

# POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Meccanica, Aerospaziale, dell'Autoveicolo e della  
Produzione

## **Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica**

Tesi di Laurea Magistrale

### **ADAS Regulation for LKA, ABSA systems and future full autonomous vehicles**



#### **Relatore**

Prof. Terenziano Raparelli

#### **Tutor aziendale**

Homologation Specialist Giacomo Antonio Muscella



#### **Candidato**

Gabriele Bianco

Anno accademico 2019/2020



# Ringraziamenti

Mi è doveroso dedicare questo spazio del mio elaborato alle persone che hanno contribuito, con il loro instancabile supporto, alla realizzazione dello stesso.

In primis, un ringraziamento speciale al mio relatore Raparelli e al mio tutor aziendale Muscella, per la loro pazienza, per i loro indispensabili consigli, per le conoscenze trasmesse durante tutto il percorso.

Ringrazio infinitamente i miei genitori che mi hanno sempre sostenuto, appoggiando ogni mia decisione, fin dalla scelta del mio percorso di studi.

Un grazie di cuore ad amici e persone care. È grazie a loro che ho superato i momenti più difficili.

Infine, dedico questa tesi a me stesso, ai miei sacrifici e alla mia tenacia che mi hanno permesso di arrivare fin qui.



## Sintesi

Lo sviluppo di infotainment e dispositivi per la sicurezza attiva nel settore automotive segue ritmi incalzanti legati al rapido sviluppo tecnologico che caratterizza il nostro millennio.

In un contesto in cui molte attività legate alla guida dei veicoli sono delegate a sistemi di intelligenza artificiale, risulta necessario regolamentare l'introduzione su strade pubbliche di tali ausili garantendo la sicurezza di chi li utilizza e dell'ambiente nel quale interagiscono. Nel seguente progetto di tesi, svolto nel reparto Homologation presso Maserati S.P.A., sono stati analizzati due di questi apparati ADAS montati sulle vetture del nuovo model year: Lane keep assist e Active blind spot assist. Scopo del progetto è stato definire le manovre da effettuare in fase omologazione secondo la ECE79-03. Lo studio di tali manovre è stata svolta sul virtuale tramite software Simulink, simulando diversi scenari di prova (presenza di veicolo sopraggiungente durante cambio corsia, perdita di corsia involontaria) per valutare le condizioni della vettura a diversi range di velocità sia su rettilineo che in curva, valutando i valori limite per i quali il veicolo abbandona la carreggiata. Inoltre tramite sterzi dinamometrici è stata valutata la forza di disattivazione del sistema. Per tutte le fasi sono state utilizzate decisioni mpc ossia basate sui dati.

Di notevole importanza è stata l'analisi delle strategie da implementare sui sistemi attualmente presenti viste come soluzioni a problematiche quotidiane.



# Indice dei contenuti

<b>RINGRAZIAMENTI</b> .....	<b>I</b>
<b>SINTESI</b> .....	<b>III</b>
<b>INDICE DEI CONTENUTI</b> .....	<b>V</b>
<b>INDICE DELLE FIGURE</b> .....	<b>VII</b>
<b>INDICE DELLE TABELLE</b> .....	<b>IX</b>
<b>ABBREVIAZIONI</b> .....	<b>X</b>
<b>CAPITOLO 1 LA GUIDA AUTONOMA</b> .....	<b>1</b>
1.1 I LIVELLI DI AUTONOMIA.....	2
1.2 DISPOSITIVI UTILIZZATI.....	4
1.3 GLI ADAS .....	7
1.4 LINGUAGGIO DI COMUNICAZIONE.....	8
1.5 SICUREZZA AUTOMOTIVE.....	9
1.6 VANTAGGI GUIDA AUTONOMA .....	12
<b>CAPITOLO 2 ECE 79-03</b> .....	<b>15</b>
2.1 ACSF A.....	16
2.2 ACSF B1.....	17
2.3 CSF .....	21
2.4 ESF .....	24
2.5 ACSF C.....	26
2.6 CATEGORIE NON ANCORA NORMATE .....	33
<b>CAPITOLO 3 OMOLOGAZIONE LKA</b> .....	<b>35</b>
3.1 LANE KEEP ASSIST .....	35
3.2 TEST OMOLOGATIVI LKA.....	36

<b>CAPITOLO 4 OMOLOGAZIONE ABSA.....</b>	<b>48</b>
4.1 ACTIVE BLIND SPOT ASSIST.....	48
4.2 TEST OMOLOGATIVI ABSA.....	49
<b>CAPITOLO 5 STRATEGIE INNOVATIVE.....</b>	<b>54</b>
<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....</b>	<b>57</b>
<b>APPENDICE A.....</b>	<b>59</b>

# Indice delle figure

Figura 1 <i>Andamento dei veicoli per uso privato, OICA 2019</i>	1
Figura 2 <i>Range di funzionamento dispositivi</i>	6
Figura 3 <i>Classica installazione dispositivi su autoveicolo</i>	6
Figura 4 <i>Schema Dagli ADAS verso la guida autonoma</i>	8
Figura 5 <i>Schema riassuntivo della comunicazione V2X</i>	9
Figura 6 <i>Struttura generale della serie ISO 26262 di standard, che si basa su un modello a V</i>	11
Figura 7 <i>Trolley problem applicato al contesto delle self-driving cars</i>	14
Figura 8 <i>Park Assist</i>	17
Figura 9 <i>Highway Assist</i>	21
Figura 10 <i>Lane Keep Assist</i>	23
Figura 11 <i>Steering Support Programme</i>	24
Figura 12 <i>Evasive emergency steering assist system</i>	24
Figura 13 <i>Active Blind Spot Assist</i>	26
Figura 14 <i>Schema decisionale LKA</i>	36
Figura 15 <i>Prova 01: analisi forza e momento torcente applicati sul sistema sterzante in fase di attivazione del sistema LKA</i>	37
Figura 16 <i>Prova 02: analisi forza e momento torcente applicati sul sistema sterzante in fase di attivazione del sistema LKA</i>	38
Figura 17 <i>Prova 03: analisi forza e momento torcente applicati sul sistema sterzante in fase di attivazione del sistema LKA</i>	39
Figura 18 <i>Media prove di analisi forza e momento torcente applicati sul sistema sterzante in fase di attivazione del sistema LKA</i>	40
Figura 19 <i>Analisi veicolo per controllo lka</i>	41
Figura 20 <i>Percorso test LKA</i>	42
Figura 21 <i>Risultati simulazione test LKA velocità 50 km/h</i>	43
Figura 22 <i>Risultati simulazione test LKA velocità 90 km/h</i>	44
Figura 23 <i>Risultati simulazione test LKA velocità 110 km/h</i>	45
Figura 24 <i>Risultati simulazione test LKA velocità 130 km/h</i>	46
Figura 25 <i>Schema logica active blind spot assist</i>	49

Figura 26 <i>Scenario di guida su rettilineo ABSA</i>	50
Figura 27 <i>Forze azione ABSA su rettilineo</i>	51
Figura 28 <i>Scenario di guida in curva ABSA</i>	52
Figura 29 <i>Forze azione ABSA in curva</i>	53
Figura 30 <i>Sovrapposizione linee di corsia</i>	54
Figura 31 <i>Assenza di una linea di corsia</i>	55
Figura 32 <i>Presenza di segnaletica di lavori in corso</i>	55
Figura 33 <i>Strategia "in traffic"</i>	55

## Indice delle tabelle

Tabella 1 <i>Parametri ACSF B1</i>	18
Tabella 2 <i>Risultati prove 50N</i>	41
Tabella 3 <i>Dati veicolo prova</i>	42
Tabella 4 <i>Risultati simulazione test LKA velocità 50 km/h</i>	43
Tabella 5 <i>Risultati simulazione test LKA velocità 90 km/h</i>	44
Tabella 6 <i>Risultati simulazione test LKA velocità 110 km/h</i>	45
Tabella 7 <i>Risultati simulazione test LKA velocità 130 km/h</i>	46
Tabella 8 <i>Manovre necessarie per la correzione</i>	47
Tabella 9 <i>Dati veicolo test ABSA</i>	50
Tabella 10 <i>Dati veicolo antagonista ABSA</i>	51
Tabella 11 <i>Dati veicolo test ABSA</i>	52
Tabella 12 <i>Dati veicolo antagonista ABSA</i>	53

# Abbreviazioni

ABSA	Active Blind Spot Assist
AC	Autonomous Car
ACC	Adaptive Cruise Control
ACSF	Automatically Commanded Steering Function
ADAS	Advanced Driver Assistance Systems
AEB	Automatic Emergency Brake
CSF	Corrective Steering Function
EGO	Autonomous Car in Test-Bench
ESF	Emergency Steering Function
FCW	Forward Collision Warning
HAS	Highway Assist System
LDW	Lane Departure Warning
LKA	Lane Keeping Assist
LC	Lane Centering
MPC	Model Predictive Control
TJA	Traffic Jam Assist
V2D	Vehicle to Device
V2G	Vehicle to Grid
V2H	Vehicle to Home
V2I	Vehicle to Infrastructure
V2P	Vehicle to Pedestrian
V2V	Vehicle to Vehicle
V2X	Vehicle to Grid

# CAPITOLO 1

## LA GUIDA AUTONOMA

Il mercato automotive e tutto il suo indotto, stanno subendo una continua evoluzione. Le compagnie operanti nel settore sono sempre concentrate sullo sviluppo di nuove tecnologie, ed in particolare il tema delle auto senza guidatore sta acquisendo sempre più risalto sulla scena internazionale. Grazie a ciò, nonostante l'utilizzo di servizi di spostamento pubblici sia in continuo aumento, molti consumatori reputano più comodo effettuare spostamenti principalmente tramite mezzi privati. Secondo una statistica effettuata nel 2019 dalla OICA (Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles, ossia Organizzazione Internazionale dei Costruttori d'Automobili) sulla base di dati ottenuti tra il 2011 e il 2017, il numero di veicoli privati in uso nel mondo ha visto un consistente incremento in media di quasi il 20%; particolarmente incisivo è stato il contributo di Ucraina, Brasile e Portogallo che hanno registrato un aumento di vendite rispettivamente del 81%, 25% e 23%.

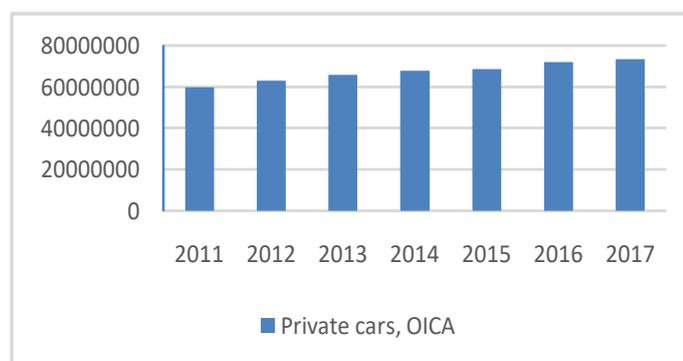


Figura 1 *Andamento dei veicoli per uso privato, OICA 2019*

## 1.1 I livelli di autonomia

Le auto a guida autonoma anche dette self-driving cars o autonomous cars, sono veicoli equipaggiati con sensori di diverso tipo in grado di ricavare informazioni dall'ambiente circostante, le quali vengono poi processate e rielaborate da una cpu permettendo al veicolo di operare in maniera autonoma per ciò che riguarda più aspetti della guida, come l'accelerazione, il controllo dello sterzo, il cambio delle marce ecc.

La SAE International, ente di normazione nel campo dell'industria automobilistica, nel 2014 ha stabilito, attraverso la Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems, sei diversi livelli di guida autonoma <sup>[1]</sup>:

- **Livello 0:** nessuna automazione, il driver deve occuparsi completamente della guida del veicolo; sterzo e acceleratore dipendono completamente dal guidatore, anche tenendo in considerazione eventuali sistemi di segnalazione di pericolo. Il controllo dell'ambiente circostante è sempre a cura del guidatore. Rientrano in questa categoria generalmente tutte le vetture prodotte entro gli anni 2000, e quelle che sfruttano il sistema di cruise control (ossia la capacità di mantenere una velocità di guida costante senza dover necessariamente tener premuto il pedale dell'acceleratore).
- **Livello 1:** guida assistita, l'utente ha ancora completa responsabilità sulla guida del veicolo; tuttavia, il sistema provvede ad informare l'utente di eventuali pericoli o situazioni avverse tramite varie avvertimenti visivi e/o acustici. Le maggiori implementazioni di un veicolo di livello 1 rispetto a uno di livello 0 sono principalmente due: il cruise control adattivo, che non solo permette di mantenere una velocità costante lungo un percorso desiderato, ma è anche in grado di far rallentare automaticamente l'automobile nel caso venga rilevata l'eccessiva vicinanza di un mezzo che la precede; i sistemi di Lane Keeping Assistance (LKA) ed Emergency Lane Keeping (ELK), che rendono la macchina in grado di effettuare piccole correzioni allo sterzo in modo da evitare un abbandono non voluto della corsia di percorrenza. Anche per questo livello di automazione, all'utente è richiesto il completo controllo dell'ambiente circostante.
- **Livello 2:** automazione parziale, con questo livello di automazione, il veicolo diventa, in determinate situazioni, potenzialmente in grado di guidare in maniera autonoma;

il sistema elettronico, in particolare in scenari predefiniti come i tragitti lungo un'autostrada, può prendere il controllo di sterzo ed acceleratore, facendo in alcuni casi uso di frenata assistita e frenata di emergenza. La SAE ha specificato che la differenza sostanziale tra un veicolo di secondo livello e uno di primo sta nel fatto che l'utente può non interagire con l'automobile togliendo le mani dal volante e il piede dai pedali allo stesso momento [2]. Tuttavia, il guidatore ha ancora piena responsabilità del veicolo, e deve essere pronto ad intervenire in qualsiasi momento la situazione dovesse richiederlo; a questo proposito, l'utente deve ancora occuparsi di monitorare personalmente i dintorni del veicolo. La maggior parte dei veicoli attualmente disponibili sul mercato che vantano sistemi di guida automatica, come Tesla, Volvo, Audi, Maserati, appartengono al livello 2 di automazione e vengono in genere definiti semi-autonomi.

- Livello 3: automazione condizionale, le automobili che raggiungono questo livello di automazione cominciano a vedersi equipaggiate con strumenti in grado di monitorare completamente l'ambiente circostante. Nonostante sia comunque richiesto all'utente di intervenire in determinate situazioni, la differenza sostanziale con un veicolo di livello 2 risiede nel fatto che ciò sarebbe limitato a casi di grave pericolo; questo permette all'utente, soprattutto in situazioni più controllate come il procedere a basse velocità (si parla di velocità inferiori ai 60km/h), di prestare una minima attenzione all'ambiente circostante, lasciando spazio alla possibilità di dedicarsi ad altre attività durante la guida. Il discorso relativo all'attenzione dell'utente è il principale argomento che definisce la borderline dei veicoli di livello di automazione 3 da quelli di livello 2. La prima compagnia ad aver dichiarato di aver raggiunto un livello di automazione 3 è stata Audi, con il modello Audi A8, equipaggiata con il sistema di guida autonoma Audi Traffic Jam Pilot.
- Livello 4, automazione elevata: con il raggiungimento del livello 4, il veicolo dispone di un'autonomia quasi totale; oltre a comprendere tutti i tools dei livelli precedenti, garantisce un controllo automatico totale sulla vettura in determinate situazioni, come zone trafficate o percorrenza di strade extraurbane. Il livello 4 è il primo livello nella scala di automazione a permettere che l'utente possa non curarsi completamente dell'ambiente esterno, in quanto è sempre il veicolo ad adoperarsi anche nel caso che sia necessaria una manovra pericolosa. Questo livello di guida autonoma attualmente resta comunque ristretto, come già detto, non solo a specifiche situazioni, ma anche a determinate località geografiche, ragion per cui il guidatore ha ancora la possibilità di acquisire il controllo manuale del veicolo. Il

guidatore con questo livello comincia ad acquisire la connotazione di effettivo passeggero. Non esistono ancora modelli di veicoli in grado di raggiungere il livello 4 di autonomia.

- Livello 5: automazione totale, è idealmente il grado di automazione massimo che un veicolo potrebbe raggiungere. Un mezzo con un sistema di guida automatica di questo calibro sarebbe in grado di espletare qualsiasi tipo di funzione concernente l'attività di guida, cancellando completamente la figura di guidatore e rendendo ogni utente a bordo un semplice passeggero. Tale grado sarebbe sufficientemente alto da rendere superflui componenti come volante e pedali, in quanto in alcun caso sarebbe previsto l'intervento degli utenti. Il veicolo si occuperà in totale autonomia di individuare il percorso da seguire, scegliere la direzione giusta e accelerare o rallentare in base a condizioni esterne, come traffico o situazioni improvvise.

Considerando il passaggio tra i vari livelli di automazione, di notevole interesse è il passaggio tra il livello 2 e il livello 3, in quanto all'utente comincia ad essere richiesto in forma sempre minore il controllo dell'ambiente circostante. Dal terzo livello in poi è effettivamente possibile parlare di guida autonoma intesa come crescente disinteresse del driver dal percorso stradale.

