3.1.2	AEB Ciclisti	46
3.1.3	AEB Pedoni.....	46
3.2	Sistema di mantenimento della corsia (LKA).....	47
3.3	Limitatori di velocità	48
3.4	Controllo elettronico di stabilità (ESC)	49
4	ELEMENTI CONCLUSIVI.....	50

INTRODUZIONE

L'elaborato contiene una panoramica dettagliata dei Sistemi Avanzati di Assistenza alla Guida , denominati ADAS (*Advanced Driver Assistance Systems*), installati e presenti all'interno delle vetture di recente produzione che circolano sulla rete stradale. L'adozione , da prima , in forma graduale, di alcuni di questi sistemi fino ad un uso massivo e combinato , ha contribuito fortemente alla riduzione dell'incidentalità e delle conseguenze lesive riportate sia dagli occupanti dei veicoli che dagli utenti deboli della strada (pedoni e ciclisti). Tra i sistemi più importanti e in rapida diffusione ormai anche tra le vetture di fascia economica , è possibile annoverare i sistemi di frenata automatica di emergenza (AEB) , i sistemi di mantenimento della corsia di marcia (LDW e LKA) e il sistema di cruise control adattivo (ACC). Altri sistemi ADAS sono i sistemi di riconoscimento della segnaletica stradale con avviso di superamento del limite di velocità (TSR / ISA) , di monitoraggio dello stato del conducente (DSM) , di assistenza attiva al parcheggio (PAS) , di assistenza per l'angolo cieco (BSD) e di illuminazione adattiva (AFS). Di seguito sono descritti anche i primi e ormai consolidati dispositivi di sicurezza attiva dei veicoli , quali l'antibloccaggio delle ruote (ABS) , il controllo elettronico di stabilità (ESC) ed il sistema di controllo della trazione (TSC).

1 LA SICUREZZA ATTIVA NELL'AUTOMOBILE

Nel corso degli anni il progresso tecnologico ha portato enormi vantaggi anche nel settore automotive e , anche grazie alla legislazione , il concetto di “ sicurezza “ si è diffuso , non interessando più esclusivamente la protezione degli occupanti ma, altresì , introducendo numerosi sistemi volti alla riduzione dell'incidentalità stradale e delle conseguenze lesive associate . Di seguito si elencano le due macrocategorie che definiscono la “ sicurezza “ di un veicolo (D. Bigi ,2008 [1]):

- *Sicurezza attiva* : comprende tutti quei dispositivi elettronici e meccanici che si attivano , manualmente o automaticamente prima di un incidente , così da ridurre la probabilità di accadimento (ABS , ESC , TCS , etc .)
- *Sicurezza passiva* : comprende tutti quei dispositivi elettronici e meccanici che si attivano in seguito ad un incidente , per ridurre le conseguenze lesive agli occupanti del veicolo (airbag , cinture di sicurezza , pretensionatori , limitatori di carico , etc)

In passato , la tematica della sicurezza si è focalizzata al perfezionamento delle caratteristiche strutturali dei veicoli , attraverso , ad esempio , componenti e materiali a deformazione controllata , alla realizzazione di sistemi di ritenuta sempre più efficienti quali il pretensionatore , il limitatore di carico , gli airbag a doppio stadio ed infine al miglioramento della sensoristica e delle logiche di intervento e funzionamento dei sistemi di sicurezza attiva.

Ad oggi, lo sviluppo tecnologico riguardante i sistemi di sicurezza attiva e passiva **può ritenersi sostanzialmente concluso**. Basti pensare che i primi sistemi di ritenuta basati su cinture di sicurezza risalgono agli anni '50 , il pretensionatore e l'airbag sono apparsi negli anni '80. L'ABS (Antilock Breaking System) è il più avanzato dei sistemi di sicurezza attiva dato che la sua commercializzazione risale alla fine degli anni '70. Un'ulteriore innovazione dopo l'ABS è arrivata nella seconda metà degli anni '80 con il sistema di antislittamento in accelerazione , definito ASR (Anti-Slip Regulation) o TSR (Traction Control System). La svolta per il controllo della dinamica della guida di un veicolo è avvenuta nel 1995 con l'introduzione sul mercato dell'ESC (Electronic Stability Control) , un dispositivo in grado di correggere situazioni di sovrasterzo o sottosterzo durante lo sbandamento. In Italia l'ABS è diventato obbligatorio dal 2004 , l'ESP ed il TSC dal 2014. Dall'introduzione di questi sistemi sono state effettuate migliorie in termini di componentistica ed elettronica , ma il loro funzionamento basilare è rimasto pressoché invariato.

Il continuo progresso tecnologico nel campo automotive ha condotto all'introduzione di una **nuova categoria di dispositivi di sicurezza** , sviluppati per ridurre l'incidentalità e tutelare l'incolumità degli occupanti dei veicoli e degli utenti deboli della strada (pedoni e ciclisti). Questi sono i Sistemi Avanzati di Assistenza alla Guida (ADAS , *Advanced Driver Assistance Safety*) , già disponibili di serie su alcune vetture e che, a partire dal 6 luglio 2022 , diventeranno obbligatori su tutti i mezzi di nuova immatricolazione all'interno della Comunità Europea secondo il Regolamento UE 2019/2144. Lo sviluppo di questi sistemi è in continuo divenire dato che l'obiettivo dichiarato è quello di raggiungere il livello più avanzato della guida autonoma totale, con veicoli circolanti senza l'intervento dell'uomo. Per conquistare questo stadio sarà necessario rivedere le norme sulla circolazione e le leggi in materia di responsabilità in caso di incidenti con guida autonoma, e che vi siano infrastrutture stradali tecnologicamente adeguata con cui i veicoli possano interagire scambiando informazioni. L'ambiente circostante influisce notevolmente sulla causa di un sinistro stradale : la scarsa visibilità e il traffico intenso associati a condizioni non adeguate dell'infrastruttura (presenza di gravi ammaloramenti , segnaletica poco visibile o non presente) possono compromettere non solo la concentrazione del guidatore ma anche il corretto funzionamento della sensoristica ADAS.

Le fasi principali che caratterizzano la sicurezza di guida possono essere così riassunte (K. Dietsche, 2018 [2]) :

1. **Guida normale** : in tali circostanze sono generalmente attivi i sistemi di assistenza alla guida (Capitolo 1) , che assistono il conducente durante la marcia normale del veicolo riducendo il numero di possibili fenomeni di distrazione ;
2. **Situazione critica** : si attivano i sistemi che avvertono il conducente di un imminente pericolo (FCW , pre-caricamento dell'impianto frenante , LDW , ...)
3. **Urto potenziale** : si attivano tutti quei dispositivi volti ad evitare l'imminente impatto (AEB , ...)
4. **Incidente** : si attivano tutti i sistemi di sicurezza passiva di cui è dotato il veicolo (cinture di sicurezza , pretensionatori , airbag , ...) al fine di proteggere l'occupante e ridurre le conseguenze lesive determinate dall'impatto.
5. **Post-urto** : l'incidente è già avvenuto e si attivano tutti quei dispositivi volti a garantire una sicurezza continuativa degli occupanti all'interno del veicolo (blocco carburante, ...).

Di seguito si riporta un'immagine che mette in relazione le fasi appena descritte (Figura I.1).

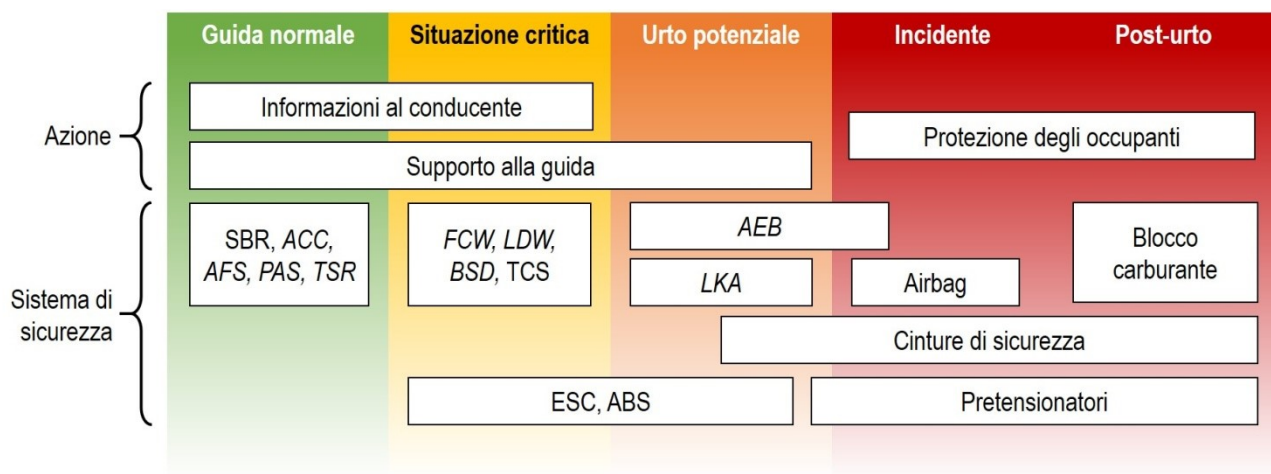


Figura 1.1 – Fasi principali che caratterizzano la sicurezza di un veicolo.

Nel seguito sarà fornita una descrizione dei principali sistemi di sicurezza attiva degli autoveicoli , ormai ampiamente noti e diffusi nel settore automobilistico. Questi sono :

- Sistema antibloccaggio delle ruote (ABS , 1.1);
- Sistema di controllo elettronico della stabilità (ESC o ESP , 1.2);
- Sistema di controllo della trazione (TSC, 1.3)

Dal Capitolo 2 saranno invece presenti a livello di dettaglio la componentistica e le logistiche di funzionamento dei sistemi ADAS.

1.1 Sistema di antibloccaggio delle ruote (ABS)

Il sistema ABS (*Anti-lock Braking System*) è un dispositivo elettronico che permette di regolare la pressione erogata all'impianto frenante durante il suo utilizzo, aumentandone l'efficienza ed evitando possibili fenomeni di bloccaggio delle ruote.

1.1.1 Principio di funzionamento

Il sistema ABS è composto da una serie di elementi in comunicazione tra di loro, di seguito brevemente descritti (Reif et al. [3]):

- **Sensori di velocità:** raccolgono informazioni sulla velocità di rotazione della ruota;
- **Modulatore di pressione:** governa l'apertura o la chiusura del circuito idraulico dell'impianto frenante, regolandone la pressione di erogazione del fluido presente al suo interno;
- **Unità di controllo:** elabora i dati ricevuti dai sensori di velocità per regolare la pressione da erogare all'impianto frenante.

L'attivazione del sistema ABS permette di ridurre lo spazio percorso in decelerazione dal veicolo garantendo elevati valori di aderenza e massimizzando l'efficienza dell'impianto frenante previo calcolo del grado di slittamento dello pneumatico (λ):

$$\lambda = \frac{v - \omega R}{v} \cdot 100\%$$

Dove v rappresenta la velocità del veicolo, ω la velocità angolare della ruota ed R il suo raggio.

La massima capacità frenante erogabile dall'impianto si ottiene per $\lambda = 20\%$ mentre per $\lambda=100\%$ si realizza il bloccaggio della ruota ($\omega = 0$) con conseguente perdita di aderenza dello pneumatico e diminuzione del 30% dell'efficienza frenante.

Il ruolo del sistema ABS è proprio quello di evitare il bloccaggio degli pneumatici assicurando una percentuale di slittamento delle ruote che massimizzi l'efficienza frenante (Figura 1.2).

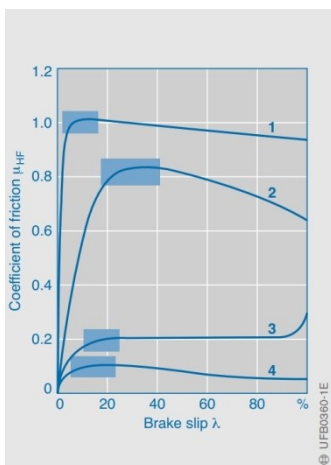


Figura 1.2 – Correlazione tra slittamento dello pneumatico (λ) ed efficienza frenante. Fonte: [3]

La centralina dell'ABS, attraverso uno specifico sensore installato su ogni ruota, calcola la velocità di rotazione dello pneumatico e, se rileva un eventuale bloccaggio in fase di frenata, comanda la pompa idraulica in modo da diminuire la forza frenante. L'ABS è un sistema unidirezionale in quanto si occupa solo di diminuire la forza frenante fino al limite di aderenza, lasciando sempre al guidatore il compito di modularne l'intensità attraverso il pedale del freno. Qualora il valore di pressione comandato dal pedale del freno risulti eccessivo, ovvero quando il grado di slittamento λ si discosti dal valore ottimale, la centralina interviene attraverso il modulatore di pressione riducendo l'intensità della frenata erogata (Figura 1.3).

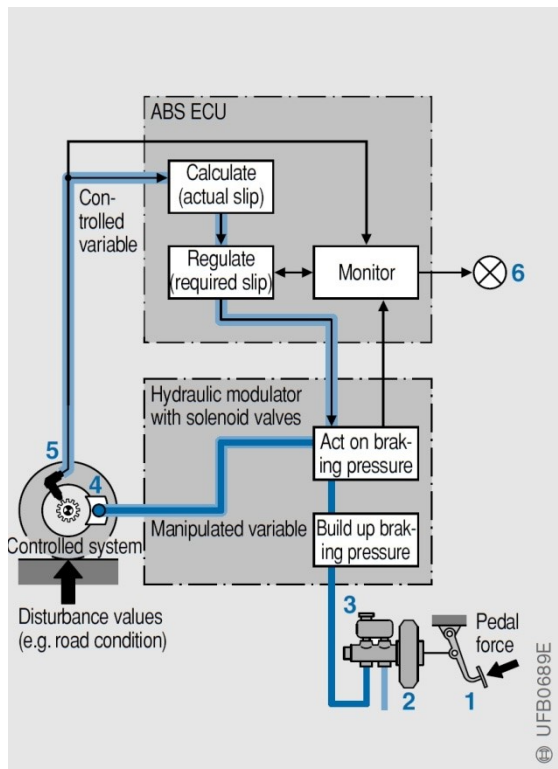


Figura 1.3 – Schema generale di funzionamento di un sistema ABS. Fonte: [3]

Il ripartitore elettronico di frenata (EBD, *Electronic Brake-force Distribution*) è un dispositivo che lavora in simbiosi con l'ABS ed interviene sulle pinze freno posteriori trasferendo la forza frenante tra i due assi e riuscendo così a sfruttare l'intera aderenza degli pneumatici. Durante un'intensa azione frenante, il carico si sposta verso l'avantreno con il conseguente alleggerimento delle ruote posteriori che, essendo più scariche, presentano una minore aderenza con la pavimentazione e possono quindi bloccarsi. Il ripartitore di frenata alleggerisce la forza frenante su una, o entrambe, le ruote posteriori proprio al fine di impedirne il bloccaggio. L'entrata in funzione dell'ABS è annunciata da una sorta di vibrazione nel pedale, che potrebbe indurre i guidatori meno esperti ad alzare il piede dal freno. Tale comportamento non è assolutamente consigliabile in quanto andrebbe a diminuire l'azione frenante desiderata e, proprio per questo motivo, i veicoli possono essere dotati di un assistente di frenata di emergenza che, in caso di una brusca frenata, senza il raggiungimento della pressione di bloccaggio, aumenta la forza frenante fino all'attivazione dell'ABS, ottenendo così la massima decelerazione anche nel caso in cui conducente non preme a fondo il pedale.

1.1.2 Benefici

L'utilizzo dei sistemi ABS contribuisce all'incremento della capacità frenante del veicolo riducendo, di conseguenza, il rischio di slittamento degli pneumatici. Tale fenomeno indesiderato può infatti portare alla deriva del veicolo, nonché al conseguente aumento dello spazio necessario per l'arresto in sicurezza.

Lo studio condotto da Burton et al. (2004) [4] si riferisce ad un'analisi sui benefici riscontrabili dall'utilizzo di un sistema ABS, facendo riferimento alla banca dati di incidentalità corrispondenti ai territori della Victoria e del Queensland in Australia. I risultati riportati in Tabella 1.1 e nel Figura 1.4 mostrano una riduzione media del 3% del numero di incidenti veicolo - veicolo con ABS rispetto al caso senza ABS. In urti veicolo - pedone non si registra una riduzione sostanziale (- 0,02%) mentre si osserva che, in caso di fuoriuscita di strada del veicolo, l'adozione del sistema di antibloccaggio rappresenta una condizione peggiorativa in quanto limita l'attrito generato dall'accumulo di terra e/o detriti che si formerebbe in corrispondenza dello pneumatico e che contribuirebbe alla decelerazione del veicolo.

DCA Group	ABS Not Fitted	ABS Fitted	Total
Pedestrian	4 (0.15%)	1 (0.13%)	5
Vehicle Adjacent	530 (20.45%)	134 (17.01%)	664
Vehicle Opposing	495 (19.1%)	128 (16.24%)	623
Vehicle Same Direction	670 (25.86%)	176 (22.34%)	846
Manoeuvring	104 (4.01%)	26 (3.30%)	130
Overtaking	56 (2.16%)	22 (2.79%)	78
On Path	83 (3.20%)	30 (3.81%)	113
Off Path on Straight	397 (15.32%)	159 (20.18%)	556
Off Path on Curve	232 (8.95%)	101 (12.82%)	333
Passenger and Miscellaneous	20 (0.77%)	11 (1.40%)	31
Total	2591 (100%)	788 (100%)	3379

*Le percentuali sono da riferirsi al totale dei casi esaminati.

Tabella 1.1 – Percentuali di incidentalità con e senza ABS e relativa variazione percentuale . Fonte: [4]

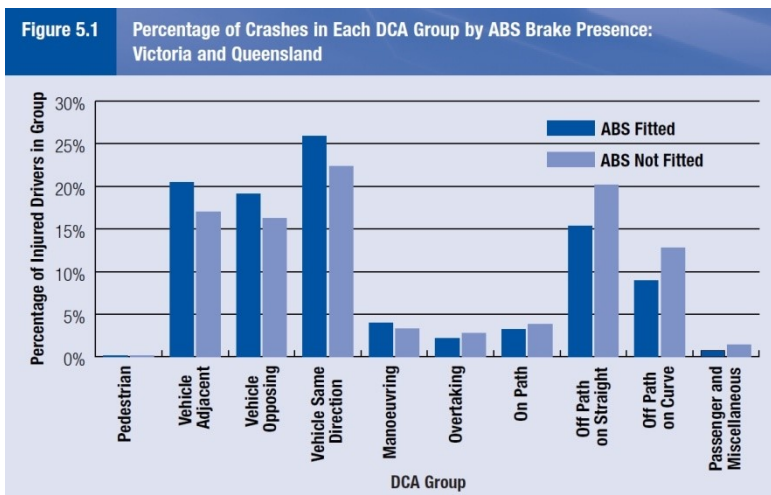


Figura 1.4 – Percentuali di incidentalità con e senza ABS. Fonte: [4]

Come anzidetto, l'utilizzo dei sistemi ABS contribuisce ad una riduzione della distanza di arresto soprattutto ad alte velocità, come riportato all'interno dell'analisi condotta da D. Wu et al. (2011) [5].

La Tabella 1.2 mostra i valori delle distanze di arresto di un veicolo dotato di sistema ABS (disattivabile) che transita alla velocità di 100 km/h o 130 km/h su asfalto asciutto o bagnato.

Table 3. The brake distance values of the Benz car on concrete road at high speed [8]

test program	test condition concrete road	Initial speed(km/h)	ABS working Brake distance(m)	ABS not working Brake distance(m)
1	dry	100	41.832	50.1284
2	wet	100	62.753	100.1651
3	dry	130	81.264	93.7321
4	wet	130	97.125	138.23541

Tabella 1.2 – Distanze di arresto con e senza ABS. Fonte: [5]

I risultati mostrano che l'utilizzo del sistema ABS presenta maggiori benefici nel caso in cui un veicolo circoli su asfalto bagnato. Nel dettaglio si ottiene una riduzione del 16,5% e del 13,3% su superficie asciutta a velocità di marcia di 100 km/h e 130 km/h, rispettivamente. Su pavimentazione bagnata, invece, si ottengono diminuzioni dello spazio di arresto dell'ordine del 37,3% e del 29,7% per velocità di marcia di 100 km/h e 130 km/h, rispettivamente.

1.2 Controllo elettronico della stabilità (ESC o ESP)

Il controllo elettronico della stabilità (ESC, *Electronic Stability Control*), anche chiamato ESP (*Electronic Stability Program*), è un sistema che agisce sulla stabilità dell'automobile in fase di deriva, regolando la potenza del motore e frenando le ruote singolarmente con intensità diversa, in modo da ristabilire l'assetto del veicolo. Per il corretto funzionamento, l'ESC elabora le informazioni provenienti da una serie di sensori:

- quattro sensori di velocità: uno per ruota, comunicano la velocità angolare di ciascuna ruota alla centralina del veicolo;
- un sensore di angolo di sterzo: rileva la posizione e i movimenti del volante con relativa comunicazione alla centralina;
- tre accelerometri: posizionati nel baricentro del veicolo, rilevano le forze agenti in ciascuna direzione;
- altri sensori già presenti all'interno del motore.

