



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale DII

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dell'Energia Elettrica

VEICOLI A GUIDA AUTONOMA

Relatore Universitario:

Manuele Bertoluzzo

Studente:

Paolo Buffo 1220466

Anno Accademico 2021/2022

Ai miei genitori...

Sommario

I self driving vehicles (SDV), nonché i veicoli a guida autonoma oggi sono l'argomento principale nel settore automotive, tutte le case costruttrici stanno studiando sistemi sempre più avanzati per l'assistenza alla guida, i quali aiutano il guidatore ad una guida più efficiente e molto più sicura in quanto correggono molti errori umani che porterebbero ad incidenti.

L'obbiettivo di questo documento è quello di fornire al lettore un quadro generale su questi veicoli partendo dalla loro storia, andando poi ad elencare i livelli di guida autonoma secondo SAE (Society of Automotive Engineers) fino ad arrivare alla parte più tecnica riguardante i sistemi di assistenza alla guida ed i sensori di cui sono dotati, descrivendone il loro funzionamento; la tipologia di connessione necessaria per interagire con altri veicoli o con le strutture della strada; senza dimenticare, a mio avviso, uno degli aspetti più importanti, l'interfaccia uomo macchina, in quanto è l'unico sistema di questi veicoli che interagisce con l'essere umano e fornisce informazioni sullo stato del veicolo e di conseguenza fondamentale per conferire fiducia al guidatore; quindi elemento determinante per il successo delle self driving cars, oltre alla normativa da parte degli stati la quale è essenziale e deve essere ben curata per consentire la loro circolazione.

Per concludere viene descritto brevemente come sono le auto a guida autonoma presenti nelle strade attualmente.

Indice

1 Introduzione

- 1.1 Storia della guida autonoma

2 Livelli di automazione

- 2.1 I sei livelli di SAE
- 2.2 ADAS
- 2.3 Sensori
 - 2.3.1 GPS
 - 2.3.2 Sensori di tipo radar
 - 2.3.3 LIDAR
 - 2.3.4 Videocamere
 - 2.3.5 Intelligenza artificiale AI

3 Come lavorano le self driving cars?

- 3.1 Generazione della mappa: LiDAR
 - 3.1.1 Algoritmo di elaborazione dei dati
 - 3.1.2 Estrazione delle caratteristiche della griglia
 - 3.1.3 Strategie di ottimizzazione
 - 3.1.4 Raggruppamento degli ostacoli
- 3.2 Generazione della mappa: videocamere
 - 3.2.1 Calibrazione
 - 3.2.2 Mappa sparsa
 - 3.2.3 Localizzazione
 - 3.2.4 Mappa densa
- 3.3 Drive by wire
 - 3.3.1 Evoluzione dello sterzo
 - 3.3.2 Brake by wire (Bbw)
 - 3.3.3 Field bus
 - 3.3.4 Vantaggi e svantaggi del DbW:

4 Comunicazione tra Veicoli

- 4.1 Tipologie di comunicazione
- 4.2 5G
- 4.3 Scopo della comunicazione
 - 4.3.1 Modelli di comunicazione
- 4.4 Soluzioni per la comunicazione
- 4.5 Tecnologia ACES e sviluppi conseguenti all'integrazione degli AV

5 Interfaccia uomo-macchina (HMI)

- 5.1 Cos'è la HMI
- 5.2 Obiettivi ed implementazioni per la progettazione dell'HMI

- 5.2.1 Fornire la comprensione necessaria delle capacità e dello stato AV (riduci gli errori della modalità).
 - 5.2.1.1 Obiettivo
 - 5.2.1.2 Implementazione
- 5.2.2 Generare una corretta calibrazione della fiducia
 - 5.2.2.1 Obiettivo
 - 5.2.2.2 Implementazione
- 5.2.3 Stimolare un adeguato livello di attenzione e intervento
 - 5.2.3.1 Obiettivo
 - 5.2.3.2 Implementazione
- 5.2.4 Ridurre al minimo le sorprese dell'automazione
 - 5.2.4.1 Obiettivo
 - 5.2.4.2 Implementazione
- 5.2.5 Fornire comfort all'utente umano, ovvero ridurre l'incertezza e lo stress
 - 5.2.5.1 Obiettivo
 - 5.2.5.2 Implementazione
- 5.2.6 Essere utilizzabile
 - 5.2.6.1 Obiettivo
 - 5.2.6.2 Implementazione
- 5.3 Elementi dell'HMI
 - 5.3.1 Principio di funzionamento dell'HUD
- 5.4 Conclusione HMI

6 Normativa

- 6.1 Normativa Italiana
- 6.2 Cenni sulla normativa Europea ed extra-Europea
- 6.3 Normativa ed intelligenza artificiale
- 6.4 Normativa negli Stati Uniti
 - 6.4.1 Progressi nei test e nella pratica delle auto a guida autonoma negli Stati Uniti
 - 6.4.2 Analisi della normativa sulle auto a guida autonoma negli Stati Uniti
 - 6.4.3 Regolamento federale solo con effetto consultivo
 - 6.4.4 Regolamentazione unificata della supervisione dei test
 - 6.4.5 Istituire un comitato consultivo per le auto a guida autonoma
- 6.5 Normativa in Cina
 - 6.5.1 Stato della legislazione cinese sulle auto a guida autonoma

7 Conclusioni

Capitolo 1

Introduzione

L'auto al giorno d'oggi è vista da molte persone come un mezzo indispensabile per spostarsi; viene usata per raggiungere il posto di lavoro, per viaggiare; in alcuni casi è vista come un piacere. Ma se noi pensiamo alle grandi città dove ogni giorno il traffico è molto intenso, il concetto di self-driving cars o autonomous vehicles (AV), ovvero auto con guida autonoma, rivoluzionerebbe il concetto di mobilità, infatti si può pensare ad auto in cui l'attuale guidatore sarebbe "solamente" un passeggero, in questo modo lo spostamento sarebbe molto più sicuro e si ridurrebbe notevolmente il numero di incidenti, in quanto i sistemi elettronici che equipaggiano questi veicoli ottimizzano i tempi di risposta, possono individuare ostacoli o pericoli che altrimenti il conducente non riuscirebbe a percepire in tempo, basti pensare al rilevatore per gli angoli cechi. Altro vantaggio delle self-driving cars è la possibilità di diminuire il traffico, pianificando in modo intelligente la circolazione grazie alla connessione tra i veicoli e le infrastrutture, riducendo così l'inquinamento e la congestione. Inoltre, permetteranno a tutti di essere indipendenti negli spostamenti, comprese le persone disabili e chi non possiede la patente di guida. Un altro aspetto riguarda le persone al loro interno che potranno ottimizzare il loro tempo giornaliero svolgendo altre mansioni durante il tragitto; quindi, come in tutti gli ambiti industriali l'automazione porterebbe svariati vantaggi.

Tutto ciò è reso possibile grazie ad una tecnologia innovativa basata su sistemi automatici di pilotaggio, una serie di sensori installati nella vettura e nelle infrastrutture intelligenti della smart city.

Le tecnologie di automazione della guida aprono vasti scenari e pongono allo stesso tempo più interrogativi di qualsiasi altra innovazione attualmente in esame nel settore dei trasporti e della mobilità. Tale complessità non deve sorprendere. Con il loro enorme potenziale innovativo, e gli attesi effetti benefici sulla sicurezza, sull'efficienza e sull'accesso per tutti alla mobilità individuale, i veicoli a guida autonoma possono a buon diritto essere considerati l'archetipo dei mezzi di trasporto del futuro.

Lo sviluppo di veicoli con sistemi di guida autonoma potrebbe rivelarsi come la più grande rivoluzione nell'ambito della mobilità personale dai tempi della diffusione della motorizzazione di massa nel secondo dopoguerra.

In realtà non tutti sono a favore di queste "auto robot", infatti, per quanto la tecnologia che caratterizza la guida autonoma sia molto vicina alla perfezione, non ci porterà a nulla se la gente non ha fiducia nel salire in un'auto che si guida da sola. Infatti, Un importante ostacolo psicologico per gli AV è il rischio percepito dalle persone nell'assegnare il controllo delle operazioni di guida ad un agente autonomo. Questo rischio è particolarmente rilevante quando gli AV devono prendere decisioni che potrebbero danneggiare i passeggeri del veicolo o altre parti sulla strada.

In ogni caso le self-driving car non spaventano tutti allo stesso modo; un sondaggio dell'AAA American Automobile Association, la più importante federazione nordamericana di club automobilistici, mostra che il 71% delle persone ha paura di salire

su un'auto completamente autonoma, e che la percentuale di chi non si fida è molto più alta tra le donne (79%) che tra gli uomini (62%). Quindi le donne, in una percentuale maggiore, preferirebbero che ci sia un guidatore a bordo. Il motivo di questa differenza non è chiaro ma secondo Meredith Broussard, insegnante della New York University, la differenza potrebbe essere data dal fatto che queste auto da uomini sono “sviluppate per proteggere il maschio medio”. Il riferimento è dovuto al fatto che, per esempio, i crash test sono stati condotti a lungo usando solo manichini che avevano le sembianze di uomini, e per questo le donne avrebbero le loro ragioni nel sentirsi meno protette nel caso di un incidente. Questi timori trovano almeno in parte conferma in una ricerca dell'università della Virginia. Gli autori hanno esaminato cosa è cambiato dopo l'introduzione di alcuni sistemi di sicurezza, come gli airbag, e hanno scoperto che la possibilità di riportare una ferita mortale in un incidente stradale si era abbassata del 53%. Le donne, però, correvano molti più rischi degli uomini.

1.1 Storia della guida autonoma

Come per le auto elettriche, il concetto di guida autonoma non è nuovo, anzi se facciamo un salto nel passato vediamo che la modalità driverless ha una storia lunga un secolo, che parte dai modelli radiocomandati e culmina nell'intelligenza artificiale. Da più di cento anni l'uomo sogna un veicolo in grado di accelerare, frenare e salvaguardare la sicurezza di pedoni e passeggeri in autonomia. Le smisurate possibilità tecnologiche d'oggi hanno reso realizzabile e meno fantascientifico quanto era già stato pensato molto tempo fa.

I primi esperimenti di guida autonoma risalgono a metà degli anni '20 a New York con la realizzazione del primo veicolo radiocontrollato, che quindi non necessitava di guidatore.

In seguito nel 1939 General Motors presentò il progetto “Futurama”, dove illustrava i possibili scenari della mobilità automobilistica futura, il concetto si basava sul guidare la vettura fino all'ingresso dell'autostrada e poi inserire il pilota automatico e la vettura avrebbe mantenuto la corsia fino all'uscita.

In seguito, General Motors e RCA (Radio Corporation of America) crearono, tramite una rete di sensori installati lungo il tratto di strada interessato, l'auto in grado di accelerare, frenare e sterzare da sola.

Anche in Europa vennero svolti alcuni tentativi, in Inghilterra negli anni '60 si creò una vettura, la quale, tramite sensori posti nell'asfalto, era in grado di orientarsi da sola e raggiungere anche velocità elevate.

In seguito nel 1994 è stata presentata a Parigi la VaMP, un'auto guidata da un computer capace di controllare sterzo, freni ed acceleratore; l'auto è riuscita a percorrere 2000 chilometri con pochissime occasioni in cui è stato necessario l'intervento umano.

Anche l'Italia ha lasciato il segno negli anni Novanta, con il contributo del professor Alberto Broggi dell'Università di Parma: la sua Argo, una Lancia Thema modificata, nel 1998 percorse quasi duemila chilometri in sei giorni. L'auto riuscì ad operare per il 94% del tempo in totale autonomia, utilizzando un sistema di analisi dei dati dell'ambiente esterno, attraverso l'impiego di due semplici telecamere a basso costo.

Fino ai giorni nostri, in particolare dal 2009 in poi sono nati i primi prototipi di auto a guida autonoma, prima Google poi Uber, Lyft, Tesla ed a seguire tutte le più grandi case

automobilistiche, le quali sono tutte concentrate nello sviluppo di nuovi software e intelligenza artificiale per realizzare queste auto rivoluzionarie.

Oggi come oggi la corsa a creare l'auto con guida autonoma è sempre più agguerrita da parte dei più grandi marchi automobilistici, inoltre la presenza sempre più capillare di tecnologie ad intelligenza artificiale e la diffusione della connettività mobile 5G, oltre chiaramente all'evoluzione tecnologica e dei test sperimentali in questo campo, sembrano dando la spinta definitiva al settore. Una partita in cui sono ormai impegnati non solo tutti i principali player dell'industria automotive, ma anche dell'high tech. Volkswagen ha rilanciato gli investimenti con un piano per i robotaxi al 2030, tuttavia lo stato dell'arte della tecnologia ci riporta con i piedi per terra, inoltre ci sono anche molte normative che limitano l'uso di queste auto, senza contare alle limitazioni dovute a problemi di accettabilità sociale; al momento possiamo dunque parlare di veicoli a guida assistita, in cui l'automobile prende alcune decisioni autonome ma il controllo rimane al guidatore.