## 1.2 Dispositivi utilizzati

Al fine di permettere l'implementazione delle diverse funzionalità alle vetture, queste ultime devono essere dotate di un compartimento hardware e software all'avanguardia [3].

Di seguito verranno analizzati i principali dispositivi utilizzati.

- Telecamere: solitamente sono una o più che, lavorando contemporaneamente, riescono a dare una visione a 360° dell'ambiente circostante. L'obiettivo di questi dispositivi è quello di rilevare tutti i possibili ostacoli per la vettura. Le dotazioni più complete prevedono:
  - una telecamera anteriore grandangolare, che tiene traccia di semafori e ostacoli che si possono incontrare a distanza ravvicinata, particolarmente utile nelle zone urbane e per manovre a velocità moderata;
  - una telecamera anteriore calibrata a lunga distanza e che tiene traccia degli ostacoli più lontani, particolarmente utile quando si procede a velocità elevata;
  - una telecamera anteriore principale, che più generalmente, fa da supporto alle prime due telecamere descritte;

- due telecamere laterali rivolte in avanti, una per lato, particolarmente utili nell'eventualità in cui un veicolo si immetta all'improvviso nella propria corsia e nell'attraversare un incrocio con scarsa visibilità;
- due telecamere laterali rivolte all'indietro, sempre una per lato, sfruttate per cambiare corsia ed immettersi nel traffico in sicurezza <sup>[7]</sup>.
- Videocamere: sono dedite al monitoraggio dell'ambiente circostante con la differenza che le immagini registrate vengono mostrate in diretta all'utente, in modo da fornirgli una visione più completa e accurata dei dintorni. In generale si ha una videocamera montata sulla parte posteriore del veicolo, per dare supporto al guidatore per le manovre più complicate, comprese quelle di parcheggio. Coprono una distanza di massimo 50 metri <sup>[6]</sup>.
- Radar: è un dispositivo in grado di sfruttare le onde elettromagnetiche per rilevare e determinare dimensioni, posizione e velocità di un oggetto che si trovi entro il suo raggio d'azione. Nello specifico delle auto a guida autonoma, il radar è un prezioso alleato delle telecamere per ciò che concerne il controllo dell'ambiente circostante in quanto sfrutta una lunghezza d'onda in grado di superare vari fenomeni atmosferici quali pioggia e neve, oltre che a polvere e altri veicoli; questo permette loro di sopperire alle mancanze delle telecamere in situazioni climatiche svantaggiose <sup>[5]</sup>.
- Lidar: Light Detection and Ranging, sono dei particolari sensori finalizzati al telerilevamento di oggetti posti a distanza rispetto all'apparecchio. Così come l'obiettivo, anche la metodologia di funzionamento è analoga al radar, ma differente nel mezzo: si servono di impulsi laser per determinare posizione, dimensioni e velocità di un oggetto interessato nel suo raggio d'azione. Mentre il radar è più indicato per identificare oggetti a lunga distanza, il Lidar, con la sua capacità di creare fedeli modelli 3D monocromatici degli oggetti scansionati, è in grado di fornirne al computer un'identità (pedoni, veicoli, muri, ecc.); ciò, lo rende estremamente utile per fornire al sistema di guida dati precisi sull'ambiente immediatamente circostante. Solitamente il sensore viene montato sul tettuccio in modo da avere una migliore visuale e ha una portata di ben 200 metri <sup>[7]</sup>.
- Sensori a ultrasuoni: sono un altro dei numerosi dispositivi di monitoraggio a disposizione dei veicoli autonomi. Sfruttano onde sonore caratterizzate da una frequenza abbastanza alta da risultare inudibile agli esseri umani per rilevare la presenza di oggetti nelle immediate vicinanze del veicolo. Il principale svantaggio di questa tecnologia rispetto alle altre già citate risiede nel limitato raggio d'azione, solo pochi metri; oltre a ciò, la quantità di pixel che questa tecnologia è in grado di

rilevare è estremamente più limitata se confrontata, ad esempio, con la tecnologia Lidar. Questo comporta un rilevamento approssimativo degli oggetti vicini al veicolo. Sono utilizzati principalmente come ausilio per le manovre di parcheggio, o per il rilevamento delle auto immediatamente circostanti [4].

- Sistema di geo-localizzazione che riceve informazioni relativamente alla posizione precisa dell'automobile grazie al GPS. Le stime del GPS tuttavia possono essere approssimative per via di disturbi del segnale o di altre interferenze causate dall'atmosfera. Per minimizzare questo problema, i dati forniti dal GPS vengono comunque confrontati con una mappa digitale del luogo ottenuta in precedenza grazie al rilevamento degli altri sensori [4].

Sensor technology	Approximate maximum range
Ultrasonic transceiver	~8 metres
Short-range radar	~50 metres
Mid-range radar	~160 metres
Long-range radar	~250 metres
Lidar/laser (static)	~150 metres
Camera (pedestrian detection)	~30 metres
Camera (vehicle detection)	~200 metres

Figura 2 Range di funzionamento dispositivi

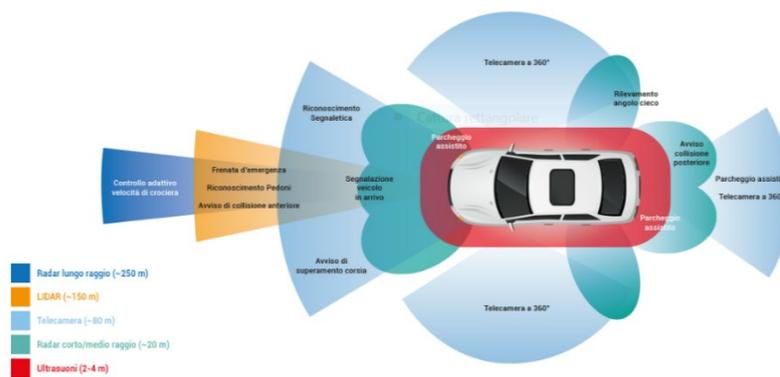


Figura 3 Classica installazione dispositivi su autoveicolo

## 1.3 Gli ADAS

Noti i dispositivi che permettono alla self-driving car di interagire con l'ambiente circostante sono necessarie misure software specifiche in grado da trasformare la mole di dati raccolta in informazioni fruibili dal sistema e in azioni svolte a livello meccanico dal veicolo. Il sistema composto da hardware e software che vanno a gestire una determinata funzionalità è detto ADAS, Advanced Driver Assistance System.

Alcuni esempi sono i seguenti:

- Adaptive Cruise Control (ACC): funzione che permette al veicolo non solo di mantenere una velocità costante senza utilizzare il pedale dell'acceleratore, ma anche di rallentare automaticamente quando un altro mezzo più avanti si avvicina oltre la distanza di sicurezza impostata;
- Parcheggio automatico: funzione che si occupa di assistere il guidatore in fase di parcheggio; grazie ai vari sensori di prossimità descritti in sopra, il sistema è in grado sia di avvertire l'utente nel momento in cui ci si trovi in corrispondenza di uno spazio sufficiente ad ospitare la vettura, che di controllare in seguito lo sterzo andando ad effettuare tutte le manovre necessarie a parcheggiare il veicolo. All'utente è comunque richiesto di inserire le marce e di accelerare quando necessario;
- Sistema anticollisione: funzione di sicurezza per l'assistenza dell'utente in situazioni di impatto imminente, al fine di limitare come possibile i danni dovuti ad un incidente stradale; nel caso fosse rilevato dai sensori un avvicinamento improvviso a un altro oggetto senza che il guidatore, per qualsiasi motivo (come ad esempio a causa di un colpo di sonno), non freni in maniera opportuna. Il sistema in modo automatico attiva delle misure precauzionali, come pompare l'aria negli airbag, tendere al massimo le cinture di sicurezza e, ovviamente, frenare;
- Lane Departure Warning: funzione che, riconoscendo grazie ai vari sensori le linee tracciate sulla carreggiate, avverte il guidatore con un segnale acustico o una vibrazione di un'eventuale invasione di una corsia adiacente;
- Anti-block Bracking System: altro sistema di sicurezza che, in fase di frenata, nel caso venga rilevato un blocco delle ruote, le sblocca andando a diminuire la forza di frenata; in questo modo, il guidatore in caso di pericolo può premere il pedale del freno senza il timore che le ruote possano bloccarsi.

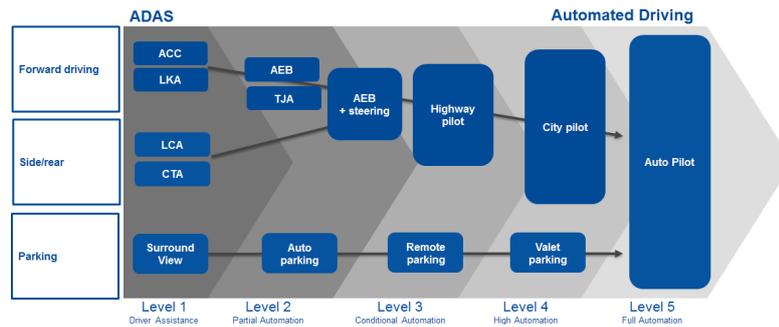


Figura 4 Schema Dagli ADAS verso la guida autonoma

## 1.4 Linguaggio di comunicazione

Ad oggi ogni casa produttrice si affida a diversi fornitori o in alcuni casi sviluppa in proprio i software necessari alla codifica dei dati presi in input dal reparto hardware. In un futuro sarà opportuna una normalizzazione al fine di una migliore efficienza, uno scambio di informazioni più immediato e quindi una qualità ed una affidabilità migliore del sistema. Restano tuttavia identificate le categorie di comunicazione in base al soggetto con cui il veicolo scambia informazioni [8]:

- V2V Vehicle to Vehicle: sistema di comunicazione che permette ai veicoli di comunicare l'uno con l'altro. È utile per riferire agli altri veicoli autonomi la presenza di eventuali pericoli o informazioni relative alle condizioni del traffico, in modo che gli stessi possano prendere in anticipo delle adeguate contromisure (modulare la velocità, proporre percorsi alternativi).
- V2I, Vehicle to Infrastructure: sistema di comunicazione che consente la comunicazione tra il veicolo e le varie infrastrutture legate all'ambito stradale, come parchimetri, semafori e lampioni. Sfruttandolo è possibile avere in anticipo informazioni come la presenza di un parcheggio disponibile, dati sulla viabilità o la presenza di lavori sulla carreggiata [9].
- V2P, Vehicle to Pedestrian: Sistema finalizzato a comunicare ai pedoni il passaggio del veicolo in modo da prevenire eventuali incidenti; la collisione viene predetta dal sistema basandosi su informazioni come posizione, velocità e direzione del pedone condivise dallo stesso passante tramite i suoi dispositivi di comunicazione.
- V2D, Vehicle to Device: Sistema di comunicazione che consiste nello scambio di informazioni tra il veicolo ed un qualunque dispositivo ad esso collegato; si riferisce principalmente ai dispositivi che possono essere utilizzati dagli individui alla guida

di mezzi non motorizzati come le biciclette. Lo scambio di informazioni è finalizzato, come per il V2V e il V2P, a prevenire eventuali incidenti.

- V2H, Vehicle to Home: Sistema di comunicazione tra il veicolo e l'abitazione del suo proprietario: tramite uno scambio di informazioni, il veicolo è in grado di determinare eventuali situazioni di carenza energetica e fungere da supporto, anche in casi di emergenza.
- V2G, Vehicle to Grid: Sistema di comunicazione tra il veicolo e la rete elettrica nazionale, grazie al quale le automobili potranno fungere da vere e proprie centrali elettriche mobili, in quanto saranno in grado sia di accumulare che di rimettere in rete l'energia elettrica, tutto a seconda dell'effettivo bisogno. Il primo approccio a una tecnologia del genere è stato effettuato da General Motors nel 2006 sui modelli Cadillac, ma anche molte aziende stanno lavorando per raggiungere obiettivi analoghi (BMW, Toyota, Audi e Volvo).
- V2X, Vehicle to Everything: sistema che sfruttando una rete LAN e un localizzatore GPS permette di condividere informazioni tra il veicolo e qualsiasi entità che sia potenzialmente in grado di influire sulla guida dello stesso. V2X è il connubio di più sistemi di comunicazione più specifici, nello specifico V2I, la V2V, la V2P, la V2D, la V2H e la V2G;

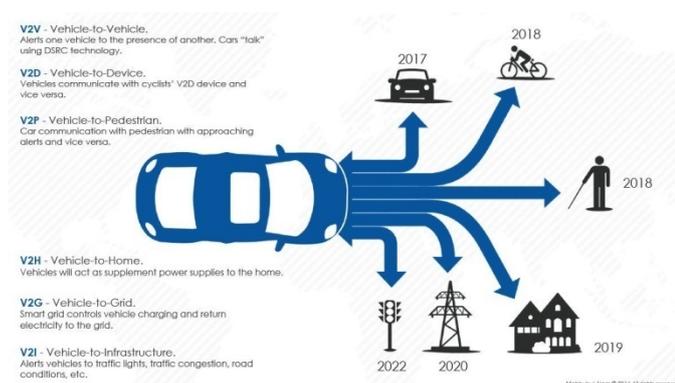


Figura 5 Schema riassuntivo della comunicazione V2X

## 1.5 Sicurezza automotive

Oltre all'ottimizzazione dei consumi e delle emissioni, negli ultimi anni si è assistito ad una notevole diminuzione delle collisioni e ad un aumento delle tecnologie di sicurezza primarie settore self-driving car. Tuttavia, questi sistemi hanno anche dei limiti che potrebbero causare problemi intrinseci legati al largo uso di dati sensoriali e comunicazioni,

V2V o V2X, utilizzati per elaborare e convertire i dati acquisiti in comandi per gli attuatori. Per evitarli, si può seguire il seguente iter <sup>[10]</sup>:

1. valutazione di guasti, modalità e loro impatto;
2. studio delle capacità avanzate per prevedere i guasti in uno scenario di traffico;
3. esplorazione di requisiti aggiuntivi per la guida non operativa;
4. determinazione dei livelli di sicurezza richiesti;
5. sviluppo di metodologie per i test per dimostrare sicurezza e affidabilità;
6. fornire procedure di prova standardizzate e certificate.

Quando le nuove tecnologie entrano nel settore automobilistico è necessario garantire che questa nuova funzionalità soddisfi i requisiti di sicurezza funzionale. Data infatti l'elevata complessità delle tecnologie e dei sistemi software e mecatronici, aumenta il rischio di guasti sistematici e hardware; che deve essere studiato secondo gli standard di sicurezza funzionale. Diverse istituzioni stanno già da tempo tracciando le linee guida riguardo l'argomento.

Secondo la strategia Car 21 della Commissione europea, l'industria automobilistica dovrebbe essere all'avanguardia nella tecnologia per guidare pulito in termini di carburante, sicuro e connesso al fine di migliorare la sicurezza dei veicoli e di guidatori, passeggeri e utenti della strada. Il Dipartimento dei trasporti degli Stati Uniti (DOT) con la collaborazione della National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) ha pubblicato una linea guida, considerando le valutazioni di sicurezza per la progettazione, lo sviluppo, i test e la produzione di veicoli altamente automatizzati (HAV) <sup>[13]</sup>.

La ISO 26262 è stata proposta come una serie standard per evitare o ridurre questi rischi suggerendo requisiti e processi correlati <sup>[14]</sup>. La serie di norme interagisce con la sicurezza funzionale dei sistemi elettronici o elettrici, ottenuta attraverso misure di sicurezza che includono meccanismi di sicurezza. Fornisce inoltre un quadro all'interno del quale possono essere considerati sistemi relativi alla sicurezza basati su altre tecnologie (ad es. Meccanica, idraulica e pneumatica).