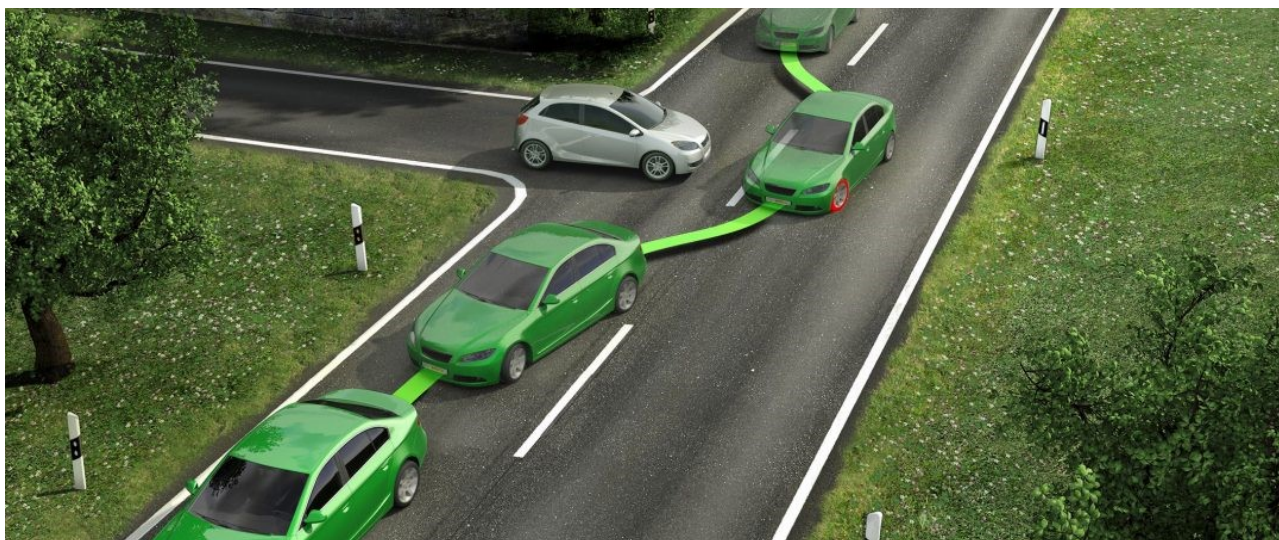


Figura 1.5 – Sistema ESC. Fonte: Mazda

1.2.1 Principi di funzionamento

Il funzionamento dell'ESC è molto semplice (Reif, 2014 [3]): la centralina rileva lo sbandamento del veicolo ed interviene riducendo la coppia fornita dal motore e regolando l'azione frenante su ciascuna ruota. In Figura 1.6 è riportato lo schema generale di un sistema ESC, che incorpora tre passaggi fondamentali nell'elaborazione di una risposta:

- 1) acquisizione dei dati derivanti dai sensori;
- 2) elaborazione dei dati da parte della centralina ESC;
- 3) intervento degli elementi attuatori.

La centralina ESC elabora i dati ricevuti dai sensori estrapolando l'angolo di sterzo, generato dal conducente attraverso il volante, e la velocità di marcia, per determinare il percorso previsto dal veicolo. Il percorso effettivo, invece, deriva dall'analisi delle informazioni raccolte dal sensore di velocità di imbardata in combinazione con un sensore di accelerazione laterale.

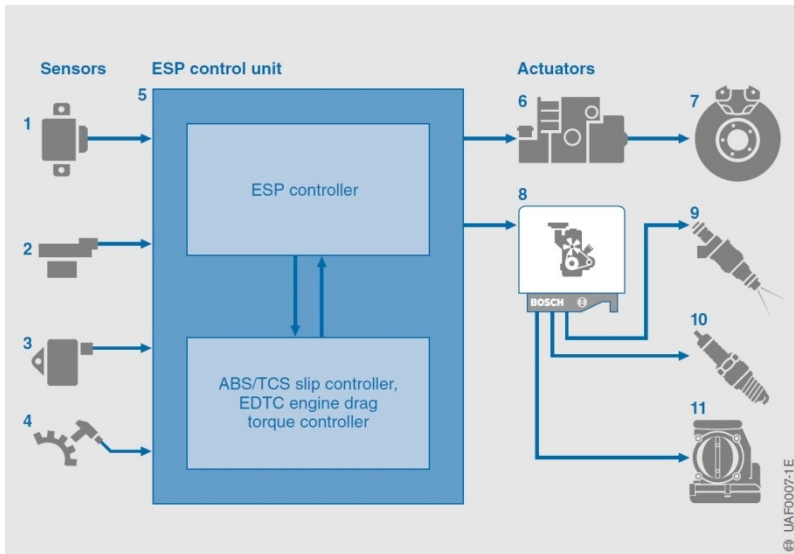


Figura 1.6 – Schema di funzionamento generale di un sistema ESC. Fonte: [3]

Nel momento in cui il conducente perde il controllo del veicolo, il sistema rileva la deviazione tra il percorso previsto e quello effettivo generando, quindi, un momento di imbardata attraverso l'applicazione di una forza frenante sulla ruota corrispondente per riportare il veicolo sul percorso corretto (previsto). Il sistema ESC comunica, altresì, con:

- ABS (*Anti-lock Braking System*) per evitare che l'intensità della frenata possa portare al bloccaggio degli pneumatici;
- EDTC (*Engine Drag-Torque Controller*) per controllare la coppia fornita dal motore alle ruote ed eliminare possibili perdite di aderenza dello pneumatico.

Esempi pratici di funzionamento dell'ESC sono riportati in Figura 1.7: in caso di sottosterzo il sistema provvede a frenare la ruota posteriore interna alla curva (a); analogamente, in caso di sovrasterzo viene frenata la ruota anteriore esterna alla curva (b). In entrambi i casi si genera un momento meccanico opposto alla sbandata.

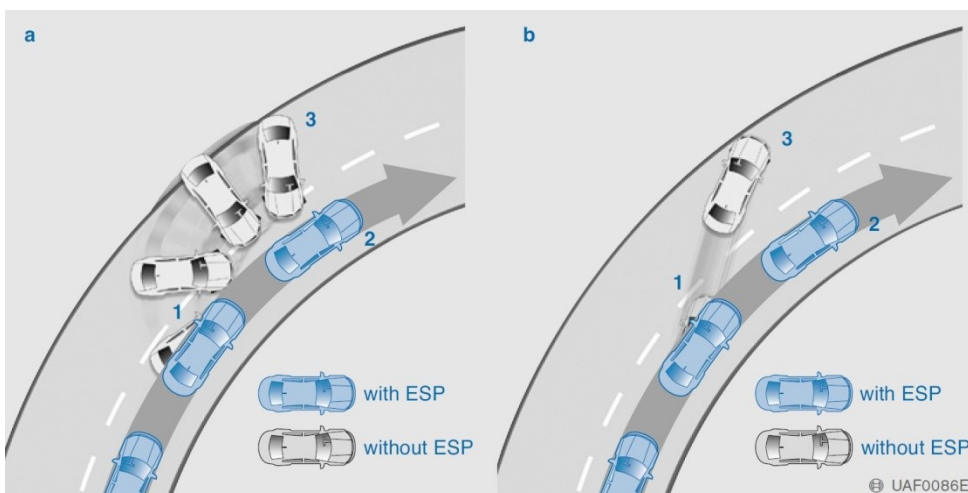


Figura 1.7 – Manovra correttiva in sottosterzo (a). Fonte: [3]

– Manovra correttiva in sovrasterzo (b). Fonte: [3]

1.2.2 Benefici

In merito ai benefici riscontrati dall'utilizzo dei sistemi ESC, si presenta lo studio condotto da Lie et al. (2005) [6] che analizza gli incidenti (esclusi i tamponamenti) avvenuti tra veicoli dotati o meno di tali dispositivi. L'analisi tiene in considerazione, altresì, le lesioni riscontrate dagli occupanti nonché le condizioni della pavimentazione stradale. Di seguito si riportano i risultati dello studio effettuato (Tabella 1.3):

Nello scenario (1) gli incidenti sono stati valutati considerando anche gli utenti deboli della strada (pedoni, ciclisti, etc...) ,scorporando gli incidenti con sole lesioni agli occupanti, i cui risultati sono stati presentati separatamente.

Gli scenari (2) e (3), invece, suddividono gli incidenti rispetto al numero di veicoli coinvolti ed allo stato della pavimentazione stradale (asciutta, bagnata o ghiacciata).

L'efficacia del sistema ESC in termini di percentuale di beneficio viene calcolata come rapporto tra incidenti avvenuti con e senza l'ausilio di tali dispositivi.

Dalle percentuali riportate in Tabella 1.3 si osserva come, complessivamente, i sistemi ESC garantiscano una sensibile riduzione del numero degli incidenti nonché della loro gravità: in particolare, l'efficacia misurata diventa significativa in condizioni avverse della superficie stradale, con un beneficio di circa il 55% per gli incidenti avvenuti su manto bagnato e di circa il 50% per impatti occorsi su strade ghiacciate o innevate.

SCENARIO	TIPOLOGIA	% DI BENEFICIO
1	Incidenti complessivi (compresi utenti deboli)	16,7% (±9,3%)
	Di cui con sole lesioni agli occupanti	23,0% (±9,2%)
	Incidenti gravi/fatali (compresi utenti deboli)	21,6% (±12,8%)
	Di cui con lesioni serie e mortali agli occupanti	26,9% (±13,9%)
2	Incidenti per singolo veicolo, con altro veicolo e in sorpasso	31,0% (±10,2%)
	Di cui gravi e mortali	40,7% (±10,1%)
	Incidenti per singolo veicolo gravi e mortali	44,4% (±19,6%)
3*	Incidenti su pavimentazione asciutta	24,8% (±26,0%)
	Incidenti su pavimentazione bagnata	56,2% (±23,6%)
	Incidenti su pavimentazione ghiacciata o con neve	49,2% (±30,2%)

*In riferimento ad incidenti per singolo veicolo, con altro veicolo e in sorpasso

Tabella 1.3 – Efficienza del sistema ESC rispetto a diversi scenari. Fonte: [6]

La percentuale di beneficio è intesa come il rapporto tra incidenti avvenuti con e senza l'ausilio del sistema ESC (le variazioni percentuali indicano l'intervallo di confidenza , variazioni così elevate probabilmente derivano da un campione abbastanza ristretto e/o poco rappresentativo).

1.2.3 Analisi comportamentale del conducente in presenza di sistemi ESC

In questo paragrafo viene analizzata la percezione di guida dei conducenti di veicoli dotati di un sistema di controllo elettronico della stabilità (ESC). Si riporta lo studio di Vadeby et al. (2011) [7] che attraverso questionari di indagine, valuta il comportamento di guida di un numero di guidatori selezionati in relazione alla tipologia di auto che possiedono ; i dati raccolti sono stati quindi oggetto di analisi di natura statistica. Di seguito si presentano le caratteristiche del campione analizzato (Tabella 1.4).

	Drive car with ESC	Drive car without ESC	Total
Response rate	53.3%	46.7%	48.0%
Mean age (years)	52.5	52.8	52.6
Percentage women	24.4%	28.8%	26.4%

Tabella 1.4 – Caratteristiche del campione analizzato. Fonte: [7]

Grossomodo, quasi la metà (“response rate” in tabella) dei soggetti selezionati ha partecipato all'indagine rispondendo ai seguenti due quesiti inviati in relazione a due scenari (opportunamente tradotti dall'originale, *nda*):

- **Scenario 1.** Immagini di guidare in una strada extraurbana, dove ha nevicato di recente, ad una velocità di 90 km/h. È giorno, le gomme invernali sono in buono stato, è solo alla guida e **senza** particolare fretta. Ad un certo punto, un veicolo le si presenta davanti nella sua stessa corsia viaggiando ad una velocità di 10 km/h inferiore rispetto alla sua. Non c'è traffico nell'altra corsia, ma è presente uno strato di fanghiglia ghiacciata in mezzo alla strada. Decide di superare il veicolo, nonostante tutto. [...]
- **Scenario 2.** Immagini di guidare lungo una strada extraurbana, con ammaloramenti sulla superficie e un limite di velocità di 90 km/h. Piove a dirotto e sulla carreggiata si sono formate grandi pozzanghere. È da solo in macchina e viaggia a 90 km/h. [...]

Per ogni scenario, il soggetto è invitato a rispondere ad una serie di domande supponendo di guidare con e senza sistema ESC in relazione alla propria esperienza di guida. L'analisi viene effettuata considerando tre fattori: il genere (uomo o donna), la fascia di età, il veicolo (reale, ovvero realmente posseduto, altrimenti immaginario).

La significatività delle risposte viene valutata rispetto al p- Value (abbreviato in p), i cui valori (o range di valori) forniscono le seguenti considerazioni:

- Se $0,01 \leq p < 0,05$ il dato risulta "statisticamente significativo" e di conseguenza, l'ipotesi nulla può essere ragionevolmente scartata;
- Se $0,001 < p < 0,01$ il risultato è "molto significativo", quindi l'ipotesi nulla può essere scartata con un abbondante grado di sicurezza;
- Se $p < 0,001$ il dato ottenuto è "assolutamente significativo", perciò l'ipotesi nulla può essere scartata con estrema certezza.

I risultati riferiti al primo scenario mostrano che quando un soggetto immagina di condurre un veicolo dotato di sistema ESC tende a guidare in maniera più pericolosa, sentendosi maggiormente protetto ($p < 0,001$).

Analizzando le fasce d'età, si è osservato che i più giovani (età compresa tra i 18 e i 29 anni) tendono ad avere una guida maggiormente spericolata rispetto ai soggetti con età superiore ai 50 anni ($p < 0,05$). Analizzando i casi reali, si è evidenziato che i conducenti che viaggiano con un veicolo dotato di ESC tendono ad essere più propensi ad avere un atteggiamento di guida rischioso rispetto a coloro che non possiedono un'auto con controllo elettronico della stabilità ($p < 0,001$). In merito alla differenza di genere, è emerso dallo studio come i maschi tendano ad essere più indisciplinati mentre guidano rispetto alle femmine ($p < 0,001$).

Per il secondo scenario, analogamente a quanto detto in precedenza nella condizione immaginaria, i conducenti che ipotizzano di guidare un'auto con ESC sono maggiormente propensi ad adottare una guida rischiosa ($p < 0,001$). Anche in questo caso, i conducenti più giovani (con età compresa tra i 18 e i 29 anni) tendono ad essere più spericolati rispetto a chi ha un'età superiore ai 30 anni. Considerando la condizione reale, i guidatori che utilizzano un veicolo con sistema di controllo elettronico della stabilità sono portati ad avere un atteggiamento poco prudente a differenza di coloro che non possiedono un'auto con ESC ($p = 0,008$). Per la differenza di genere, come per il primo scenario, i maschi tendono ad essere più spericolati rispetto alle femmine ($p < 0,001$).

Nelle seguenti tabelle si riportano le risposte ricevute dai partecipanti ad alcune domande presenti all'interno dei questionari (Tabelle 1.5 e 1.6). In merito alla sicurezza di guida riscontrata dall'utilizzo di un sistema ESC, è stato evidenziato come, secondo i partecipanti, il massimo beneficio ottenibile si abbia in presenza di strada ghiacciata durante un sorpasso (Tabella 1.5), mentre in relazione alle differenze che si possono riscontrare in un veicolo dotato di controllo elettronico della stabilità rispetto ad uno sprovvisto, secondo i guidatori c'è una maggiore possibilità di correggere e/o evitare una manovra di deriva (Tabella 1.6).

Driving situation	Mean (SD)	Do not know
Driving on a snowy/icy carriageway	1.4 (0.8)	5.1%
When overtaking on a slippery road	1.6 (1.0)	5.7%
Driving on a wet carriageway	2.3 (1.1)	6.0%
When the driver brakes hard	2.3 (1.4)	11.9%
Driving at 90 km/h on a hilly and winding rural road	2.4 (1.2)	8.4%
Driving at 90 km/h on a straight and flat rural road	3.4 (1.4)	8.2%
Driving at 50 km/h on an urban street	3.8 (1.3)	10.1%
Driving on a dry carriageway	4.1 (1.2)	10.3%

Note: 1 = very large benefit, 5 = very small benefit.

Tabella 1.5 – Risposte dal questionario in relazione alle diverse condizioni di guida. Fonte: [7]

	Mean (SD)
<i>"there is a lower risk of getting into a skid"</i>	1.5 (0.9)
<i>"there is a greater opportunity to correct a skid"</i>	1.6 (0.9)
<i>"it is possible to steer and brake simultaneously"</i>	2.5 (1.5)
<i>"it is possible to have shorter braking distance"</i>	3.6 (1.5)
<i>"it is possible to drive round bends at a higher speed"</i>	3.7 (1.4)
<i>"it is possible to drive faster on slippery roads"</i>	3.8 (1.3)
<i>"it is possible to drive faster on dry roads"</i>	3.8 (1.4)
<i>"it is possible to accelerate faster"</i>	4.2 (1.3)
<i>"it is possible to start braking later"</i>	4.5 (1.0)
<i>"it is possible to have a shorter distance to the car in front"</i>	4.6 (0.9)

Note: 1 = strongly agree, 5 = strongly disagree.

Tabella 1.6 – Considerazioni riguardo l'utilizzo o meno dell'ESC da parte dei partecipanti. Fonte: [7]

Complessivamente, da questo studio si evidenzia come i soggetti esaminati siano convinti che il sistema ESC intervenga in qualunque condizione, specialmente quando la pavimentazione si trova in condizioni avverse, proteggendo il mezzo da possibili sbandamenti o uscite di strada e giustificando, quindi, l'adozione di una guida più azzardata e spericolata.

1.3 Sistema di controllo della trazione (TCS o ASR)

I sistemi TCS (*Traction Control System*), altresì noti come dispositivi antislittamento (*Anti-Slip Regulation, ASR*), limitano il pattinamento delle ruote motrici in fase di ripartenza ed accelerazione, assicurando la corretta aderenza degli pneumatici con la superficie stradale. Le ruote, soprattutto nelle partenze su fondi scivolosi, non sempre riescono a scaricare a terra la potenza e finiscono così per girare a vuoto (slittare), rendendo difficile il controllo del veicolo. Quando uno dei due pneumatici dello stesso asse motrice "slitta" sulla superficie, il sistema TCS interviene riducendo la coppia fornita sulla specifica ruota motrice e riportandola ai medesimi valori di aderenza della

corrispettiva dello stesso asse. In caso di pattinamento di entrambe le ruote motrici dello stesso asse, il sistema riduce ulteriormente la potenza trasmessa fino al ripristino dell'aderenza con il fondo stradale. Nelle partenze su superfici innevate potrebbe essere necessaria la disattivazione dell'ASR al fine di evitare che il sistema, una volta rilevato un prolungato slittamento degli pneumatici, riduca la potenza del motore fino a spegnere il veicolo. L'ASR, invece, facilita la normale marcia su fondi scivolosi, evitando che le ruote perdano aderenza ed inneschino sbandamenti. Negli autoveicoli più evoluti la sensoristica di bordo può riconoscere i diversi fondi stradali e regolare il controllo di trazione a questi, senza la necessità di disattivare l'ASR al momento della ripartenza. La sua attivazione è indicata nel quadro strumenti da una spia lampeggiante di colore giallo mentre è possibile disattivarlo premendo l'apposito interruttore ESP nella plancia.

È importante non confondere l'ASR con l'ESC e l'ABS: il primo agisce sul motore e sull'impianto frenante, controllando che le ruote non girino a vuoto durante la percorrenza di una strada scivolosa; il secondo permette di stabilizzare il veicolo distribuendo in automatico la frenata; il terzo interviene per evitare il bloccaggio dello pneumatico (Figura 1.8).

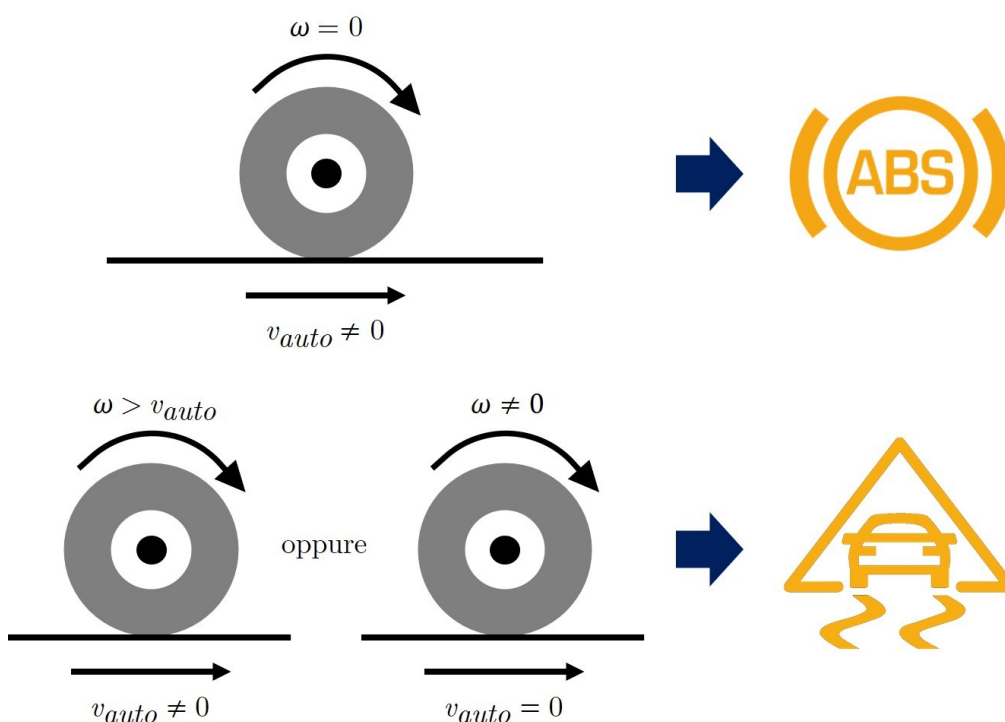


Figura 1.8 – Circostanze di attivazione del sistema ABS (in alto) o TSC (in basso) .