Capitolo 2

Livelli di automazione

2.1 I sei livelli di SAE

Nel 2014 la SAE (Society of Automotive Engineers) ha stabilito in tutto sei livelli, che vanno dallo 0 (nessuna automazione) al 5 (completa automazione): solo l'ultimo identifica la vera e propria guida autonoma, in cui la presenza umana è sostanzialmente a titolo di passeggero. Il recente aggiornamento, compiuto in collaborazione con l'ISO (International Organization for Standardization), serve anzitutto a inquadrare meglio i livelli 3 e 4, futuri obiettivi dei costruttori d'auto attraverso lo sviluppo di nuove tecnologie (le quali, comunque, oggi risultano di fatto inapplicabili nella maggior parte dei contesti normativi). In particolare, si chiarisce la presenza al livello 3 di un umano sempre pronto a prendere il controllo del veicolo, ad intervenire in caso di malfunzionamento dei sistemi ed a rispondere ai loro input: il conducente, dunque, resta fondamentale per garantire la sicurezza generale del mezzo. Allo stesso tempo, la revisione include, sempre al livello 3, la presenza di funzioni automatizzate di intervento in caso di problemi.

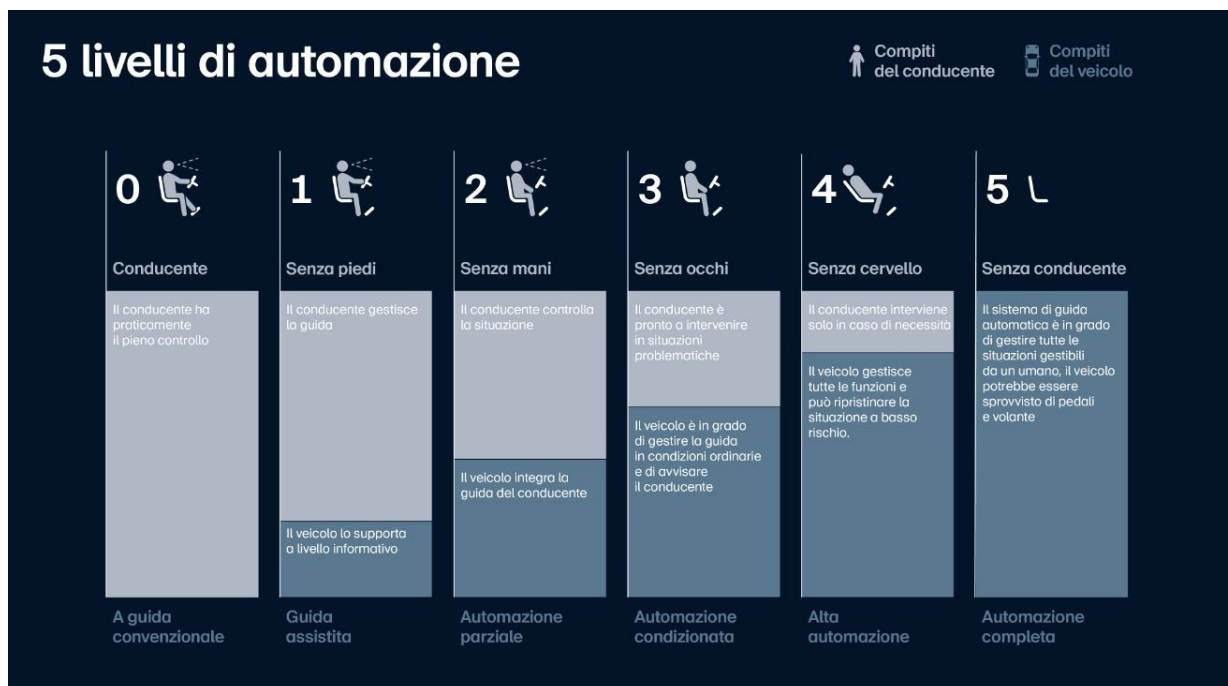


Figura 1: Livelli della guida autonoma secondo SAE

- **Livello SAE 0:**
A questo livello di automazione non è attivo nessun sistema di guida autonoma per il veicolo, il conducente è continuamente responsabile sia della guida sia dell'accelerazione o della frenata del veicolo. Possono comunque esserci sistemi che aiutano il conducente alla guida quali segnali luminosi che avvisano del pericolo o il sistema di fari adattivi.
- **Livello SAE 1:**
Il primo livello di automazione precede quello verso la guida automatizzata ed è caratterizzato dai sistemi di assistenza alla guida. Questi assumono in determinate situazioni il comando di accelerazione o frenata, oppure lo sterzo del veicolo. Tuttavia, il conducente deve sorvegliare costantemente il veicolo ed essere pronto ad intervenire. Tra i sistemi di assistenza alla guida vi sono ad esempio l'assistente al parcheggio o il sistema di frenata di emergenza automatica. In caso di velocità sopra i 50 km/h, grazie al sistema di frenata di emergenza automatica il rischio di provocare un tamponamento con conseguenti lesioni può essere dimezzato.
- **Livello SAE 2:**
Il secondo livello di automazione corrisponde alla guida semiautomatizzata, in cui il sistema si occupa sia di accelerare/frenare, sia di sterzare per un determinato lasso di tempo o in situazioni specifiche. Il conducente deve però continuare a sorvegliare costantemente il sistema ed essere in grado di riprendere in qualsiasi momento il controllo sulla guida. Un esempio in tal senso è rappresentato dall'assistente alla guida in colonna, composto dal dissuasore di velocità adattivo (Adaptive Cruise Control, ACC) e dall'assistente al mantenimento corsia (Lane Keeping Assistant, LKA). Questi sistemi di assistenza dovrebbero intervenire nella prevenzione degli incidenti di cambio corsia o dei tamponamenti. Infatti, si tratta di incidenti provocati dalla disattenzione del conducente o dalla sua incapacità di sorvegliare continuamente l'ambiente intorno al veicolo.
- **Livello SAE 3:**
Il terzo livello di automazione corrisponde alla guida altamente automatizzata. Al contrario dei livelli 1 e 2, il veicolo assume il controllo sull'accelerazione/frenata e sullo sterzo per un determinato lasso di tempo o in situazioni specifiche, senza che il conducente sia tenuto a una costante sorveglianza del veicolo. Ciononostante, deve essere sempre in condizioni di riprendere completamente il controllo della guida nel momento in cui il sistema lo invita a farlo con un sufficiente preavviso. Ciò che teoricamente può apparire semplice, in realtà si rivela decisamente più difficile: alcuni studi hanno dimostrato che i conducenti ci impiegano molto tempo prima di riprendere il pieno controllo sulla guida. Questo dato di fatto rappresenta un rischio importante per la sicurezza nella circolazione stradale. Di conseguenza, le funzioni di guida della tecnologia di livello 3, quali ad esempio il pilota automatico per la guida in colonna dei nuovi modelli Tesla o Audi A8 non sono (ancora) ammessi nella circolazione stradale.

- **Livello SAE 4:**
Questo livello di automazione corrisponde alla guida autonoma ad automazione completa, in cui il sistema assume la piena conduzione del veicolo in un caso di applicazione specifico (Operational Domain Design, ODD) affrontando automaticamente tutte le relative situazioni. Il conducente del veicolo non deve più dedicare la sua attenzione al traffico e può occuparsi di altro. Stando agli specialisti, tra i casi di applicazione definiti in cui impiegare i veicoli ad automazione completa potrebbero esservi specifici tratti stradali definiti, ad es. autostrade. Il traffico autostradale è meno complesso e il rischio di un malfunzionamento dei veicoli ad automazione completa è ridotto rispetto al traffico cittadino. Per questa ragione gli specialisti partono dal presupposto che i primi veicoli ad automazione completa saranno messi in funzione in autostrada, magari su apposite corsie separate.
- **Livello SAE 5:**
Il massimo livello di automazione è la guida senza conducente, in cui il veicolo assume totalmente il controllo della guida dalla partenza all'arrivo in tutti i possibili casi d'applicazione, con tutti gli occupanti del veicolo come passeggeri. Non sarà più necessario un conducente e quindi nemmeno un dispositivo di sterzo o pedali. I veicoli nella circolazione stradale agiscono in modo indipendente, per cui saranno possibili corse a vuoto. A questo livello si aprono scenari di nuove possibilità di trasporto per persone a mobilità ridotta, come pensionati o bambini. Sulla realizzabilità di questa visione i pareri degli esperti si dividono.

2.2 ADAS

I veicoli con guida autonoma devono marciare in modo sicuro nelle strade urbane, negli ambienti rurali e nelle autostrade. Quindi quando progettiamo un AV dobbiamo prendere in considerazione anche situazioni critiche che riguardano i pedoni, specie situazioni in cui la visuale è occlusa, come quando ci sono auto parcheggiate a bordo strada, infatti, queste limitano il campo visivo dei sensori del veicolo, rendendo il processo decisionale più impegnativo, soprattutto quando non si conoscono le intenzioni dei pedoni, per esempio quando un bambino esce improvvisamente da dietro un'auto parcheggiata o quando i pedoni non rispettano le regole ed attraversano inaspettatamente la strada. Bisogna considerare tutti questi casi nello sviluppo della guida autonoma, cercando di mantenere comunque una velocità di guida ragionevole.

Per rendere possibili questi livelli di automazione servono dispositivi per la guida assistita, tecnologie moderne che aiutano i conducenti e migliorano la sicurezza, questi dispositivi sono chiamati ADAS (Advanced Driver Assistance Systems).

Gli ADAS, ovvero sistemi avanzati di assistenza alla guida, sono dispositivi tecnologicamente innovativi in grado di garantire auto più sicure soprattutto per la protezione di tipo attivo. Ciò riguarda non solo conducenti e passeggeri dei veicoli, ma anche gli utenti più deboli della strada, come pedoni e ciclisti.

Queste nuove tecnologie comprendono una serie di sensori, i quali lavorano insieme al software di bordo per monitorare la guida e intervenire in caso di emergenza.

Nello specifico, con il protocollo Adas le auto sono dotate di un sistema centralizzato, integrato all'interno del computer di bordo, per assistere il guidatore in varie situazioni come la frenata, il mantenimento della corsia e l'adeguamento della velocità.

Gli Adas sono la base delle self-driving cars del futuro. Alcuni modelli come la Tesla Model 3 o le berline premium Mercedes sono già in grado di sostenere queste performance, tuttavia manca ancora un aggiornamento del quadro normativo ed un adeguamento infrastrutturale.

Di seguito vengono elencati i principali ADAS che sono presenti o saranno presenti nei veicoli:

- **Adaptive Cruise Control (ACC):** il cruise control adattivo è uno dei principali dispositivi anticollisione, questo dispositivo permette, grazie ad un sensore radar, di regolare la velocità durante la marcia, considerando le condizioni del traffico e la distanza di sicurezza da mantenere con le altre vetture. Spesso si avvale di vari sensori differenti, lavorando in armonia con altre tecnologie per garantire un'andatura adeguata ad ogni situazione.

l'ACC è un sistema di assistenza alla guida piuttosto orientato al comfort. Consente di evitare solo circa il 10% dei tamponamenti. Inoltre, in caso di veicoli che escono e s'immettono rapidamente, come anche nei raggi di curva stretti la sua funzionalità è limitata. È importante impostare una distanza di sicurezza sufficientemente ampia dal veicolo che precede.

- **Autonomous Emergency Braking (AEB):** la frenata automatica di emergenza si basa su sensori di tipo radar che scansionano lo spazio davanti all'automobile: quando il sistema "capta" la presenza di un ostacolo, valuta - in base alla velocità e alla traiettoria dell'auto - se questo rappresenta un pericolo e, nel caso, mette in pratica una serie di contromisure.

Innanzitutto, avverte il conducente con un allarme acustico o con un messaggio nel pannello strumenti. Se la reazione non è immediata o se il rischio di collisione è ormai imminente, l'AEB agisce direttamente sui freni: in qualche caso, fino a ridurre la velocità a un limite prestabilito, in qualche altro fermando il veicolo.

In molti modelli il sistema entra in funzione non solo in caso di "distrazione", ma anche quando il guidatore schiaccia regolarmente il pedale del freno, per rendere massimo l'effetto della frenata.