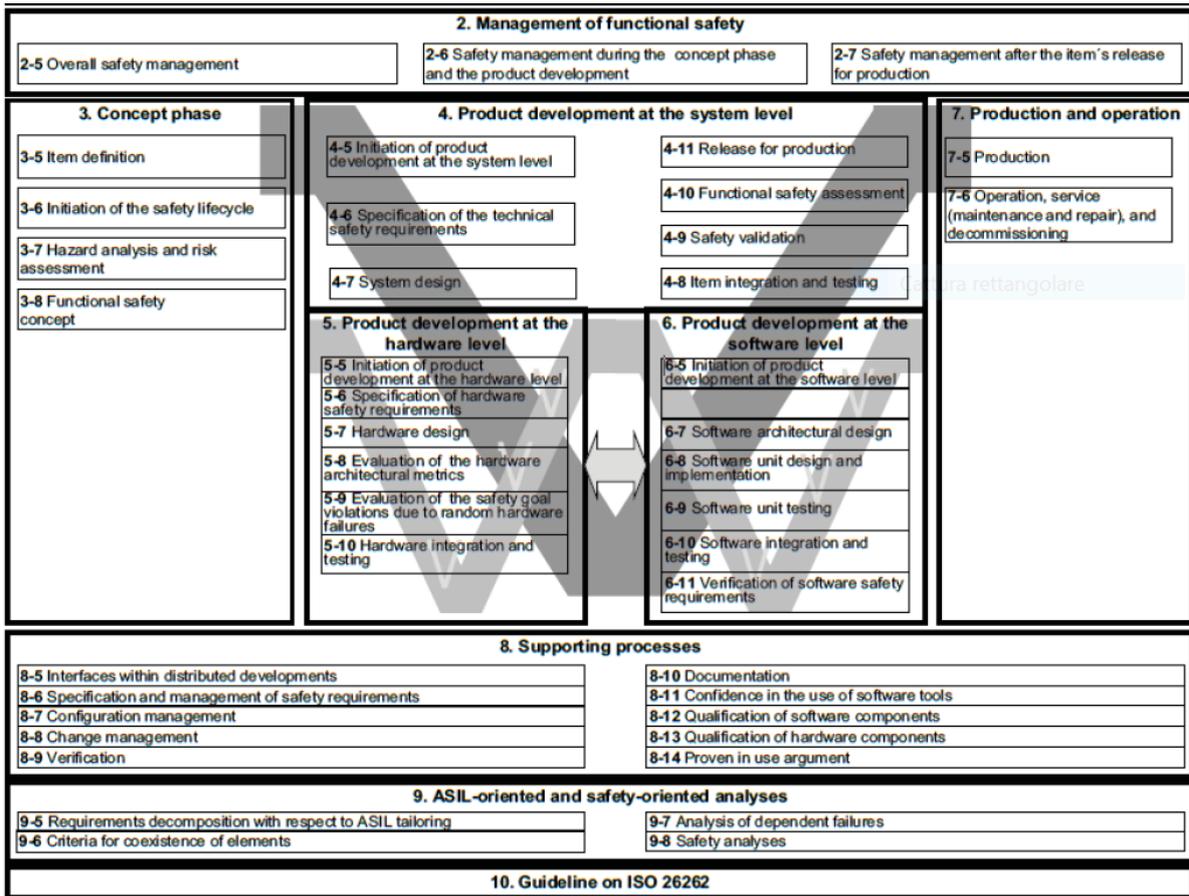


Figura 6 Struttura generale della serie ISO 26262 di standard, che si basa su un modello a V

Altre preoccupazione principali riguardano la sostituzione di conducenti umani con sistemi intelligenti, che avranno un impatto su concetti come giudizi etici, privacy e sicurezza sulle strade. Per quanto riguarda questi problemi, il Dipartimento dei trasporti degli Stati Uniti (DOT) fornisce un quadro per affrontare le azioni necessarie nel mondo della guida autonoma. Le valutazioni di sicurezza coprono una vasta gamma di settori in questo riferimento. Di notevole importanza per ciò che concerne i sistemi di anticollisione o assistenza alla guida è la sezione OEDR, Object and Event Detection and Response. Essa studia il rilevamento di qualsiasi situazione correlata alle attività di guida in tempo reale e l'implementazione del sistema automatico o del modello di driver, per far fronte a situazioni quali: il rilevamento di altri veicoli su ogni corsia della strada, di pedoni, di ciclisti, di animali e di qualsiasi altro oggetto che possa interferire con il funzionamento sicuro di un'auto autonoma. Queste capacità dovrebbero essere operativi in varie condizioni ambientali e per qualsiasi caso normale o insolito o di emergenza che possa influire sulle prestazioni di un'automobile autonoma. A tal proposito viene fatta una suddivisione tra stato di guida normale e capacità di evitare gli arresti anomali <sup>[11]</sup>.

La guida normale comprende tutti i casi generali che ogni autonomus car incontrerebbe durante un traffico regolare. Esistono diverse funzioni che vengono utilizzate tra cui le principali: seguire un'auto, mantenimento della corsia, apportare cambi di corsia logici, rilevare e rispondere a limiti e cambi di velocità, rispettare le regole del traffico, rispondere ad altri veicoli e ambiente, rilevamento e risposta a veicoli di emergenza e polizia, ecc.

La capacità di evitare gli arresti anomali è considerata come la capacità di affrontare situazioni pre-incidente e gestirle. Ciò potrebbe essere correlato a casi come perdita di controllo, incidenti durante il cambio di corsia o unione di corsia, direzione frontale e direzione opposta o collisioni posteriori, partenza della strada o situazioni a bassa velocità come l'esecuzione di una manovra di parcheggio o la guida all'indietro.

Tutte queste situazioni e casi simili dovrebbero essere considerati e definiti nelle fasi di sviluppo e test dei veicoli autonomi per garantire prestazioni sicure di queste auto su strade e condizioni del traffico reali <sup>[12]</sup>.

## **1.6 Vantaggi guida autonoma**

Le self-driving cars dunque, veicoli equipaggiati con una moltitudine di sensori e controllati da un'intelligenza artificiale, promettono di ribaltare quella che è attualmente la concezione comune dei sistemi di trasporto. I principali vantaggi che si evincono dall'uso di tali tecnologie sono i seguenti:

- minor numero di incidenti: la stragrande maggioranza degli incidenti stradali che avvengono ogni giorno è da ricondurre a una mancanza del guidatore, da eccessi di velocità a guida in stato di ebbrezza, da distrazioni di qualunque tipo a un basso tempo di reazione. Non essendo più necessario un guidatore, grazie alle self-driving cars ogni singolo incidente dovuto a cause di questo tipo verrebbe evitato;
- meno traffico: l'ottimizzazione di accelerazione e frenate, unito ad un network di condivisione dati che fornisce tutte le informazioni utili per determinare posizione, direzione e velocità dei veicoli nei dintorni, porterebbe a un drastico cambiamento per ciò che concerne l'approccio al traffico; lo sfruttamento dei sistemi automatici previsti dalle self-driving cars consentirebbe di ottimizzare aspetti quali la velocità da adottare e la distanza di sicurezza da mantenere, rendendo il traffico più organizzato e di conseguenza più scorrevole.
- minori emissioni nocive e risparmio di carburante: l'appena descritto impatto positivo sul volume totale di traffico e sull'efficienza dei singoli veicoli che comporterebbe l'adozione delle self-driving cars avrebbe come diretta conseguenza anche un netto risparmio di carburante, che a sua volta porterebbe anche a un meno incisivo fattore inquinante; ciò sarebbe dovuto al fatto che l'utilizzo di acceleratore e freno del veicolo non sarebbe più di competenza del guidatore;
- meno strutture e zone destinate al parcheggio: senza avere la necessità di un guidatore al comando del veicolo, una volta raggiunta la destinazione il passeggero potrebbe semplicemente scendere dal mezzo e lasciare che sia lui a raggiungere una zona di sosta, per poi tornare a recuperarlo in un secondo momento. E' inoltre stimato che le self-driving cars richiederanno il 15% in meno di spazio per essere parcheggiate, il che porterebbe inoltre a un considerevole risparmio di spazio nelle zone urbane di tutto il mondo;
- più tempo produttivo: l'opportunità di essere in grado di utilizzare un'automobile senza doverla necessariamente guidare attivamente lascia spazio ad altre attività, come leggere, lavorare o semplicemente rilassarsi. Più ricerche hanno dimostrato come l'approfittare di una pausa come quella che potrebbe garantire questo scenario prima di recarsi al lavoro, potrebbero rendere l'utente più produttivo.

Grande motivo di discussione resta quello riguardante la responsabilità morale, economica e penale di un eventuale incidente stradale. Come per ciò che concerne l'ambito delle decisioni che dovrebbe prendere il sistema intelligente alla guida della self-driving car. Tali situazioni sono riconosciute come trolley problems, i quali comportano sostanzialmente la necessità di scegliere chi debba essere sacrificato.

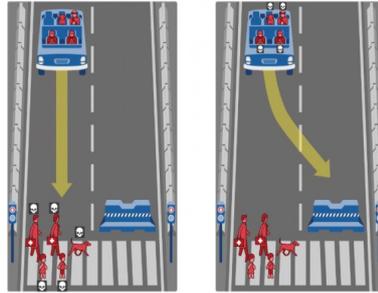


Figura 7 *Trolley problem applicato al contesto delle self-driving cars*

In questo caso la questione è di difficile risoluzione, e al momento si hanno solo diverse proposte su degli eventuali metodi di approccio al problema. Tra le varie opzioni avanzate da alcuni esperti in caso di incidente si avrebbe la principale colpevolezza del produttore, in quanto sarebbe da ritenere responsabile dell'eventuale malfunzionamento del veicolo.

## **CAPITOLO 2**

### **ECE 79-03**

La prima autorizzazione ad essere stata rilasciata in tutta Europa è stata per mano del governo inglese, che dal 2013 ha dato la possibilità alle aziende (ma non al pubblico) di testare su strada la loro vetture predisposte per la guida automatica <sup>[15]</sup>. Il primo vero e proprio disegno di legge europeo riguardante le auto a guida autonoma, tuttavia, è tedesca e datata 2017: comunque, nonostante l'utilizzo del sistema di guida automatica sia consentito, è da sottolineare che in caso di incidente la responsabilità sia completamente del conducente, che deve essere sempre pronto ad intervenire. La legge richiede infatti che l'utente, prima che gli sia richiesto di riprendere il controllo manuale del veicolo, venga avvisato dal sistema con un tempo di preavviso necessario a riassumere il controllo della situazione. A tutela del guidatore è prevista una scatola nera la cui consultazione permetterebbe di attribuire la responsabilità del sinistro. Anche in Italia, da qualche anno è stata data la possibilità di ottenere l'autorizzazione per sperimentare le auto a guida autonoma dopo l'approvazione del decreto Smart Road nel 2018 del ministro delle Infrastrutture.

Attualmente ogni maker automobilistico deve attenersi alla norma omologativa ECE 79-03 giunta alla quarta revisione. Essa stabilisce le procedure da adottare per ritenere conformi i dispositivi ADAS installati sui veicoli di nuova generazione. Fino al 1° aprile 2021 possono essere rilasciate omologazioni a norma della serie di modifiche 02 del presente regolamento UNECE per veicoli già omologati. Da questa data in poi ogni nuovo veicolo deve sottostare alle norme omologative 03. La norma suddivide i vari dispositivi in categorie ed evidenzia per ognuno procedure e parametri di test.

## 2.1 ACSF A

Funzione di guida comandata automaticamente (ACSF), indica una funzione che opera a una velocità non superiore di 10 km/h per assistere il conducente, su richiesta, per manovre o operazioni di parcheggio.

La normativa prevede una serie di requisiti che il sistema deve rispettare per essere considerato conforme. Questi verranno riportati di seguito <sup>[18]</sup>.

- Il sistema deve funzionare solo fino a 10 km/h (con una tolleranza di + 2 km/h).
- Il sistema deve attivarsi solo a seguito di un'azione volontaria del conducente e solo nel caso in cui sussistano le condizioni per il suo funzionamento (ossia quando tutte le funzioni connesse, quali freni, acceleratore, sterzo, telecamera/radar/lidar ecc. funzionano correttamente).
- Il sistema deve poter essere disattivato dal conducente in qualsiasi momento.
- Se il sistema include l'acceleratore e/o il comando dei freni del veicolo, quest'ultimo deve essere dotato di un mezzo che individui gli ostacoli (veicoli, pedoni ecc.) che vengono a trovarsi all'interno dell'area di manovra e che faccia arrestare immediatamente il veicolo per evitare una collisione.
- Un eventuale mancato funzionamento del sistema deve essere segnalato al conducente. Al termine del controllo deve scattare un segnale di avvertimento per il conducente breve ma inequivocabile, di tipo visivo, acustico o tattile (ad esclusione del segnale relativo al comando dello sterzo per le manovre di parcheggio).
- La manovra di parcheggio deve essere avviata dal conducente ma controllata dal sistema. Non deve essere possibile influire direttamente sull'angolo di sterzata e sul valore di accelerazione e decelerazione per mezzo del telecomando.
- Se durante la manovra di parcheggio viene aperto uno sportello o il portellone posteriore/cofano vano bagagli, il veicolo deve fermarsi immediatamente.
- Una volta che il veicolo ha raggiunto la sua posizione finale di parcheggio, automaticamente oppure previa conferma del conducente, e l'interruttore di accensione è in posizione spenta («off»), deve inserirsi automaticamente il freno di stazionamento.
- Se nel corso di una manovra di parcheggio il veicolo si ferma, la funzione del parcheggio telecomandato deve impedire che il veicolo si muova per effetto, ad esempio, della pendenza.
- Il raggio di funzionamento massimo indicato per il parcheggio telecomandato non deve superare i 6 metri.

- Il sistema deve essere progettato in modo da risultare protetto dall'attivazione non autorizzata o dal funzionamento indebito dei sistemi, nonché da eventuali interventi su di esso.

Esempio applicativo presente in commercio è il Park Assist, sistema in grado di assistere attivamente il guidatore nelle manovre di parcheggio. Gestisce autonomamente il calcolo dello spazio necessario e le manovre di sterzo, ma non controlla il comando gas, il cambio e i freni, che devono comunque essere azionati dal guidatore.

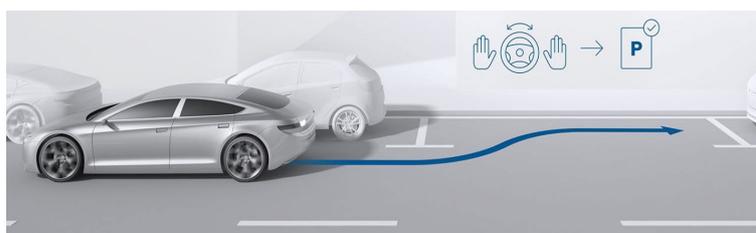


Figura 8 *Park Assist*

## 2.2 ACSF B1

Indica una funzione che aiuta il conducente a mantenere il veicolo all'interno della corsia prescelta, influenzando il movimento laterale della veicolo, con presenza di risposta da parte del conducente.

La normativa prevede una serie di requisiti che il sistema deve rispettare per essere considerato conforme. Questi verranno riportati di seguito <sup>[18]</sup>.

- Quando è attivo il sistema deve garantire, entro le condizioni limite, che il veicolo non oltrepassi mai la segnaletica orizzontale di delimitazione delle corsie per le accelerazioni laterali al di sotto dell'accelerazione laterale massima specificata dal costruttore del veicolo ( $a_{ysmax}$ ).
- Il sistema può superare il valore specificato  $a_{ysmax}$  di non più di  $0,3 \text{ m/s}^2$ , senza superare il valore massimo indicato nella tabella sottostante.
- Il veicolo deve disporre di un mezzo che consenta al conducente di attivare (modalità standby) e disattivare (modalità off) il sistema. Deve essere possibile disattivare il sistema in qualsiasi momento mediante un'unica azione del conducente. Dopo tale azione, il sistema deve riattivarsi soltanto a seguito di un'azione volontaria da parte del conducente.
- Il sistema deve essere progettato in modo che non possano verificarsi interventi eccessivi del comando dello sterzo, di modo che il conducente riesca comunque a

gestire lo sterzo. A tale fine, devono essere rispettate le seguenti prescrizioni:

1. lo sforzo sul comando dello sterzo necessario a prevalere sul controllo direzionale operato dal sistema non deve superare i 50 N;
2. l'accelerazione laterale massima specificata  $a_{ysmax}$  deve rientrare nei limiti indicati nella tabella che segue;
3. la media mobile su mezzo secondo del contraccolpo laterale causato dal sistema non deve superare i 5 m/s<sup>3</sup>.

Tabella 1 Parametri ACSF B1

<b>Gamma veicoli</b>	<b>10 - 60 km/h</b>	<b>&gt; 60 - 100 km/h</b>	<b>&gt; 100 - 130 km/h</b>	<b>&gt; 130 km/h</b>
<b>Valore massimo accelerazione laterale</b>	3 m/s <sup>2</sup>	3 m/s <sup>2</sup>	3 m/s <sup>2</sup>	3 m/s <sup>2</sup>
<b>Valore minimo accelerazione laterale</b>	0 m/s <sup>2</sup>	0,5 m/s <sup>2</sup>	0,8 m/s <sup>2</sup>	0,3 m/s <sup>2</sup>

- Lo stato di attività del sistema deve essere indicato al conducente per mezzo di un segnale visivo.
- Quando il sistema è in modalità standby, il conducente deve essere avvertito mediante un segnale visivo.
- Quando raggiunge le sue condizioni limite (ad esempio l'accelerazione laterale massima specificata  $a_{ysmax}$ ), con il conducente che non agisce sul comando dello sterzo e nessuno pneumatico anteriore del veicolo che inizia a oltrepassare la segnaletica orizzontale di delimitazione delle corsie, il sistema deve continuare a fornire assistenza e informare chiaramente il conducente mediante un segnale di avvertimento visivo affiancato da un segnale di avvertimento acustico oppure tattile.
- Eventuali guasti al sistema devono essere segnalati al conducente per mezzo di un segnale di avvertimento visivo. Questo segnale non è necessario quando il sistema viene disattivato manualmente dal conducente.
- Il sistema deve prevedere un mezzo che, quando è attivo e si trova in un intervallo di velocità compreso tra 10 km/h o  $V_{smin}$ , a seconda di quale valore è superiore, e  $V_{smax}$ , consenta di rilevare che il conducente sta controllando il comando dello sterzo.