1.3.1 Principio di funzionamento e benefici

Il sistema TCS, analogamente all'ABS, necessita di una serie di sensori per ottenere le informazioni sulla velocità di rotazione dell'albero motore e sulla velocità angolare delle ruote. Talvolta possono presentarsi due situazioni:

- una sola ruota motrice slitta sulla pavimentazione;
- entrambe le ruote perdono aderenza.

Nel primo caso, il sensore della ruota interessata dal fenomeno di deriva restituisce un valore di velocità angolare di gran lunga superiore rispetto a quello che caratterizza la ruota sul lato opposto.

In tale situazione, quindi, la differenza di velocità delle ruote motrici Δv si discosta di molto dal valore nullo, necessitando dell'intervento del TCS che, attraverso l'impianto frenante, provvede a ridurre la velocità di rotazione dello pneumatico che slitta, fintantoché $\Delta v \approx 0$.

Nel secondo caso, invece, il sistema TCS interviene direttamente sulla potenza trasmessa dall'albero motore alle ruote motrici, riducendola e garantendo l'uguaglianza tra le due velocità di rotazione. Di seguito è presentato uno schema generale di funzionamento (Figura 1.9).

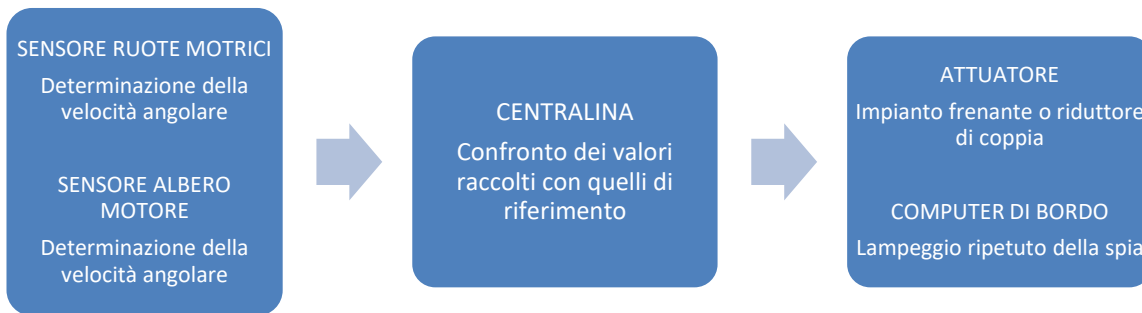


Figura 1.9 – Funzionamento generale di un sistema TSC

In merito ai benefici riscontrabili con l'utilizzo del sistema TCS, come già anticipato, il dispositivo garantisce il mantenimento di adeguati livelli di aderenza degli pneumatici intervenendo sulla velocità di rotazione delle ruote. Lo studio condotto da Song et al. (2004) [8], di cui si riportano alcuni grafici, dimostra che la graduale riduzione della coppia motrice contribuisce a minimizzare il coefficiente di slittamento λ riportandolo al valore ottimale di 0,2, ove è garantita la massima aderenza esigibile dallo pneumatico. I risultati riportati di seguito (Tabella 1.9) fanno riferimento all'utilizzo o meno del sistema TCS su strada ghiacciata, con veicolo a 2 o 4 ruote motrici (FWD o 4WD, rispettivamente).

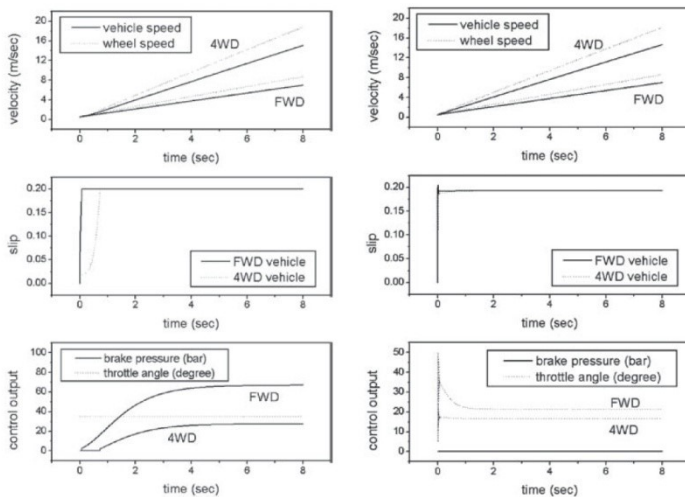


Tabella 1.9 – Curve di velocità, slittamento e intensità di decelerazione per veicolo a due (FWD) o quattro (4WD) ruote motrici , con (a destra) o senza (a sinistra) sistema TSC . Fonte: [8]

2 DISPOSITIVI ADAS E LORO VALUTAZIONE

Gli ADAS (*Advanced Driver Assistance Systems*) sono parte alla rivoluzione dei sistemi di guida, fornendo un aiuto sostanziale al guidatore nella riduzione dei tempi di reazione a situazioni di rischio, ma soprattutto nella mitigazione delle lesioni provocate durante un incidente. L'automazione di determinate funzioni di guida passa attraverso la definizione di una serie di livelli (SAE *International*, 2018, Figura 2.1): i primi tre livelli (*level 0, level 1 e level 2*) identificano solamente un'assistenza alla guida, con il conducente che mantiene ancora il pieno controllo del veicolo; gli ultimi tre livelli (*level 3, level 4 e level 5*), invece, individuano una serie di automazioni a partire da alcune funzioni di guida fino alla guida autonoma completa del veicolo:

- **Level 0:** le funzionalità si limitano a fornire avvisi e assistenza momentanea;
- **Level 1:** le funzionalità forniscono al guidatore supporto alla sterzata o nelle fasi di accelerazione/decelerazione;
- **Level 2:** le funzionalità forniscono al guidatore supporto alla sterzata e sono in grado di variare accelerazione/decelerazione in modo autonomo;
- **Level 3 - 4:** le funzionalità possono condurre autonomamente il veicolo in condizioni limitate, senza attivarsi qualora non siano soddisfatte tutti i requisiti per il loro funzionamento (guida autonoma limitata);
- **Level 5:** le funzionalità presenti possono guidare il veicolo in tutte le circostanze (guida autonoma completa).

I sistemi ADAS si basano sull'utilizzo di sensori per analizzare tutto ciò che accade attorno al veicolo (Figura 2.2). Gli strumenti maggiormente utilizzati per tale analisi sono i RADAR (*Radio Detection And Ranging*), i LIDAR (*Light Detection And Ranging*), le videocamere, fondamentali per il rilevamento della segnaletica e per l'identificazione di ciclisti e pedoni, e i sensori ad ultrasuoni, utilizzati prevalentemente per assistenza al parcheggio del veicolo.

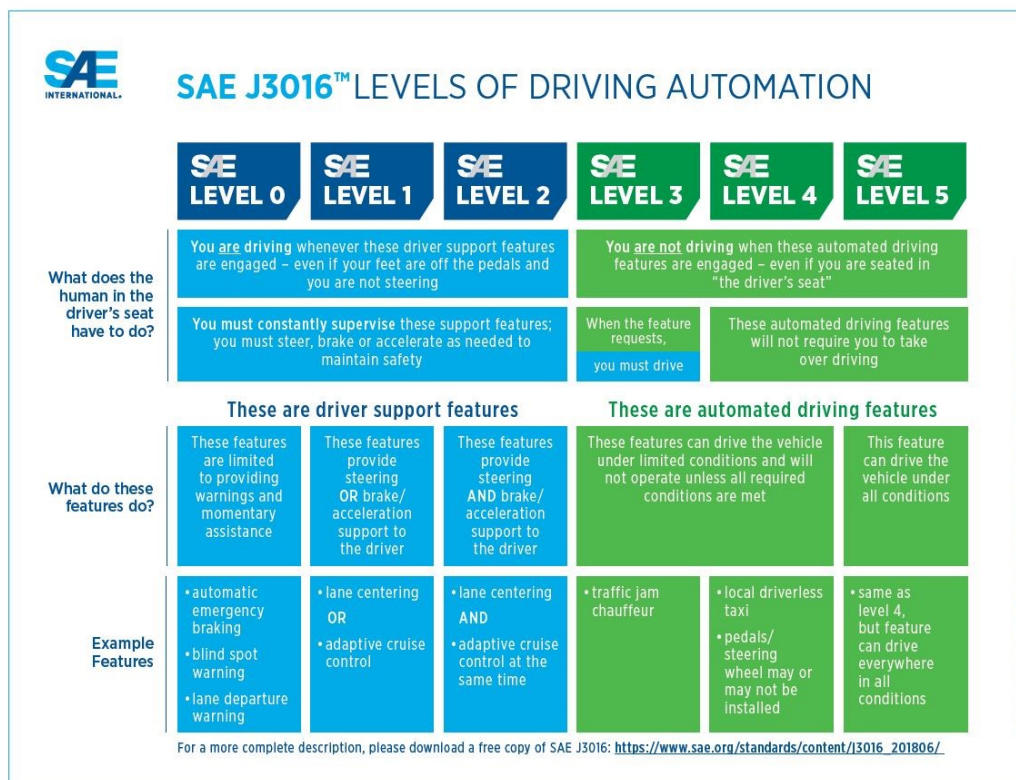


Figura 2.1 – Livelli di automazione della guida. Fonte: SAE , International , 2018

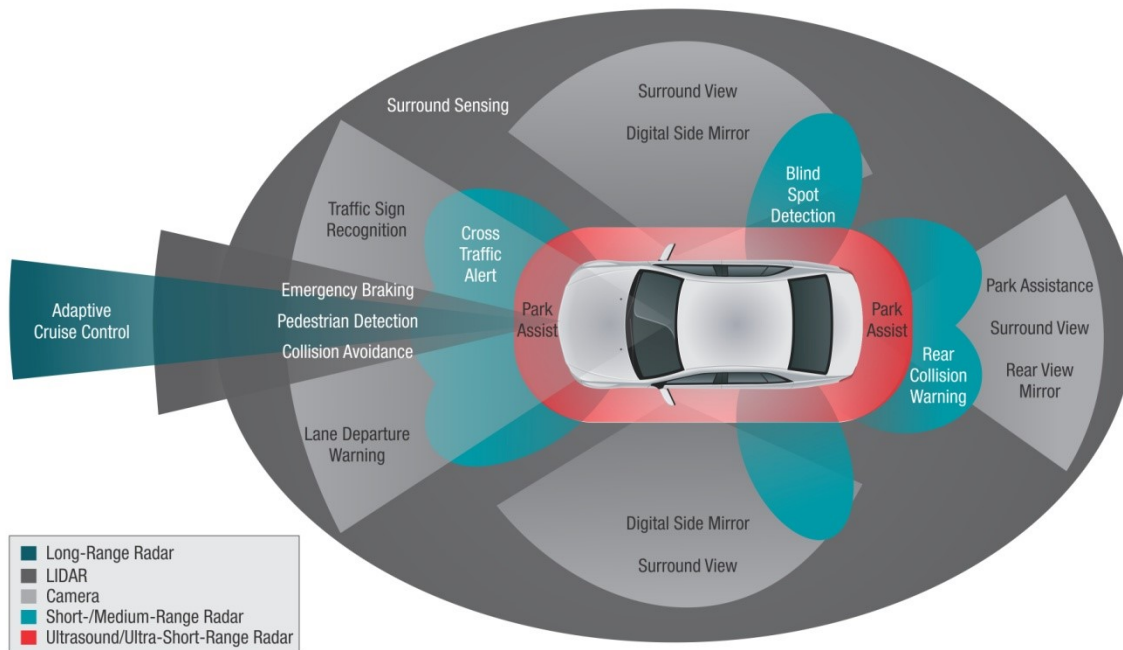


Figura 2.2 – Sensori tipici presenti all'interno di un veicolo evoluto. Fonte: Wikipedia

Di seguito vengono elencati e descritti i principali dispositivi ADAS dei veicoli, con le relative valutazioni ed analisi tecniche effettuate da Euro NCAP.

2.1 Frenata automatica di emergenza (AEB) e avviso di collisione imminente (FCW)

I sistemi AEB (*Autonomous Emergency Brake*) vengono utilizzati per evitare (o ridurre) l'impatto tra veicoli e le conseguenti lesioni riportate occupanti. Tali dispositivi entrano in funzione **solo in estremi casi** di emergenza, ovvero in quei momenti in cui nemmeno una pronta risposta del conducente possa evitare l'impatto. Il sistema AEB è generalmente composto da tre funzioni:

- FCW (*Forward Collision Warning*): è la funzione del sistema AEB che permette di avvisare il conducente in merito ad una situazione di pericolo (ad esempio l'impatto contro un veicolo che precede) attraverso segnali acustici e visivi.
- PBA (*Pre-Braking Assist*): attivandosi, garantisce un'assistenza alla frenata incrementandone l'intensità prodotta dal conducente attraverso azionamento dell'impianto con il pedale del freno. Nel caso in cui il conducente non freni, spesso tale sistema "pre-carica" l'impianto frenante in modo da fornire una decelerazione più energica nel momento in cui si aziona la frenata.
- EB (*Emergency Braking*): tale funzione rappresenta la vera e propria frenata di emergenza che si attiva nel momento in cui la collisione diventa imminente con decelerazione massima raggiungibile dal mezzo.



Figura 2.2 – Sistema AEB. Fonte: Euro NCAP

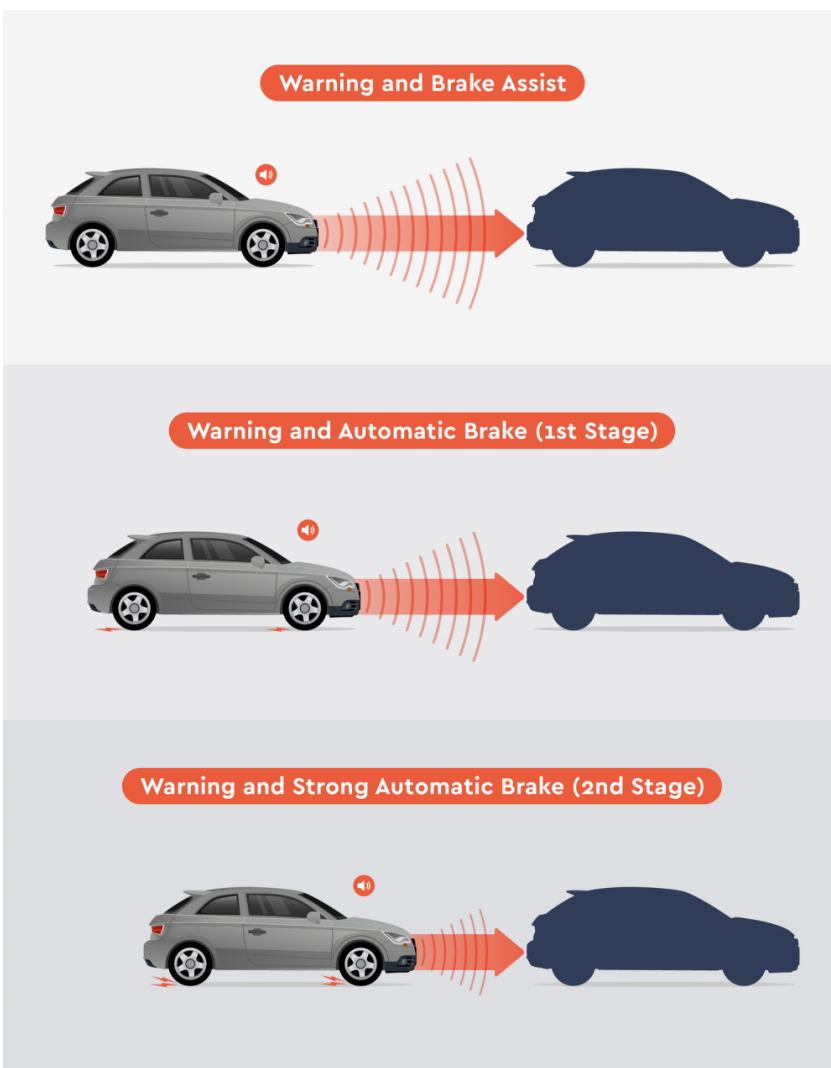


Figura 2.3 – Funzionamento tipico di un sistema AEB. Fonte: Audi

2.2 Avviso di avvicinamento alla linea di corsia (LDW) e Sistema di mantenimento della corsia (LKA)

I sistemi LDW (*Lane Departure Warning*) hanno la funzione di avvisare il guidatore in caso di eccessivo avvicinamento alla linea di corsia con conseguente possibile superamento della stessa ed invasione della corsia di marcia adiacente o uscita di strada del veicolo. Tali sistemi utilizzano videocamere installate all'interno dell'abitacolo che riprendono ed individuano la segnaletica orizzontale delimitante la corsia di marcia del veicolo; per contro gli LDW tendono a non attivarsi nel caso in cui le linee di demarcazione della corsia non siano ben visibili a causa dell'usura e/o in presenza di condizioni meteo avverse come pioggia o neve. In tali situazioni il veicolo comunica al conducente un eventuale disattivazione del dispositivo. I sistemi LDW possono essere correlati di un'ulteriore funzione (LKA, *Lane Keep Assist*) che interviene attraverso la correzione automatica della traiettoria del veicolo in caso di mancata risposta da parte del conducente.



Figura 2.4 – Sistema LKA e LDW. Fonte: Škoda

I sistemi LKA possono essere di due tipologie (Bartels et al., 2016 [9]):

- *Type 1*: effettuano una mera correzione della traiettoria in modo da evitare una fuoriuscita di strada del veicolo;
- *Type 2*: assistono attivamente il conducente correggendo la traiettoria del veicolo costantemente, mantenendola centrale rispetto agli estremi della corsia.

Nella prima tipologia il sistema esamina esclusivamente un bordo della corsia, mentre nella seconda vengono necessariamente rilevati entrambi i margini (linee di delimitazione) della corsia di marcia.

2.2.1 Principio di funzionamento

I sistemi LDW/LKA, come la maggior parte dei dispositivi ADAS, utilizzano dei sensori per analizzare quanto accade attorno al veicolo. In generale, vengono utilizzati:

- videocamere (montate nella parte superiore del parabrezza, dietro lo specchio retrovisore centrale) per raccogliere le immagini;

- sensori laser montati nel paraurti frontale;
- sensori ad infrarossi per la visione notturna, generalmente posizionati a fianco della videocamera.

Il principio di funzionamento è molto semplice: dapprima vengono analizzati i dati derivanti dalla videocamera attraverso estrazione delle parti di immagine utili per l'identificazione delle linee di corsia. Successivamente avviene la conversione dei colori in scala di grigi per essere, in seguito, analizzata attraverso due metodologie (Figura 2.5):

- l'algoritmo di Canny viene utilizzato per definire i contorni degli elementi presenti all'interno dell'immagine;
- la trasformata di Hough serve per estrarre i contorni di interesse dell'immagine elaborata nello step precedente.

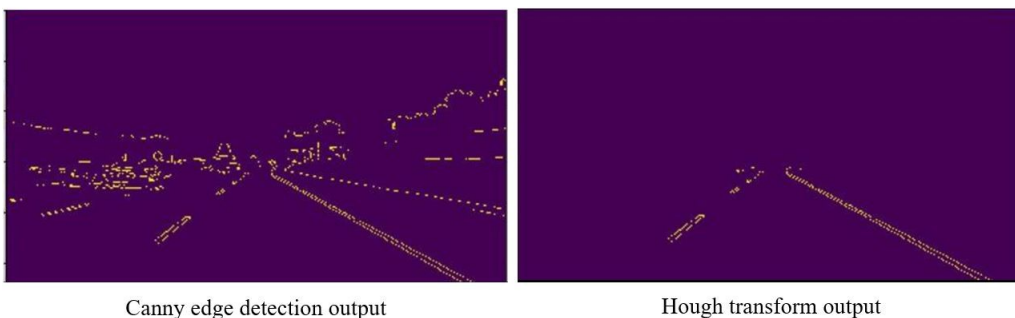


Figura 2.5 - Output di elaborazione dell' immagine. Fonte: [9]

Infine, vengono determinati (e riconosciuti) i bordi della linea di corsia e la relativa forma. Questo processo è applicabile in via del tutto generale, poiché ciascuna casa produttrice può avere un differente algoritmo di elaborazione dei dati.

2.2.2 Componenti di sistema

Un sistema LDW/LKA è dotato di una serie di componenti indispensabili (Bartels et al., 2016 [9]) (Figura 2.6): un certo numero di sensori (videocamere, sensori laser e/o ad infrarossi, etc.), una centralina di comando per processare i dati raccolti, un elemento attuatore e un terminale HMI (*Human Machine Interface*).

Sensori: Hanno l'importante funzione di raccogliere immagini e parametri (se necessario) provenienti dall'ambiente esterno che circonda il veicolo ed inviarli alla centralina di comando cosicché possa e implementato l'algoritmo di base (§ 1.2.1.2) per la determinazione dell'azione da intraprendere.

Centralina: Raccoglie i dati che provengono dai sensori e dallo stato del veicolo (velocità, traiettoria, etc.), in modo da implementare l'algoritmo per il calcolo del valore di TLC (*Time to Line Crossing*, § 1.2.1.2).

Attuatore: In seguito al feedback proveniente dalla centralina di comando, è necessario predisporre all'interno del veicolo una componente che agisca sullo sterzo per riportare il veicolo nella corretta traiettoria.

HMI: Lo Human Machine Interface rappresenta, infine, l'interfaccia composta da comandi di controllo e display informativi che permette una comunicazione bilaterale tra conducente e sistema LDW/LKA. Gli elementi che compongono l'HMI sono, ad esempio, i comandi di attivazione/disattivazione del sistema nonché tutti i componenti che avvisano il conducente di una eventuale uscita di strada del veicolo (avviso audio/video attraverso computer di bordo, vibrazione del volante, etc.).