Questo ADAS funziona come sistema anticollisione tra veicolo/pedone, veicolo/ciclista e veicolo/veicolo; inoltre, perché questo sistema si attivi bisogna essere ad una velocità minima di 50 Km/h.

Ora definiamo alcune equazioni sulle quali si basa questo ADAS per calcolare il rischio, il tempo di frenata e la velocità che avrà il veicolo dopo la frenata.

Il rischio è calcolato secondo la seguente equazione:

$$r_{brake} = \min\left(\frac{TTB}{TTC}, 1.0\right) \quad (1)$$

dove r_{brake} è il rischio, TTB, time to brake, è il tempo necessario per fermarsi e il TTC, time to collision, è il tempo che abbiamo prima che avvenga la collisione. Il

TTB viene calcolato basandosi sulla velocità del veicolo v_{ego} , il tempo di ritardo del sistema T_{db} , e dal tempo necessario per raggiungere la massima decelerazione T_s ; la capacità del sistema frenante si basa su una stima del modello di ambiente in cui si trova il veicolo così da decidere il coefficiente di attrito, il quale andrà a determinare la massima decelerazione $a_{x,max}$ che si può raggiungere; se necessario, in base alla situazione, si aggiunge all'equazione una distanza di sicurezza s_{safe} . Quindi l'equazione che definisce TTB risulta:

$$TTB = T_{db} + \frac{v_s T_s}{v_{ego}} + \frac{v_s^2}{2a_{x,max} v_{ego}} + \frac{s_{safe}}{v_{ego}} \quad (2)$$

Definiamo, ora, v_s la velocità che avrà il veicolo dopo aver raggiunto la massima decelerazione $a_{x,max}$.

$$v_s = \frac{a_{x,max}}{2} T_s \quad (3)$$

Il sistema, a differenza del precedente è concentrato più sulla sicurezza che sul comfort, infatti diversi studi dimostrano che in caso di tamponamento i conducenti che arrivano esitano troppo a frenare o non frenano affatto. Da un'analisi con i dati d'incidente di sei Paesi è risultata una riduzione del 38% dei tamponamenti nei veicoli dotati di sistema di assistenza alla frenata.

Se il coefficiente che indica il rischio di collisione supera la soglia prestabilita, e quindi renderebbe non sicura la frenata di emergenza, il sistema può optare per Autonomous Emergency Evasion System, ovvero il sistema di "evasione" automatico. Questo sistema calcola se è possibile eseguire una manovra di cambio corsia per evitare la collisione, ovvero verifica se tale manovra può portare ad incidenti con altri veicoli presente nella corsia di fianco. La traiettoria fornita viene calcolata in modo tale da garantire gli standard di sicurezza, e senza mettere il veicolo in una condizione critica.

Eseguire una manovra seguendo una traiettoria ottimale ha il vantaggio di non portare il veicolo al limite delle capacità e di conseguenza di non subire elevate accelerazioni laterali. Per garantire questo, il sistema fissa il riferimento delle coordinate alla strada e non al veicolo, così facendo la strada è vista sempre dritta ed è più facile pianificare gli spostamenti laterali da eseguire. Quindi, quando il veicolo procede lungo traiettoria pianificata inizialmente, il sistema rileva offset nullo e il veicolo si trova al centro della corsia; al momento del rilevamento dell'ostacolo, come prima cosa il sistema analizza la traiettoria pianificata e definisce un'area da non invadere per evitare l'ostacolo, dopo di ciò da ogni punto del perimetro di quest'area viene calcolata una distanza di sicurezza definendo così la nuova traiettoria. Lungo la nuova traiettoria l'accelerazione laterale viene mantenuta costante e limitata ad un certo valore, per esempio 4 m/s^2 ; quindi, viene variato solo l'offset ovvero lo scostamento che ha il veicolo dalla traiettoria iniziale. L'insieme delle manovre da eseguire vengono rappresentate con la seguente distribuzione: time-to-steer TTS.

$$TTS = T_{d,s} + \sqrt{\frac{10}{\sqrt{3}} \frac{x_{passing}}{a_{y,max}|y_{object}|}} \quad (4)$$

Il TTS dipende dall'offset laterale necessario per evitare l'oggetto (y_{object}), dall'accelerazione laterale massima ($a_{y,max}$), dal tempo di ritardo della sterzata ($T_{d,s}$) ed infine dipende dal punto in cui il veicolo passa affianco all'ostacolo ($x_{passing}$). Di seguito possiamo vedere in figura due tipi di manovra per evitare la collisione.

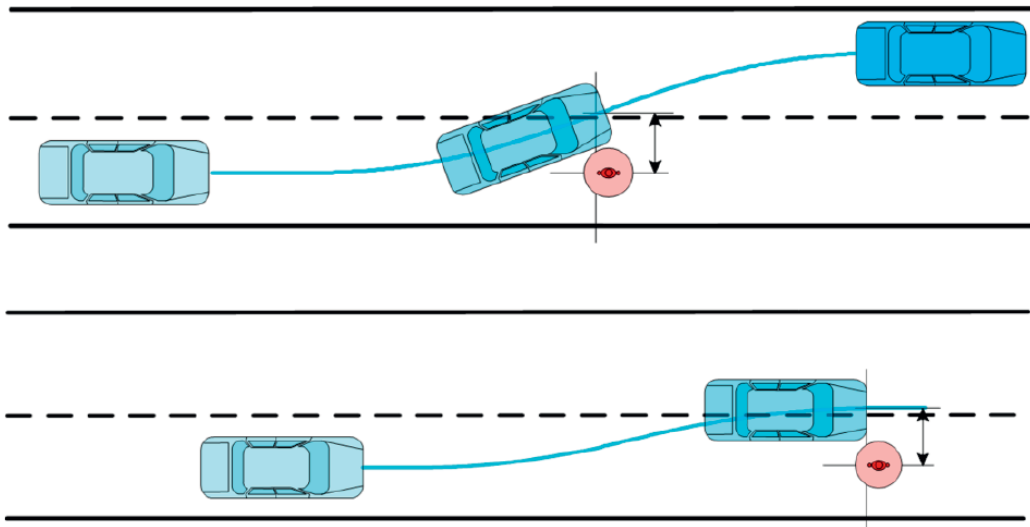


Figura 2 Differenti strategie di manovra per evitare la collisione: in alto si vede che il pedone viene evitato a metà della manovra; mentre in basso vediamo che la manovra inizia prima e torna dritto una volta raggiunto il pedone.

Il processo che svolge il sistema per calcolare il rischio di collisione è sviluppato in modo tale da definire se è necessaria una manovra di intervento, e se sì quale manovra mettere in atto per evitare la collisione. Il sistema è progettato per prediligere una manovra di evasione ove possibile, questo perché è preferibile una manovra di evasione falsamente innescata, piuttosto che una frenata di emergenza eseguita in modo errato. Durante le manovre di evasione, la velocità è limitata a 30 km/h e l'offset laterale massimo a fine manovra è pari alla larghezza della corsia adiacente.

Calcolo del rischio di collisione

La traiettoria del veicolo viene aggiornata ad ogni istante di tempo così si conoscerà la posizione precisa del veicolo nei secondi successivi. Quindi, la traiettoria che viene definita dal sistema è certa; mentre la posizione e la velocità che avranno gli altri occupanti della strada che non è conosciuta. Ciò rende il calcolo del rischio di collisione $r_{collision}$ più accurato in quanto non si conosce la

traiettoria solo delle altre persone o veicoli. Il sistema, quindi calcola, in base alla posizione futura del veicolo, un insieme di punti R_k^p , i quali definiscono l'area dove si può trovare il pedone, inoltre definisce il punto centrale dell'area, il quale viene usato per definire l'istante di tempo t_j nel quale la traiettoria del veicolo ed il punto centrale dell'area hanno la più piccola distanza d_j . Il rapporto tra l'area del veicolo $A_{ego,j}$ e quella del pedone $A_{ped,j}$ definisce il rischio di collisione.

$$r_{collision} = \begin{cases} \frac{A_{ped,j} \cap A_{ego,j}}{A_{ped,j}} & \text{se } d_j < 4m \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases} \quad (5)$$

- **Lane Keeping Assistant (LKA):** l'assistente al mantenimento di corsia, attraverso una telecamera posizionata normalmente dietro il parabrezza, nei pressi dello specchietto retrovisore interno, rileva le linee continue e tratteggiate presenti sull'asfalto e individua la corsia di marcia percorsa dall'auto. Quando la vettura tende a divergere dalla traiettoria ideale, dando l'idea ai sensori che si stia verificando un'uscita non segnalata dalla corsia, il sistema interviene prontamente. Nel caso del Lane departure warning (avviso di cambio corsia), la centralina elettronica attiva un segnale acustico oppure una vibrazione del sedile o del volante, per riportare l'attenzione del pilota su quanto sta accadendo. Nel caso invece del Lane keep assist il dispositivo entra in causa anche per riportare l'auto al centro della sua corsia. Questo grazie a precisi input dati allo sterzo e all'impianto frenate, con un'azione che può essere selettiva sul disco di ogni singola ruota. Questo sistema oppone una leggera resistenza pure nel caso in cui sia il guidatore a voler cambiare corsia senza utilizzare l'indicatore di direzione, mentre l'attivazione della freccia rende il Lane Assist semplice spettatore della manovra. Sia il Lane departure warning sia il Lane keep assist possono essere disattivati tramite un apposito pulsante. In assenza di segnaletica orizzontale o al di sotto di una certa velocità minima nessuno dei due dispositivi può entrare in funzione; le ultime evoluzioni del mantenimento di corsia mantengono l'auto al centro della corsia di marcia: questo è uno sviluppo fondamentale per la guida autonoma, perché l'auto potrà tenere la corsia anche se il guidatore non ha le mani al volante.

Questa tecnologia consente alla macchina di vedere i limiti di velocità, eventuali lavori in corso e qualsiasi tipo di indicazione. Tale opzione permette di migliorare l'efficienza dei sistemi di bordo come il cruise control adattivo.

Il Lane keeping assist non corregge solo la traiettoria dell'auto, ma aiuta molto anche nei sorpassi; infatti, fa capire al guidatore che non è il momento giusto per cambiare corsia in vista di un sorpasso: se il guidatore mette la freccia e non si accorge dell'arrivo di un veicolo alle spalle, il sistema contrasta la sterzata e in questo modo evita un possibile impatto. Ciò avviene tramite i sensori per il monitoraggio dell'angolo cieco, o Blind Spot Assist.

Da un'analisi risulta che l'11% degli incidenti, dovuti alla fuoriuscita di strada, a causa di distrazione, stanchezza, abbagliamento; sarebbe stato possibile evitarli grazie ad un sistema LKA. Tuttavia, non dobbiamo dimenticare che questo tipo di sistema funziona in modo efficiente solo in presenza della segnaletica orizzontale sulla carreggiata.

L'insieme di questi ADAS permette alla vettura di riuscire a guidare in autonomia anche nel traffico intenso (traffic jam); quindi definiamo il traffic jam pilot dove i sistemi visti in precedenza si integrano e lavorano assieme: il computer di bordo prende il controllo di acceleratore, freni e volante, valuta costantemente la presenza di ostacoli attorno al perimetro della vettura e procede autonomamente nella guida mantenendo l'auto in carreggiata, accelerando o frenando all'occorrenza e tenendo una distanza di sicurezza dal veicolo che lo precede. Il conducente è autorizzato a rilassarsi, per esempio guardando contenuti multimediali sullo schermo dell'infotainment.

2.3 Sensori

La domanda che si pone la maggior parte della gente quando sente parlare di auto con guida autonoma è: “come funzionano queste vetture?”. I veicoli del futuro si avvalgono di una serie di molteplici sensori che interagiscono fra loro e che ogni giorno diventano sempre più sofisticati ed intelligenti, una moltitudine di dati e di un pilota virtuale “guidato” dall'intelligenza artificiale; rende possibile la circolazione di questi veicoli nelle strade assieme alle comuni vetture guidate dall'uomo.