Qualora il conducente non assuma il controllo entro 15 secondi, deve scattare un segnale di avvertimento visivo. Qualora il conducente non assuma il controllo del comando dello sterzo entro 30 secondi, almeno le mani o il comando dello sterzo visibili nella segnalazione grafica devono recare una colorazione rossa; inoltre deve essere emesso un segnale di avvertimento acustico. I segnali di avvertimento devono restare attivi fino a che il conducente non assume il controllo del comando dello sterzo, oppure fino a quando il sistema non viene disattivato, manualmente o automaticamente. Il sistema deve disattivarsi automaticamente entro 30 secondi dall'inizio del segnale di avvertimento acustico. Dopo la disattivazione, il sistema deve informare chiaramente il conducente riguardo al suo stato per mezzo di un segnale acustico di emergenza diverso dal segnale di avvertimento acustico precedente. Tale segnale deve restare in funzione per almeno 5 secondi, oppure fino a che il conducente non torna ad assumere il controllo del comando dello sterzo.

- I segnali visivi devono essere tutti diversi fra loro (per simboli, colore, intermittenza, testo ecc.).
- Prova funzionale di mantenimento della corsia con velocità del veicolo all'interno della fascia compresa tra  $V_{smin}$  e  $V_{smax}$ . La prova deve essere eseguita per ogni intervallo di velocità indicato in tabella d cui sopra, facendo percorrere al veicolo, a velocità costante, una curva in cui sia presente su ciascun lato la segnaletica orizzontale, senza che il conducente applichi alcuna forza sul comando dello sterzo (può ad esempio togliere le mani dal comando dello sterzo). L'accelerazione laterale necessaria affinché il veicolo possa seguire l'andamento della curva deve collocarsi tra l'80 % e il 90 % dell'accelerazione laterale massima  $a_{ysmax}$  indicata dal costruttore del veicolo. La prova è superata se il veicolo non attraversa nessun segnale orizzontale di delimitazione della corsia; la media mobile su mezzo secondo del contraccolpo laterale non supera i 5 m/s<sup>3</sup>.
- Prova dell'accelerazione laterale massima con velocità del veicolo rimanere all'interno della fascia compresa tra  $V_{smin}$  e  $V_{smax}$ . La prova deve essere eseguita per ogni intervallo di velocità indicato in tabella di cui sopra, facendo percorrere al veicolo, a velocità costante, una curva in cui sia presente su ciascun lato la segnaletica orizzontale, senza che il conducente applichi alcuna forza sul comando dello sterzo (può ad esempio togliere le mani dal comando dello sterzo). Il servizio tecnico indica una velocità di prova e un raggio che causerebbe un'accelerazione superiore a  $a_{ysmax} + 0,3 \text{ m/s}^2$  (ad esempio se si percorre a velocità superiore una curva del raggio indicato). La prova è soddisfatta se l'accelerazione registrata rientra

nei limiti e la media mobile su mezzo secondo del contraccolpo laterale non supera i  $5 \text{ m/s}^3$ .

- Prova della forza necessaria a prevalere sugli interventi con velocità del veicolo compresa tra  $V_{\text{min}}$  e  $V_{\text{max}}$  facendo percorrere al veicolo, a velocità costante, una curva in cui sia presente su ciascun lato la segnaletica orizzontale, senza che il conducente applichi alcuna forza sul comando dello sterzo (può ad esempio togliere le mani dal comando dello sterzo). L'accelerazione laterale necessaria affinché il veicolo possa seguire l'andamento della curva deve collocarsi tra l'80 % e il 90 % del valore minimo indicato nella tabella. Il conducente deve quindi applicare una forza sul comando dello sterzo per prevalere sull'intervento del sistema e permettere al veicolo di uscire dalla corsia. La forza esercitata dal conducente sul comando dello sterzo nella manovra per prevalere sull'intervento deve essere registrata. La prova è soddisfatta se la forza esercitata dal conducente sul comando dello sterzo nella manovra per prevalere sull'intervento non supera i 50 N.
- Prova di transizione. Far percorrere al veicolo, con la funzione sterzante a comando automatico attiva e ad una velocità compresa tra  $V_{\text{min}} + 10 \text{ km/h}$  e  $V_{\text{min}} + 20 \text{ km/h}$ , un tracciato dotato di segnaletica orizzontale su ciascun lato della corsia. Il conducente deve rilasciare il comando dello sterzo e continuare a guidare fino a che il sistema non disattiva la funzione sterzante a comando automatico. Il tracciato scelto deve consentire di guidare con la funzione sterzante a comando automatico attiva per almeno 65 secondi senza che il conducente intervenga. La prova deve essere ripetuta ad una velocità di prova del veicolo compresa tra  $V_{\text{max}} - 20 \text{ km/h}$  e  $V_{\text{max}} - 10 \text{ km/h}$  o  $130 \text{ km/h}$ , a seconda di quale velocità risulti inferiore. La prova è superata se: il segnale di avvertimento visivo scatta entro 15 secondi dal rilascio del comando dello sterzo e rimane attivo fino che la funzione sterzante a comando automatico non si disattiva; il segnale di avvertimento acustico scatta entro 30 secondi dal rilascio del comando dello sterzo e rimane attivo fino che la funzione sterzante a comando automatico non si disattiva; la funzione sterzante a comando automatico si disattiva entro 30 secondi dal momento in cui è scattato il segnale di avvertimento acustico; segue un segnale acustico di emergenza della durata di almeno 5 secondi diverso dal segnale acustico precedente.

Esempi applicativi presenti in commercio sono: Highway Assist, sistema che, una volta attivato dall'utente tramite pulsante e settando la velocità dell'ACC (Adaptive Cruise Control), oltre a mantenere la velocità/distanza dal veicolo davanti (ACC), controllando lo sterzo mantiene costantemente il veicolo al centro della corsia. E' richiesto al driver di

mantenere le mani sul volante (sensore capacitivo e di coppia applicata). Se per 5/8 secondi il driver non ha le mani sul volante, il sistema si disattiva. Funziona solo in autostrada (sulla base della GPS position) nel range di velocità [0-145] kmh.

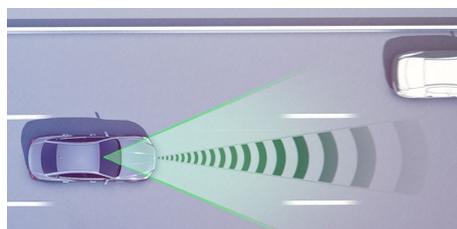


Figura 9 *Highway Assist*

Traffic Jam Assist TJA, come l' HAS, solo che Funziona in tutte le strade nel range di velocità [0-60/70] km/h

## 2.3 CSF

Indica una funzione di controllo all'interno di un sistema di controllo elettronico che, per una durata limitata, cambia l'angolo di sterzata di una o più ruote. Può derivare dalla valutazione automatica dei segnali e ha lo scopo di: compensare un cambiamento improvviso e inaspettato nella forza laterale del veicolo; migliorare la stabilità del veicolo (ad es. vento laterale, diversa strada di aderenza condizioni "μ-split"); correggere la partenza della corsia. (ad es. per evitare di attraversare i segni di corsia, lasciando la strada).

La normativa prevede una serie di requisiti che il sistema deve rispettare per essere considerato conforme. Questi verranno riportati di seguito <sup>[18]</sup>.

- Ogni intervento della funzione sterzante correttiva deve essere immediatamente segnalato al conducente mediante un segnale di avvertimento visivo che resti visibile per almeno un secondo o per tutta la durata dell'intervento, se quest'ultimo ha durata superiore al secondo. Ciò va rispettato anche per gli interventi CSF che si basano sulla valutazione della presenza della delimitazione di corsia, nel caso di interventi di lunghezza superiore a 10 (veicoli M1).
- Nel caso di due o più interventi consecutivi entro un intervallo di 180 secondi e in assenza di comandi impartiti dal conducente durante l'intervento, l'impianto deve far scattare un segnale di avvertimento acustico durante il secondo intervento e ogni successivo intervento compreso in un intervallo di 180 secondi. A partire dal terzo intervento (e per tutti gli interventi successivi), il segnale di avvertimento acustico

deve durare almeno 10 secondi di più del segnale di avvertimento precedente.

- Lo sforzo sul comando dello sterzo necessario a prevalere sul controllo direzionale operato dal sistema non deve superare i 50 N.
- Ogni funzione sterzante di emergenza deve iniziare il suo intervento soltanto nel caso che venga rilevato il rischio di una collisione.
- Tutti i veicoli dotati di funzione sterzante di emergenza devono disporre di mezzi di controllo della zona circostante il veicolo (per rilevare ad esempio la segnaletica orizzontale, i bordi della carreggiata, la presenza di altri utenti della strada).
- Le manovre automatiche per evitare ostacoli eseguite su impulso di una funzione sterzante di emergenza non devono portare il veicolo a uscire dalla carreggiata.
- In caso di intervento della funzione sterzante di emergenza su una carreggiata o una corsia delimitata mediante segnaletica orizzontale su un lato o su entrambi i lati, la manovra automatica per evitare ostacoli comandata dalla funzione sterzante di emergenza non deve comportare il superamento, da parte del veicolo, della segnaletica orizzontale. Se tuttavia l'intervento ha inizio durante un cambio di corsia effettuato dal conducente o nel corso di un passaggio involontario a una corsia adiacente, il sistema può far tornare il veicolo nella corsia originaria.
- In mancanza di segnaletica orizzontale di delimitazione della corsia su un lato del veicolo o su entrambi i lati è consentito un solo intervento della funzione sterzante di emergenza, purché esso non produca uno scostamento laterale del veicolo superiore a 0,75 metri in una direzione in cui la segnaletica è assente. Tale spostamento è determinato a partire da un punto fisso della parte anteriore del veicolo all'inizio e al termine dell'intervento della funzione sterzante di emergenza.
- L'intervento della funzione sterzante di emergenza non deve provocare una collisione del veicolo con altri utenti della strada.
- Ogni intervento della funzione sterzante di emergenza deve essere segnalato al conducente mediante un segnale di avvertimento visivo affiancato da un segnale di avvertimento acustico oppure tattile, che devono attivarsi al più tardi all'inizio dell'intervento della funzione sterzante di emergenza. A tale fine, opportuni segnali di avvertimento utilizzati da altri sistemi di rilevazione (rilevamento ostacoli nell'angolo cieco, sistemi di avviso di deviazione dalla corsia e di collisione anteriore e così via) sono considerati sufficienti a soddisfare le prescrizioni relative ai rispettivi segnali visivi, acustici o tattili di cui sopra.
- Lo sforzo sul comando dello sterzo necessario a prevalere sul controllo direzionale operato dal sistema non deve superare i 50 N.

- Verifica delle segnalazioni connesse alla funzione sterzante correttiva facendo percorrere al veicolo, con la funzione sterzante correttiva attiva, una strada dotata di segnaletica orizzontale su ciascun lato della corsia. Il veicolo deve essere condotto in modo da cercare di uscire dalla corsia e da provocare un intervento della funzione sterzante correttiva di durata non inferiore a 10 secondi (per i veicoli delle categorie M1 e N1). La prova è soddisfatta se: ad ogni intervento scatta un segnale di avvertimento visivo che resta attivo per tutta la durata dell'intervento, in corrispondenza del secondo e del terzo intervento scatta un segnale acustico, e il segnale acustico del terzo intervento dura almeno 10 secondi di più dei segnali acustici del primo e del secondo intervento.
- Prova della forza necessaria a prevalere sugli interventi facendo percorrere al veicolo, con la funzione sterzante correttiva attiva, una strada dotata di segnaletica orizzontale su ciascun lato della corsia. Le condizioni e la velocità di prova del veicolo devono essere comprese nell'intervallo di funzionamento del sistema. Il veicolo deve essere condotto in modo da cercare di uscire dalla corsia e da provocare un intervento della funzione sterzante correttiva. Nel corso dell'intervento, il conducente deve applicare una forza sul comando dello sterzo, in modo da prevalere sull'intervento. La prova è superata se la forza esercitata dal conducente sul comando dello sterzo per prevalere sull'intervento non supera i 50 N.

Esempi applicativi presenti in commercio sono: Lane Keep Assist: sistema che prevede lo sbandamento del veicolo fuori dalla corsia e fornisce un avvertimento, a volte tattile, ad es. vibrazione del volante e applica una leggera coppia di sterzo correttiva per aiutare il veicolo a rimanere nella corsia prima di lasciarla. Il sistema è principalmente destinato all'autostrada o ad altre strade principali, viene attivato solo al di sopra di una velocità minima (ad esempio 65 km/h); richiede le mani sul volante da parte del guidatore.



Figura 10 *Lane Keep Assist*

Steering Support Programme: un programma di servosterzo elettronico che aiuta a mantenere la sicurezza attiva del veicolo. Questo sistema abbina il controllo elettronico della stabilità (ESC) e il servosterzo elettronico (EPS). Se un veicolo sta eseguendo un arresto di emergenza, il programma di servosterzo elettronico non limiterà la frenata sulla ruota ma applicherà una piccola quantità di coppia al volante per aiutare il guidatore a correggere la traiettoria del veicolo. Il veicolo è sotto il controllo del guidatore.

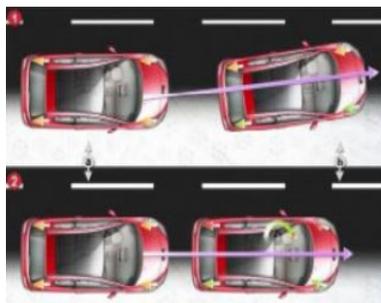


Figura 11 *Steering Support Programme*

Evasive emergency steering assist system: sistema che aggiunge una quantità precisa di coppia per supportare il movimento del volante nel caso in cui il guidatore inizi una manovra evasiva o perda il controllo dello sterzo

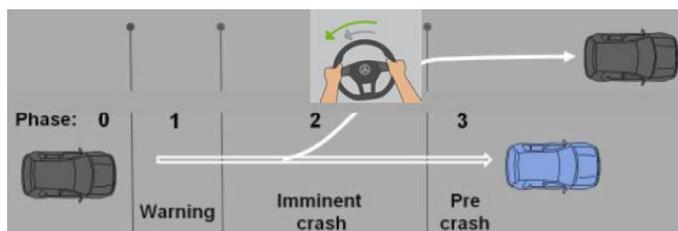


Figura 12 *Evasive emergency steering assist system*

## 2.4 ESF

Indica una funzione di controllo che rileva automaticamente una potenziale collisione e attiva il sistema di sterzo per una durata limitata. Ciò in prossimità di impatto con: un altro veicolo che guida in una corsia adiacente (deriva del guidatore o per manovra di cambio corsia o sorpasso) o un ostacolo che ostruisce il percorso del veicolo sia preventivo che imminente.

La normativa prevede una serie di requisiti che il sistema deve rispettare per essere

considerato conforme. Questi verranno riportati di seguito <sup>[18]</sup>.

- Ogni funzione sterzante di emergenza deve iniziare il suo intervento soltanto nel caso che venga rilevato il rischio di una collisione.
- Tutti i veicoli dotati di funzione sterzante di emergenza devono disporre di mezzi di controllo della zona circostante il veicolo (per rilevare ad esempio la segnaletica orizzontale, i bordi della carreggiata, la presenza di altri utenti della strada).
- Le manovre automatiche per evitare ostacoli eseguite su impulso di una funzione sterzante di emergenza non devono portare il veicolo a uscire dalla carreggiata.
- In mancanza di segnaletica orizzontale di delimitazione della corsia su un lato del veicolo o su entrambi i lati è consentito un solo intervento della funzione sterzante di emergenza, purché esso non produca uno scostamento laterale del veicolo superiore a 0,75 metri in una direzione in cui la segnaletica è assente. Lo scostamento laterale nel corso della manovra automatica per evitare l'ostacolo deve essere determinato a partire da un punto fisso della parte anteriore del veicolo all'inizio e al termine dell'intervento della funzione sterzante di emergenza.
- L'intervento della funzione sterzante di emergenza non deve provocare una collisione del veicolo con altri utenti della strada.
- Ogni intervento della funzione sterzante di emergenza deve essere segnalato al conducente mediante un segnale di avvertimento visivo affiancato da un segnale di avvertimento acustico oppure tattile, che devono attivarsi al più tardi all'inizio dell'intervento della funzione sterzante di emergenza.
- Lo sforzo sul comando dello sterzo necessario a prevalere sul controllo direzionale operato dal sistema non deve superare i 50 N.
- Prova di efficienza. Far percorrere al veicolo, con la funzione sterzante di emergenza attiva, una strada dotata di segnaletica orizzontale su ciascun lato della corsia. Il veicolo deve trovarsi all'interno di questa segnaletica. Le condizioni e le velocità di prova del veicolo devono rientrare nell'intervallo di funzionamento del sistema dichiarato dal costruttore.
- Prova per le funzioni sterzanti di emergenza di tipo a i/ii manovra laterale non intenzionale. Un veicolo deve avvicinarsi al veicolo sottoposto a prova percorrendo la corsia adiacente a quella percorsa dal veicolo testato. Uno dei veicoli deve ridurre al minimo la distanza che li separa lateralmente fino a che non interviene la funzione sterzante di emergenza.
- Prova per le funzioni sterzanti di emergenza di tipo a iii manovra laterale intenzionale. Il veicolo sottoposto a prova inizia a cambiare corsia mentre l'altro

veicolo sta percorrendo la corsia adiacente, per cui un mancato intervento della funzione sterzante di emergenza avrebbe come conseguenza una collisione.