Figura 2.6 – Componenti principali di un generico sistema LDW

2.2.3 Algoritmi impiegati nei sistemi LDW/LKA

I sistemi LDW/LKA basano il loro principio di funzionamento sulla determinazione di una variabile fondamentale che permette l'attivazione della procedura di avviso e, nel caso di sistema LKA, la correzione della traiettoria. Tale parametro è il TLC (*Time to Line Crossing*) che rappresenta l'intervallo temporale che precede il contatto dello pneumatico con la striscia di margine di corsia. Esistono diverse metodologie riportate in letteratura per determinare il TLC, di seguito se ne propongono alcune (Xu et al., 2015 [10]).

Algoritmo 1. Il primo metodo impone che la velocità laterale del veicolo possa essere assunta costante all'interno di un intervallo temporale ristretto tenendo conto, altresì, della posizione del mezzo rispetto alla linea di corsia:

$$TLC = \frac{D}{v_{la}}$$

dove D rappresenta la distanza tra il bordo esterno dello pneumatico e la linea di margine della corsia di marcia e la velocità laterale del veicolo. La distanza D viene determinata come segue:

$$D = \frac{\omega_l - \omega_v}{2} - d$$

in cui ω_l è la larghezza della corsia; ω_v è la larghezza del veicolo e d è la distanza tra l'asse centrale del veicolo e l'asse centrale della corsia di marcia. Il grande vantaggio di questo metodo è quello di rendere facili le variabili da misurare, per contro, però, assumere che la velocità laterale sia costante in un certo lasso di tempo risulta molto forzata, non realistica e dipendente dallo stato di guida del conducente nonché dalla geometria del tracciato stradale.

Algoritmo 2. In questo metodo si assume che la velocità laterale non sia più costante come nel primo caso descritto, ma variabile in funzione di un valore fisso di accelerazione laterale, sempre rispetto ad un breve intervallo di tempo:

$$TLC = \frac{(-v_{la} + \sqrt{v_{la}^2 + 2a_{la}D})}{a_{la}} \quad \text{con } a_{la} \neq 0$$

dove a_{la} è l'accelerazione laterale del veicolo diretta verso il bordo della corsia; D viene calcolato alla stessa maniera vista per l'algoritmo 1. Il vantaggio di questo metodo è quello di non assumere la velocità laterale costante ma variabile in funzione di un'accelerazione costante nel tempo permettendo, quindi, di prevedere con più accuratezza la traiettoria del veicolo e avvisare per tempo il conducente in merito all'uscita di corsia.

Algoritmo 3. Con questo algoritmo vengono aggiunte molte altre informazioni riguardo la geometria dell'infrastruttura e della traiettoria del veicolo, ovvero, velocità di avanzamento, angolo di imbardata rispetto al centro della corsia, raggio di curvatura della traiettoria del mezzo della strada. Il valore di TLC viene determinato come segue:

$$TLC = \frac{-v \tan a + \sqrt{(v \tan a)^2 + 2v^2 D (1/R_r - 1/R_v)}}{v^2 (1/R_r - 1/R_v)}$$

dove v è la velocità del veicolo, a è l'angolo di imbardata, R_r il raggio di curvatura della strada e R_v è il raggio di curvatura del veicolo. Il vantaggio di questo algoritmo è che fornisce un valore più accurato di TLC rispetto ai metodi precedenti, soprattutto nel caso in cui il veicolo percorra una curva. Tuttavia, la mole di parametri presenti all'interno dell'equazione comporterebbe la necessità di dotare il veicolo di adeguati sensori per la loro determinazione. Una cattiva calibrazione del sensore produrrebbe errori di stima nella valutazione delle variabili sopra citate.

Algoritmo 4. L'ultimo algoritmo che viene di seguito presentato usufruisce di informazioni riguardanti la distanza percorsa dal veicolo dal centro corsia verso il bordo strada (DLC) e la velocità di avanzamento (v)

$$TLC = \frac{DLC}{v}$$

Questo metodo, a differenza degli altri, valuta il fenomeno riferendosi alla traiettoria di movimento del veicolo (gli algoritmi esposti in precedenza si basavano sullo spostamento laterale del mezzo). Il valore di DLC (*Distance to Lane Crossing*) deriva da un'analisi trigonometrica, mentre la velocità può essere assunta costante in un breve intervallo di tempo.

2.2.4 Benefici

I benefici riscontrabili dall'utilizzo di questi dispositivi vengono illustrati dallo studio J. M. Scanlon et al. (2016) [11]. Questo studio ha utilizzato 478 incidenti stradali rappresentativi negli Stati Uniti con uscita di corsia per deriva dei quali si conoscevano le conseguenze dell'uscita di strada. Le simulazioni sono state effettuate simulando un veicolo che transita lungo un'infrastruttura con le seguenti differenti caratteristiche e calcolando la riduzione dell'incidentalità in relazione all'utilizzo di sistemi LDW e LKA:

- senza segnaletica orizzontale di delimitazione della corsia di marcia ;
- con segnaletica di delimitazione del margine della corsia ;
- senza segnaletica orizzontale ma con un incremento della larghezza di banchina laterale fino a 3,6 m;
- con segnaletica orizzontale e banchina laterale di 3,6 m.

Ciascuno di questi scenari viene valutato con veicolo dotato o meno di sistemi LDW e LKA. Entrambe le funzionalità si attivano nel momento in cui lo pneumatico tocca la linea di corsia di margine: dapprima viene fornito l'avviso (LDW) e, in seguito, viene simulata la risposta del conducente con un tempo di reazione compresa tra 0,38 se 1,36 s. Per quanto riguarda la funzione di LKA (Figura 2.7), il sistema, a seguito dell'avviso LDW, aziona automaticamente lo sterzo fino ad un picco massimo dell'accelerazione laterale impressa di 0,1 g (1 m/s), con una variazione di 0,2 g/s (-2 m/s), e deviando il veicolo verso la corsia di marcia.

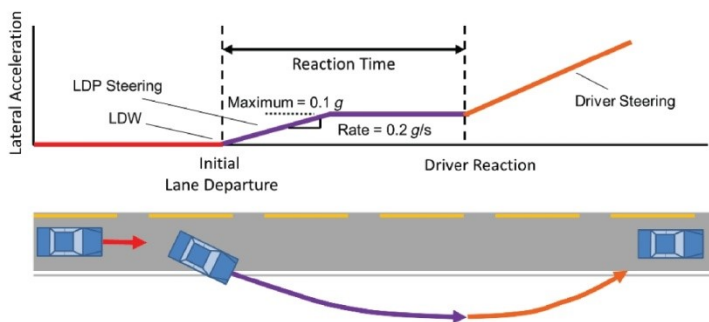


Figura 2.7-Funzionamento del sistema LKA. Fonte: [11]

Il beneficio ε (%) (efficacia, espressa in termini percentuali) derivante dall'utilizzo di questi sistemi viene valutato in funzione del numero di incidenti occorsi con lesioni MAIS3+ con e senza sistemi LDW/LKA.

$$\varepsilon = \frac{N_{\text{senza LDW/LKA}} - N_{\text{con LDW/LKA}}}{N_{\text{senza LDW/LKA}}}$$

La scala AIS (*Abbreviated Injury Scale*) è un sistema di descrizione e valutazione delle lesioni da incidenti ed alle loro conseguenze: associa valore 1 al danno più lieve e valore 6 al danno massimo. La sigla MAIS3+ indica tutti quei casi con punteggio pari a 3 o superiore della scala AIS ed indica casi con conseguenze cliniche gravi / molto gravi.

Di seguito si riportano i risultati in merito al beneficio riscontrato dall'utilizzo dei sistemi LDW/LKA (Tabella 1.7 e 1.8)

	Infrastruttura di base		Strada con linee di margine di corsia		Strada con banchina allagata		Strada con linee di corsia e banchina allagata	
	N°	Beneficio	N°	Beneficio	N°	Beneficio	N°	Beneficio
No LDW/LKA	147.662		147.662		147.662		147.662	
CON LDW	105.657	28,4%	100.080	32,2%	73540	50,2%	41.963	71,6%
CON LKA	100.261	32,1%	93.920	36,4%	67.909	54,0%	32.946	77,7%

Tabella 1.7 - Numero di incidente potenziali e benefici riscontrati con i sistemi LDW e LKA. Fonte: [11]

In Tabella 1.7 sono riportati i risultati delle simulazioni relativi al numero di incidenti prevenuti con utilizzo di sistemi LDW/LKA: emerge una complessiva riduzione del numero di incidenti attraverso l'utilizzo di sistemi LDW con beneficio compreso tra 28,4% e 71,6% mentre l'ausilio di sistemi LKA assicura prestazioni migliori rispetto alla sola funzione di avviso con valori di e compresi tra 32,1% e 77,7%.

	Infrastruttura di base		Strada con linee di margine di corsia		Strada con banchina allagata		Strada con linee di corsia e banchina allagata	
	N°	Beneficio	N°	Beneficio	N°	Beneficio	N°	Beneficio
No LDW/LKA	30.167		30.167		30.167		30.167	
CON LDW	23.871	20,7%	22.121	27,1%	16.948	44,1%	12.232	59,7%
CON LKA	21.722	27,8%	20.862	31,2%	15.800	47,9%	10.488	65,4%

Tabella 1.8- Numero di incidenti potenziali con lesioni MAIS3+ e beneficio riscontrato con i sistemi LDW e LKA. Fonte: [11]

In Tabella 1.8 si riportano il numero di incidenti con lesioni MAIS3+ con utilizzo o meno di sistemi LDW/LKA: ,si osserva, emerge una complessiva riduzione di incidenti potenziali con lesioni MAIS3+ con l'utilizzo di tali dispositivi, in particolare con LDW si riscontra un beneficio compreso tra 20,7% e 59,7%, mentre l'utilizzo dell'LKA assicura prestazioni migliori con valori di e compresi tra 27,8% e 65,4%.

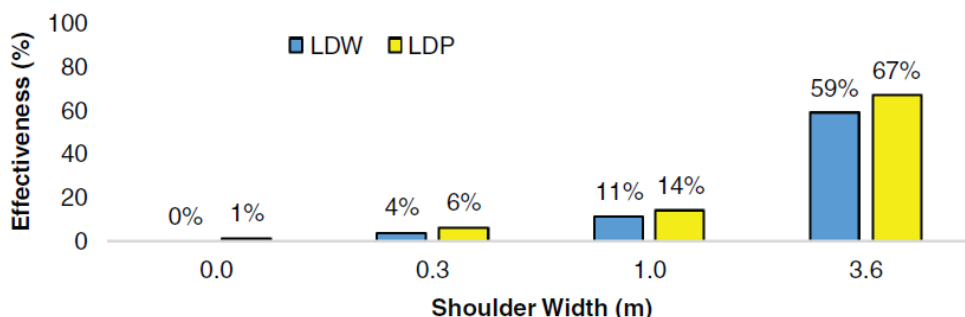


Figura 2.8 - Beneficio riscontrato con LDW / LKA rispetto a diverse larghezze di banchina.

La figura 2.8 illustra il beneficio riscontrato dall'utilizzo di sistemi LDW e LKA rispetto a diversi valori di larghezza della banchina laterale. All'aumentare di quest'ultima, infatti, il beneficio tende a crescere fino al valore massimo di 59% e 67% per LDW e LKA rispettivamente.

2.3 Riconoscimento della segnaletica stradale (TSR)

I sistemi TSR (*Traffic Sign Recognition*) hanno la funzione di riconoscimento della segnaletica stradale, avvisando il guidatore in merito a possibili modificazioni del tracciato stradale (curve od altro) e/o a cambiamenti delle velocità ammesse sul tracciato. La funzione di riconoscimento dei limiti di velocità viene, altresì, indicata come sistema ISA (*Intelligent Speed Assistance*): una videocamera installata all'interno del veicolo riconosce il segnale stradale indicante il limite di velocità, conseguentemente riporta l'informazione rilevata al conducente sul computer di bordo. In mancanza di una videocamera il sistema può utilizzare informazioni derivanti da mappe satellitari, opportunamente aggiornate. Questi sistemi al momento hanno solo funzione di avviso e, pertanto, è necessaria una risposta del conducente per riportarsi al di sotto della velocità limite, a meno che non si conducente stesso ad impostare un limite di velocità da non superare.

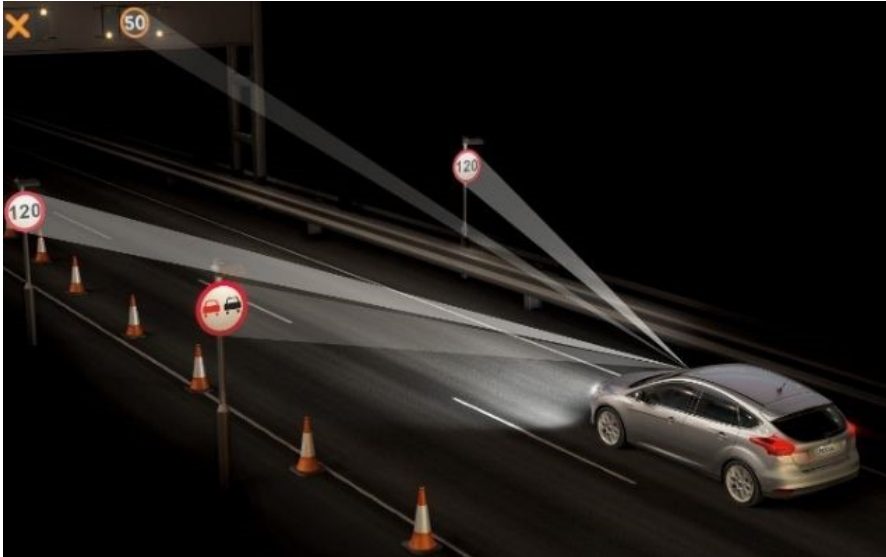


Figura 2.9 – Esempificazione di un sistema TSR. Fonte: Ford

2.3.1 Principio di funzionamento

Si riporta di seguito lo studio condotto da Eichner et al. [12] (2008) che analizza il funzionamento di un sistema TSR (con sola funzione ISA) per differenti scenari. In linea generale tale sistema si compone di due fasi di elaborazione: rilevamento e riconoscimento.

Rilevamento

In questa prima fase il sistema, attraverso le immagini derivanti dalla videocamera, analizza la presenza o meno di segnali stradali indicanti il limite di velocità (o una sua interruzione), attraverso il riconoscimento della forma del segnale: se questo, infatti, risulta di forma circolare viene classificato dal sistema come valido candidato per la fase successiva, altrimenti viene scartato dalla valutazione (Figura 2.10 e 2.11). Ad esempio, in Figura 2.10 sono riportate le fasi di rilevamento di un segnale di limite di velocità: dapprima avviene il rilevamento del segnale in seguito all'individuazione del bordo di colore rosso (input), dopodiché l'immagine viene rappresentata in bianco e nero per meglio definire il contorno (a) che viene poi isolato dal resto dell'immagine (b - c).

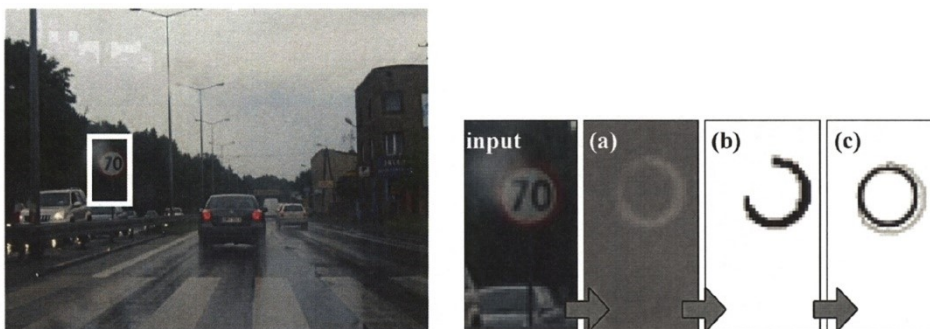


Figura 2.10 – Rilevamento del segnale di limite di velocità. Fonte: [12]

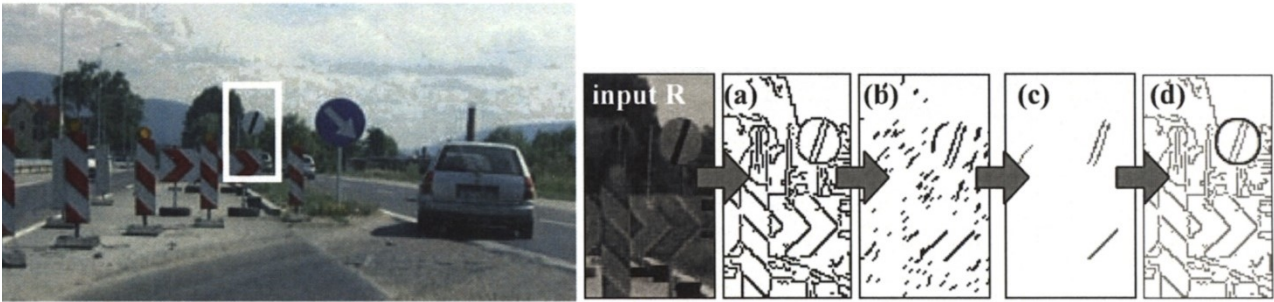


Figura 2.11 – Rilevamento del segnale di fine limite di velocità. Fonte: [12]

Analogamente, in Figura 2.11 viene rappresentata la medesima procedura per l'individuazione del segnale di interruzione del limite di velocità: rappresentazione in scala di grigi, isolamento dei contorni (a), selezione degli elementi con una certa inclinazione (b) e individuazione del segnale (c-d).

Riconoscimento

In questa fase i segnali rilevati vengono estratti dall'immagine di input, riprodotti in scala di grigi e successivamente trasformati attraverso una rappresentazione binaria dell'immagine con utilizzo dei colori bianco e nero, così da eliminare possibili aloni grigi che potrebbero disturbare l'immagine specialmente in condizioni di luminosità scarsa o notturne. Questa rappresentazione permette di riconoscere in maniera agevole, da parte del sistema, il limite di velocità numerico riportato al di sopra dello sfondo bianco del segnale (Figura 2.12).

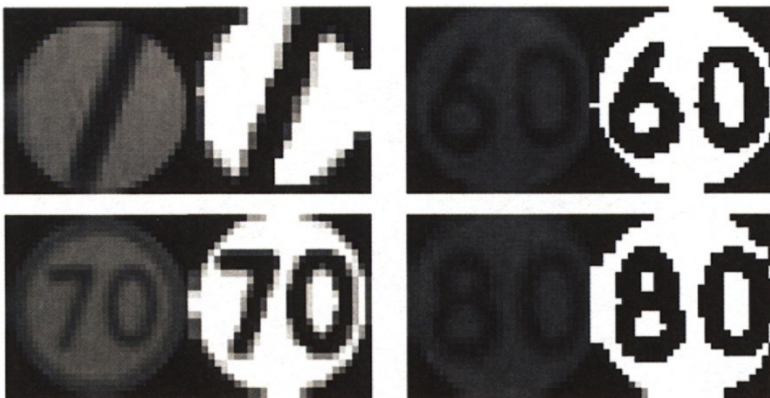


Figura 2.12 - Riconoscimento del limite di velocità indicato. Fonte: [12]

2.3.2 Benefici

L'utilizzo di sistemi TSR permette di ottenere considerevoli benefici soprattutto in termini di riduzione della velocità di marcia. A tal proposito lo studio di Driscoll et al. [13] (2007) analizza il funzionamento di un sistema TSR (con sola funzione ISA) in base differenti condizioni di operatività:

- *Neutral*: il sistema è disattivato;
- *Informative*: il dispositivo comunica al guidatore, attraverso computer di bordo, il limite di velocità vigente in un tratto di strada e, attraverso messaggio audio e video, un eventuale superamento;
- *Driver activated*: il conducente è libero di attivare o disattivare il limitatore di velocità a suo piacimento;

- *Mandatory*: il limitatore entra in funzione automaticamente nel momento in cui viene oltrepassato il limite di velocità.

Durante il test sul campo, i veicoli sono stati consegnati a 92 famiglie per un periodo di 8 settimane (2 settimane per ogni modalità del sistema LAVIA). Il comportamento dei conducenti e la loro accettazione del sistema sono stati esaminati attraverso questionari, interviste e l'analisi dei dati raccolti dai veicoli. Le famiglie hanno guidato un numero totale di 15.911 viaggi per un totale di 130.000 chilometri, più o meno equamente distribuiti tra le modalità LAVIA. La lunghezza e la durata media del viaggio è di 8,3 km e 14 minuti. I dati in auto (come la velocità e l'accelerazione) sono stati registrati ogni mezzo secondo con un registratore di dati appositamente concepito e prodotto per lo studio. I dati sono stati controllati e quelli mancanti o irregolari (meno del 5 %) sono stati lasciati a parte.

Il progetto LAVIA comprendeva quattro obiettivi principali. In primo luogo, valutare gli atteggiamenti e le rappresentazioni dei conducenti nei confronti dell'ISA ; secondo, esaminare eventuali cambiamenti comportamentali indotti dall'uso dell'ISA ; terzo, studiare l'accettazione dell'ISA in base alla modalità del sistema e all'ambiente del traffico e, infine, analizzare i potenziali benefici per la sicurezza dell'ISA.