I sensori che rendono tutto ciò realistico sono: GPS, radar, LIDAR e videocamere. Questi sensori vengono posti in varie parti del veicolo come possiamo vedere nella foto sottostante:

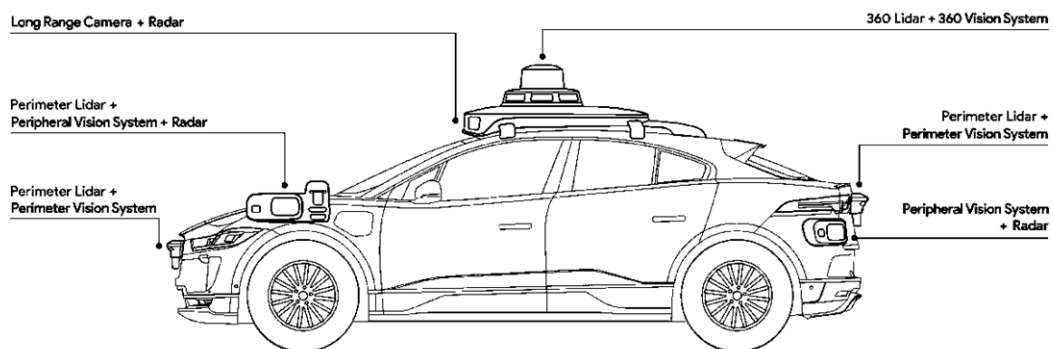


Figura 3 Posizione e tipi di sensori di un'auto a guida autonoma

2.3.1 GPS

La principale tecnologia necessaria per qualsiasi sistema guidato è la geolocalizzazione. Ovviamente, nella maggior parte degli smartphone la tecnologia di geolocalizzazione è già integrata. Anche se questi sistemi sono piuttosto affidabili, non lo sono abbastanza per soddisfare le esigenze dei singoli veicoli a guida autonoma o delle flotte di veicoli che condividono le stesse strade trafficate di una grande città usate dai tradizionali veicoli guidati dalle persone. Pensate alla vostra esperienza. Quante volte la navigazione satellitare vi ha portato fuori strada o è stato veramente poco efficiente? Le condizioni atmosferiche, le fonti di rumore elettronico e le incoerenze della mappatura possono essere catastrofiche senza l'ausilio di una mente umana. Un altro fattore è la risoluzione. I moderni GPS possono essere degli strumenti validi se basta una precisione misurata in metri, ma cosa accade se serve invece una risoluzione in centimetri? Un errore nella misura in metri su una doppia riga gialla porterebbe a una collisione frontale. Analogamente, un errore simile su una strada costiera potrebbe far precipitare un veicolo da una scogliera. Tuttavia, nelle auto a guida autonoma questi errori vengono i risolti dai sensori che andremo a descrivere in seguito;

di conseguenza il GPS, nonché il sistema di posizionamento globale viene usato, assieme alle mappe digitali 3D, per definire il percorso più veloce e con meno traffico per arrivare a destinazione.

Un'evoluzione di questa tecnologia sono i GPS modulari; i moduli GPS possono includere il supporto per protocolli internazionali, includono un'antenna a banda larga per fornire un supporto per tutti gli standard dei protocolli, offrendo allo stesso tempo interfacce semplici con velocità dei dati fino a 115,2 kbit/sec per un facile interfacciamento con quasi tutti i microcontroller embedded standard.

Nel caso dei veicoli, i progettisti devono tenere conto che i moduli, non avranno problemi di potenza o dimensioni, bensì i limiti da superare saranno la sensibilità ed i limiti di temperatura.

2.3.2 Sensori di tipo radar

I sensori di tipo radar vengono posti in varie parti del veicolo per riuscire a identificare altri veicoli, pedoni od ostacoli; principalmente vengono usati per la frenata di emergenza descritta precedentemente e per effettuare il sorpasso in quanto riescono ad individuare veicoli che sorraggiungono da dietro. Uno fra i più importanti è il radar frontale, viene posto solitamente in posizione frontale all'altezza delle luci di posizione, vengono inseriti in una cupola protettiva chiamate radome (radar-dome), realizzata in materiali trasparenti ai segnali RF; fondamentalmente serve a comunicare al computer di bordo del veicolo cosa si trova di fronte ad esso; per esempio, altri veicoli, pedoni od oggetti estranei presenti sulla carreggiata. Questo sistema funziona esattamente come i radar montati nelle navi e negli aerei; serve a determinare la distanza che intercorre tra il veicolo e l'oggetto che si trova di fronte, inoltre riesce a rilevare anche la velocità e funziona bene anche in condizioni meteorologiche difficili, quali pioggia e nebbia.

La tecnologia di tipo radar, detta anche a microonde, a differenza delle telecomunicazioni non deve trasmettere/emettere nessuna informazione; è necessario solo che il trasmettitore mandi come impulso un'onda elettromagnetica, continua e non modulata, ad una determinata radiofrequenza; quando le onde radio trasmesse colpiscono un oggetto

vengono riflesse in tutte le direzioni, quindi il segnale reirradiato all'indietro verso la direzione di provenienza genera un'eco o replica fedele del segnale trasmesso a meno di un'attenuazione (dovuta alla propagazione elettromagnetica a causa del mezzo attenuativo come l'atmosfera) e di uno sfasamento temporale, subendo anche un leggero cambio di frequenza se il bersaglio è in movimento radiale rispetto all'antenna ricevente (Effetto Doppler); in questo modo se la frequenza aumenta significa che il veicolo si sta avvicinando all'ostacolo, viceversa se la frequenza diminuisce significa che il veicolo si sta allontanando. Per avere una misura accurata da questi sensori è indispensabile che non ci siano distorsioni causate dai radome i quali si deteriorano nel tempo, infatti una distorsione di 1° , a 100m, causa un errore sullo spostamento laterale di 1,75m, questo implica che la vettura può vedere il veicolo antecedente sulla corsia adiacente, ciò porterebbe ad una non attivazione dell'ADAS, quindi ad una situazione di pericolo inaccettabile per la guida autonoma. Di seguito viene riportato un grafico che evidenzia come varia la visuale del radar con e senza radome:

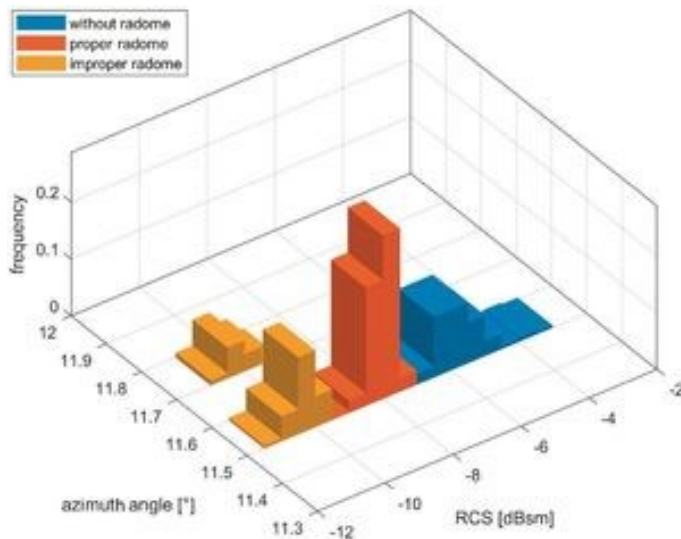


Figura 4 Rappresenta la differenza di come vengono visti gli oggetti da un radar adatto alla guida autonoma, rispetto ad un radar non adatto; il grafico blu è di riferimento.

Il grafico mostra gli effetti di spostamento in azimuth (orizzontale, nonché larghezza), basato su misure di componenti automobilistici reali. Ad un sensore radar commerciale è stato mostrato un bersaglio statico situato ad una distanza di 12,4 m con un angolo di $11,5^\circ$. I valori in blu (senza radome) sono riportati come riferimento per confronto. Come si può osservare, non vi sono effetti sulla stima dell'angolo di incidenza quando si utilizza un radome adatto (rosso). Tuttavia, la sezione radar viene ridotta dall'attenuazione, dovuta al radome stesso, in entrambi i

sensi di attraversamento del segnale (circa 2 dB). Se si utilizza un radome non adatto (arancio), la sezione radar media diminuisce di circa 4 dB rispetto alla misura di riferimento, rendendo potenzialmente impossibile il rilevamento di bersagli poco riflettenti. L'effetto di un radome inadatto si nota anche nel rilevamento dell'angolo di incidenza. Non viene più visto come costante di $11,5^\circ$, ma invece come valore che salta tra $11,5^\circ$ e $11,7^\circ$, impedendo all'elettronica di elaborazione del segnale di ricavare un risultato non ambiguo. Con questo radome, i radar automobilistici non riescono a soddisfare il requisito di accuratezza di $0,1^\circ$.

Full-Range radar o Radar 4d

Grazie ai grandi passi avanti che ha fatto la tecnologia, ad oggi possiamo parlare di Full-Range radar o radar 4d, come quello presentato da ZF, il quale è in grado di percepire l'ambiente circostante con le 4 misure: distanza, velocità, azimuth ed elevazione; l'innovazione di questo radar sta proprio nel rilevare l'elevazione così crea un'immagine 3D ottimizzata. In questo modo, abbinato al LIDAR e alle telecamere che vedremo in seguito, è possibile garantire la sicurezza necessaria alla guida autonoma di livello 4.

Il radar full-range, a differenza del mid-range, a cui si è abituati, funziona con una risoluzione molto più alta, anziché di 12 canali, i 4 chip Monolithic Microwave Integrated Circuit (MMIC) sono combinati in modo da dare luogo a 192 canali disponibili, come si evince, questo si traduce in un aumento notevole in termini di sicurezza; infatti se prendiamo in considerazione l'analisi di un pedone, i normali radar per l'automotive identificano uno o due punti del pedone, mentre questo riesce a percepire ben 10 punti, in questo modo, combinando i dati con la velocità, rileva anche i movimenti che compiono gli arti, riuscendo a capire anche la direzione in cui sta camminando il pedone. Nei radar full-range aumenta anche l'angolo di apertura e la distanza coperta (350m), consentendo un'operatività ottimale anche nelle condizioni di traffico più intenso.

Un altro tipo di radar è il radar a corto raggio, anche qui con lo sviluppo della tecnologia è possibile realizzare questo tipo di radar con una frequenza di lavoro nettamente maggiore rispetto alla precedente versione, da 24 Ghz a 77Ghz. Ciò ha permesso di rilevare l'ambiente circostante con una risoluzione maggiore, individuando gli altri utenti della strada e gli ostacoli in modo più preciso, oltre a rilevare i loro movimenti e la loro velocità.

Quest'ultimo tipo di radar, lo si può pensare posizionato nei quattro angoli della carrozzeria del veicolo, così da mettere le basi per molti ADAS; per esempio per il monitoraggio dei punti ciechi, degli incroci e per studiare l'area attorno al veicolo, così da avvisare il conducente/passeggeri prima di compiere una determinata azione; infatti basti pensare a quando si parcheggia lungo la strada e aprendo la porta non ci accorgiamo dell'arrivo di un ciclista, grazie a questi sensori, che ne rilevano la presenza, ci avvisano o non ci permettono di aprire la portiera finché non ci troviamo nelle condizioni di sicurezza richieste.

Come possiamo dedurre da quanto appena detto, e secondo i dati di IHS markit il mercato dei radar acquisterà sempre più importanza nei prossimi 10 anni, con volumi sempre più crescenti nel settore automotive; infatti, saranno essenziali per le auto con guida autonoma. Un esempio calzante di questa "corsa" è il recente accordo tra Marelli e WHST (Wuhu SensorTech Intelligent Technology Co., Ltd), azienda cinese high-tech specializzata in radar, che a fine aprile hanno firmato un quadro di collaborazione per sviluppare e produrre sensori radar finalizzati ad applicazioni ADAS e Autonomous Driving (guida autonoma).

2.3.3 LIDAR

Il LiDAR o Laser Imaging Detection and Ranging, è il sensore più potente che possiamo trovare nelle auto a guida autonoma, senza di esso non sarebbe possibile realizzare queste

auto. È un sistema di ecolocalizzazione simile, in qualche modo, al biosonar dei pipistrelli; viene installato sul tettuccio dell'automobile. Il sistema a differenza del radar, si basa su una tecnologia laser utilizzata per creare una scansione 3D dell'ambiente circostante e degli oggetti che si muovono in esso. Quando la luce emessa dal laser colpisce l'oggetto; la parte di essa che torna indietro viene raccolta dal ricevitore e computata da un processore per generare una ricostruzione tridimensionale di ciò che l'auto ha di fronte; anche qui per determinare la distanza dell'oggetto viene calcolato il tempo di ritorno dell'onda. La tecnologia LiDAR utilizza lunghezze d'onda ultraviolette, questo rende possibile localizzare e ricavare immagini ed informazioni su oggetti molto piccoli, di dimensioni pari alla lunghezza d'onda usata.