- Prova di reazione errata della funzione sterzante di emergenza di tipo b. Il veicolo sottoposto a prova deve avvicinarsi a un foglio di plastica di un colore che contrasti con la superficie della carreggiata, avente spessore inferiore a 3 mm, larghezza di 0,8 metri e lunghezza di 2 metri, posizionato all'interno della segnaletica orizzontale di limitazione della corsia lungo la traiettoria del veicolo. La posizione del foglio di plastica deve essere tale da consentire al veicolo di schivarlo senza oltrepassare la segnaletica orizzontale di delimitazione della corsia. Le prescrizioni di prova sono considerate soddisfatte se la funzione sterzante di emergenza non interviene.

Esempio applicativo presente in commercio è l'Active Blind Spot Assist: sistema che in caso di evasione volontaria di corsia (con freccia) e contestualmente vi sia la presenza di una vettura nell'angolo cieco, attua una correzione applicando coppia allo sterzo mantenendo il veicolo in corsia.

Il sistema è solitamente attivo per velocità superiori a 10 km/h.



Figura 13 *Active Blind Spot Assist*

## 2.5 ACSF C

Indica una funzione attivata dal conducente che può eseguire una singola manovra laterale (ad es. cambio corsia) quando comandato dal conducente.

La normativa prevede una serie di requisiti che il sistema deve rispettare per essere considerato conforme. Questi verranno riportati di seguito <sup>[18]</sup>.

- I veicoli che dispongono di una funzione sterzante a comando automatico di categoria C devono essere dotati anche di una funzione sterzante a comando automatico di categoria B1.
- Quando la funzione sterzante a comando automatico di categoria C è attiva (in standby), la funzione sterzante a comando automatico di categoria B1 deve mirare a far assumere al veicolo una posizione centrale rispetto alla corsia in cui si trova.
- Lo stato di default del sistema deve essere «off» (spento) all'inizio di ogni nuovo

ciclo di accensione/funzionamento del motore.

- Il veicolo deve disporre di un mezzo che consenta al conducente di attivare (modalità standby) e disattivare (modalità off) il sistema. L'attivazione da parte del conducente deve essere possibile solo su strade in cui è vietato l'accesso a pedoni e ciclisti, che possiedono una separazione fisica che divide la carreggiata nelle due direzioni di marcia e che dispongono di almeno due corsie per ogni direzione di marcia.
- Lo sforzo sul comando dello sterzo necessario a prevalere sul controllo direzionale operato dal sistema non deve superare i 50 N.
- L'accelerazione laterale indotta dal sistema durante la manovra di cambio corsia: non deve superare  $1 \text{ m/s}^2$  in aggiunta all'accelerazione laterale causata dalla curvatura della corsia, e non deve fare sì che l'accelerazione totale del veicolo superi i valori massimi indicati nella tabella seguente.
- La media mobile su mezzo secondo del contraccolpo laterale causato dal sistema non deve superare i  $5 \text{ m/s}^3$ .
- Qualora sia eseguita la procedura di cambio corsia, il conducente deve essere avvertito mediante un segnale visivo. Il sistema deve informarne chiaramente il conducente mediante un segnale di avvertimento visivo affiancato da un segnale di avvertimento acustico oppure tattile. Se la procedura è inibita da un comando impartito dal conducente, è sufficiente il segnale visivo. Qualora il conducente non assuma il controllo del comando dello sterzo entro 3 secondi dall'inizio della procedura di cambio corsia, deve scattare un segnale di avvertimento visivo; il segnale di avvertimento deve restare attivo fino a che il conducente non assume il controllo del comando dello sterzo, oppure fino a quando il sistema non viene disattivato, manualmente o automaticamente.
- Perché sia possibile eseguire una procedura di cambio corsia, il conducente deve attivare manualmente l'indicatore di direzione del lato della corsia in cui vuole che il veicolo si sposti. La procedura deve iniziare subito dopo l'attivazione dell'indicatore di direzione.
- Il movimento laterale del veicolo in direzione della corsia in cui si vuole che l'automezzo si instradi deve iniziare almeno 1 secondo dopo l'inizio della procedura di cambio corsia. Inoltre, il movimento laterale verso la segnaletica orizzontale di delimitazione della corsia e il movimento laterale necessario a completare la manovra di cambio corsia devono avere andamento continuo.
- La manovra di cambio corsia deve essere completata in meno di 5 secondi per i

veicoli delle categorie M1. Al termine della manovra di cambio corsia, il compito di mantenere il veicolo nella corsia deve automaticamente tornare ad essere assolto dalla funzione sterzante a comando automatico di categoria B1.

- L'indicatore di direzione deve rimanere attivo per tutta la durata della manovra di cambio corsia e deve essere disattivato dal sistema entro mezzo secondo dal momento in cui la funzione sterzante a comando automatico di categoria B1 torna a gestire la funzione di mantenimento della corsia.
- Il sistema deve interrompere automaticamente la procedura di cambio corsia quando prima della manovra di cambio corsia si verifica almeno una delle seguenti situazioni: il funzionamento del sistema si interrompe perché il conducente impartisce un comando oppure il sistema viene spento dal conducente; il sistema raggiunge i suoi limiti operativi (ad esempio non rileva più la segnaletica orizzontale di delimitazione delle corsie); il sistema rileva che il conducente non ha assunto il controllo del comando dello sterzo all'inizio della manovra di cambio corsia; gli indicatori di direzione sono disattivati manualmente dal conducente; la manovra di cambio corsia non inizia entro 5 secondi dall'azione volontaria del conducente.
- Una situazione è considerata critica quando, nel momento in cui ha inizio la manovra di cambio corsia, un veicolo che viaggia nella corsia alla quale si vuole passare e che sta approssimandosi dovrebbe decelerare oltre la soglia di  $3 \text{ m/s}^2$  0,4 secondi dopo l'inizio della manovra di cambio corsia per fare in modo che la distanza tra i due veicoli non sia mai inferiore alla distanza che il veicolo che cambia corsia percorre in 1 secondo.
- La funzione sterzante a comando automatico di categoria C deve essere in grado di rilevare i veicoli che si stanno avvicinando in una corsia adiacente a una distanza minima  $S_{\text{rear}}$  non inferiore a 55 metri.
- La funzione sterzante a comando automatico di categoria C deve essere in grado di rilevare quando il sensore è "cieco" (ad esempio perché coperto da sporcizia, ghiaccio o neve). In tal caso, la funzione sterzante a comando automatico di categoria C non deve poter eseguire manovre di cambio corsia.
- Prova funzionale di cambio corsia facendo percorrere al veicolo una corsia dritta del tracciato di prova, che deve avere almeno due corsie per senso di marcia e deve essere dotata di segnaletica orizzontale su ambo i lati. La velocità del veicolo deve essere:  $V_{\text{min}} + 10 \text{ km/h}$ . La funzione sterzante a comando automatico di categoria C deve essere attiva (in modalità standby) e un altro veicolo deve avvicinarsi in modo da abilitare il sistema. Il conducente deve allora iniziare il cambio di corsia per

portare il veicolo nella corsia adiacente. La prova è soddisfatta se: il movimento laterale verso la segnaletica orizzontale non comincia prima che sia trascorso 1 secondo dall'inizio della procedura di cambio corsia; il movimento laterale verso la segnaletica orizzontale di delimitazione della corsia e il movimento laterale necessario a completare la manovra di cambio corsia hanno andamento continuo; l'accelerazione laterale registrata non è superiore a  $1 \text{ m/s}^2$ ; la media mobile su mezzo secondo del contraccolpo laterale non supera i  $5 \text{ m/s}^3$ ; il tempo (misurato) che intercorre tra l'inizio della procedura di cambio corsia e l'inizio della manovra di cambio corsia non è inferiore a 3,0 secondi e non è superiore a 5,0 secondi; il sistema segnala al conducente che la procedura di cambio corsia è in corso; la manovra di cambio corsia è completata in meno di 5 secondi per i veicoli delle categorie M1; la funzione sterzante a comando automatico di categoria B1 si riattiva automaticamente al termine della manovra di cambio corsia e l'indicatore di direzione si disattiva non prima della conclusione della manovra di cambio corsia e non oltre 0,5 secondi dopo la riattivazione della funzione sterzante a comando automatico di categoria B1.

- Prova della velocità minima di attivazione  $V_{\text{smín}}$  facendo percorrere al veicolo una corsia diritta del tracciato, che deve avere almeno due corsie per senso di marcia e deve essere dotata di segnaletica orizzontale su ambo i lati. La velocità del veicolo deve essere:  $V_{\text{smín}} - 10 \text{ km/h}$ . La funzione sterzante a comando automatico di categoria C deve essere attiva (in modalità standby) e un altro veicolo deve avvicinarsi in modo da abilitare il sistema. Il conducente deve iniziare la procedura di cambio corsia. La prova è soddisfatta se la manovra di cambio corsia non ha luogo. La prova della velocità minima di attivazione  $V_{\text{smín}}$  si basa sul limite massimo generale di velocità inferiore a  $130 \text{ km/h}$  specifico per il paese. Qualora il valore  $V_{\text{smín}}$  sia calcolato in base a un limite massimo generale di velocità vigente nel paese invece che a  $V_{\text{app}} = 130 \text{ km/h}$  devono essere eseguite le prove descritte qui di seguito. Far percorrere al veicolo una corsia diritta del tracciato, che deve avere almeno due corsie per senso di marcia e deve essere dotata di segnaletica orizzontale su ambo i lati. La velocità del veicolo deve essere:  $V_{\text{smín}} - 10 \text{ km/h}$ . La funzione sterzante a comando automatico di categoria C deve essere attiva (in modalità standby) e un altro veicolo deve avvicinarsi in modo da abilitare il sistema. Il veicolo in avvicinamento deve quindi sorpassare completamente il veicolo sottoposto a prova. Il conducente deve allora iniziare la procedura di cambio corsia. La prova è superata se la manovra di cambio corsia non ha luogo.

- Far percorrere al veicolo una corsia dritta del tracciato, che deve avere almeno due corsie per senso di marcia e deve essere dotata di segnaletica orizzontale su ambo i lati. La velocità del veicolo deve essere:  $V_{\text{min}} + 10 \text{ km/h}$ . La funzione sterzante a comando automatico di categoria C deve essere attiva (in modalità standby) e un altro veicolo deve avvicinarsi in modo da abilitare il sistema. Il veicolo in avvicinamento deve quindi sorpassare completamente il veicolo sottoposto a prova. Il conducente deve allora iniziare la procedura di cambio corsia. Le prescrizioni di prova sono considerate soddisfatte se la manovra di cambio corsia ha luogo.
- Prova di prevalenza del comando manuale sul comando automatico facendo percorrere al veicolo una corsia dritta del tracciato di prova, che deve avere almeno due corsie per senso di marcia e deve essere dotata di segnaletica orizzontale su ambo i lati. La velocità del veicolo deve essere:  $V_{\text{min}} + 10 \text{ km/h}$ . La funzione sterzante a comando automatico di categoria C deve essere attiva (in modalità standby) e un altro veicolo deve avvicinarsi in modo da abilitare il sistema. Il veicolo in avvicinamento deve quindi sorpassare completamente il veicolo sottoposto a prova. Il conducente deve allora iniziare il cambio di corsia per portare il veicolo nella corsia adiacente. Il comando dello sterzo deve essere saldamente nelle mani del conducente, che deve far mantenere al veicolo la traiettoria rettilinea. La prova è soddisfatta se la forza misurata che consente di prevalere sull'intervento del sistema non supera i 50 N.
- Prova dell'inibizione della procedura di cambio corsia facendo percorrere al veicolo una corsia dritta del tracciato di prova, che deve avere almeno due corsie per senso di marcia e deve essere dotata di segnaletica orizzontale su ambo i lati. La velocità del veicolo deve essere:  $V_{\text{min}} + 10 \text{ km/h}$ . La funzione sterzante a comando automatico di categoria C deve essere attiva (in modalità standby) e un altro veicolo deve avvicinarsi in modo da abilitare il sistema. Il veicolo in avvicinamento deve quindi sorpassare completamente il veicolo sottoposto a prova. Il conducente deve allora iniziare la procedura di cambio corsia. La prova deve essere ripetuta per ciascuna delle seguenti condizioni, che devono sussistere prima dell'inizio della manovra di cambio corsia:
  - il funzionamento del sistema si interrompe perché il conducente impartisce un comando;
  - il sistema viene spento dal conducente;
  - la velocità del veicolo è ridotta a:  $V_{\text{min}} - 10 \text{ km/h}$ ;
  - il conducente toglie le mani dal comando dello sterzo e scatta il segnale che

avverte che il conducente non ha il controllo del comando dello sterzo;

- gli indicatori di direzione sono disattivati manualmente dal conducente;
- la manovra di cambio corsia non inizia nei 5 secondi successivi all'inizio della procedura di cambio corsia (ad esempio perché un altro veicolo sta percorrendo la corsia adiacente e si configura una situazione critica quale descritta sopra descritta).

La prova è soddisfatta se la procedura di cambio corsia viene inibita in tutti i casi sopra indicati.

- Prova dell'efficienza dei sensori facendo percorrere al veicolo una corsia diritta del tracciato di prova, che deve avere almeno due corsie per senso di marcia e deve essere dotata di segnaletica orizzontale su ambo i lati. La velocità del veicolo deve essere:  $V_{\text{min}} + 10$  km/h. La funzione sterzante a comando automatico di categoria C deve essere attiva (in modalità standby). Un altro veicolo deve avvicinarsi, percorrendo la corsia adiacente alla velocità di 120 km/h. Il veicolo in avvicinamento deve essere un motociclo omologato, prodotto in serie in grandi quantità, appartenente alla categoria L3, con motore di cilindrata non superiore a 600 cm<sup>3</sup> e senza parabrezza o carenatura anteriore, che deve viaggiare il più possibile al centro della corsia. La prova è superata se il sistema rileva il veicolo in avvicinamento entro la distanza dichiarata dal costruttore del veicolo ( $S^{\text{rear}}$ ).
- Prova della cecità dei sensori facendo percorrere al veicolo una corsia diritta del tracciato di prova, che deve avere almeno due corsie per senso di marcia e deve essere dotata di segnaletica orizzontale su ambo i lati. La velocità del veicolo deve essere:  $V_{\text{min}} + 10$  km/h. La funzione sterzante a comando automatico di categoria C deve essere attiva (in modalità standby) e un altro veicolo deve avvicinarsi in modo da abilitare il sistema. Il veicolo in avvicinamento deve quindi sorpassare completamente il veicolo sottoposto a prova. Il sensore o i sensori posteriori devono essere resi "ciechi" secondo modalità concordate tra il costruttore del veicolo e il servizio tecnico che devono essere indicate nel verbale di prova. Tale operazione può essere effettuata a veicolo fermo, purché non venga avviato un nuovo ciclo di accensione/funzionamento del motore. Il conducente deve dare inizio alla procedura di cambio corsia mentre il veicolo sta viaggiando alla velocità di  $V_{\text{min}} + 10$  km/h. la prova è superata se il sistema:
  - rileva la cecità del sensore o dei sensori;
  - emette un segnale di avvertimento per il conducente;
  - non esegue la manovra di cambio corsia;

- Prova del ciclo di accensione/funzionamento del motore. Questa prova si suddivide nelle 3 fasi, la velocità del veicolo deve essere:  $V_{\text{min}} + 10 \text{ km/h}$ .
  - Fase 1 – Prova di disattivazione predefinita. Dopo un nuovo ciclo di accensione/funzionamento del motore avviato dal conducente, far percorrere al veicolo una corsia dritta del tracciato di prova, che deve avere almeno due corsie per senso di marcia e deve essere dotata di segnaletica orizzontale su ambo i lati. La funzione sterzante a comando automatico di categoria C deve essere disattivata (in modalità off) e un altro veicolo deve avvicinarsi da tergo e sorpassare completamente il veicolo sottoposto a prova. L'indicatore di direzione utilizzato per dare inizio alla procedura di cambio corsia deve essere attivato dal conducente e restare in funzione per un periodo superiore a 5 secondi.
  - Fase 2 L'obiettivo della prova è verificare che la manovra di cambio corsia sia inibita qualora il sistema non abbia rilevato oggetti in movimento a una distanza non inferiore alla distanza  $S_{\text{rear}}$ . Dopo un nuovo ciclo di accensione/funzionamento del motore avviato dal conducente, far percorrere al veicolo una corsia dritta del tracciato di prova, che deve avere almeno due corsie per senso di marcia e deve essere dotata di segnaletica orizzontale su ambo i lati. La funzione sterzante a comando automatico di categoria C deve essere attivata manualmente (in modalità standby). Il conducente deve allora iniziare la procedura di cambio corsia. la fase è superata se la manovra di cambio corsia non ha avuto inizio (dato che dopo l'accensione il sistema non può essere ingaggiato se prima non rileva un oggetto in movimento a una distanza superiore  $S_{\text{rear}}$ ).
  - Fase 3 – Prova delle condizioni che consentono il cambio di corsia L'obiettivo della prova è verificare che la manovra di cambio corsia sia possibile esclusivamente una volta che il sistema ha rilevato un oggetto in movimento a una distanza non inferiore alla distanza  $S_{\text{rear}}$ . Al termine della fase 2 della prova, un altro veicolo deve avvicinarsi sulla corsia adiacente in modo da abilitare il sistema. Misurare quindi la distanza tra l'estremità posteriore del veicolo di prova e l'estremità anteriore del veicolo in avvicinamento, servendosi ad esempio di un GPS differenziale, e registrare il valore relativo al momento in cui il sistema individua il veicolo in avvicinamento. Dopo che la parte posteriore del veicolo ha sorpassato completamente il veicolo sottoposto a prova, il conducente deve dare inizio

alla procedura di cambio corsia. La fase è soddisfatta se: ha luogo la manovra di cambio corsia; il veicolo in avvicinamento è rilevato entro la distanza dichiarata dal costruttore del veicolo ( $S_{\text{rear}}$ ).