I potenziali benefici per la sicurezza sono stati stimati simulando un ipotetico ambiente di traffico in cui tutte le autovetture sono equipaggiate con il sistema LAVIA. La simulazione prevedeva 4 fasi:

1. Stima del rischio di lesioni in funzione della gravità dell'impatto
2. Stabilire la relazione tra la gravità dell'impatto e la velocità di marcia dei veicoli coinvolti nell'incidente con lesioni, che sarebbe stata osservata dopo l'attivazione del sistema LAVIA.
3. La distribuzione delle velocità di percorrenza dei veicoli coinvolti negli incidenti con feriti, utilizzando le distribuzioni delle velocità di percorrenza reali ottenute dai test sul campo di LAVIA.
4. Calcolando i potenziali benefici del sistema LAVIA sulla base di questi dati.

Di seguito si pubblicano i risultati derivanti dalle simulazioni distinguendo i casi in funzione della tipologia di impatto (frontale o laterale) e del contesto di analisi (urbano, inter-urbano, autostradale). In Tabella 1.9 sono riportate le percentuali di riduzione delle lesioni gravi e fatali rispetto a diverse condizioni di operatività del sistema. La funzione *Neutral* (sistema disattivato) è stata presa come riferimento per valutare il beneficio ottenuto con le altre modalità. Complessivamente, per le funzioni in cui il veicolo sia condizionato dal rispetto del limite di velocità (*Driver activated* e *Mandatory*), con impossibilità di superamento di tale valore, si ottengono i risultati migliori in termini di riduzione dell'entità lesiva dell'infortunato. La modalità *Informative*, invece, produce diminuzioni poco significative, come è ragionevole pensare, visto che viene data la possibilità al conducente di viaggiare a velocità superiore a quella imposta dal limite.

La scala AIS (*Abbreviated Injury Scale*) è un sistema di descrizione e valutazione delle lesioni da incidenti ed alle loro conseguenze: associa valore 1 al danno più lieve e valore 6 al danno massimo. La sigla MAIS3+ indica tutti quei casi con punteggio pari a 3 o superiore della scala AIS ed indica casi con conseguenze cliniche gravi / molto gravi mentre MAIS6+ indica i casi con conseguenze fatali.

Network Type	LAVIA mode	Frontal impact		Side impact	
		MAIS 3+	MAIS 6+	MAIS 3+	MAIS 6+
Urban	Neutral	ref	ref	ref	ref
	Informative	4%	4%	3%	4%
	Driver activated	11%	14%	1%	3%
	Mandatory	9%	11%	0%	na
Inter urban	Neutral	ref	ref	ref	ref
	Informative	2%	5%	0%	7%
	Driver activated	3%	8%	9%	17%
	Mandatory	2%	8%	8%	6%
Motorway	Neutral	ref	ref	ref	ref
	Informative	3%	7%	na	4%
	Driver activated	6%	13%	5%	16%
	Mandatory	5%	13%	4%	16%

Tabella 1.9 – percentuali di riduzione delle lesioni gravi (MAIS3+) e mortali (MAIS6+) per diverse condizioni di operatività del sistema TSR/ISA. Fonte: [13]

2.4 Monitoraggio dello stato del conducente (DSM)

I sistemi DSM (*Driver System Monitoring*) o *Attention Assist* sono in grado di riconoscere cali di concentrazione da parte del conducente ed evitare possibili "colpi di sonno". Il sistema si compone, in generale, di una videocamera (comprensiva di sensori ad infrarossi per condizioni di il rilevamento in scarsa luminosità) posizionata nella parte superiore della colonna che sostiene il volante, in modo da garantire una maggiore visibilità del viso del conducente e, in particolare, delle espressioni facciali e degli occhi. La funzione consiste prevalentemente nel fornire un messaggio acustico e visivo al conducente invitandolo a fermarsi e a riprendere la guida del veicolo in un secondo momento. In alcune situazioni, tale sistema può collaborare con gli altri dispositivi ADAS presenti all'interno del veicolo per rendere più efficace il suo intervento: ad esempio, utilizzare la frenata assistita per riattivare l'attenzione smarrita del conducente (a seguito di un colpo di sonno) o la frenata di emergenza per arrestare il veicolo nel caso in cui il guidatore non risponda ad alcun avviso fornito dal sistema (a causa di un possibile malore).



Figura 2.13 – Esempificazione di un sistema di monitoraggio del conducente (DSM).

Nel seguito vengono descritte le variabili di controllo normalmente impiegate nei DSM.

2.4.1 Distrazione

Si forniscono di seguito alcune metodologie per il controllo del livello di attenzione del conducente alla guida attraverso vari indicatori, che sono determinati sulla base dell'osservazione (Langer et al., 2016 [14]):

- del movimento degli occhi, nonché l'orientamento della testa attraverso videocamera;
- di attività secondarie svolte dal guidatore attraverso videocamera o sensori;
- di attività di guida, come manovre di sterzo, di frenata o accelerazione, sempre attraverso sensori montati all'interno del veicolo.

Tutti questi fattori contribuiscono all'accertamento di eventuali fenomeni di distrazione da parte del conducente, anche se è necessario distinguere la durata dei movimenti precedentemente esposti e il contesto in cui si verificano. Quanto detto in precedenza, infatti, si riferisce a modificazioni di lunga durata, che consentono di descrivere al meglio le riduzioni dei livelli di guardia. Gli indicatori a breve termine, invece, danno una valutazione dello stato di attenzione attuale del conducente e possono essere determinati considerando dei parametri già utilizzati da altri sistemi ADAS, quali il tempo alla collisione (TTC, §3.2.1), l'intensità di frenata oppure il tempo di reazione (§2.2).

2.4.2 Fatica

La sensazione di fatica si presenta, generalmente, dopo un certo periodo di tempo trascorso alla guida di un veicolo: tale valore è soggettivo e, quindi, non noto a priori. Alcune variabili in grado di fornire delle stime dei livelli di fatica possono essere riassunte come segue (Langer et al., 2016 [14]):

- diametro di apertura della pupilla;
- grado di apertura degli occhi;
- durata, frequenza e velocità del battito di ciglia;
- ritardo nella riapertura della palpebra;

- fenomeno della "palpebra calante" (ovvero apertura non completa degli occhi in funzione dell'affaticamento).

Questi fanno riferimento a fattori di origine umana che vengono rilevati attraverso videocamere disposte frontalmente rispetto alla posizione del conducente, pur essendoci una notevole difficoltà nella loro identificazione visto il grado di dettaglio necessario per ottenere una misurazione affidabile. Esistono, altresì, fattori associati al veicolo (quali sterzo, velocità e intensità di frenata) rilevabili attraverso errori commessi nella guida da parte del conducente: ad esempio, un utente stanco tenderà ad avere un andamento più o meno zigzagante lungo un rettilineo. È bene precisare che la considerazione dei parametri che interessano il veicolo possono portare ad una falsa interpretazione del comportamento del conducente, specialmente in ambito urbano dove la natura del traffico veicolare (e non solo) induce ad un atteggiamento di guida (spesso nevrotico) molto diversificato e incostante rispetto all'ambito extraurbano o suburbano.

2.4.3 Malore alla guida

Un malore del conducente durante la guida può essere individuato attraverso la definizione di una serie di parametri tra cui il ritmo cardiaco. Alterazioni importanti o abbassamenti del numero di bpm. (battiti al minuto) e/o della frequenza di respirazione possono essere interpretati come possibili svenimenti. Gli algoritmi per la misurazione di questi parametri sono ancora in fase di studio: Wusk & Gabler (2018) [15] hanno proposto un sistema di valutazione dei parametri succitati attraverso sensori non invasivi disposti all'interno del sedile di guida che misurano la frequenza cardiaca e di respirazione. Resterebbe, in ogni caso, necessaria l'associazione di immagini attraverso videocamera interna all'abitacolo che attestino un effettivo malore del conducente, onde evitare falsi positivi dal sistema di rilevamento. Se si verificano situazioni in cui il guidatore non risponde più ai comandi per le circostanze finora elencate, molto spesso risulta inutile l'attivazione di un messaggio di avviso acustico/visivo o di altre strategie che richiedono, ad esempio, l'intervento dell'impianto frenante per risvegliare l'attenzione del conducente: è necessaria, infatti, l'attivazione della funzione di Emergency Stopping Assistant (Ardelt et al., 2010 [16]) che usufruisce dei sistemi ADAS presenti (ACC, LDW/LKA, AEB, etc.) per portare il veicolo al di fuori della corsia di marcia (ove possibile: per esempio nelle strade ad elevato scorrimento lungo la corsia di emergenza) in maniera completamente autonoma e senza creare rischi per gli altri mezzi in movimento (Figura 2.14 e 2.15).

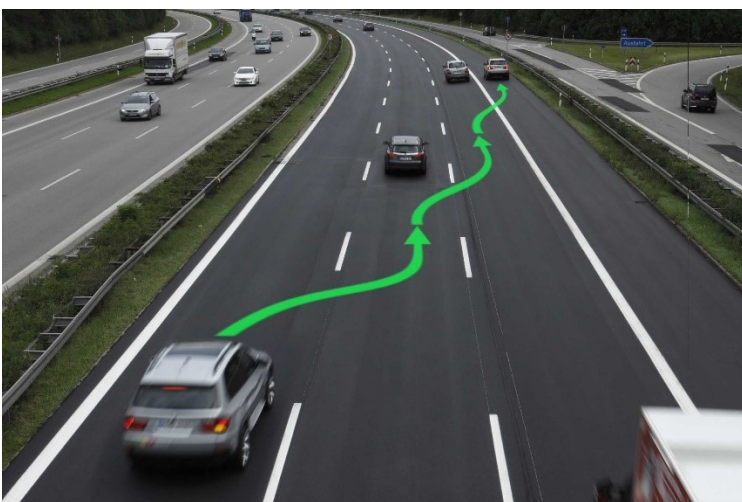


Figura 2.14 – Emergency Stopping Assistant. Fonte: BMW (Bayerische Motoren Werke AG)



Figura 2.15 – Test reale di funzionamento dell'Emergency Stopping Assistant. Fonte: BMW (Bayerische Motoren Werke AG)

2.5 Cruise control adattivo (ACC)

Il *cruise control* è un sistema che consente di impostare la velocità di crociera del veicolo e di mantenerla costante per l'intero tragitto effettuato. L'utilizzo di sistemi *cruise control* convenzionali non permette la modificazione in automatico della velocità di marcia in funzione del traffico stradale: questi, infatti, si limitano a mantenere la velocità preimpostata dal guidatore e a limitare l'uso del pedale dell'acceleratore e, pertanto, eventuali decelerazioni devono essere effettuate dal guidatore stesso. La particolarità dei sistemi *cruise control* adattivo (ACC, *Adaptive Cruise Control*) è che la velocità di crociera viene regolata automaticamente attraverso sensori (RADAR o LIDAR, §2.3.2 e §2.3.3) presenti all'interno del veicolo, in funzione del traffico. In questo modo, quindi, non è il guidatore che decelera il veicolo ma è lo stesso sistema ACC che adatta la velocità di marcia e mantiene una distanza di sicurezza dal veicolo che precede.

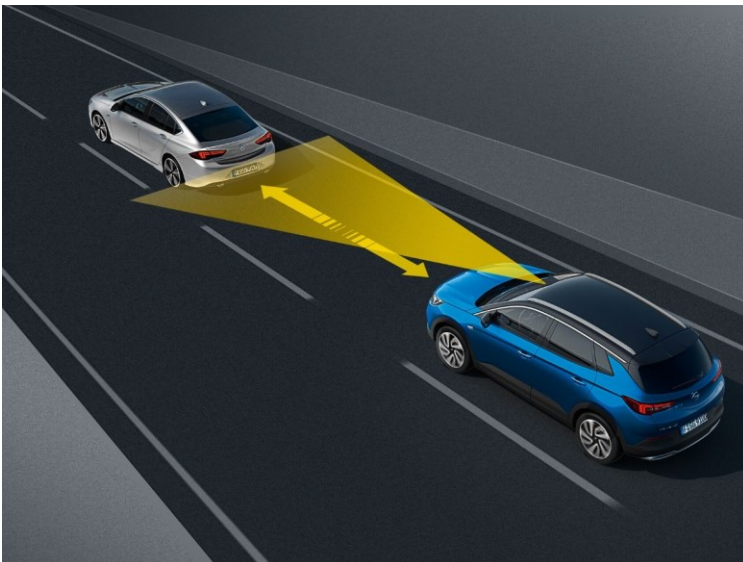


Figura 2.16 – Esempificazione di un sistema ACC. Fonte: Opel

2.5.1 Principio di funzionamento

Secondo Winner et al. (1996) [17] e Reif (2014) [3], un generico sistema ACC può essere così composto (Figura 2.17):

1. ACC controller;
2. Longitudinal Control;
3. Man-Machine – Interface.

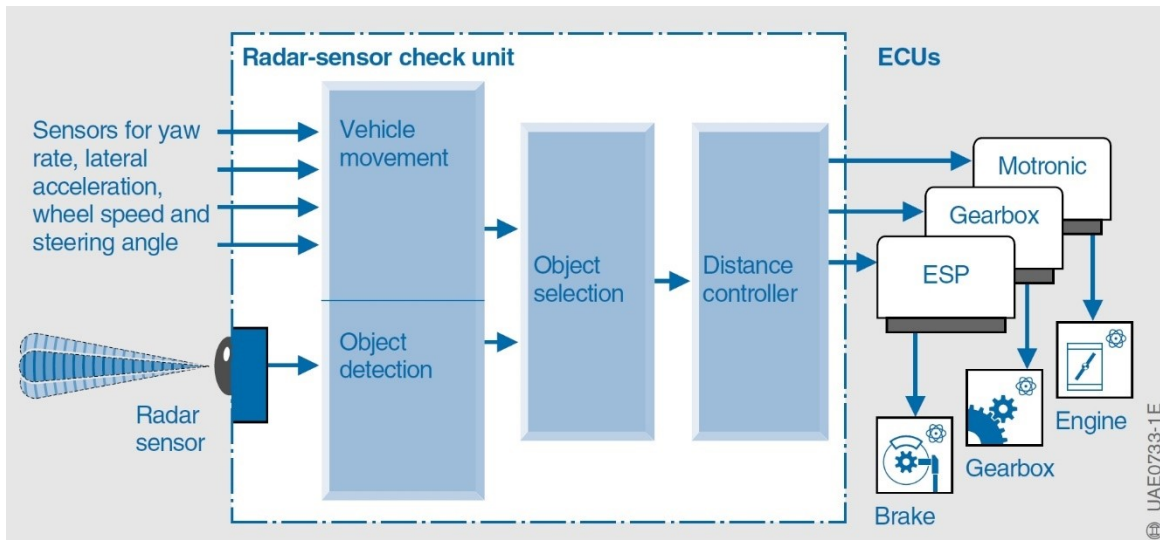


Figura 2.17 – Schema di funzionamento generale di un sistema ACC. Fonte: [3]

ACC controller. Ha la funzione di individuare il veicolo che precede e, in base alla sua velocità e alla distanza che intercorre, valutare quale azione intraprendere per portare a zero la velocità relativa. Tale azione si manifesta in una fase di rallentamento fino a quando non è raggiunta la stessa velocità del veicolo che precede, mentre in fase di accelerazione tale valore viene portato ad un suo annullamento fintantoché non viene raggiunta la velocità di crociera da mantenere e preimpostata dal conducente. I dati di input sono l'output del sensore RADAR (quindi i veicoli rilevati), la velocità del veicolo, la velocità preimpostata e l'*headway*². All'interno della centralina di controllo vengono effettuate una serie di operazioni che possono essere riassunte come segue:

1. In una prima fase vengono analizzati i dati ricevuti RADAR per individuare il veicolo (ovvero il *target vehicle*) di interesse per la valutazione della decisione da intraprendere;
2. Successivamente viene calcolata la distanza che deve essere mantenuta, attraverso i valori di velocità e *headway* preimpostati dal sensore dal conducente;
3. In seguito, avviene la vera e propria "fase di controllo" dove viene analizzata in maniera continuativa la velocità del veicolo e la distanza da quello che precede producendo, di conseguenza, una risposta che deve essere poi comunicata al *Longitudinal Control* riguardo l'azione che dev'essere intrapresa (accelerazione o decelerazione).

Longitudinal Control. Provvede ad organizzare ed attivare i sistemi attuatori del veicolo (motore e/o impianto frenante) per incrementare o ridurre la velocità.

Man-machine-interface. Ha la funzione di creare un canale di comunicazione tra il conducente e il sistema ACC attraverso un computer di bordo. La funzione principale di questa interfaccia è quella di permettere al guidatore di impostare la velocità di crociera del veicolo e l'*headway*₂ garantendo, quindi, un'elevata flessibilità di utilizzo del sistema ACC. Oltre a tale funzione, il dispositivo avvisa con segnale acustico e visivo, attraverso il computer di bordo, di possibili malfunzionamenti o anomalie del sistema che richiedono, di conseguenza, un pronto intervento da parte del conducente.

² L'*headway* rappresenta in questo caso la distanza che intercorre tra i paraurti anteriori di due veicoli che viaggiano consecutivamente; può essere misurata in termini temporali o spaziali (generalmente in secondi o in metri, rispettivamente).

2.5.2 Algoritmo di base

Di seguito viene riportato un algoritmo di base (in parte basato su quello pubblicato nello studio effettuato da Tak et al., 2013 [18]), che garantisce il funzionamento di un dispositivo ACC generico. Il procedimento analitico utilizza alcune variabili fondamentali per il corretto funzionamento di un sistema di *cruise control* adattivo: il valore di accelerazione/decelerazione del veicolo *follower* in funzione del leader, nonché informazioni sulle rispettive velocità dei veicoli. La risposta del sistema ACC può essere espressa attraverso un modello di *car-following* generalizzato (Figura 2.18): siano m ed $m+1$ due veicoli consecutivi che transitano lungo una stessa traiettoria (nella realtà sulla medesima corsia di marcia), l'accelerazione/decelerazione all'istante viene determinata in funzione della velocità relativa tra i due veicoli, a meno di una funzione di sensibilità, e con un certo ritardo Δt associabile ad una possibile latenza da parte del sistema nel fornire una risposta.



Figura 2.18 - Modello di car-following generalizzato. Fonte: [18]

$$a_m(t + \Delta t) = \vartheta[v_{m+1}(t) - v_m(t)]$$

Dall'equazione sopra riportata, è possibile determinare la risposta del sistema in merito ad una modificazione della velocità del veicolo che precede.

Ad esempio, come riportato in Figura 2.19, il veicolo follower durante la marcia è sottoposto a tre diverse fasi:

- accelerazione (1), dove avviene l'incremento della velocità;
- stasi (2), in cui la velocità rimane costante;
- decelerazione (3), dove il veicolo rallenta.

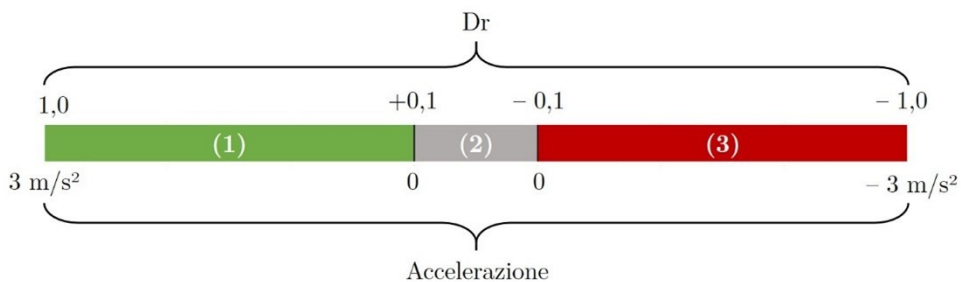


Figura 2.19 – Fasi di moto di un veicolo. Fonte: [18]

In Tak et al. (2013) [18] è stato fissato un valore massimo di accelerazione e di decelerazione di circa 3 m/s^2 , rispettivamente. L'algoritmo di funzionamento del *follower* può essere, di conseguenza, così espresso :

$$acc = a_{max} \cdot Dr \quad \text{se } -1 < Dr < -0,1 \text{ oppure se } +0,1 < Dr < +1,0$$

$$acc=0 \quad \text{se } -0,1 < Dr < +0,1$$

dove Dr rappresenta un indice di sicurezza in funzione della decelerazione che deve essere esercitata dal veicolo *follower* per evitare un tamponamento nell'istante t (ovvero $d_m(t)$). Il fattore Dr può essere così espresso:

$$Dr = \frac{a_m(t + \Delta t)}{|a_{\max,m}|}$$

$a_{\max,m}$ rappresenta, invece, la massima accelerazione/decelerazione che può essere esercitata dal veicolo *follower*. Attraverso questo rapporto, quindi, è possibile definire un'intensità di risposta da parte del sistema ACC (definito come incremento o diminuzione della velocità) diverso caso per caso, contribuendo a renderlo di gran lunga flessibile rispetto alle circostanze che si presentano. I valori di soglia di Dr definiscono le diverse fasi di moto precedentemente descritte. Si rende noto, inoltre, che tale algoritmo ha senso solo fino al momento in cui il veicolo raggiunge la velocità di crociera impostata dal guidatore: in tal caso viene mantenuta la velocità costante fintantoché non si presentino le condizioni per una successiva attivazione dell'algoritmo o il guidatore decida di modificare manualmente la velocità di viaggio.

2.5.3 Benefici

I benefici che si possono riscontrare dall'utilizzo del *cruise control* adattivo riguardano la riduzione delle perturbazioni all'interno del flusso veicolare nonché una considerevole diminuzione degli inquinanti emessi dai veicoli. In Figura 2.20 è riportato un confronto tra veicoli dotati di sistema ACC e non (L. C. Davis [19], 2004): supponendo di essere in condizioni di densità veicolare critica (0,04 veicoli/m), si osserva che a seguito di un improvviso rallentamento di un generico veicolo leader, quelli a guida manuale rispondono con una decelerazione (eccessiva) producendo, in questo modo, un accodamento di quasi 2 km.