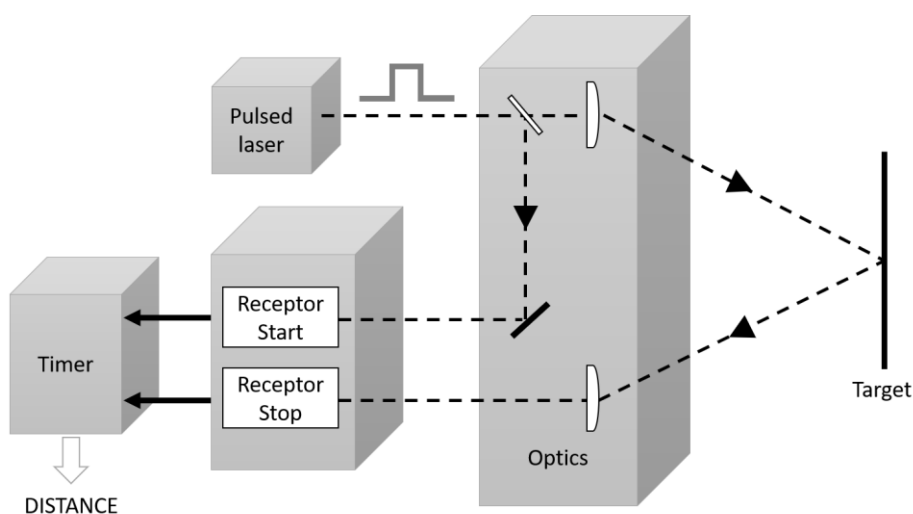


Figura 5 Schema rappresentante il funzionamento del sensore Lidar.

I sistemi LiDAR sono generalmente realizzati secondo due principali metodologie, quella a scansione meccanica (scanner) e quella a immagine fissa (flash):

Scansione meccanica: nella tipologia a scansione meccanica un sensore LiDAR fa ruotare fisicamente il laser e il ricevitore a 360° per ottenere una visione molto ampia. La scansione meccanica può avvenire ruotando o muovendo fisicamente sugli assi cartesiani l'emettitore e il rilevatore di luce oppure utilizzando dei microspecchi comandabili realizzati in tecnologia Mems (Micro Electro-Mechanical Systems), come si può vedere in figura:

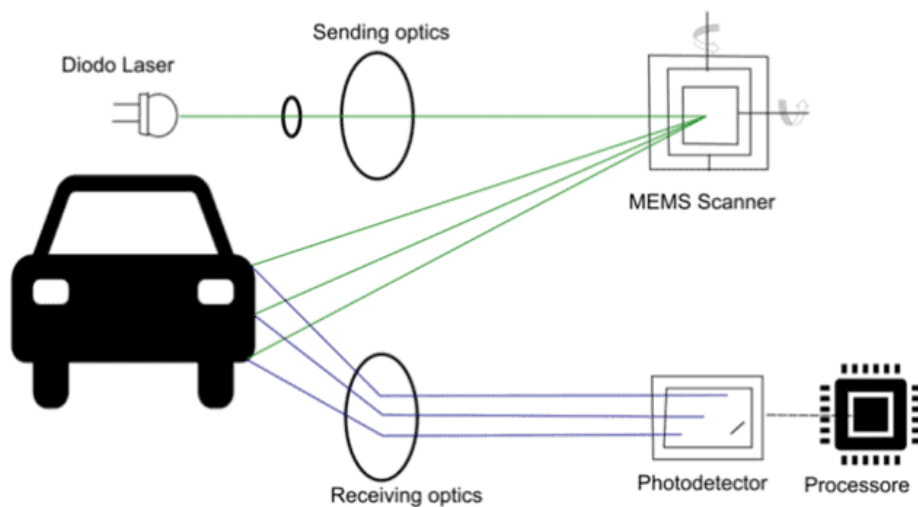


Figura 6 Lidar a scansione meccanica (scanner)

Il campo visivo di un sensore LiDAR a scansione viene determinato dai gradi di libertà e dagli eventuali vincoli di movimento del sistema meccanico o Mems di scansione.

La metodologia Flash LiDAR: non prevede alcuna parte o componente in movimento ed assomiglia come concetto di più a una fotografia istantanea. Il campo visivo del sensore LiDAR Flash viene determinato sostanzialmente dalle caratteristiche dell'ottica che emette e riceve il fascio di luce, vedi figura sottostante:

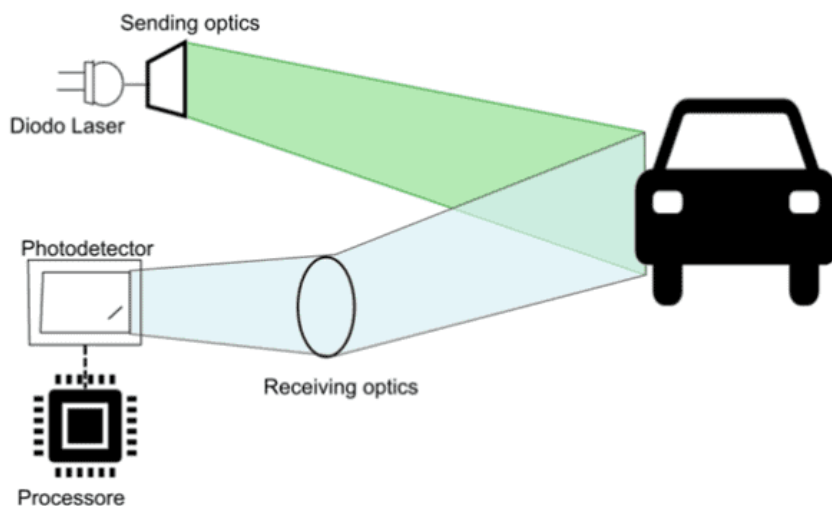


Figura 7 Lidar ad immagine fissa (Flash Lidar)

La lunghezza d'onda del raggio laser emesso e la potenza con il quale viene emesso, insieme alla sensibilità del rilevatore di luce, sono alcuni dei fattori che determinano la portata visiva del LiDAR e la sua capacità di "individuare" i dettagli. I sistemi LiDAR possono utilizzare diversi metodi di misurazione della distanza, oltre al tempo di volo di un impulso possono misurare lo sfasamento del segnale emesso da un laser ad onda

continua (CW) o sfruttare la modulazione di frequenza (FMCW). Si tratta di tecniche di misura e di elaborazione dei segnali mutuata dalla lunga esperienza accumulata nel settore dei radar, che ora vengono adattate alle lunghezze d'onda dei segnali luminosi.

Grazie all'enorme potenza di calcolo raggiunta dai processori attuali, viene creata in poche frazioni di secondo (praticamente in tempo reale) una mappatura tridimensionale in cui è possibile tracciare anche oggetti in movimento di piccole dimensioni, oltre a rilevare la presenza di ostacoli, strade sconnesse, ecc. L'aumento della velocità di calcolo è andato di pari passo all'abbassamento dei costi di produzione (inizialmente troppo elevati per essere adottati massivamente dalla filiera automotive), attualmente i LiDAR sono alla base di funzioni come i sistemi di assistenza al cambio di corsia, alla guida in autostrada e nelle situazioni di traffico intenso. Le soluzioni LiDAR di nuova generazione consentono infatti il rilevamento e tracciamento degli oggetti e dello spazio libero, misurazione del profilo stradale e capacità di localizzazione.

Anche questo tipo di sensore è in continua evoluzione, ed a oggi, il più avanzato è quello di Argo AI, una società della Pennsylvania, specializzata in tecnologie per la guida autonoma. Il loro sensore vanta un raggio d'azione di 400m. Secondo il produttore Argo Self-Driving System (SDS) è in grado di individuare con maggiore precisione oggetti tipicamente difficili da vedere e da grandi distanze. Inoltre, è in grado di individuare oggetti lontani e con bassa riflettività (meno dell'1% della luce), quindi anche di notte, e scansionare l'ambiente con tecnologie di imaging fotorealistiche. Il produttore riferisce ancora che l'SDS è in grado di tenere conto di improvvisi cambi nel livello di luce (quando ad esempio un veicolo entra o esce da una galleria) e individuare piccoli elementi in movimento, come ad esempio animali.

Con l'SDS la tecnologia nel veicolo è "consapevole" dell'ambiente circostante in qualunque momento della giornata, gestendo in modo sicuro il veicolo sulle strade di città, così come nelle periferie e sulle autostrade. Il sensore, a detta del produttore, è in grado di individuare singoli fotoni della luce; con letture della lunghezza d'onda oltre i 1400 nanometri. Il sistema sfrutta un singolo sensore, con ovvi vantaggi in termini di costi e produzione.

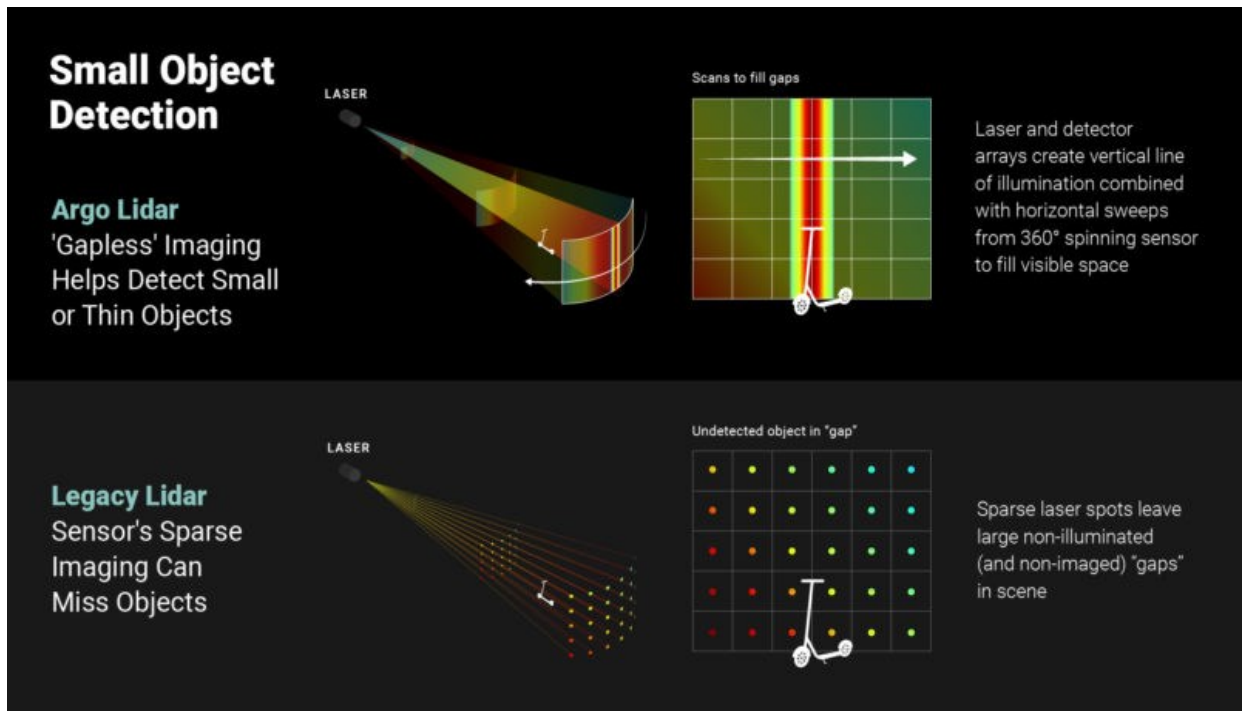


Figura 8 Differenze di visione da Lidar Argo rispetto ad un Lidar normale

Differenze tra Radar e LIDAR

I LiDAR continuano tuttavia ad essere una tecnologia più costosa rispetto ai radar – non ancora applicabile a tutti i segmenti – ma hanno il vantaggio di restituire una scansione più precisa e meglio definita, grazie al fatto che la luce laser ha una lunghezza d'onda minore rispetto alle onde radio dei radar, il che consente di identificare meglio gli oggetti e i dettagli. Il radar, da parte sua, mantiene un vantaggio a livello di costi e di efficienza in caso di condizioni meteorologiche avverse (nebbia, pioggia, neve). Altro punto di forza è di avere un'antenna unica, che fa da emettitore e da ricevitore, mentre nel LiDAR emettitore e ricevitore sono elementi distinti, facendo aumentare le dimensioni.

La tecnologia dei LiDAR allo stato solido sembra essere quella di maggiore interesse per le applicazioni in ambito automotive, data la sua efficienza e resistenza.

In questa direzione va il recente accordo di Marelli con XenomatiX, fornitore di moduli LiDAR allo stato solido, che ha portato sul mercato un prodotto basato su una tecnologia collaudata a livello di semiconduttori e progettato per la produzione di massa.