## 2.6 Categorie non ancora normate

ACSF B2, indica una funzione che viene attivata dal conducente e che mantiene il veicolo nella sua corsia influenzando il lato movimento del veicolo per lunghi periodi senza ulteriore comando.

ACSF D, indica una funzione attivata dal conducente e che può indicare la possibilità di una singola manovra laterale (es. cambio di corsia) ma svolge tale funzione solo dopo una conferma da parte del conducente.

ACSF E, indica una funzione attivata dal guidatore che permette una manovra (ad es. cambio corsia) per periodi prolungati senza ulteriore comando del conducente.

Seppur non siano presenti ancora normative che regolino l'omologazione di questo tipo di dispositivi, attualmente alcune case automobilistiche stanno sperimentando soluzioni già definitive. Tra le principali abbiamo Tesla con il suo Autopilot: sistema che esegue il controllo longitudinale e laterale della vettura su strade a doppia carreggiata sotto la supervisione permanente del conducente. Il controllo longitudinale è simile a una funzione adaptive cruise control, con una velocità di guida massima impostata dal conducente o dipendente dal limite di velocità corrente e dall'adattamento della velocità al traffico precedente. Il sistema riduce anche la velocità di guida prima delle curve. Il sistema utilizza radar e telecamera rivolti in avanti e 12 sensori a ultrasuoni a lungo raggio (raggio: circa 5 metri attorno all'auto in ogni direzione a tutte le velocità). Tali modelli con autopilota incorporano anche la funzionalità AEB e LDW.



# CAPITOLO 3

## OMOLOGAZIONE LKA

Nel seguente capitolo verrà esaminato il lavoro di tesi svolto in Maserati per testare e omologare i sistemi di Lane Keep Assist.

### 3.1 Lane keep assist

Il lane keep assist è un sistema di assistenza alla guida classificato come CSF che una volta ingaggiato previene l'uscita non intenzionale dalla corsia di percorrenza da parte del veicolo. Il sistema può essere disattivato o forzato da parte del conducente opponendo una forza contraria all'azione correttiva. In fase di attivazione o warning sono previsti segnali acustici e visivi per richiamare l'attenzione di chi guida. Non è consentito l'ingaggio in caso di hands-off del conducente. Il sistema ha un range di funzionamento che va da 60-180 km/h.

Il sistema si compone di diverse parti, le cui funzioni sono le seguenti <sup>[16]</sup>:

- (1) interfaccia con l'ambiente e acquisizione delle informazioni. Tale livello comprende una camera frontale dedicata all'analisi del percorso stradale in termini di linee di corsia;
- (2) livello decisionale, qui sono presenti gli algoritmi di analisi che elabora la mole di dati che proviene dalla camera. In funzione di ciò viene deciso se inviare i dati all'attuatore dello sterzo al fine di correggere la traiettoria e mantenere l'auto in carreggiata
- (3) livello esecutivo, comprende gli attuatori che agiscono sul sistema di sterzo.

L'algoritmo viene utilizzato per determinare la posizione relativa tra il veicolo e la corsia determinando lo stato di deviazione del veicolo. Nel caso venisse identificata una deviazione ove il conducente non partecipa attivamente, il sistema interviene [17].

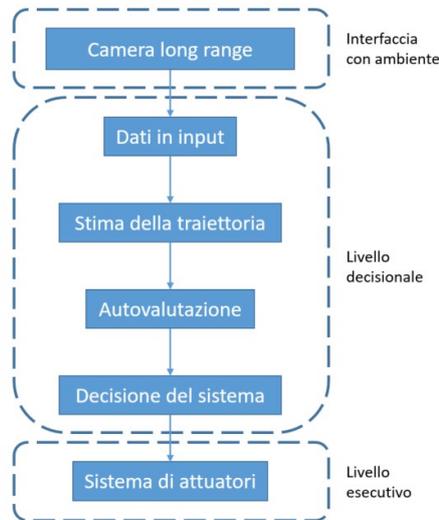


Figura 14 *Schema decisionale LKA*

## 3.2 Test omologativi LKA

In conformità con le norme che ne regolano l'omologazione e la successiva implementazione sui nuovi veicoli per ciò che concerne i test inerenti il Lane Keep Assist sono da validare le seguenti features:

- L'intervento del sistema non causa deterioramento del sistema sterzante.
- Presenza di segnale ottico in fase di attivazione del sistema per 1 sec o per tutta la durata del sistema.
- Per interventi più lunghi di 10 secondi, presenza di segnale acustico fino alla fine dell'intervento.
- In caso di due o più interventi consecutivi e in assenza di risposta da parte del conducente nell'intervallo di 180 secondi, presenza di un segnale acustico di avviso.
- In presenza di un terzo intervento segnale acustico attivo per più di 10 secondi rispetto al precedente.
- Sforzo sul volante necessario per superare il comando di sterzata prodotto dal sistema non supera i 50N.

La prova per il rispetto dei 50N è stata svolta sul fisico, sfruttando uno sterzo dinamometrico con raggio di 19 centimetri che monitorasse l'intervento del sistema in termini di coppia e forza applicate. Sono state eseguite le seguenti tre prove con stessa manovra.

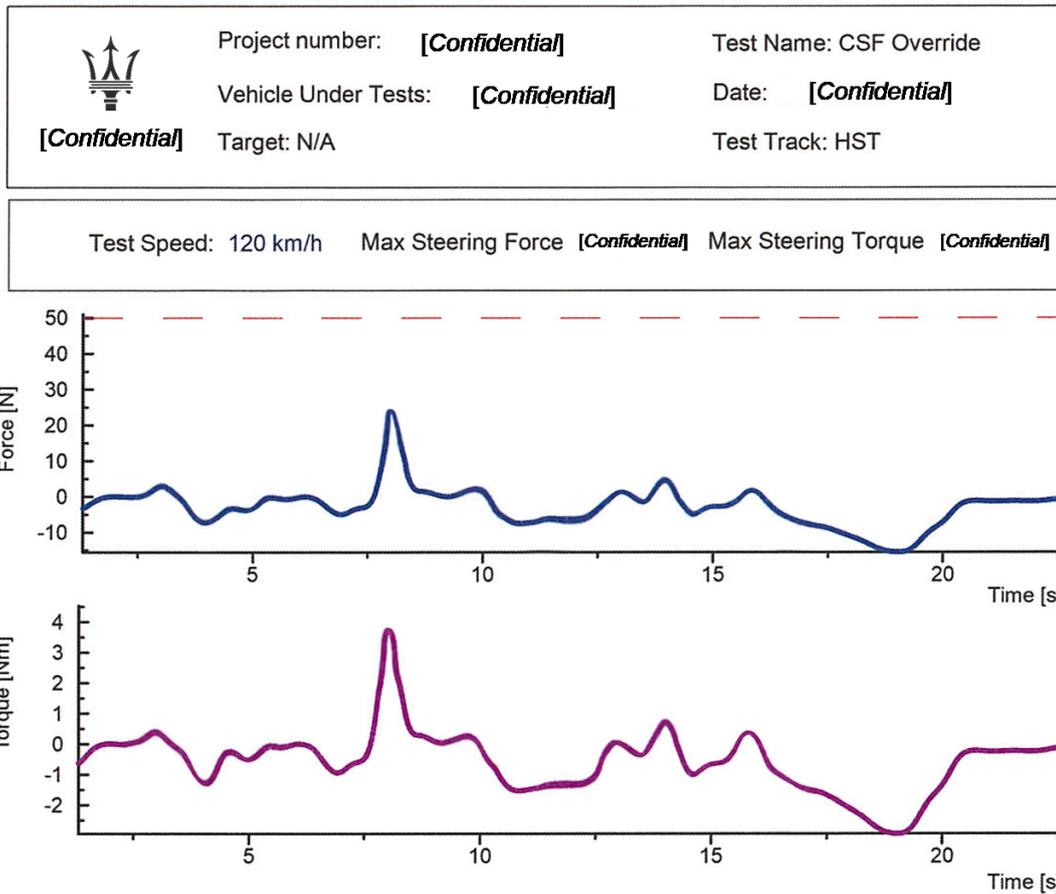


Figura 15 *Prova 01: analisi forza e momento torcente applicati sul sistema sterzante in fase di attivazione del sistema LKA*

 [Confidential]	Project number: [Confidential]	Test Name: CSF Override
	Vehicle Under Tests: [Confidential]	Date: [Confidential]
	Target: N/A	Test Track: HST

Test Speed: 120 km/h	Max Steering Force [Confidential]	Max Steering Torque [Confidential]
----------------------	-----------------------------------	------------------------------------

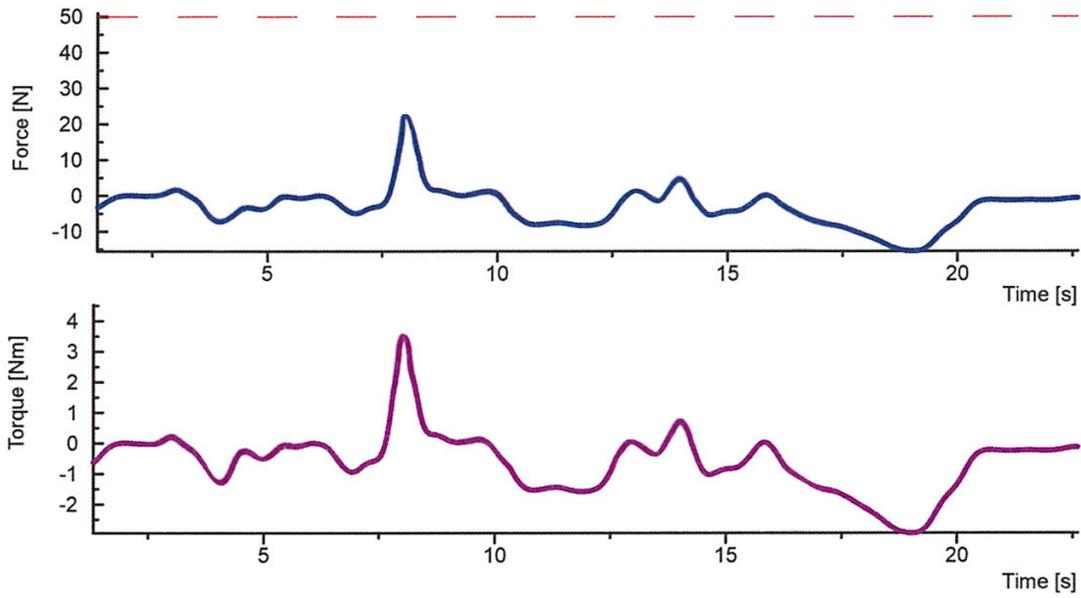


Figura 16 Prova 02: analisi forza e momento torcente applicati sul sistema sterzante in fase di attivazione del sistema LKA

 [Confidential]	Project number: [Confidential]	Test Name: CSF Override
	Vehicle Under Tests: [Confidential]	Date: [Confidential]
	Target: N/A	Test Track: HST

Test Speed: 120 km/h	Max Steering Force [Confidential]	Max Steering Torque [Confidential]
----------------------	-----------------------------------	------------------------------------

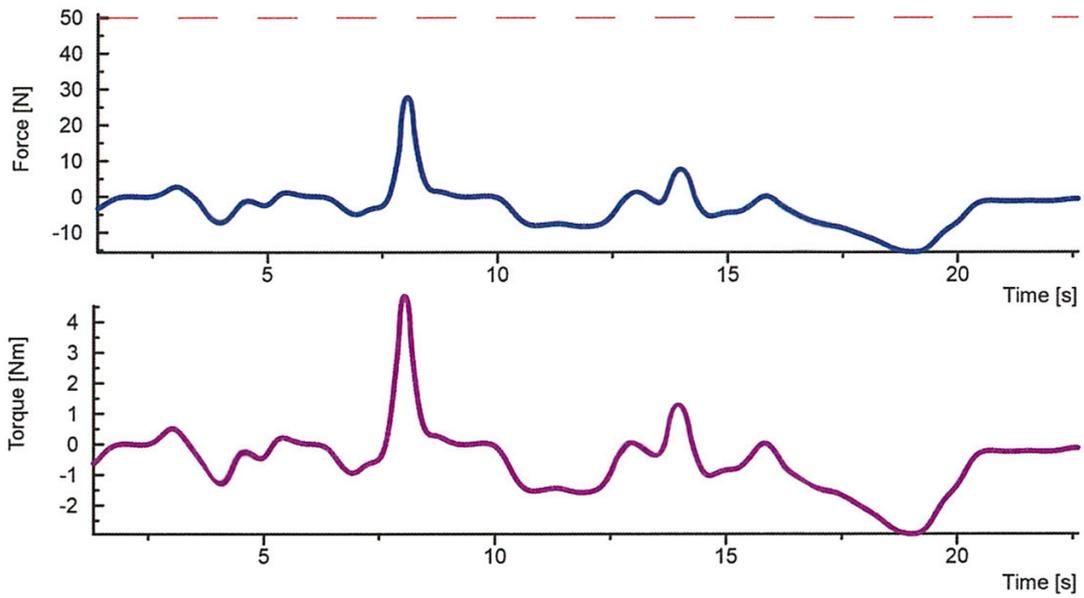


Figura 17 Prova 03: analisi forza e momento torcente applicati sul sistema sterzante in fase di attivazione del sistema LKA

	Project number: [Confidential]	Test Name: CSF Override
	Vehicle Under Tests: [Confidential]	Date: [Confidential]
	[Confidential] Target: N/A	Test Track: HST

Test Speed: 120 km/h	Max Steering Force: 23,82 N	Max Steering Torque: 4,53 Nm
----------------------	-----------------------------	------------------------------

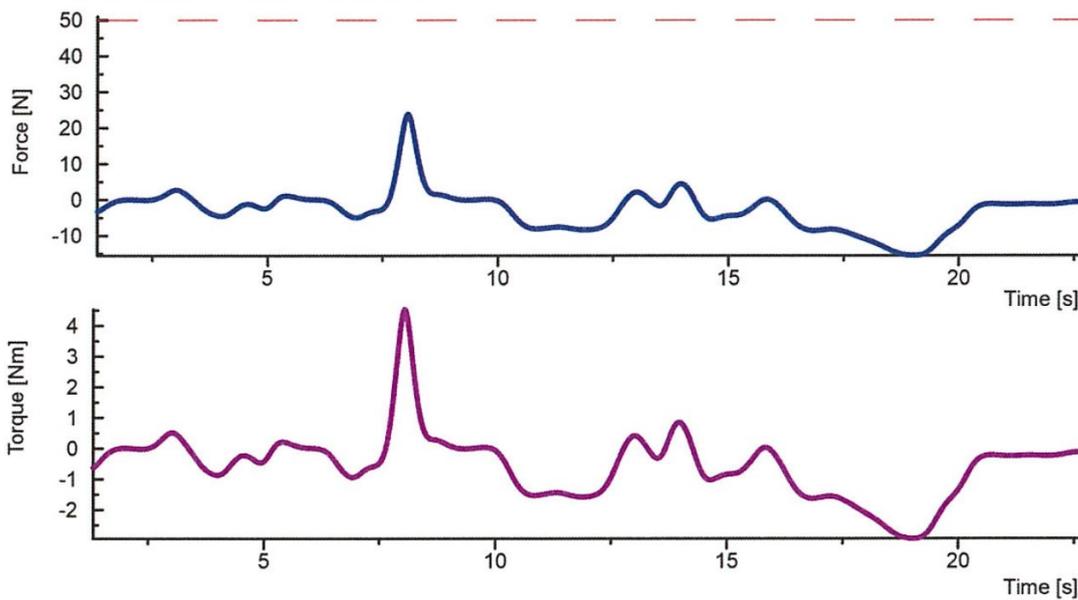


Figura 18 Media prove di analisi forza e momento torcente applicati sul sistema sterzante in fase di attivazione del sistema LKA

Come è possibile notare dal grafico conclusivo, la media complessiva rispetta la normativa in quanto i valori di forza restano sotto i 50N. Il sistema infatti per esercitare l'azione correttiva, necessaria a tenere in carreggiata il veicolo, esercita sul sistema sterzante una forza media di 23,82N in corrispondenza del quale si sviluppa un momento torcente di 4,53 Nm. Nel caso il conducente sviluppasse sul sistema una forza superiore a 50N l'intervento del guidatore viene considerato volontario e di conseguenza non corretto dal LKA. Le piccole oscillazioni presenti durante tutto il periodo di analisi sono relative al fatto che sono presenti micro correzioni poiché il sistema offre assistenza attiva durante tutto il tragitto una volta abilitato.