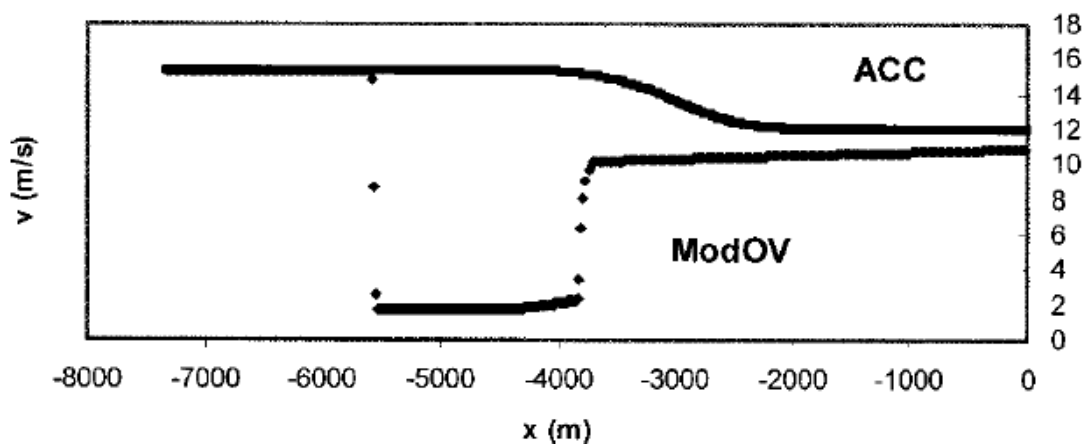


Figura 2.20 – Andamento della velocità per veicoli con e senza ACC. Fonte: [19]

I veicoli dotati di sistema ACC, invece, rispondono in maniera graduale alla perturbazione generata dal veicolo leader riducendo la velocità attraverso una fase di transizione lunga 2 km. Come dimostrato in Figura 2.21 (Marsden et al. [20], 2001), l'utilizzo dei dispositivi ACC garantisce un livellamento dei picchi di accelerazione e decelerazione, comportando, di conseguenza, una riduzione degli sforzi richiesti al motore per portare il veicolo alla velocità desiderata e, quindi, degli inquinanti emessi dal veicolo.

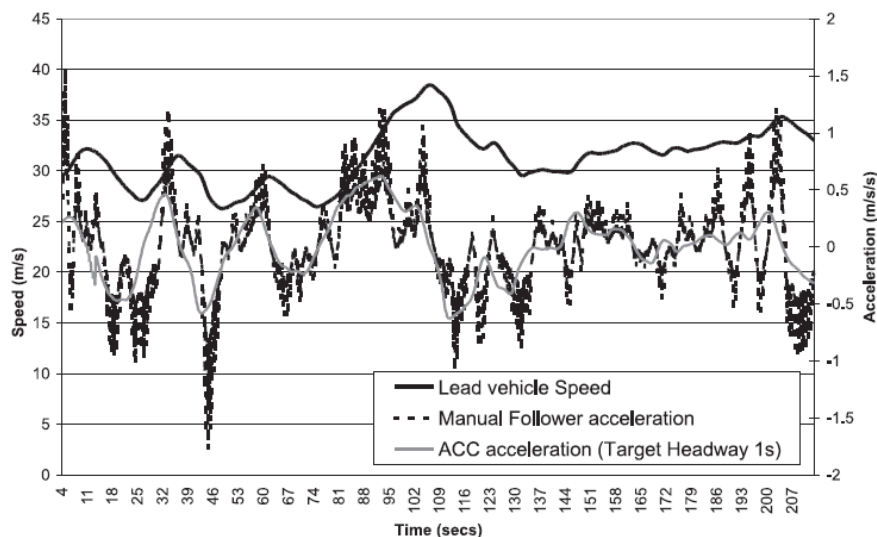


Figura 2.21 – Andamento delle accelerazioni per veicoli con e senza sistema ACC. Fonte: [20]

2.6 Sistemi di parcheggio assistito (PAS)

I *Parking Assist System* (PAS) sono sistemi che consentono al veicolo di effettuare autonomamente la manovra di parcheggio, senza intervento da parte del conducente.

In generale, tali dispositivi devono far fronte a tre principali problemi caratteristici delle manovre di parcheggio (Dafflon et al., 2012 [21]);

1. *Rilevamento di uno stallone libero*: questa fase può avvenire agevolmente attraverso uso di sensori ad ultrasuoni, LIDAR e/o videocamere;
2. *Traiettoria di manovra*: il percorso che deve seguire il veicolo viene valutato in funzione della posizione attuale del veicolo e di quella finale rappresentata dal target. Il punto di intersezione tra le due linee viene arrotondato con un arco (in Figura 2.22 di colore rosso) la cui curvatura dipende dall'angolo minimo di sterzo effettuabile dal veicolo.
3. *Percorrenza della traiettoria*: si tratta dello step in cui il sistema interviene rispetto all'accelerazione e allo sterzo del veicolo portandolo nella giusta posizione finale.

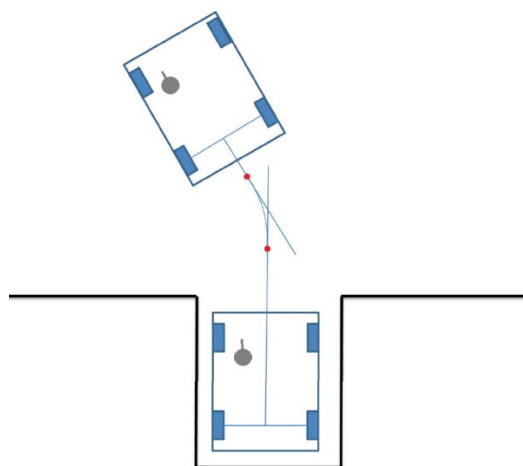


Figura 2.22 – Manovra autonoma di parcheggio del veicolo con sistema PAS. Fonte: [21]

2.6.1 Principio di funzionamento

Il modello proposto nello studio di Dafflon et al. [21] si basa sull'applicazione di sistemi multi-agente in cui il fattore caratterizzante è rappresentato dall'ambiente virtuale che circonda il veicolo e gli elementi che lo definiscono interagiscono fra loro in maniera casuale. Il processo può essere schematizzato come segue (Figura 2.23):

- *Percezione*: il sistema percepisce gli elementi presenti all'interno dell'ambiente virtuale nonché la posizione dello stallo;
- *Decisione*: attraverso modelli multi-agente il sistema individua i possibili ostacoli presenti attorno al veicolo e, sulla base di essi, valuta l'azione da intraprendere;
- *Azione*: in base a quanto risultato dal processo decisionale, il sistema comunica al veicolo quale azione intraprendere per eseguire la manovra di parcheggio.

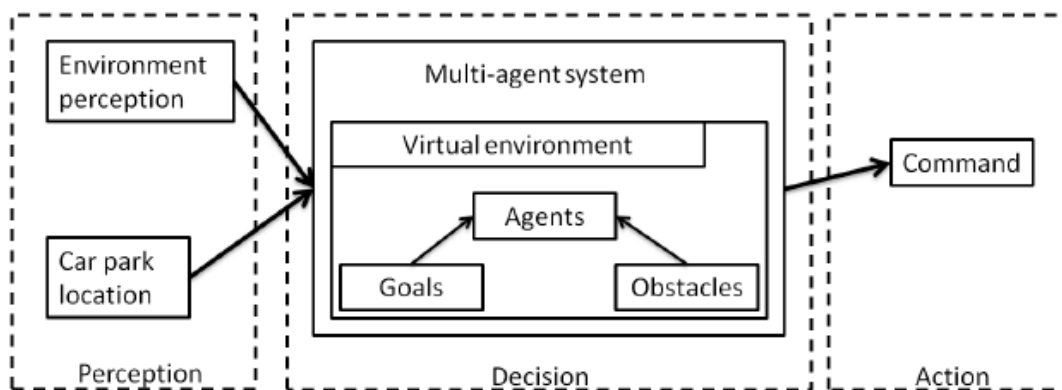


Figura 2.23 – Schema di funzionamento del sistema PAS analizzato. Fonte: [21]

Sistema multi-agente

Di seguito verranno analizzate in dettaglio le caratteristiche parametri che fanno parte di un sistema multi-agente utilizzato per dispositivi PAS.

Ambiente circostante. Come già accennato in precedenza, il contesto che circonda il veicolo influenza notevolmente le decisioni intraprese da sistema di parcheggio assistito (come attuare la manovra, livello di accelerazione o decelerazione fornita, angolo di sterzo applicato, etc...). Il sistema PAS ricostruisce il contesto attraverso la realizzazione di un ambiente virtuale composto da *ostacoli* (percepiti dai sensori), *obiettivi* (rappresentano i limiti dello spazio virtuale composto dallo stallo) e *agenti*.

Agenti. Gli agenti sono composti da piccole masse che gravitano attorno a dei campi di forza generati dagli ostacoli e dagli obiettivi stessi. Tali "particelle" sono caratterizzate da una massa m , da coordinate di posizione (p_x, p_y) e da un raggio del campo visivo I_R .

Modelli di interazione. In un sistema multi-agente esistono diversi modelli di interazione tra le diverse componenti.

- *Interazione agente - agente*: tale modello deriva dalla classica formula di repulsione Newtoniana $(1/d^2)$. In particolare considerando due agenti i e j , con masse m_i , ed m_j , e in posizione A_i e A_j , rispettivamente, la forza di interazione che si genera tra le due masse viene espressa (in forma vettoriale) come segue:

$$\overrightarrow{F(c)}_{ij} = m_i \cdot m_j \cdot \frac{\overrightarrow{A_i A_j}}{||\overrightarrow{A_i A_j}||^3}$$

dove $\overrightarrow{A_i A_j}$ rappresenta il vettore posizione e $||\overrightarrow{A_i A_j}||$ la norma euclidea del vettore posizione che definisce la distanza reale tra le due masse, che deve essere inferiore rispetto al raggio del campo visivo I_R . Per rendere il tutto più semplice, si assume che le masse dei due agenti siano uguali ($m_i = m_j = m$). Esprimendo l'espressione precedente in coordinate cartesiane si ottiene:

$$\begin{cases} F(c)_i^x = \sum_{i \neq j} \left(m^2 \cdot \frac{(x_i - x_j)}{((y_i - y_j)^2 + (x_i - x_j)^2)^{\frac{3}{2}}} \right) \\ F(c)_i^y = \sum_{i \neq j} \left(m^2 \cdot \frac{(y_i - y_j)}{((y_i - y_j)^2 + (x_i - x_j)^2)^{\frac{3}{2}}} \right) \end{cases}$$

- Interazione *agente- obiettivo*: questa viene espressa attraverso una funzione di attrazione lineare per il generico agente i :

$$\overrightarrow{F(c)}_i = \beta_d \cdot m \cdot \overrightarrow{A_i D_c}$$

con $\overrightarrow{A_i D_c}$ il vettore che individua la posizione dell'obiettivo rispetto all'agente i -esimo e β_d una costante di ottimizzazione.

- Interazione agente ostacolo: viene determinata in maniera analoga a quanto visto per il binomio agente - agente, di conseguenza la forza di interazione diventa:

$$\overrightarrow{F(o)}_i = m \cdot m_o \cdot \frac{\overrightarrow{O A_1}}{||\overrightarrow{O A_1}||^3}$$

dove $\overrightarrow{O A_1}$, rappresenta il vettore posizione e $||\overrightarrow{O A_1}||$ la norma euclidea del vettore posizione che definisce la distanza reale tra l'agente (con massa m) e l'ostacolo (con massa m_o) che deve essere inferiore, come nel caso precedente, rispetto al raggio del campo visivo I_R . In coordinate cartesiane si ottiene:

$$\begin{cases} F(o)_i^x = \sum_o \left(m \cdot m_o \cdot \frac{(x_i - x_o)}{((y_i - y_o)^2 + (x_i - x_o)^2)^{\frac{3}{2}}} \right) \\ F(o)_i^y = \sum_o \left(m \cdot m_o \cdot \frac{(y_i - y_o)}{((y_i - y_o)^2 + (x_i - x_o)^2)^{\frac{3}{2}}} \right) \end{cases}$$

Una volta determinate le forze di interazione tra gli elementi che definiscono l'ambiente virtuale, si procede con la definizione del vettore spostamento nell'istante t associato all'agente i -esimo:

$$\overrightarrow{Z}_i(t) = \overrightarrow{Z}_i(t-1) + [\overrightarrow{v}_i(t-1)\delta t + \frac{1}{2m} \cdot (\overrightarrow{F(c)}_i + \overrightarrow{F(d)}_i + \overrightarrow{F(o)}_i) \delta t^2]$$

dove $\vec{Z}_i(t - 1)$ è la posizione dell'agente i -esimo nell'istante precedente, \vec{v}_i rappresenta la velocità di spostamento dell'agente nell'intervallo δt ed m la sua massa.

Processo decisionale. La decisione intrapresa dal sistema PAS per effettuare la manovra di parcheggio viene definita attraverso il calcolo del vettore posizione della popolazione di agenti che attrae il veicolo verso una certa direzione (Figura 2.24),

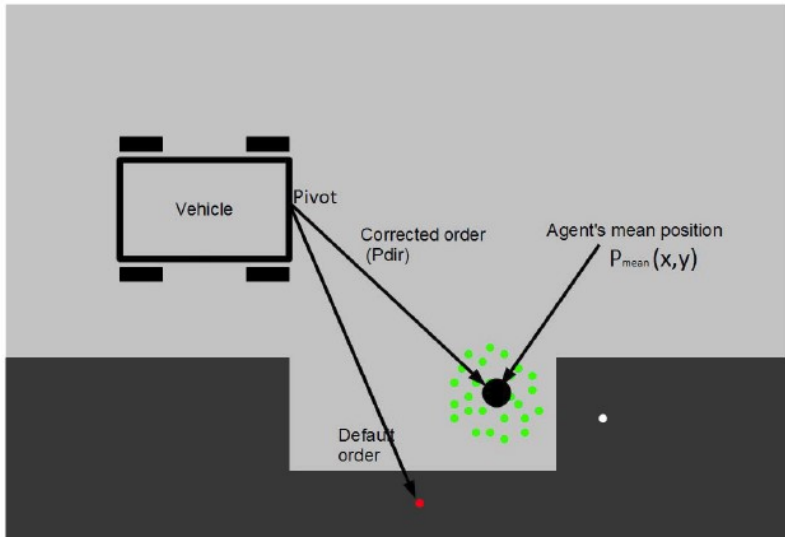


Figura 2.24 – Algoritmo per il calcolo del vettore posizione . Fonte: [21]

$$\overrightarrow{P_{dir}(x, y)} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \overrightarrow{P_i(x, y)}$$

con $\overrightarrow{P_{dir}(x, y)}$ il vettore posizione che determina la direzione del veicolo rispetto alla posizione del centroide $\overrightarrow{P_{mean}(x, y)}$, definita a sua volta come media delle posizioni $\overrightarrow{P_i(x, y)}$ dei singoli agenti. La manovra di parcheggio si ritiene conclusa quando le popolazioni di agenti circondanti i due obiettivi (rappresentanti i limiti dello stallo) risultano in equilibrio tra loro e, di conseguenza, il veicolo rimane fisso nella posizione finale.

2.6.2 Benefici

I sistemi di parcheggio assistito non contribuiscono in alcun modo ad una riduzione delle lesioni da incidente stradale, aspetto rilevante in questo elaborato, data la loro funzione di mero aiuto al parcheggio del veicolo.

Tuttavia, studi recenti hanno riscontrato che l'utilizzo di dispositivi PAS favorisce una riduzione dello stress nell'esecuzione del parcheggio. Lo studio di Reimer et al. (2010) [22] mostra il beneficio riscontrato dall'utilizzo di tali sistemi in merito alla riduzione della frequenza cardiaca del conducente durante la manovra con e senza l'utilizzo di tali dispositivi.

Il veicolo utilizzato è di tipologia berlina (Lincoln MKS, 2010) con dotazione di una serie di sensori anteriori e posteriori, retrocamera e sistema PAS. All'interno dell'abitacolo sono state inserite videocamere per il monitoraggio dello stato del conducente. Gli esperimenti coinvolgono dei partecipanti di tre differenti fasce di età (20-29, 40-49 e 60-69), con la patente da almeno tre anni e senza alcuna complicazione neurologica. I test sono svolti su strada urbana con tipologia di parcheggio "in linea" tra due veicoli *gonfiabili* (Figura 2.25).



Figura 2.25 – Scenario di riferimento per i test di parcheggio. Fonte: [22].

A ciascun partecipante è stato richiesto, attraverso selezione puramente casuale, di effettuare la manovra di parcheggio con o senza sistema di park assist.

I **risultati** dell'esperimento mostrano come l'utilizzo di dispositivi di assistenza alla manovra di parcheggio del veicolo contribuisca complessivamente ad una riduzione dello stress, in termini di frequenza cardiaca (Figura 2.26).

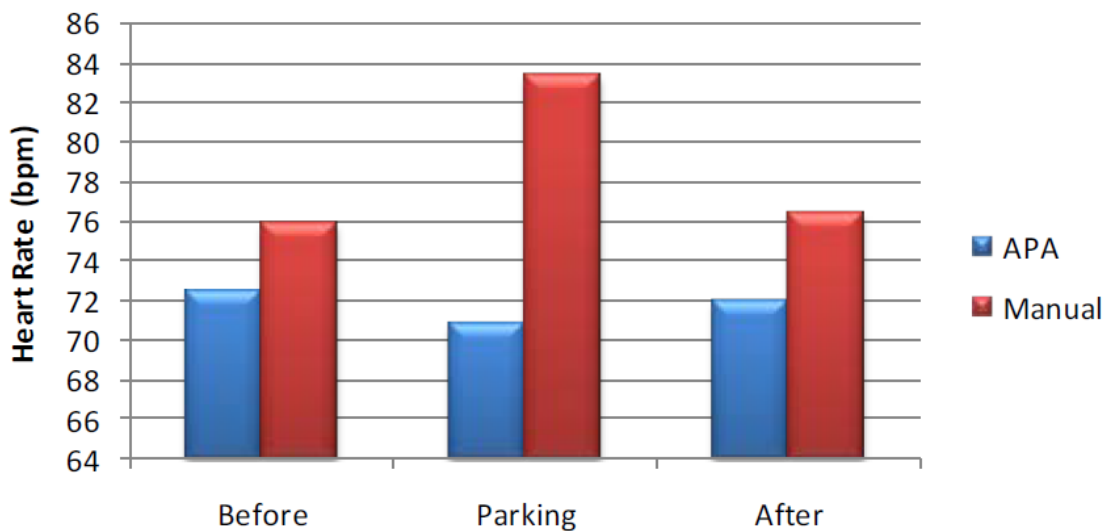


Figura 2.26 - Frequenza cardiaca rilevata prima, durante, e dopo la manovra condotta sistema di park assist. Fonte: [22]

Pur rilevando una riduzione della frequenza cardiaca in tutti e tre i casi analizzati (immediatamente prima, durante e subito dopo la manovra), si osserva che la diminuzione più consistente si ha nel momento in cui il conducente "sta effettuando" il parcheggio del veicolo (all'incirca-12 bpm rispetto alla manovra manuale). L'utilizzo del PAS contribuisce quindi ad una riduzione dello stress dovuto ad una serie di fattori (misurazione approssimata dello stallo, possibili veicoli sopraggiungenti, scarsa familiarità con il veicolo, etc.), e riduce, peraltro, la possibile formazione di stati di panico del guidatore che potrebbero condurre ad un'esecuzione errata della manovra di parcheggio.

2.7 Sistema di monitoraggio dell'angolo cieco (BSD)

I sistemi BSD (*Blind Spot Detection*) sono dispositivi che assistono il guidatore durante il cambio di corsia, avvisando la presenza di possibili veicoli sopraggiungenti e nascosti agli occhi del conducente: per tal ragione spesso vengono soprannominati "sistemi di rilevamento per angoli ciechi". Il sistema è generalmente, costituito da una videocamera

posizionata al di sotto dello specchio retrovisore laterale che invia le immagini al sistema per valutare la presenza o meno di un veicolo che sta transitando nella corsia adiacente. In generale, l'attivazione del dispositivo di *Blind Spot Detection* avviene nel momento in cui il guidatore aziona l'indicatore di direzione.



Figura 2.27 – Sistema BSD. Fonte: Subaru.

2.7.1 Principio di funzionamento e benefici

Come accennato, il sistema si basa sui dati raccolti da una videocamera posizionata in corrispondenza dello specchio retrovisore laterale, i quali vengono poi "depurati" attraverso l'algoritmo di Canny (§1.2.1) che estrapola gli elementi (i contorni) di interesse per l'unità di controllo (centralina di sistema). A seguire viene effettuata un'attività di raggruppamento dei *pixel* di interesse, ovvero quelli che identificano un potenziale veicolo sopraggiungente (*target*), e sulla base di questi viene determinata la distanza. In funzione di questa viene poi emesso un avviso audio/video all'interno dell'abitacolo per avvisare il conducente intenzionato ad eseguire il cambio di corsia che il veicolo *target* si trova ad una distanza troppo ridotta per effettuare la manovra in sicurezza.

L'avviso può avvenire in due modalità (Bartels et al., 2016 [9]):

- *1° livello* - al guidatore vengono mostrati tutti i potenziali veicoli che potrebbero diventare un pericolo nel caso di un cambio corsia, anche se egli stesso non è intenzionato ad effettuare la manovra. Questo, a lungo andare, potrebbe diventare un fattore di irritazione nonché di distrazione per il conducente, che sarà indotto a disattivare il sistema.
- *2° livello* - la funzione è la medesima del 1° livello ma con attivazione solo nel momento in cui il guidatore è effettivamente intenzionato ad effettuare la manovra. Questa consapevolezza da parte del sistema avviene nel momento in cui il conducente attiva l'indicatore direzionale.