2.3.4 Videocamere

Un altro elemento che caratterizza le auto con guida autonoma sono le videocamere ottiche a lungo raggio, queste permettono di vedere oggetti fino a 500mt con una visione a 360° dello spazio circostante; inoltre, riconoscono i colori e riescono a vedere i cartelli stradali; quindi, aiutano il pilota automatico ad operare in maniera corretta nelle varie situazioni del traffico.

In questo settore è Bosch ad alzare l'asticella della tecnologia, in quanto ha creato una nuova videocamera MPC3, che grazie all'uso dell'intelligenza artificiale è in grado di essere più affidabile dell'occhio umano in particolari situazioni di pericolo.

Harald Kröger, membro del Board of Management di Bosch, afferma: “Vogliamo che le macchine imparino a guidare meglio delle persone e aumentare, in questo modo, la sicurezza stradale. In altri termini, la tecnologia deve essere più affidabile delle persone”. Per realizzare ciò, Bosch, si è cementata sulla tecnologia che più si avvicina al comportamento umano, e lo fa “sostituendo” l'occhio umano con la videocamera più avanzata in commercio, con l'obiettivo di migliorare le reazioni in una particolare situazione di pericolo, aumentando la sicurezza degli occupanti del veicolo.

La nuova videocamera presentata da Bosch, come annunciato sopra, è dotata di intelligenza artificiale che si occupa di riconoscere gli oggetti che vengono inquadrati, in questo modo, in base all'oggetto che si presenta davanti, gli ADAS si comportano in modo opportuno.

La telecamera Bosch MPC3, è stata quindi ottimizzata per gestire ogni situazione. Rispetto all'occhio umano non può “non vedere” un ostacolo e i tempi di reazioni dei vari sistemi di assistenza alla guida sono notevolmente inferiori rispetto a quanto può impiegare un essere umano. Inoltre, rispetto all'occhio umano, non si stanca mai, non soffre le condizioni di luce e funziona sempre in maniera ottimale anche dopo ore e ore di guida.

L'intelligenza artificiale su cui si basa la telecamera è offerta dal chip V3H, prodotto dall'azienda giapponese Renesas. La telecamera è quindi in grado di migliorare anche i sistemi di assistenza alla guida e ampliare il loro campo di applicazione. Ad esempio, potrebbe essere impiegata nei sistemi di frenata di emergenza automatici sia per evitare l'impatto del veicolo con gli animali, sia con i pedoni anche quando sono solo parzialmente visibili, cosa che l'occhio umano difficilmente riesce a percepire. La telecamera MPC3 è inoltre dotata di un sistema di rilevazione ottica dei caratteri, che è in grado di “leggere” in maniera affidabile testo e numeri che possono essere inseriti nei segnali stradali, come ad esempio un limite di velocità o un divieto di transito provvisorio che il sistema di navigazione non può sapere. Queste informazioni possono essere mostrare al guidatore sul display del quadro comandi.

2.3.5 Intelligenza artificiale AI

Per rendere la guida autonoma fattibile, non bastano i sensori sopracitati, il veicolo deve essere dotato anche di intelligenza artificiale.

L'intelligenza artificiale consiste nella capacità di una macchina ad operare e pensare come un essere umano; come si può immaginare questa funzione è essenziale nei veicoli a guida autonoma, in quanto permetterebbe al veicolo stesso di percepire l'ambiente circostante come una persona fisica; quindi, l'obiettivo è quello di progettare sistemi hardware e software che permettono di dotare le macchine di caratteristiche tipicamente considerate umane.

Un'intelligenza intesa non solo come capacità di calcolo e conoscenza di dati astratti, ma anche come intelligenza spaziale, sociale e cinestetica. Gli studi riguardanti l'AI si sono spinti fino alla creazione di un algoritmo che permette l'apprendimento per reti neurali

(ossia “neuroni” artificiali che riproducono la rete neuronale del cervello umano). I sistemi intelligenti sono stati affinati fino a creare macchine in grado di apprendere da sole dalla realtà, proprio come gli uomini, e a tal proposito si parla di “Machine Learning”. I veicoli del futuro saranno in grado, quindi, di imparare a svolgere determinati compiti migliorando, tramite l’esperienza, le proprie capacità, le proprie risposte e funzioni.

A seconda del tipo di algoritmo utilizzato per l’apprendimento del robot, ossia a seconda delle modalità con cui la macchina impara, si possono suddividere tre differenti sistemi di apprendimento automatico:

- **apprendimento supervisionato:** viene fornito alla macchina un database di informazioni ed esempi; quando essa si trova di fronte a un problema, attinge alle esperienze inserite nel proprio sistema ed elabora quale risposta dare sulla base di queste;
- **apprendimento non supervisionato:** le informazioni inserite nel sistema non sono codificate; la macchina vi attinge senza avere un esempio del loro utilizzo e quindi senza avere conoscenza dei risultati attesi a seconda della scelta effettuata. Perciò, la macchina deve catalogare tutte le informazioni in proprio possesso, organizzarle e imparare quale sia il loro significato e il risultato a cui esse portano.
- **apprendimento per rinforzo:** alla macchina vengono forniti elementi di supporto quali GPS, sensori, telecamere, etc. che permettono di rilevare ciò che accade nell’ambiente circostante ed effettuare scelte in funzione del miglior adattamento a esso.

Quest’ultimo sistema di apprendimento automatico è tipico delle auto senza pilota. Le self driving cars sono dotate di “cervelli elettronici” in grado di elaborare i dati che vengono rilevati dagli innumerevoli sensori, telecamere e radar posti sul veicolo, in modo da accantonare le informazioni non necessarie al fine di risolvere la situazione concreta e fornire tutte le indicazioni utili per muoversi in sicurezza. Grazie alle tecnologie di *deep learning*, ossia l’apprendimento di dati appresi grazie all’utilizzo di algoritmi di calcolo statistico, oggi il sistema ha la possibilità di elaborare 20 miliardi di operazioni al secondo. Sulle auto a guida autonoma viene installato, in particolare, un sistema di *Computer Vision* che riproduce la vista umana, riconoscendo l’ambiente nel quale ci si trova e dando di conseguenza informazioni rispetto a esso. Ciò presuppone che il veicolo raccolga una quantità grandissima di dati.

Capitolo 3

Come lavorano le self driving cars?

In questo capitolo andremo a parlare di come effettivamente lavora un'auto a guida autonoma; quindi, descriveremo come i sensori e le videocamere riescono a rilevare e di conseguenza mappare l'ambiente che circonda il veicolo.

L'architettura delle recenti auto a guida autonoma include un modulo dedicato alla generazione della traiettoria che il veicolo deve seguire per raggiungere la destinazione preimpostata. Questo modulo genera la traiettoria desiderata in 5-10 secondi e la aggiorna con una frequenza di 10 Hz. La traiettoria generata viene vista come una serie di "punti di passaggio" misurati rispetto alle coordinate della mappa globale. Le auto a guida autonoma presentano anche un sistema Drive by Wire (DBW), che si sforza di seguire la traiettoria con la maggiore precisione ed efficienza possibile.

Ora andremo a descrivere ed analizzare la mappatura dell'ambiente circostante al veicolo con due sistemi differenti: Lidar e videocamere.

3.1 Generazione della mappa: LiDAR

Il sensore di tipo lidar descritto nel capitolo 2, è un sensore molto usato nelle auto a guida autonoma per rilevare gli ostacoli, in quanto questa tecnologia è molto affidabile ed è adatta anche in ambienti complessi; ma bisogna precisare che ciò comporta l'esecuzione un gran numero di calcoli, quindi è difficile ottenere risultati in tempo reale; infatti, quando il Lidar è in funzione, genera molti dati "grezzi" ogni secondo, di conseguenza l'analisi in tempo reale di questi dati e l'estrazione di informazioni che essi forniscono è una sfida molto difficile.

Solitamente l'algoritmo usato per il rilevamento degli ostacoli nella tecnologia Lidar segue i seguenti punti: elabora i dati originali per estrarre le caratteristiche, confronta le caratteristiche geometriche degli ostacoli, in seguito esegue un raggruppamento degli ostacoli per identificarli. Con il metodo grid-based, ovvero metodo a griglia, l'estrazione delle caratteristiche presenta delle irregolarità nel parallelismo; se il carico di dati è molto alto, il tempo di esecuzione per ogni azione secondaria, non strettamente legata al rilevamento degli ostacoli, non è uguale; quindi, i dati diventano imprevedibili. Tutto ciò porta ad irregolarità nell'algoritmo come un'eccessiva diramazione di condizioni, un discontinuo accesso alla memoria ed un carico sbilanciato nell'implementazione e ottimizzazione della GPU (graphics processing unit). Queste irregolarità rendono difficile ottenere prestazioni soddisfacenti e quindi risultati in tempo reale dalla GPU stessa anche se l'algoritmo presenta un buon parallelismo. Solitamente gli input per il parallelismo sono un rettangolo regolare o un cubo visto come una griglia che, idealmente, può essere aperto e mappato dalla GPU. Tuttavia, un algoritmo che presenta irregolarità è difficile da implementare semplicemente scomponendo le attività, e quindi è più difficile garantire un carico bilanciato sulla GPU.

Per ottimizzare il calcolo sono state studiate alcune strategie, ma ad oggi è preferibile usare una scheda con performance elevate, con basso consumo di energia e che sia versatile; così da riuscire a gestire l'elevato carico di dati fornito dal LiDAR, in quanto

questo sensore quando è in funzione rileva tutti gli ostacoli (piccoli e grandi), ma anche in che condizioni stradali ci troviamo (strada dritta, incroci ecc...). Di conseguenza serve una scheda con elevate prestazioni di CPU e GPU, ma non solo, a differenza delle generiche schede dove CPU e GPU lavorano in contemporanea e richiedono un bus per trasferire i dati dall'host al dispositivo il che comporta un costo dal punto di vista delle performance; la scheda che viene usata dovrà essere in grado di far funzionare CPU e GPU in modo asincrono così che prima avvenga la raccolta ed l'elaborazione dei dati ricevuti dal LiDAR ed in seguito questi vengano elaborati dalla GPU.

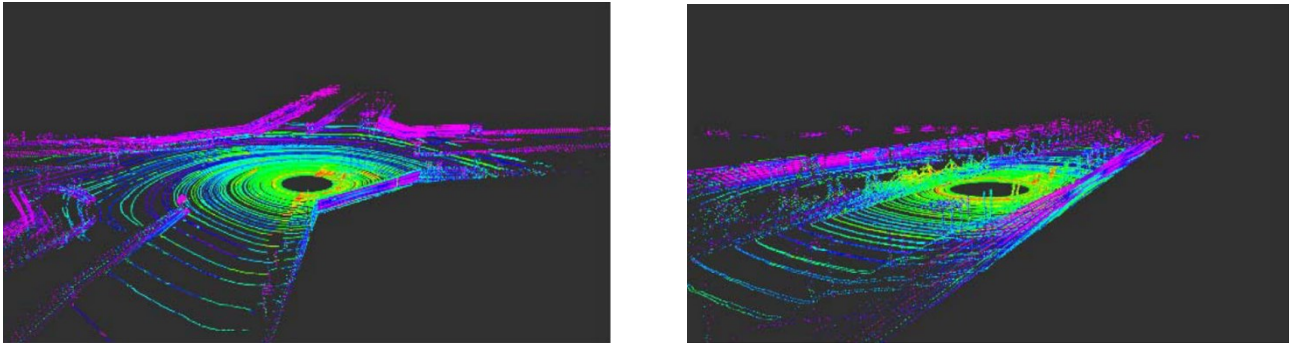


Figura 9 Esempi di nuvola di punti rilevati dal lidar

3.1.1 Algoritmo di elaborazione dei dati

In questo paragrafo andiamo ad elencare i punti da seguire per generare il corretto algoritmo per il metodo grid-based.

- *Acquisizione dei dati*: consiste nell'ottenere la nuvola di punti generati dal LiDAR e nell'analizzare i dati per ottenere i valori in x, y, z e quindi l'intensità dei punti.
- *Proiezione della griglia*: in primis si crea una mappa della griglia considerando il numero di punti che abbiamo ed assicurandoci che ogni blocco venga utilizzato. Nelle griglie viene proiettata la nuvola di punti rilevata e vengono filtrati i punti non necessari.
- *Estrazione delle caratteristiche*: qui vengono ricavate, dai dati, le informazioni sull'altezza di ogni blocco della griglia e trovata la differenza massima di altezza tra i punti così da ricavare le caratteristiche di altezza della griglia.
- *Raggruppamento degli ostacoli*: in questa fase vengono raggruppati gli ostacoli secondo le caratteristiche di altezza, e vengono individuati i punti che contengono le informazioni riguardanti gli ostacoli ed i bordi della strada.
- *Rilevamento dei bordi della strada*: i punti contenenti le informazioni sui bordi della strada vengono individuati tramite il raggruppamento degli ostacoli, e la traiettoria della strada viene generata usando il metodo dei minimi quadrati.
- *Tracciamento*: qui si esegue la pianificazione della strada, la quale dipende dai risultati dati dallo studio della traiettoria e dalle informazioni sugli ostacoli.
- *Trasmissione di dati*: infine i risultati vengono trasmessi al modulo decisionale.