Tabella 2 Risultati prove 50N

Prova	Forza applicata [N]	Coppia applicata [Nm]
1	23.79	4.52
2	24.09	4.58
3	23.55	4.47
<b>media</b>	23.82	4.53

Per l'analisi dell'impatto dell'azione del sistema sul veicolo e quindi per valutarne la sensazione di guida a diverse velocità, si è modellato un percorso di test sfruttando una serie di toolbox del software Simulink: "Automated driving toolbox" e "Model predictive control toolbox", utilizzando dei modelli di controllo predittivi MPC. Non essendoci procedure standard è stata valutata la risposta di un veicolo prova e le possibili manovre da effettuarsi. La logica che sta dietro il codice di simulazione è di valutare la deviazione laterale e l'angolo relativo di imbardata tra la linea centrale di una corsia e l'auto facendo tendere il loro delta a zero. Il sistema mantiene l'auto in test lungo la mezzzeria della corsia, regolando l'angolo di sterzo anteriore applicandone di fatto una coppia.

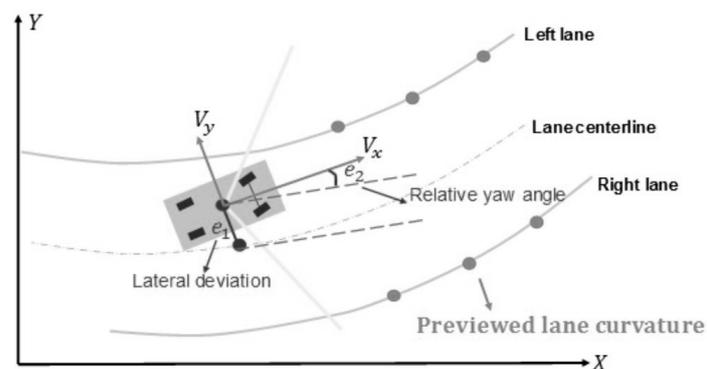


Figura 19 Analisi veicolo per controllo lka

È stato usato un percorso misto con zone rettilinee e zone in curva composto da 3 corsie con larghezza di 3,6 metri ed è stata definita una traiettoria che includesse l'attraversamento della linea di carreggiata da parte del veicolo in prova. Nel sistema sono stati inseriti i dati di targa di Maserati Ghibli e impostata una distanza di sicurezza laterale massima di 1 metro.

Tabella 3 *Dati veicolo prova*

<b>Massa tecnicamente ammissibile</b>	<b>2530 kg</b>
<b>Larghezza</b>	<b>1945 mm</b>
<b>Lunghezza</b>	<b>4974 mm</b>
<b>Altezza</b>	<b>1455 mm</b>
<b>Interasse</b>	<b>2998 mm</b>
<b>Carreggiata anteriore</b>	<b>1635 mm</b>
<b>Carreggiata posteriore</b>	<b>1653</b>

Nel percorso definito sono state inserite 4 punti nei quali si simula un attraversamento involontario della linea della carreggiata. I vari interventi hanno un livello di correzione differente sia come entità che come zona di ingaggio.

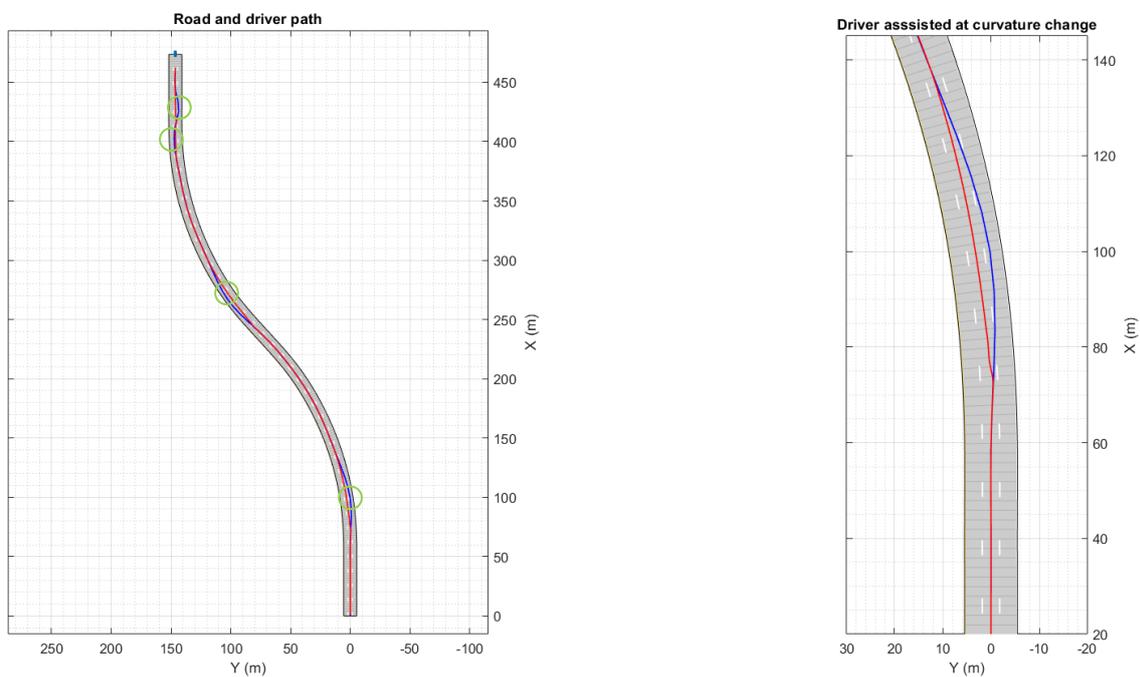


Figura 20 *Percorso test LKA*

Sono stati valutati gli interventi del sistema LKA in termini di durata dell'intervento, di azione sul sistema sterzante, di angolo relativo di imbardata e di deviazione laterale. Lo stesso test è stato eseguito a diversi range di velocità.

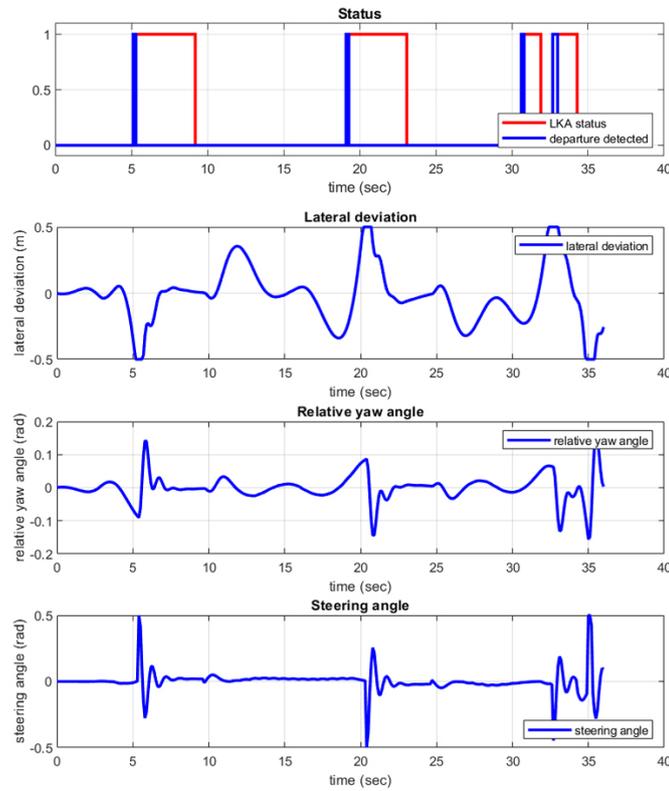


Figura 21 Risultati simulazione test LKA velocità 50 km/h

Tabella 4 Risultati simulazione test LKA velocità 50 km/h

<b>Interventi</b>	<b>Durata [s]</b>	<b>Deviazione laterale [m]</b>	<b>Angolo relativo di imbardata [rad]</b>	<b>Angolo di sterzo applicato [rad]</b>
<b>1</b>	4.6	0.5	0.12	0.51
<b>2</b>	3.2	0.5	0.12	0.50
<b>3</b>	1.7	0.5	0.11	0.47
<b>4</b>	2.1	0.5	0.12	0.51

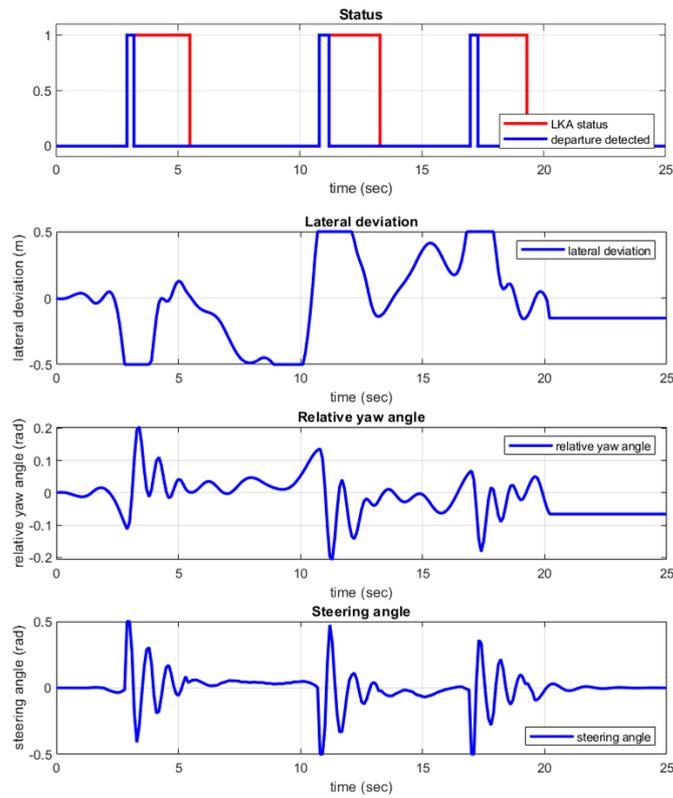


Figura 22 Risultati simulazione test LKA velocità 90 km/h

Tabella 5 Risultati simulazione test LKA velocità 90 km/h

<b>Interventi</b>	<b>Durata [s]</b>	<b>Deviazione laterale [m]</b>	<b>Angolo relativo di imbardata [rad]</b>	<b>Angolo di sterzo applicato [rad]</b>
<b>1</b>	2.7	0.5	0.18	0.50
<b>2</b>	2.6	0.5	0.18	0.51
<b>3</b>	2.5	0.5	0.17	0.50
<b>4</b>				

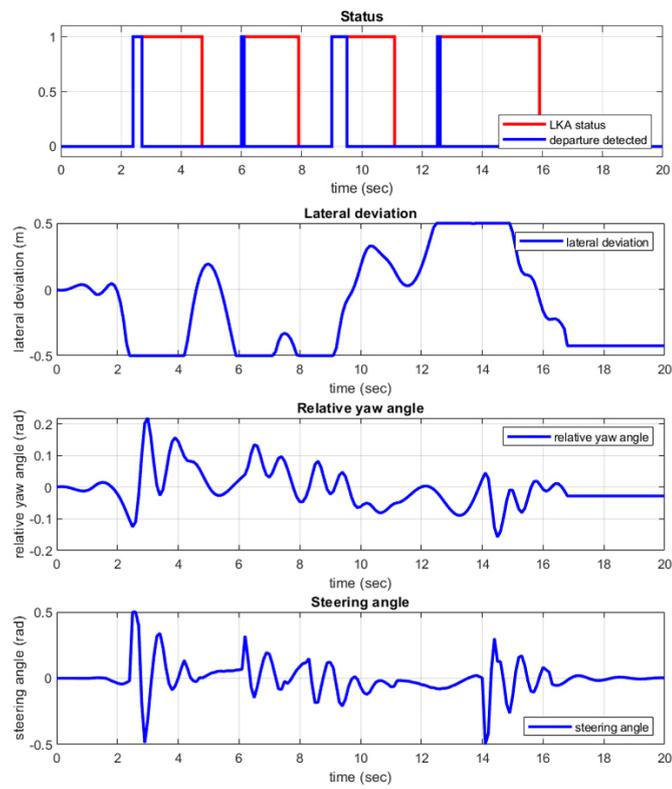


Figura 23 Risultati simulazione test LKA velocità 110 km/h

Tabella 6 Risultati simulazione test LKA velocità 110 km/h

<b>Interventi</b>	<b>Durata [s]</b>	<b>Deviazione laterale [m]</b>	<b>Angolo relativo di imbardata [rad]</b>	<b>Angolo di sterzo applicato [rad]</b>
<b>1</b>	2.2	0.5	0.21	0.51
<b>2</b>	1.9	0.5	0.13	0.40
<b>3</b>	1.7	0.4	0.09	0.30
<b>4</b>	3.4	0.5	0.15	0.51

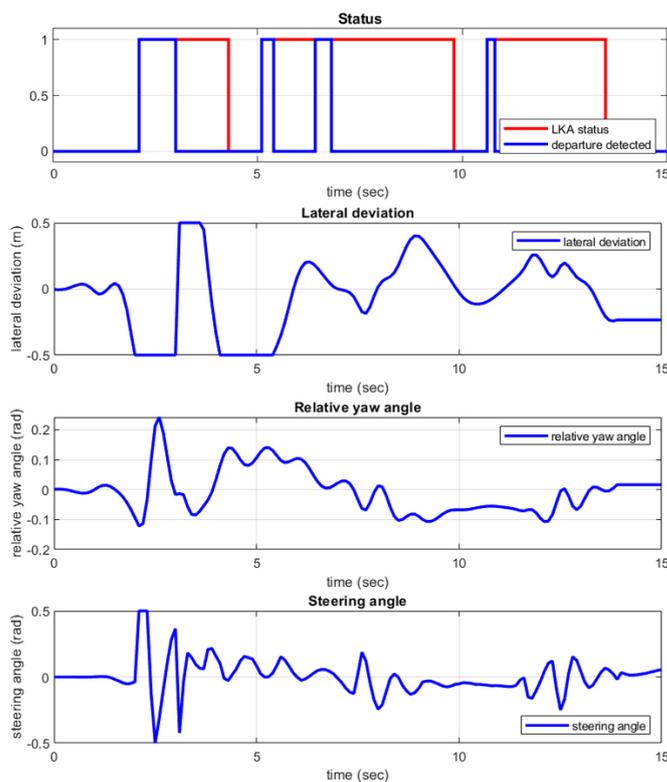


Figura 24 Risultati simulazione test LKA velocità 130 km/h

Tabella 7 Risultati simulazione test LKA velocità 130 km/h

<b>Interventi</b>	<b>Durata [s]</b>	<b>Deviazione laterale [m]</b>	<b>Angolo relativo di imbardata [rad]</b>	<b>Angolo di sterzo applicato [rad]</b>
<b>1</b>	2.7	0.5	0.25	0.50
<b>2</b>	1.6	0.5	0.16	0.13
<b>3</b>	4.2	0.47	0.11	0.13
<b>4</b>	3.8	0.32	0.11	0.21

All'aumentare della velocità si nota come l'intervento del sistema risulta più lungo, questo è giustificato dal fatto che a velocità elevate il sistema attua una serie di micro correzioni per garantire la sicurezza dell'intervento ed evitare che il veicolo abbandoni la corsia. In base alla velocità di guida infatti non sarebbe possibile correggere la traiettoria con una sola manovra. (appendice A)

Tabella 8 *Manovre necessarie per la correzione*

<b>angolo di sterzo [rad]</b>	<b>raggio [m]</b>	<b>velocità [m/s]</b>	<b>velocità limite slittamento [m/s]</b>	<b>n° manovre</b>
<b>0,12</b>	24,92	13,90	13,98	1
<b>0,18</b>	16,61	25,00	11,42	>1
<b>0,21</b>	14,24	30,00	10,57	>1
<b>0,25</b>	11,96	36,00	9,69	>1

Si noti come l'angolo di sterzo imposto non superi mai i 28° per non inficiare il confort di marcia e soprattutto la sicurezza di conducente e passeggeri.

## CAPITOLO 4

# OMOLOGAZIONE ABSA

Nel seguente capitolo verrà esaminato il lavoro di tesi svolto in Maserati per testare e omologare i sistemi di Active Blind Spot Assist.

### 4.1 Active blind spot assist

L' Active Blind Spot Assist è un sistema di assistenza alla guida classificato come ESF. Esso quando ingaggiato previene l'impatto in fase di sorpasso con veicoli che sorraggiungono. Oltre a mostrare segnale acustico e visivo, il sistema è in grado di correggere la traiettoria del veicolo agendo sull' apparato sterzante prevenendo la collisione e facendo tornare il veicolo all'interno della carreggiata.

Tale ADAS sfrutta per il suo funzionamento due dispositivi: una telecamera e un radar. La prima monitora le condizioni stradali di traffico e segnaletica orizzontale operando su un range di 150 metri, il secondo monitora la situazione in un range più prossimo al veicolo, circa 50 metri. La necessità di quest'ultimo è dato dal suo metodo di acquisizione dati che risulta esente da condizioni atmosferiche avverse e da presenza di sporco sul sensore. Il sistema risulta efficace in un range di velocità compreso tra 60-180 km/h e prevede una situazione di hand-on da parte del conducente.