La funzione di avviso di 2° livello, come è facile pensare, fornisce un'informazione più efficiente e "scremata" ai soli casi necessari di un avvertimento al guidatore, ovvero quando questo è intenzionato ad effettuare il cambio corsia. L'utilizzo di questi dispositivi garantirebbe un beneficio in termini di riduzione dell'incidentalità tra auto del 1,7% (Kuehn et al., 2016 [23]).

2.8 Sistemi di illuminazione adattiva (AFS)

Gli *Adaptive Front-lighting System* (AFS) sono sistemi che contribuiscono ad un aumento della visibilità notturna incrementando la capacità luminosa dei fari del veicolo.

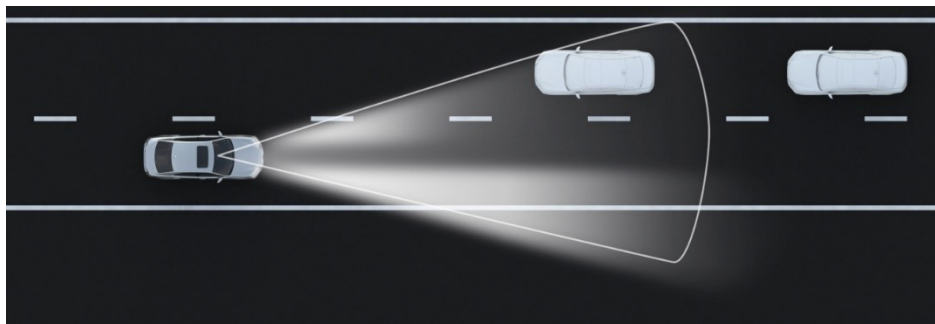


Figura 2.28 – Esempificazione di un sistema AFS . Fonte: Lexus Intelligent High Beam

I proiettori adattivi abbinano un sistema di telecamere con fonti luminose e un'ottica precisa per una distribuzione della luce altamente adattiva. I veicoli che viaggiano in senso contrario e che precedono vengono oscurati, pur mantenendo tutte le altre zone in mezzo e vicine completamente illuminate. Quando il sistema percepisce la presenza di veicoli che provengono in direzione opposta, abbassa una porzione del fascio luminoso per non accecare altri guidatori, mantenendo però gli abbaglianti attivati nel resto del campo visivo di chi guarda. La stessa cosa accade con i segnali stradali, i cui fastidiosi riflessi vengono evitati riducendo l'intensità della luce che li colpisce. La distinzione tra anabbaglianti convenzionali e abbaglianti viene eliminata.

L'utilizzo di proiettori anabbaglianti fissi assicura, in relazione alla diversa tipologia di ostacolo intercettato, fasci di luce di lunghezza compresa tra 40-90 m per lampade Xenon e 30-65 m per fari alogeni influenzando direttamente la distanza di arresto del veicolo (Khanh (2016) [24]): ad esempio, sulla base di queste informazioni, l'arresto sicuro di un veicolo può avvenire fino a velocità di circa 70 km/h veicolo monta proiettori con lampade alogene, mentre fino a circa 90 km se utilizza fari Xenon (Figura 2.28). Questi valori sono verosimili se la pavimentazione è asciutta, se è bagnata le distanze devono essere incrementate come riportato nel diagramma. Diventa, quindi, necessario l'utilizzo di sistemi AFS per incrementare la lunghezza del fascio di luce, così da poter ampliare la distanza di arresto in sicurezza del veicolo.

How long it takes to stop (driving an average family car)

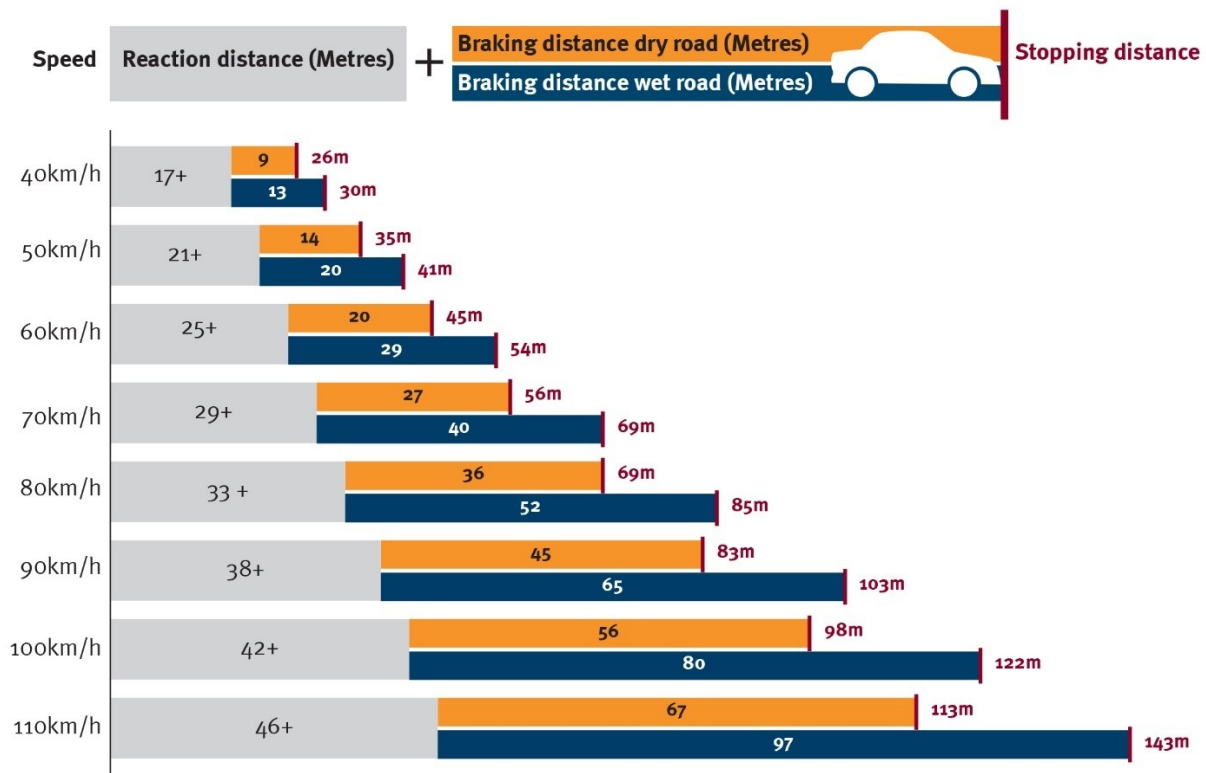


Figura 2.28 – Distanza di arresto in sicurezza. Fonte: Queensland Government.

2.8.1 Principio di funzionamento

Si propone di seguito lo studio condotto da Rong et al. (2009) [25] che valuta il funzionamento di un generico sistema AFS costruito su tre livelli: raccolta dati, decisione ed esecuzione (Figura 2.29). Nella prima fase vengono raggruppati tutti i dati provenienti dai diversi sensori presenti all'interno del veicolo, che definiscono informazioni riguardanti l'angolo di sterzo, la velocità e l'inclinazione. Nel livello intermedio, invece, vengono valutati i dati derivanti dai sensori definendo un'azione (attraverso modello cinematico in due gradi di libertà) oppure mantenendo invariata l'angolazione del fascio di luce emesso. Sempre all'interno del livello decisionale, viene implementato un metodo di gestione ed eliminazione degli errori che si verificano durante la fase di raccolta dati e che ha l'obiettivo di ridurre al minimo la probabilità che si verifichino azioni scorrette da parte dell'elemento attuatore. Nell'ultimo step, è presente l'unità attuatrice che trasforma i parametri di output del precedente livello in azioni reali.

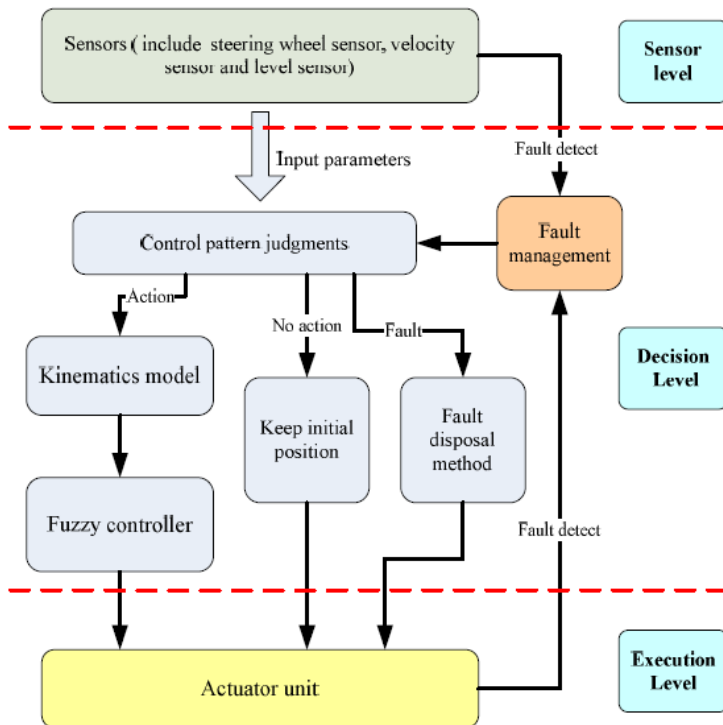


Figura 2.29 – Base di funzionamento di un sistema AFS. Fonte: [25]

Modello cinematico

L'analisi prodotta da Rong et al. (2009) [25] propone, per la determinazione di un'azione, l'utilizzo di un modello cinematico che agisce rispetto a due gradi di libertà, valutando separatamente la posizione del fascio di luce emesso dai fari rispetto ad un piano orizzontale e uno verticale (Figura 2.30).

Cinematica orizzontale. Nel piano orizzontale, l'angolo di rotazione dell'asse della luce anabbagliante viene determinato in funzione dell'angolo di sterzo impresso attraverso il volante.

Cinematica verticale. Nel piano verticale, invece, l'angolo di rotazione dell'asse della luce anabbagliante dipende dall'inclinazione longitudinale del veicolo.

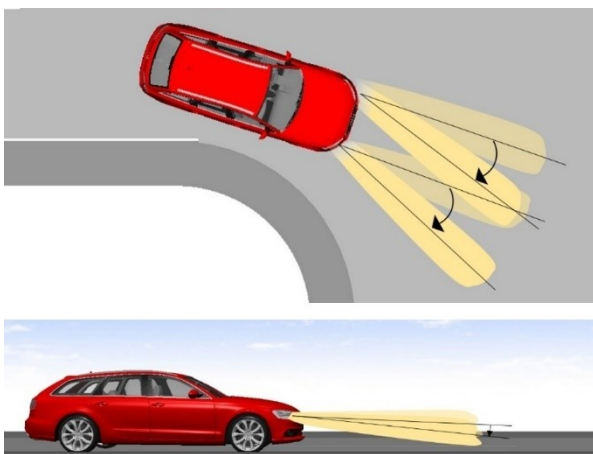


Figura 2.30 – Spostamento orizzontale (in alto) e verticale (in basso) del fascio di luce emesso a seconda dell'inclinazione dello sterzo e del veicolo . Fonte: [25]

2.8.2 Benefici

Come anticipato ad inizio paragrafo, l'utilizzo dei sistemi AFS contribuisce ad aumentare la visibilità del tracciato stradale nonché di ciò che lo circonda. Il caso studio condotto da Neumann (2004) [26] analizza il beneficio riscontrato dall'utilizzo di proiettori fissi rispetto a quelli adattivi oggetto di analisi.

L'esperimento vede la collaborazione di soggetti di età compresa tra i 26 ei 55 anni (maschi e femmine) che sono invitati a percorrere un circuito con un veicolo dotato di sistema AFS e fari alogeni per circa 25 minuti.

Lungo il percorso sono disposti, altresì, ostacoli classificati in base alla difficoltà di individuazione. I candidati, inoltre, dovranno comunicare, attraverso pigiatura di un apposito pulsante posto all'interno del veicolo, l'eventuale identificazione dell'ostacolo lungo il tracciato. I partecipanti eseguiranno il percorso numerose volte per evidenziare un possibile beneficio nell'utilizzo del dispositivo AFS. Nella Figura 2.31 è riportata la percentuale di target individuati con utilizzo o meno di AFS: si osserva che per tutti gli ostacoli, il tasso di intercettazione risulta più elevato con l'utilizzo dei proiettori adattivi, inoltre, con l'aumentare del grado di difficoltà, la differenza tra l'utilizzo o meno di vetture dotate di sistema AFS diventa più marcata.

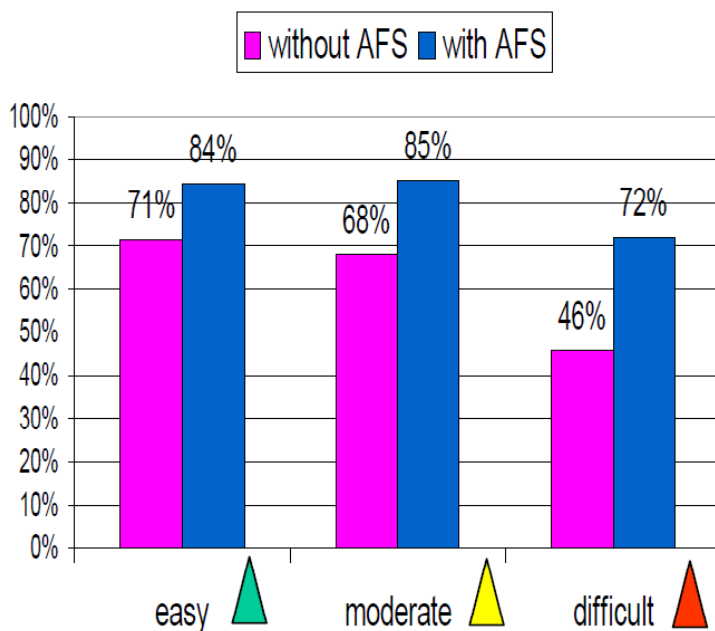


Figura 2.31 – Percentuale di ostacoli individuati in funzione del grado di difficoltà di individuazione con veicoli dotati o meno di AFS. Fonte: [26]

Lo studio sperimentale ha dimostrato chiaramente che il sistema AFS aumenta notevolmente la visibilità notturna, soprattutto nelle strade con curve.

In Tabella 1.10 è riportato l'incremento di visibilità misurato dallo studio con l'utilizzo di fari Xenon fissi e di proiettori con luce Xenon o alogena con funzione AFS (i riflettori alogeni fissi sono presi come riferimento per il confronto con gli altri): è indubbia l'efficacia del sistema di illuminazione adattiva, con un incremento del 55% con l'utilizzo di luce alogena e del 68% con lampade Xenon.

Tipologia	% di incremento di visibilità
Fissi Alogeni	-
Fissi Xenon	+ 23%
AFS Alogeni	+55%
AFS Xenon	+ 68%

Tabella 1.10 – Percentuale di incremento di visibilità con e senza AFS. Fonte: [26]

3 VALUTAZIONE DEI SISTEMI ADAS

L'Euro NCAP è un'associazione sostenuta dall'Unione Europea e dalle maggiori aziende automobilistiche, che effettua periodicamente test sui veicoli per analizzare e valutare i sistemi di sicurezza passiva e attiva presenti all'interno degli stessi. Di seguito si riportano le modalità con cui vengono testati alcuni dei sistemi ADAS precedentemente descritti.

3.1 Frenata automatica di emergenza (AEB)

I sistemi AEB funzionano diversamente in relazione al contesto in cui si verifica il pericolo (urbano o extraurbano) e in relazione alla tipologia del pericolo (collisione con veicolo, pedone o ciclista), e per tale motivo l'Euro NCAP effettua test diversificati per ciascuna situazione.

3.1.1 AEB Car-to-Car

In Europa gli incidenti più frequenti sono da riferirsi ai tamponamenti in cui le lesioni riportate dagli occupanti del veicolo urtato spesso risultano invalidanti (tipicamente si tratta di colpo di frusta). I sistemi AEB rilevano la possibilità di un'imminente collisione, intervenendo con la frenata di emergenza e fornendo un messaggio acustico (FCW , *Forward Collision Warning*) al guidatore prima della sua attivazione. Di seguito si riporta la composizione del test eseguito da Euro NCAP per gli AEB.

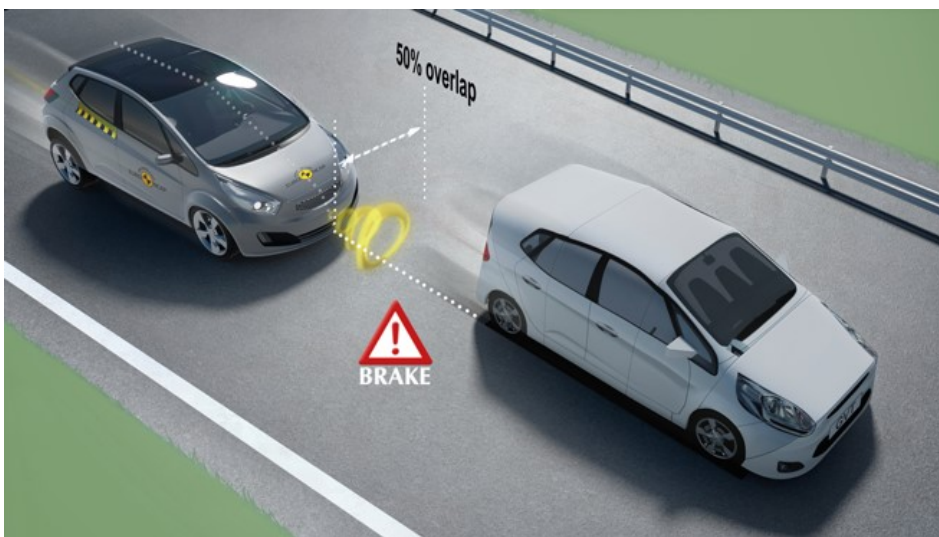


Figura 2.32 – Test AEB Euro NCAP con veicoli disassati. Fonte: Euro NCAP

Si riporta nel seguito il test descrittivo della prova così come riportato nel test Euro NCAP AEB Car-to-Car :

Vengono testati tre diversi scenari per un'auto che si avvicina alla parte posteriore di un altro veicolo: avvicinamento a un veicolo che si è fermato, avvicinamento a un veicolo che procede ad una velocità inferiore a quella del veicolo di prova, e guida dietro a un veicolo che rallenta, sia bruscamente che dolcemente, a distanze diverse dall'auto di prova. Nei primi due casi (veicolo fermo e in movimento a bassa velocità), i test vengono ripetuti per i disassamenti a sinistra e a destra, dove la linea centrale del veicolo di prova non è in linea con quella dell'altro veicolo. Poiché in questi test disassati i sensori della vettura testata sono in grado di "vedere" la parte laterale dell'altro veicolo, è stato sviluppato uno speciale target 3D controllato a distanza, noto come Global Vehicle Target (GVT). Per questi test, viene assegnato un punteggio elevato ai sistemi in grado di evitare la collisione in tutte le condizioni di prova o di ridurre in modo

significativo la gravità dell'incidente. [...] A velocità basse, i test contro un veicolo fermo considerano solo la parte "autofrenante" del sistema: il lasso di tempo è troppo breve perché l'avvertimento al conducente sia efficace. A partire dal 2020 si aggiunge un ulteriore scenario. Il veicolo di prova svolta (ad esempio, in una laterale) incrociando il percorso di un veicolo in avvicinamento. Le velocità del veicolo di prova e di quello in avvicinamento sono diverse; si assegnano punti per l'efficacia con cui il sistema AEB rileva il pericolo in arrivo e arresta il veicolo di prova in tempo. [Fonte: EuroNCAP.com]

3.1.2 AEB Ciclisti

Il rilevamento dei ciclisti da parte dei sistemi AEB risulta più difficoltoso visto il ridotto ingombro che hanno rispetto ai veicoli. Inoltre, i ciclisti possiedono una velocità di spostamento sensibilmente maggiore rispetto ai pedoni, e questo inficia negativamente sulla capacità di rilevamento e di risposta da parte del sistema. È necessario, quindi, dotare il sistema AEB di sensori con ampi campi di visibilità e con tempi di reazione più bassi possibile.

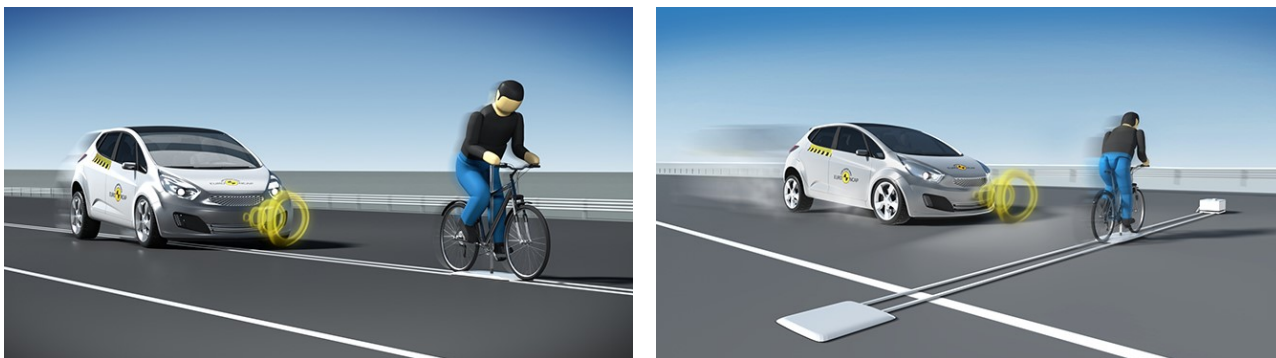


Figura 2.33 - Scenari test Euro NCAP per AEB ciclisti. Fonte: Euro NCAP

Si riporta nel seguito il test descrittivo della prova così come riportato nel test Euro NCAP AEB Ciclisti:

Per il rilevamento dei ciclisti, Euro NCAP testa due scenari: uno in cui il ciclista attraversa la traiettoria del veicolo e uno in cui il ciclista si sposta nella stessa direzione della vettura. Entrambi gli scenari riproducono situazioni tipiche in cui potrebbero verificarsi incidenti mortali che coinvolgono i conducenti dei mezzi a due ruote. Per le prove si utilizza un target che riproduce un ciclista. Su una piattaforma mobile è montata una bicicletta e il ciclista "dummy" è articolato in modo che sia realistico... Euro NCAP assegna un punteggio maggiore ai veicoli che riescono ad evitare del tutto la collisione. In alcuni casi il sistema AEB non è in grado di arrestare completamente il veicolo. Alcuni punti vengono quindi assegnati considerando che la riduzione della velocità di impatto può ridurre la gravità delle lesioni.