Per tutti i punti sopra elencati, le caratteristiche di estrazione della griglia ed il raggruppamento degli ostacoli sono i passaggi chiave nell'elaborazione dell'output dei

punti dell'intero algoritmo, e queste devono presentare un buon parallelismo così che siano adatte per l'esecuzione in GPU.

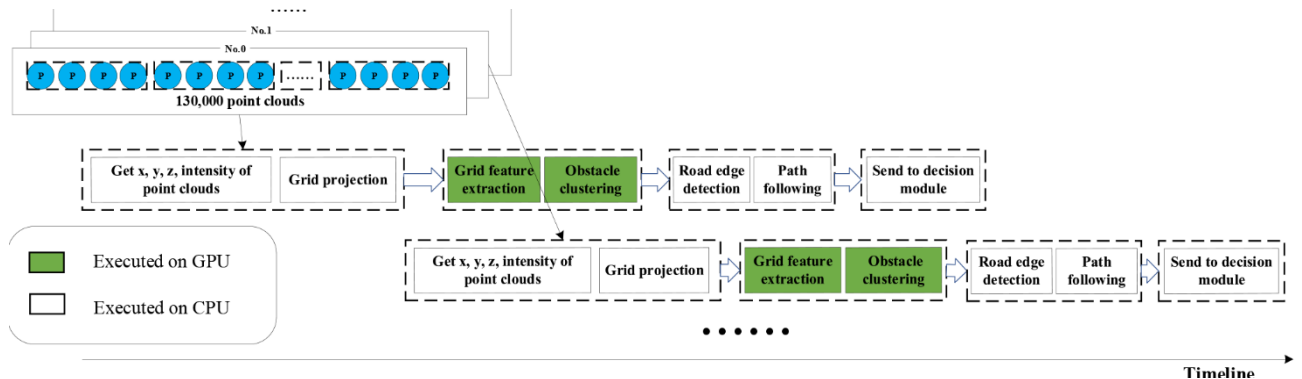


Figura 10 Diagrammi di flusso eterogeneo del processo dei dati generati dal LiDAR

3.1.2 Estrazione delle caratteristiche della griglia

Dopo avere eseguito la proiezione della griglia, ogni blocco della griglia contiene il numero, l'intensità e le coordinate x, y, z dei punti rilevati dal LiDAR. Le caratteristiche di estrazione della griglia “scansionano” i dati contenuti nella griglia stessa e ne determinano le loro proprietà. Queste proprietà sono suddivise in tre tipi: a) accettabile, b) non accettabile, e c) area sconosciuta. Le proprietà a) rappresentano l'area pianeggiante od in pendenza priva di ostacoli; le proprietà b) rappresentano l'area dove si trovano ostacoli che impediscono il movimento al veicolo; mentre il punto c) è il punto cieco della scansione.

Le seguenti equazioni rappresentano rispettivamente il punto di altezza minima ed il punto di altezza massima tra tutti i punti rilevati dal LiDAR.

$$\min = \text{Min}(gpoint [0].z, gpoint [1].z \dots gpoint [gnum].z) \quad (6)$$

$$\max = \text{Max}(gpoint [0].z, gpoint [1].z \dots gpoint [gnum].z) \quad (7)$$

Dove $gpoint [i].z$ sono i valori di altezza di ciascun punto e $gnum$ è il numero di punti totali da analizzare che abbiamo nella griglia.

La differenza tra le due equazioni ci fornisce la massima differenza di altezza che abbiamo tra i punti.

$$\text{Height feature} = \max - \min \quad (8)$$

Spesso, sono presenti informazioni sbagliate sul rilevamento degli ostacoli, per esempio vengono rilevati insetti che volano, foglie che cadono, rami pendenti ecc.; i quali rendono l'auto a guida autonoma inutilizzabile. Sono necessarie informazioni sicure ed affidabili su ciò che lo circonda per fornire al veicolo una corretta conoscenza dell'ambiente. Quindi sono essenziali operazioni di filtraggio a punto mobile e filtraggio a punto singolo prima di mandare in uscita la griglia così da ridurre interferenze dovute al rumore del sensore ed al rumore ambientale.

- Filtraggio a punto mobile: controlla i punti 3D di tutta la griglia; se la nuvola di punti che rappresentano l'ostacolo presenta un'altezza superiore ai 2 metri e viene scannerizzata da meno di due raggi generati dal LiDAR allora viene considerato come ostacolo mobile e quindi filtrato.
- Filtraggio a punto singolo: ad una distanza sotto i 20 metri, gli ostacoli di solito appaiono in pile perché la nuvola di punti 3D è molto densa. Se non ci sono altri ostacoli in un range 7×7 della griglia e quindi compare un ostacolo a punto singolo, se viene scannerizzato da meno di due raggi generati dal LiDAR, allora viene filtrato in quanto considerato un'interferenza.

Le caratteristiche di estrazione sono basate sul metodo *grid image* (immagine della griglia); qui non abbiamo la dipendenza tra i dati; quindi, è presente un buon parallelismo lungo la griglia. Tuttavia, i punti nella griglia non sono uniformemente distribuiti, ma sono distribuiti secondo i punti rilevati dal LiDAR che riflettono l'immagine in tempo reale dell'oggetto nell'ambiente. Perciò, data la irregolare distribuzione dei punti, come possiamo vedere nella figura sottostante non c'è un giusto bilanciamento tra i processi che trasportano i dati alla GPU per essere elaborati. Una GPU usa il modello di programmazione ad istruzione singola su più processi; quindi, il warp, nonché l'insieme di processi, è l'unità base di esecuzione dei multiprocessori streaming (SMs). Il tempo di esecuzione di tutti i processi dipende dal processo con il tempo di esecuzione più lungo. Il problema dello sbilanciamento sul carico di lavoro tra i processi porterà a sprechi delle risorse di calcolo dei processi stessi.

Quindi, questo fenomeno porterà a due problemi: a) sbilanciamento del carico, perché non è possibile scomporre i punti in maniera ideale; b) inefficienza sul modo di accesso alla memoria, la posizione dei punti rilevati dal LiDAR è casuale; quindi, genera recuperi di dati in maniera irregolare e ridondante.

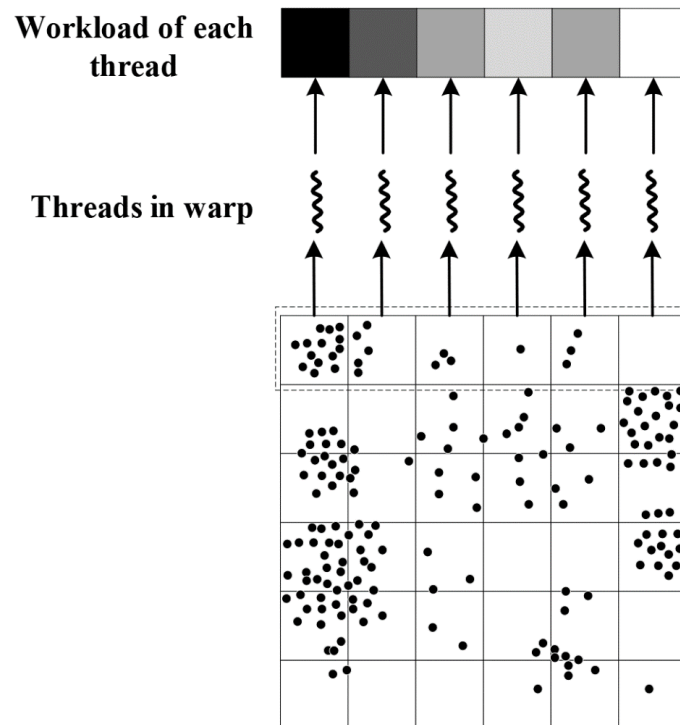


Figura 11 Elaborazione della griglia con il metodo ad "istruzione singola su più processi"

3.1.3 Strategie di ottimizzazione

- *Parallelismo a grana grossa*: con questo metodo l'insieme di processi di una griglia viene visto come la base per l'esecuzione del parallelo e come unità di assegnazione dei compiti. Tutti i processi collaborano per elaborare i compiti assegnati all'insieme. In questo metodo vengono usati dei blocchi di dati per minimizzare lo sbilanciamento di carico tra i processi. Inizialmente i dati di una certa griglia sono divisi in più parti (32 dati compongono un blocco), un insieme corrisponde ad un blocco, e poi viene eseguito un confronto delle dimensioni locali di ciascun blocco così da trovare il valore massimo. Ogni valore massimo viene salvato con una variabile temporanea. Una volta eseguito il procedimento per tutti i blocchi è possibile rilevare il valore massimo di altezza presente tra i punti della griglia. Sostituendo il metodo ad istruzione singola con questo, è possibile incrementare la larghezza di banda effettiva, migliorando l'efficienza di elaborazione dei dati.

La quantità di punti nei blocchi non deve superare i 32 punti, grazie a questo metodo è necessario accedere alla memoria una sola volta e passare quindi tutti i dati nella griglia, riducendo così i cali di efficienza dovuti agli accessi di memoria multipli. Come si può vedere in figura con questo metodo è possibile ridistribuire i compiti tra i processi; quindi, lo sbilanciamento del carico viene alleviato.

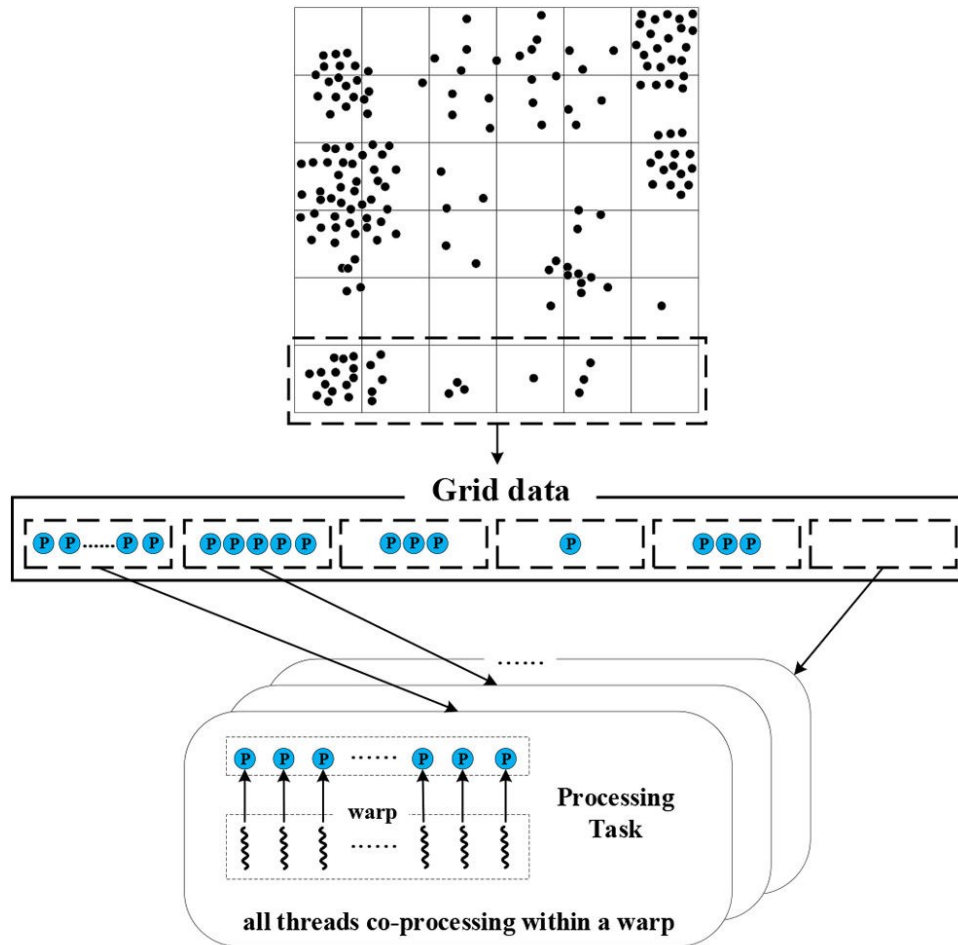


Figura 12 Griglia elaborata con il metodo ad “insieme di processi”

Come abbiamo già detto lo scopo principale dell'estrazione delle caratteristiche dei punti, è quello di ottenere la differenza massima di altezza tra i punti nella griglia. Il procedimento per trovare i punti minimi e punti massimi è lo stesso. Il passo del processo che dobbiamo ottimizzare è quando il processo0 (thread0) riceve tutti i dati della griglia e poi li passa nei registri dei processi rimanenti tramite la funzione shuffle (shfl). Per garantire un accesso unito, i processi devono continuamente accedere in maniera contigua dove la memoria lo permette. I dati relativi ad ogni processo vengono immagazzinati nei registri dei processi. Dopo di che i primi 16 processi usano la funzione shfl_down (shuffle down) che permette ai processi di accedere direttamente ai registri degli altri processi così da confrontare il più piccolo valore con i 16 processi precedenti. Questo viene poi immagazzinato nel processo e si continua fino a trovare l'ultimo minimo. Lo stesso processo viene eseguito per trovare il valore massimo.