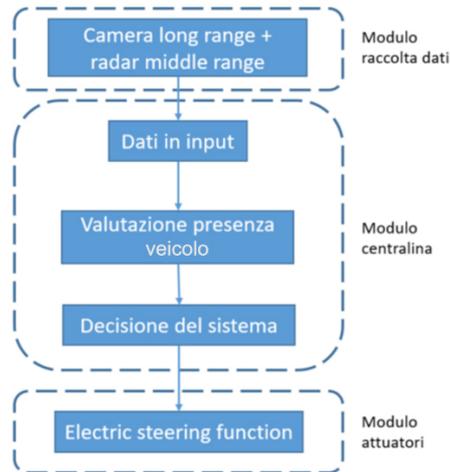


Figura 25 Schema logica active blind spot assist

## 4.2 Test omologativi ABSA

In conformità con le norme che ne regolano l'omologazione e la successiva implementazione sui nuovi veicoli per ciò che concerne i test inerenti l'Active Blind Spot Assist sono da validare le seguenti features:

- Manovra laterale intenzionale, il veicolo sottoposto a prova inizia a cambiare corsia mentre l'altro veicolo sta percorrendo la corsia adiacente, per cui un mancato intervento della funzione sterzante di emergenza avrebbe come conseguenza una collisione.
- Sforzo sul volante necessario per superare il comando di sterzata prodotto dal sistema non supera i 50 N

La prova per il rispetto dei 50N è stata svolta sul fisico, sfruttando uno sterzo dinamometrico con raggio di 19 centimetri che monitorasse l'intervento del sistema in termini di coppia e forza applicate. Sono state eseguite le seguenti due prove su due scenari con differenti velocità e differente situazione di guida.

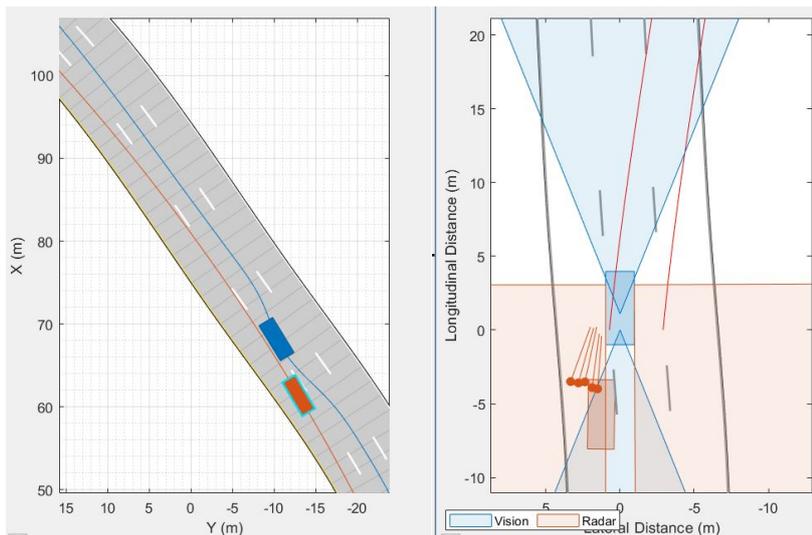


Figura 26 Scenario di guida su rettilineo ABSA

La simulazione è stata condotta su un percorso rettilineo prendendo in considerazione due veicoli prova aventi caratteristiche fisiche differenti al fine di simulare una situazione reale. La simulazione è stata condotta simulando un cambio corsia con veicolo sopraggiungente. Di seguito i parametri dei veicoli utilizzati nella prova:

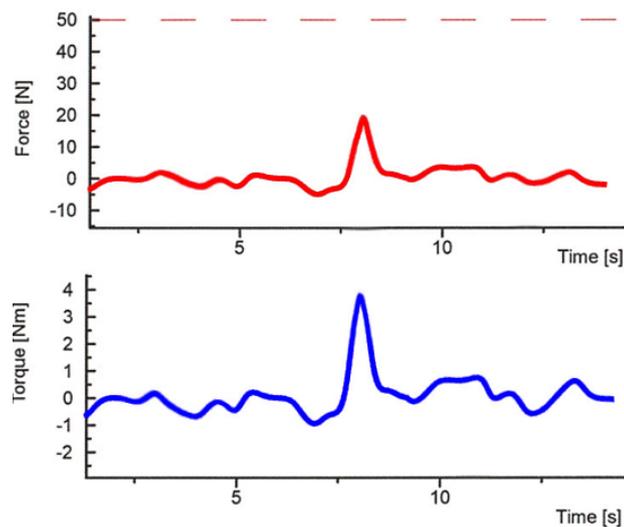
Tabella 9 Dati veicolo test ABSA

<b>Massa tecnicamente ammissibile</b>	2530 kg
<b>Larghezza</b>	1945 mm
<b>Lunghezza</b>	4974 mm
<b>Altezza</b>	1455 mm
<b>Interasse</b>	2998 mm
<b>Carreggiata anteriore</b>	1635 mm
<b>Carreggiata posteriore</b>	1653
<b>Velocità</b>	80 km/h

Tabella 10 *Dati veicolo antagonista ABSA*

<b>Massa tecnicamente ammissibile</b>	2150 kg
<b>Larghezza</b>	1835 mm
<b>Lunghezza</b>	4554 mm
<b>Altezza</b>	1505 mm
<b>Interasse</b>	2652 mm
<b>Carreggiata anteriore</b>	1525 mm
<b>Carreggiata posteriore</b>	1533
<b>Velocità</b>	90 km/h

Una volta riconosciuta la presenza del veicolo antagonista il sistema ABSA ha impedito correttamente la manovra agendo sul sistema sterzante con una forza di 19.97 N, dunque una coppia di 3.79 Nm.

Figura 27 *Forze azione ABSA su rettilineo*

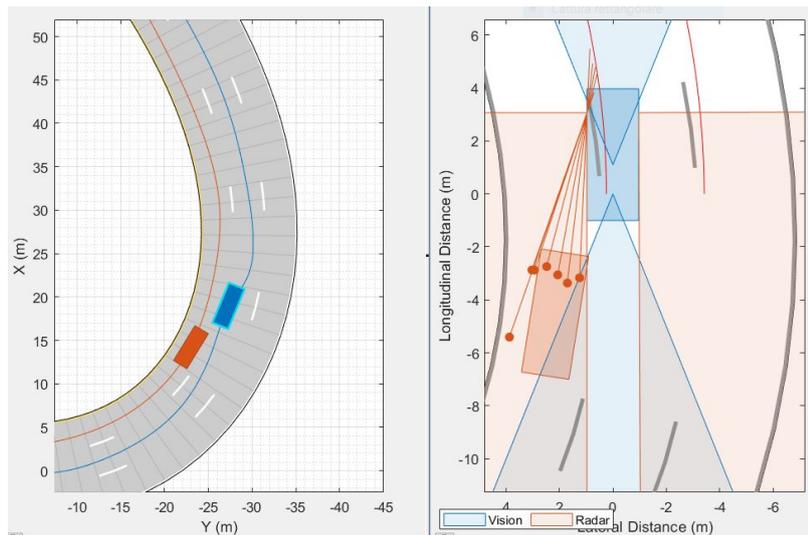


Figura 28 Scenario di guida in curva ABSA

La simulazione è stata condotta su un percorso in curva con raggio di 75 m, prendendo in considerazione due veicoli prova aventi stesse caratteristiche fisiche. La simulazione è stata condotta simulando un cambio corsia con veicolo sopraggiungente. Di seguito i parametri dei veicoli utilizzati nella prova:

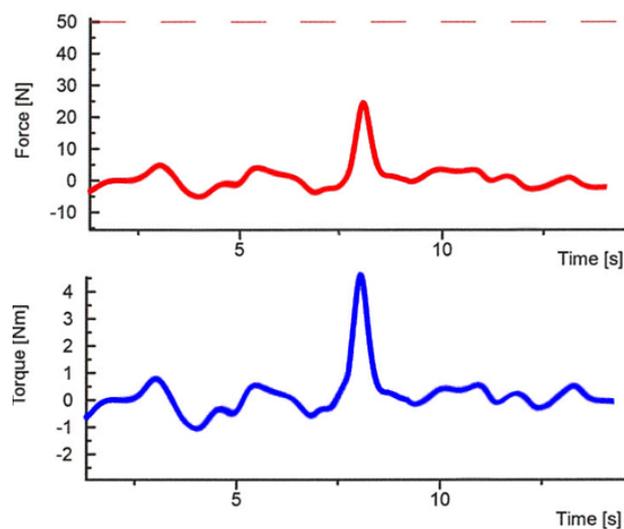
Tabella 11 Dati veicolo test ABSA

<b>Massa tecnicamente ammissibile</b>	2530 kg
<b>Larghezza</b>	1945 mm
<b>Lunghezza</b>	4974 mm
<b>Altezza</b>	1455 mm
<b>Interasse</b>	2998 mm
<b>Carreggiata anteriore</b>	1635 mm
<b>Carreggiata posteriore</b>	1653
<b>Velocità</b>	70 km/h

Tabella 12 *Dati veicolo antagonista ABSA*

<b>Massa tecnicamente ammissibile</b>	2150 kg
<b>Larghezza</b>	1835 mm
<b>Lunghezza</b>	4554 mm
<b>Altezza</b>	1505 mm
<b>Interasse</b>	2652 mm
<b>Carreggiata anteriore</b>	1525 mm
<b>Carreggiata posteriore</b>	1533 mm
<b>Velocità</b>	80 km/h

Una volta riconosciuta la presenza del veicolo antagonista il sistema ABSA ha impedito correttamente la manovra agendo sul sistema sterzante con una forza di 23.69 N, dunque una coppia di 4.5 Nm.

Figura 29 *Forze azione ABSA in curva*

Si noti come l'azione sterzante, in entrambi i casi, presenti una forza al sotto del limite imposto da norma di 50 N.

## CAPITOLO 5

# STRATEGIE INNOVATIVE

Come si è evinto dal lavoro svolto, la normativa ECE 79-03, obbligatoria per i nuovi veicoli dal 1 aprile 2021, non evidenzia una chiara metodologia di prova anche se impone vincoli molto stringenti. Tra questi di notevole importanza quello inerente il riconoscimento delle linee di corsia per garantire l'ingaggio di questi sistemi. I problemi sorgerebbero nel momento in cui una o entrambe non sono riconosciute per scarsa visibilità da parte del sensore ottico a causa di eventi atmosferici o sporco o per problemi legati alla segnaletica orizzontale. Su questi aspetti diversi car maker e fornitori annessi si stanno muovendo per avanzare proposte risolutive che, in caso di consenso da parte delle autorità competenti, potrebbero essere implementate nei nuovi veicoli dell'anno in corso.

Scenari ricorrenti sono i seguenti:

- indicazioni di corsia sovrapposte

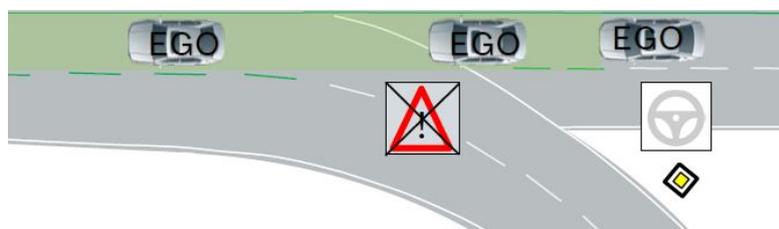


Figura 30 *Sovrapposizione linee di corsia*

In queste circostanze il sistema potrebbe agganciarsi alla linea visibile che non presenta intersezioni con altra simbologia;

- marcatura della corsia sinistra o destra mancante

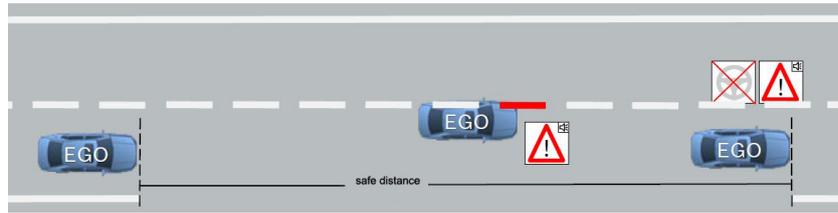


Figura 31 Assenza di una linea di corsia

In questa circostanza potrebbe essere definita una distanza di sicurezza entro cui il sistema può prendere come riferimento la linea presente prima che il sistema si disingaggi;

- presenza di marcature di lavori in corso



Figura 32 Presenza di segnaletica di lavori in corso

In questa situazione il sensore camera oltre ai dati inerenti la presenza o meno della segnaletica orizzontale, dovrebbe acquisire dati relativi il loro colore in modo da conferire una gerarchia cromatica a quanto analizzato;

- presenza di traffico intenso



Figura 33 Strategia "in traffic"

Sfruttando i dati ricavati dai radar, per una velocità massima di 60 km/h, il sistema potrebbe far riferimento ai veicoli marcianti parallelamente al veicolo "ego" per non disingaggiare il sistema di assistenza per scarsa visibilità della segnaletica orizzontale.

Altra strategia prevede di agganciare il veicolo che precede, sfruttando ACC, e garantendo un itinerario da seguire per brevi periodi di tempo qualora ci si trovi in situazioni dove la segnaletica orizzontale risulta poco chiara o fuorviante.

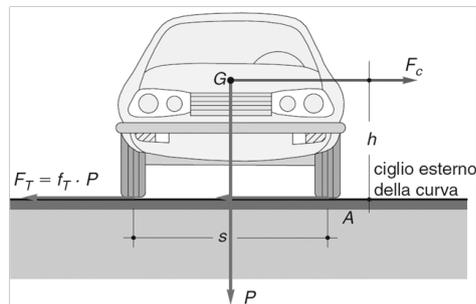
## Riferimenti bibliografici

- [1] SAE international. Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. SAE J3016\_201806. 2016
- [2] Adit Joshi. HIL Implementation and Validation of SAE Level 2 Autonomous Vehicle with Subsystem Fault Tolerant Fallback Performance for Takeover Scenarios". SAE Technical Paper, 2017
- [3] Dr. Azim Eskandarian, D.Sc, Bart van Arem-TU Delft. Handbook of intelligent vehicles. London: Springer, 2012
- [4] IAEA Oral Manual. 5 – Advanced Driver Assistance Systems. November 2018
- [5] Stove, Andrew G. Linear FMCW radar techniques. In IEE Proceedings: Radar and Signal Processing. IET Digital Library, 1992
- [6] Winner, H, S Hakuli, F. & Singer Lotz, C. Heinrich Gotzig, Geduld, Georg Martin Punke, and Stefan Menzel. Handbook of Driver Assistance Systems: Basic Information, Components and Systems for Active Safety and Comfort. Springer, 2015
- [7] Kienke U.; Nielsen L.; Automotive Control Systems. Springer, 2005
- [8] ETSI, TS 122 185 V14.3.0, 03 2017
- [9] W. Chen, Vehicular Communications and Networks. Architectures, Protocols, Operation and Deployment. Elsevier Ltd, 2015
- [10] Federal Highway Administration. Systems Engineering for Intelligent Transportation Systems. Washington: Department of Transportation, 2007
- [11] Olaf Gietelink. Design and Validation of Advanced Driver Assistance Systems. Netherlands TRAIL Research School, 2007
- [12] C. Hôte. Abstract interpretation techniques for software testing. Business Briefing: Global Automotive Manufacturing & Technology, 2002
- [13] Federal Automated Vehicle Policy: Accelerating the Next Revolution in Roadway Safety. NHTSA US DOT, 2016

- [14] ISO 26262. Road vehicles - functional safety. International Standard ISO, 2011
- [15] Juan Rodriguez. Ensuring Best Inspection Practice. Al Bustan Rotana Hotel workshop, 2015
- [16] Batavia P. H. Driver-Adaptive Lane Departure Warning Systems. Pittsburgh: Carnegie Mellon University, 2005
- [17] Amditis A., Bimpas M., Thomaidis G. A Situation - Adaptive Lane - Keeping Support System: Overview of the Safelane Approach, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2010
- [18] Regulation No. 79-03 | ECE United Nations, november 2018
- [19] Aleena Mathew, E. S. Krishna Ram, Elizabeth Maria Alex, Gokul G. Kumar, Jeslin Elizabeth, M. Satyakumar - Quantification and Analysis of Blindspots for Light Motor Vehicles. IJEAT, December 2018

# APPENDICE A

- Slittamento in curva



Si consideri il moto di un veicolo all'interno di una curva circolare di raggio R a velocità  $v$  (m/sec) costante, esso è caratterizzato dalla comparsa della forza centrifuga  $F_C$ , assente in rettilineo. L'intensità è data da:

$$F_C = \frac{P}{g} \times \frac{v^2}{R}$$

Durante il moto in curva, l'attrito trasversale tra pneumatico e asfalto dà luogo a una forza d'attrito tangenziale  $F_T$  complessiva di intensità proporzionale al peso  $P$  del veicolo:

$$F_T = f_T \times P$$

Affinché questa forza contrasti la forza centrifuga  $F_C$  e mantenga il veicolo in traiettoria, dovrà verificarsi:

$$F_T \geq F_C$$

Questa relazione è detta equilibrio allo slittamento, e considerando la situazione limite possiamo ricavare il raggio minimo che deve avere la curva:

$$R \geq \frac{v^2}{g \times f_T}$$