[Fonte: EuroNCAP.com]

3.1.3 AEB Pedoni

Quanto detto nel precedente paragrafo per i ciclisti può essere utilizzato anche per i pedoni: l'unica differenza è che il pedone si sposta ad una velocità generalmente più bassa rispetto ad un ciclista.

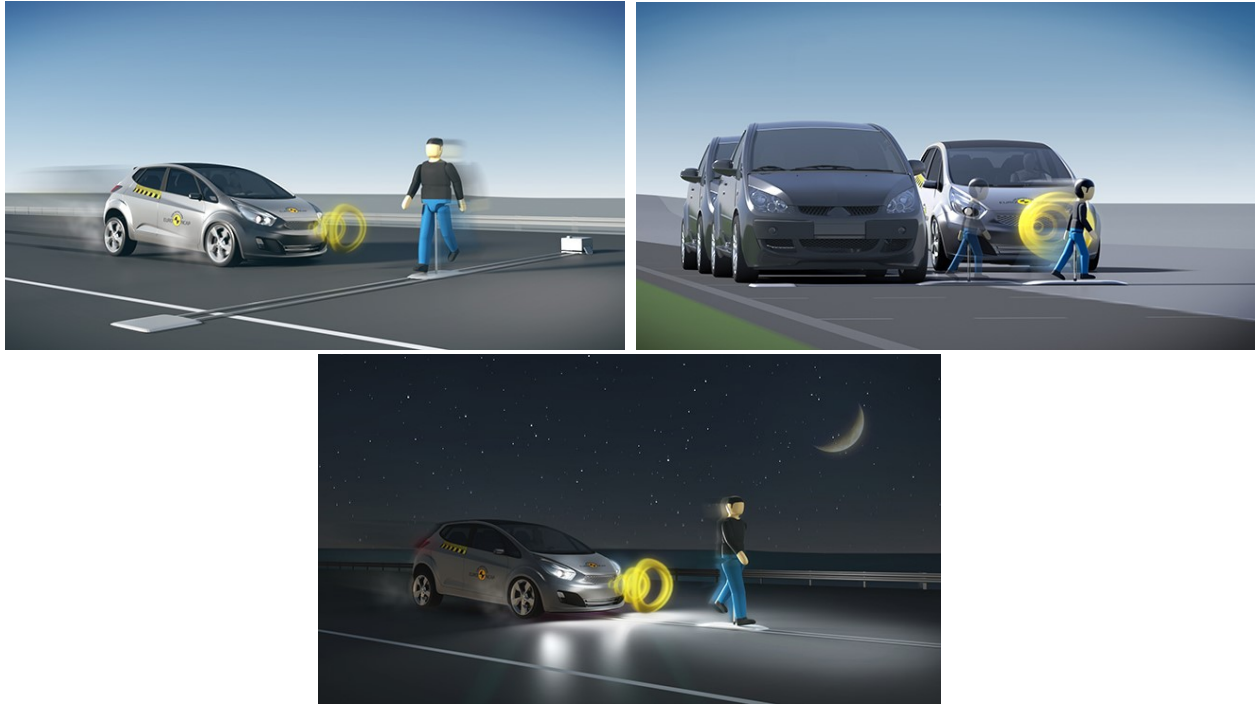


Figura 2.34 - Scenari test Euro NCAP per AEB pedoni. Fonte: Euro NCAP

Si riporta nel seguito il test descrittivo della prova così come riportato nel test Euro NCAP AEB Pedoni:

Per il rilevamento dei pedoni, Euro NCAP effettua le prove utilizzando tre scenari in cui il pedone incrocia la traiettoria della vettura testata, e uno scenario in cui il pedone cammina nella stessa direzione del veicolo. Questi scenari rappresentano situazioni critiche che nella guida reale possono causare lesioni mortali al pedone, a meno che l'auto non intervenga per prevenire o mitigare la collisione. Gli scenari di attraversamento sono i seguenti: un pedone adulto invade la corsia di marcia provenendo dal lato del conducente; un pedone adulto attraversa la corsia di marcia provenendo dal lato passeggero (con impatto che avviene sul lato destro o sinistro del cofano) e un bambino esce all'improvviso dietro un'auto in sosta sul lato passeggero. Lo scenario longitudinale prevede due test: uno con il pedone allineato alla vettura e l'altro con il pedone che cammina lateralmente lungo la strada. Il test longitudinale e uno dei test di attraversamento vengono ripetuti in condizioni di bassa luminosità, poiché è in questa circostanza che si verificano molti degli incidenti che coinvolgono i pedoni. Si utilizza un target specificamente progettato, con estremità articolate che simulano la camminata di un essere umano. Si presume che i veicoli che dimostrano buone prestazioni siano in grado di evitare collisioni mortali in condizioni di guida reale. In alcuni casi, la tecnologia AEB per i pedoni può non essere in grado di evitare del tutto la collisione. Per questa ragione, Euro NCAP premia la tecnologia adottata solo se le prove di impatto con i pedoni dimostrano che il veicolo ha un design anteriore che riduce la gravità delle lesioni all'impatto. [Fonte EuroNCAP.com]

3.2 Sistema di mantenimento della corsia (LKA)

Il sistema di mantenimento della corsia LKA (*Lane Keep Assist*) viene testato da Euro NCAP attraverso una serie di prove su pista. Il funzionamento viene analizzato in base alla distanza che il veicolo mantiene rispetto alla linea di demarcazione di corsia (continua oppure tratteggiata) e, in mancanza della stessa, rispetto al bordo strada. Un punteggio più elevato viene assegnato ai veicoli che sono dotati anche di sistema di avviso d'avvicinamento alla linea di corsia LDW (*Lane Departure Warning*).

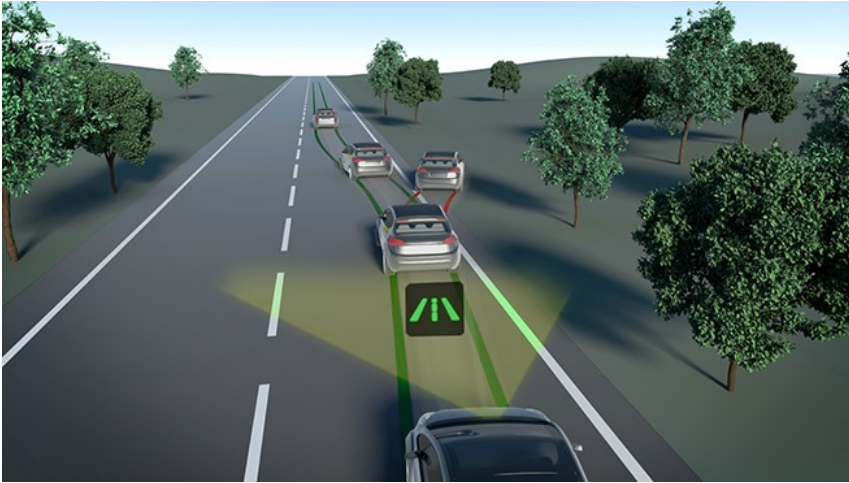


Figura 2.35 – Test Euro NCAP per sistema LKA. Fonte: Euro NCAP

3.3 Limitatori di velocità

I limitatori di velocità vengono valutati da Euro NCAP in relazione a tre diversi aspetti:

- informazioni fornite al conducente in merito limite di velocità;
- avviso (visivo e/o acustico) al conducente in relazione alla velocità superiore al limite di legge;
- capacità del sistema superare il limite di velocità o di mantenere la velocità inferiore impedire al guidatore di limite.



Figura 2.36 – Test Euro NCAP per sistemi ISA. Fonte: Euro NCAP

I sistemi più avanzati, ossia il limitatore di velocità e il Cruise Control adattivo (ACC), combinano tutte queste funzioni e permettono di impostare la velocità semplicemente confermando il limite di velocità rilevato e mostrato dal veicolo in base al riconoscimento della segnaletica verticale o grazie alle informazioni ottenute da una navigazione satellitare. Il sistema dovrebbe essere progettato in modo da non distrarre inutilmente il conducente. In più, il conducente è avvisato se il veicolo non è in grado di regolare la velocità rispetto al massimo valore impostato. I test sui sistemi che controllano attivamente la velocità sono volti ad accertare che il sistema funzioni adeguatamente.

[Fonte: EuroNCAP.com]

3.4 Controllo elettronico di stabilità (ESC)

Come anticipato , il controllo elettronico della stabilità (ESC) è una tecnologia che evita il fenomeno di deriva del veicolo in condizioni particolari, agendo sulla coppia erogata dal motore alle ruote motrici e sull'azione frenante fornita a ciascuna ruota.

Le prove vengono eseguite a 80 km/h con improvvisa rotazione delle ruote fino a 270 gradi. Si valutano lo spostamento laterale, la stabilità e la capacità del veicolo di seguire un percorso dritto. Nel 2014 l'adozione di sistemi ESC è diventata obbligatoria per tutte le nuove vetture e pertanto Euro NCAP non valuta più questi sistemi. [Fonte: EuroNCAP.com]

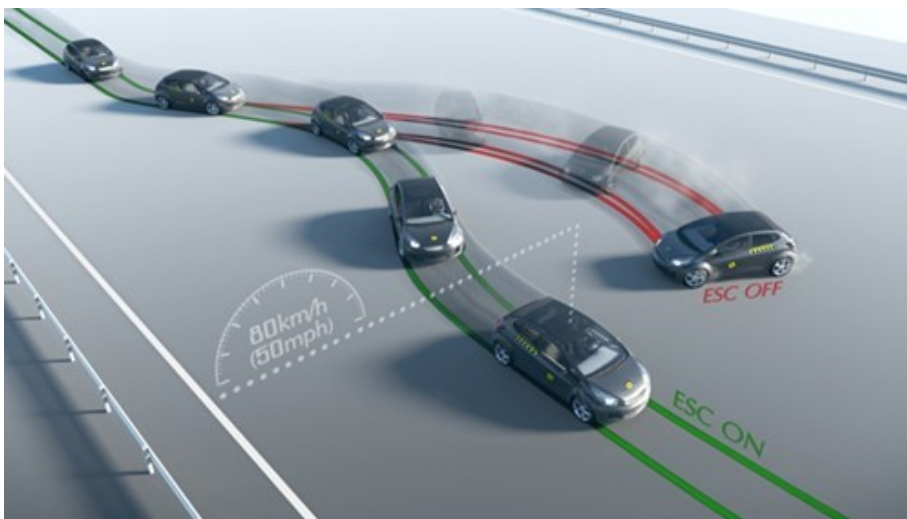


Figura 2.37 – Test Euro NCAP per sistema ESC .

4 ELEMENTI CONCLUSIVI

A conclusione di questo lavoro, si evidenzia come l'utilizzo dei dispositivi ADAS descritti fin qui contribuisca a diminuire l'incidentalità e, di conseguenza, le lesioni occorse in seguito al sinistro.

L'adozione dei sistemi **LDW/LKA** contribuisce a ridurre il numero di incidenti soprattutto lungo le infrastrutture di grande comunicazione, quali autostrade e strade extraurbane principali, dove la segnaletica, in generale, è ben visibile e la larghezza di banchina (nella maggior parte dei casi costituita dalla corsia di emergenza) ha dimensioni generose. Lungo le strade urbane, invece, il funzionamento di tali sistemi spesso risulta compromesso, poiché la segnaletica tende ad interrompersi frequentemente e, nella maggior parte dei casi, risulta consunta e deteriorata. Lungo le strade extraurbane secondarie tali dispositivi possono produrre gli stessi benefici elencati in precedenza per le strade di tipo A (autostrada) e B (extraurbana principale), con l'unica differenza riguardante la geometria stradale, che tende ad assomigliare a quella presente in ambito urbano, quindi con larghezze di banchina ridotte e con la presenza a lato corsia di numerosi accessi per passi carrai o intersezioni: in tal caso il sistema sarebbe soggetto ad un quantitativo considerevole di attivazioni e disattivazioni che potrebbero confondere il conducente sul reale funzionamento dello stesso.

Per quanto riguarda l'utilizzo del sistema di riconoscimento della segnaletica stradale (**TSR/ISA**), risulta efficace quando questo produce un obbligo, nei confronti del guidatore, di inibizione della possibilità di superamento del limite di legge imposto dalla segnaletica stradale. Quando tale dispositivo produce solo un avviso attraverso computer di bordo, spesso e volentieri viene completamente ignorato dall'automobilista non intenzionato a ridurre la propria velocità di marcia. L'adozione all'interno dei veicoli dei dispositivi di monitoraggio dello stato del conducente (**DSM**) contribuirebbe fortemente alla riduzione degli incidenti dovuti a fenomeni di "colpi di sonno", distrazione o di malore alla guida.

Per quanto concerne i sistemi di *cruise control adattivo* (**ACC**), il loro utilizzo contribuisce a mantenere la distanza dal veicolo che precede e ad evitare eccessive decelerazioni ed accelerazioni quando subentrano perturbazioni (altri veicoli, etc) all'interno della corrente di traffico. L'utilizzo di tale sistema, pertanto, risulta ottimale, se non prevalente, lungo le arterie autostradali, o comunque in tracciati dove le intersezioni sono regolate esclusivamente da manovre di immissione e diversione dal flusso principale, che riducono al minimo le perturbazioni generale dall'ingresso dei veicoli nel flusso. L'algoritmo presentato nel §2.4 imponeva una decelerazione massima di 3 m/s^2 che comporta una forte limitazione del *cruise control adattivo* in quanto, nel momento in cui un veicolo che precede frena energicamente, esso si disattiva, lasciando al conducente l'azionamento dell'impianto frenante o, in alternativa, attivando l'AEB. Onde evitare situazioni critiche, risulta quindi più cautelativo incrementare il valore di decelerazione esigibile dal sistema attraverso interazione con l'impianto frenante, così da garantire un rallentamento congruo alla perturbazione generatasi.

L'adozione dei sistemi di parcheggio assistito (**PAS**), invece, non produce una riduzione dell'incidentalità o delle lesioni da sinistro stradale, ma garantisce un considerevole aiuto nell'effettuazione di tutte quelle manovre volte al parcheggio del veicolo, riduce sensibilmente l'ansia del conducente e produce verosimilmente effetti positivi alla guida.

BIBLIOGRAFIA

- [1]. Dante Bigi, "La sicurezza passiva dell'autoveicolo", 2^a ed. (2008), Egaf
- [2]. Karl-Heinz Dietsche, Konrad Reif & eds, "Automotive Handbook" 10^a ed. (2018), Wiley/Bosch
- [3]. Reif K. (2014), "Brakes, Brake Control and Driver Assistance Systems. Bosch Professional Automotive Information". Springer Vieweg, Wiesbaden DOI: 10.1007/978-3-658-03978-3
- [4]. David Burton, Amanda Delaney, Stuart Newstead, David Logan, Brian Fildes, "Effectiveness of ABS and Vehicle Stability Control Systems", RACV Research Report No 04/01 (2004)
- [5]. Dongsheng Wu, Jun Li, Xiaoping Shu, Xiaojing Zha, Beili Xu. "Test Analysis and Theoretical Calculation on Braking Distance of Automobile with ABS", CCTA 2010, Part IV, IFIP AICT 347, pp. 521-527, International Federation for Information Processing IFIP (2011)
- [6]. Andere Lie, Claes Tingvall, Maria Krafft, Anders Kullgren (2005) "THE EFFECTIVENESS OF ESC (ELECTRONIC STABILITY CONTROL) IN REDUCING REAL LIFE CRASHES AND INJURIES", 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles Conference (ESV), Paper number 05-0135
- [7]. Anna Vadeby, Mata Wiklund, Sonja Forward (2011) "Car drivers' perceptions of electronic stability control (ESC) systems", Accident Analysis and Prevention 43, 706-713, DOI:10.1016/j.aap.2010.10.015
- [8]. Jeonghoon Song, Kwangwuck Boo, "Performance evaluation of traction control systems using a vehicle dynamic model", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D. Journal of Automobile Engineering (2004), Institution of Mechanical Engineers, DOI: 10.1234/0954407041580094
- [9]. A. Bartels, M. Rohlf, S. Hamel, F. Saust, L. K. Klauske (2016) "Lateral Guidance Assistance". In Winner H., Hakuli S., Lotz F., Singer C. (eds) Handbook of Driver Assistance Systems. Springer, Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-319-12352-3_49
- [10]. Lun Hui Xu, San Gen Hu, Qiang Luo (2015) "A New Lane Departure Warning Algorithm Considering the Driver's Behavior Characteristics", Hindawi Publishing Corporation. Mathematical Problems in Engineering Volume 2015, Article ID 412126, 11 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2015/412126>
- [11]. John M. Scanlon, Kristofer D. Kusano, Hampton C. Gabler (2016) "Lane Departure Warning and Prevention Systems in the US. Vehicle Fleet. Influence of Roadway Characteristics on Potential Safety Benefits". Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2559, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2016, pp. 17-23. DOI: 10.3141/2559-03
- [12]. Marcin L. Eichner, Toby P. Breckon (2008) "Integrated Speed Limit Detection and Recognition from Real Time Video", Cranfield University, UK
- [13]. R. Driscoll, Y. Page, S. Lassarre, J. Ehrlich (2007) "LAVIA - AN EVALUATION OF THE POTENTIAL SAFETY BENEFITS OF THE FRENCH INTELLIGENT SPEED ADAPTATION PROJECT", 51st Annual Proceedings Association For The Advancement Of Automotive Medicine
- [14]. I. Langer, B. Abendroth, R. Bruder (2016) "Driver Condition Detection". In: Winner H., Hakuli S., Lotz F., Singer C. (eds) Handbook of Driver Assistance Systems. Springer, Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-319-12352-3_38
- [15]. Grace Wusk, Hampton Gabler (2018) "Non-Invasive Detection of Respiration and Heart Rate with a Vehicle Seat Sensor", MDPI Sensors 2018, 18, 1463; DOI:10.3390/s18051463

- [16]. Michael Ardelt, Peter Waldmann, Florian Homm, Nico Kaempchen (2010) "Strategic Decision-Making Process in Advanced Driver Assistance Systems", 6th IFAC Symposium Advances in Automotive Control, 10.3182/20100712-3-DE-2013.00006
- [17]. Hermann Winner, Stefan Witte, Werner Uhler and Bernd Lichtenberg (1996) "Adaptive Cruise Control System Aspects and Development Trends", SAE Transactions, Vol. 105, Section 6: JOURNAL OF PASSENGER CARS (1996), pp. 1412-1421
- [18]. Sehyun Tak, Hwasoo Yeo (2013) "The Impact of Predictive Cruise Control on Traffic Flow and Energy Consumption", Computing in Civil Engineering
- [19] L.C. Davis (2004) "Effect of adaptive cruise control systems on traffic flow", PHYSICAL REVIEW E 69, 066110, The American Physical Society, DOI: 10.1103/PhysRevE.69.066110
- [20]. Greg Marsden, Mike McDonald, Mark Brackstone (2001) "Towards an understanding of adaptive cruise control", Transportation Research Part C 9 (2001) 33-51, Elsevier
- [21]. Baudouin Dafflon, Jean-Michel Contet, Franck Gechter, Pablo Gruer (2012) "Toward a reactive agent based parking assistance system", IEEE 24th International Conference on Tools with Artificial Intelligence, DOI:10.1109/ICTAL.2012.74
- [22]. Reimer B., Mehler B., & Coughlin J.F. (2010). An evaluation of driver reactions to new vehicle parking assist technologies developed to reduce driver stress. Technical Report, New England University Transportation Center at MIT, Cambridge, MA. DOI: 10.13140/RG.2.1.3317.3361
- [23]. Matthias Kuehn, Thomas Hummel, Jenoe Bende (2016) "BENEFIT ESTIMATION OF ADVANCED DRIVER ASSISTANCE SYSTEMS FOR CARS DERIVED FROM REAL-LIFE ACCIDENTS", German Insurers Accident Research, Paper Number 09-0317
- [24]. T. Q. Khanh (2016) "Visibility Improvement Systems for Passenger Cars". In: Winner H., Hakuli S., Lotz F., Singer C. (eds) Handbook of Driver Assistance Systems. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-12362-3_44
- [25]. Hui Rong, Jinfeng Gong, Wulin Wang (2009) "Kinematics Model and Control Strategy of Adaptive Front Lighting System". Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation. DOI:10.1109/ICICTA.2009.254
- [26]. Rainer Neumann (2004) "AFS Halogen Headlamp System - Experimental Study and First Field Results SAE World Congress Detroit, Michigan