Finché i processi sono nello stesso insieme, rispetto all'accesso ai dati tramite memoria condivisa, lo shuffle permette una larghezza di banda maggiore, una minore latenza e non consuma memoria aggiuntiva per lo scambio di dati. Tuttavia, il metodo del parallelismo a grana grossa non è molto efficace quando usiamo i processi all'interno dell'insieme di processi.

- *Parallelismo a doppio shuffle*: nel parallelismo a grana grossa, i processi lavorano confrontando i dati dei primi 16 processi con quelli degli ultimi 16 e dopo salvano i risultati nei loro registri; quindi, gli ultimi 16 processi sono inattivi e questo equivale ad uno spreco. Per utilizzare tutti i processi, mentre i primi 16 confrontano i dati per trovare il valore minimo, gli altri 16 confrontano i dati con i primi 16 per trovare il valore massimo. In questo modo l'algoritmo raddoppierà il numero di attività che un insieme di processi può gestire migliorando così l'efficienza, inoltre migliora l'utilizzo dei dati e riduce gli accessi alla memoria.
- *Localizzazione dei dati*: si riferisce a trasferire i dati dalla off-chip memory (memoria locale, memoria globale) alla on-chip memory (registri, memoria condivisa), implementando così la condivisione dei dati riducendo così gli accessi alla off-chip memory. Perciò, la localizzazione dei dati viene usata per ridurre la dipendenza dalla memoria globale ed ottimizzare così l'algoritmo. Verrà generato un solo dato mobile per ogni insieme di processi elaborato. La linea di cache è di 128 bytes, e un dato occupa 4 bytes; se i dati ritornano alla memoria globale dopo ogni elaborazione questo comporterebbe una bassa percentuale di uso della cache. Perciò, i dati prima vengono immagazzinati in una memoria condivisa, e si usa l'insieme di processi0 (warp0) per immagazzinare i dati nella memoria globale. Ciò consente di poter utilizzare una sola cache, ed inoltre rispetta il principio di accedere alla memoria in maniera unita.

3.1.4 Raggruppamento degli ostacoli

Gli ostacoli sono classificati in base alla massima differenza di altezza rispetto ogni nuvola di punti. La differenza di altezza (Δh) è calcolata tra il punto più alto (Z_{max}) ed il punto più basso (Z_{min}) di ogni griglia, se la differenza di altezza (Δh) di una certa griglia soddisfa i limiti λ , allora la griglia viene aggiunta alle caratteristiche di altezza.

$$\lambda_1 < Z_{max} - Z_{min} < \lambda_2 \quad (9)$$

Nella strada reale, il bordo della strada, ostacoli, buche ed altre condizioni creeranno dislivelli rispetto il manto stradale; quindi, differenti soglie staranno ad indicare scenari diversi.

Gli ostacoli vengono divisi in 3 categorie:

- Ostacoli che non influenzano sulla guida

$$\Delta h < 5cm \quad (10)$$

- Il bordo della strada

$$5cm < \Delta h < 30cm \quad (11)$$

- Ostacoli che influiscono sulla guida

$$\Delta h > 50cm \quad (12)$$

3.2 Generazione della mappa: videocamere

Ora analizziamo come le videocamere situate attorno al veicolo generano la mappa. Le videocamere sono state uno dei primi strumenti usati per realizzare le self driving cars, questi veicoli come abbiamo detto è importante che riescano a vedere tutt'attorno; quindi, è necessario un sistema multicamera con un campo visivo a 360°; le videocamere più indicate sono le grandangolari o ultra-grandangolari in quanto riescono a vedere angoli non inferiori a 180° così da avere un risparmio sul numero di videocamere e quindi sul costo complessivo del sistema. Ogni telecamera può essere controllata individualmente; anche se così facendo si ignorano i vincoli geometrici delle telecamere e ciò può portare a delle incongruenze tra di loro.

Il diagramma sottostante parte dalla calibrazione fino alla generazione della mappa 3D. Ogni componente è contrassegnato da un contorno, quelli con il contorno blu sono i componenti che lavorano offline mentre quelli con il contorno rosso sono i componenti che lavorano online. Gli output del diagramma quali la posizione del veicolo, la mappa degli ostacoli e la mappa ricavata, possono essere usati per la guida autonoma.

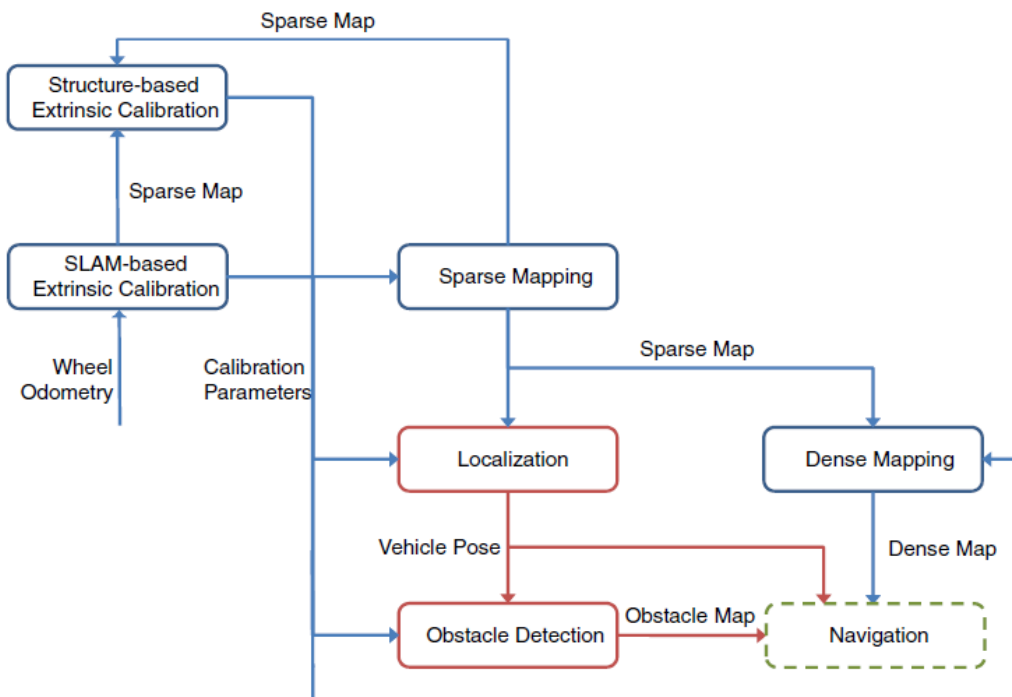


Figura 13 Schema rappresentante i passi necessari per generare la mappa 3D partendo dalla calibrazione.

3.2.1 Calibrazione

La calibrazione è un prerequisito fondamentale per l'uso di un sistema multicamera nella guida autonoma. La proiezione di una scena 3D in un'immagine richiede la conoscenza

dei parametri intrinseci ed estrinseci del sistema multicamera e della posizione del veicolo.

Una calibrazione imprecisa, avrà un impatto su tutto il processo, genererà una mappa ed una rilevazione degli ostacoli inaccurata; inoltre, i cambiamenti ambientali, le vibrazioni e l'usura provocano dei piccoli cambiamenti dei parametri di calibrazione dal loro valore vero. Quindi, questo sistema richiede una calibrazione abbastanza frequente; la maggior parte dei sistemi multicamera hanno bisogno di essere calibrati su un obiettivo con punti di riferimenti contenenti coordinate 3D conosciute che consente di calcolare la variazione in scala metrica. Questo sistema non potrebbe funzionare in auto a guida autonoma; quindi, è necessario un sistema di calibrazione SLAM (*Simultaneous Localization and Mapping*) che non ha bisogno di un obiettivo per la calibrazione ma si basa sulle caratteristiche naturali dell'ambiente. Questa calibrazione stima simultaneamente le variazioni inter-camera e costruisce una bozza della mappa; inoltre rileva la scala metrica dai dati di odometria delle ruote.

Ora spieghiamo come un punto della scena viene riproiettato sottoforma di immagine da una camera grandangolare. Prendiamo in considerazione un punto con coordinate $P_{F_c} = [X \ Y \ Z]^T$ con riferimento alla camera F_c ; cambiamo il riferimento delle coordinate in F_0 mediante la sostituzione di Z con ξ e otteniamo:

$$P_{F_0} = \frac{P_{F_c}}{\|P_{F_c}\|} + [0 \ 0 \ \xi]^T \quad (13)$$

Dove ξ è il parametro specchio nel modello di proiezione unificato, nonché il parametro che indica l'indice di riflessione della lente della camera usata ed in base ad essa determina la proiezione dei punti nel riferimento normale; riproiettiamo P_{F_0} sul riferimento immagine normalizzato, non distorto dalla lente della camera, e calcoliamo le coordinate (x_u, y_u) del punto immagine risultante:

$$[x_u \ y_u \ 1]^T = \frac{P_{F_0}}{z_{P_{F_0}}} \quad (14)$$

Dove $z_{P_{F_0}}$ è la componente z di P_{F_0} .

Si bisognerà inoltre considerare una distorsione radiale e tangenziale dovuta alla lente, rappresentata dalle coordinate (x_d, y_d) e si otterrà la seguente formula

$$[x_d \ y_d]^T = [x_u \ y_u]^T + \mathbf{d}_u \quad (15)$$

Infine, le coordinate (u, v) del punto immagine sono ottenute moltiplicando le coordinate di distorsione per la matrice \mathbf{K} :

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \gamma_1 & 0 & u_0 \\ 0 & \gamma_2 & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$[\mathbf{u} \ \mathbf{v} \ \mathbf{1}]^T = \mathbf{K}[x_d \ y_d \ 1]^T \quad (17)$$

Dove $[\gamma_1, \gamma_2]$ e $[u_0, v_0]$ sono rispettivamente le lunghezze focali e le coordinate del punto principale nel modello di proiezione unificato.

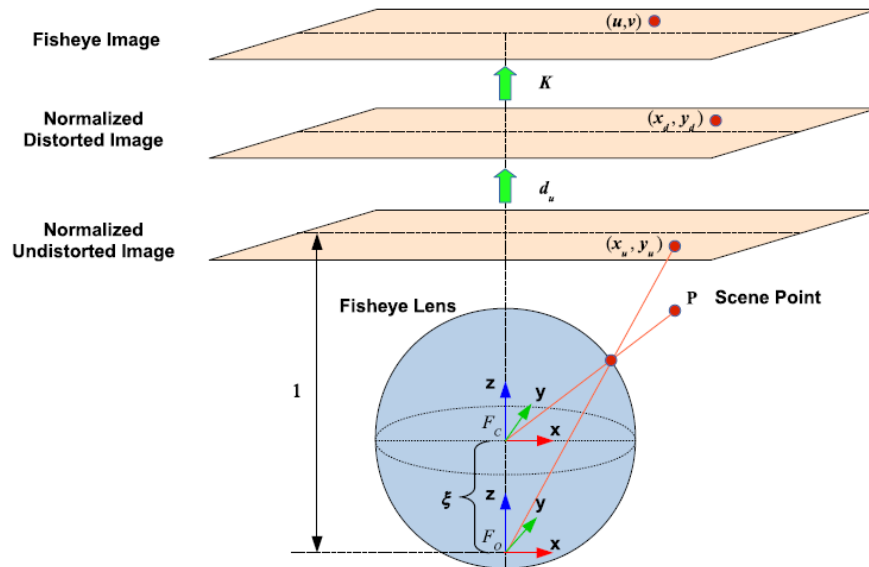


Figura 14 la figura rappresenta il modello di camera usato, comprendente sia un modello di proiezione unificato, che un modello con distorsione radiale-tangenziale

Calibrazione SLAM

Data la calibrazione intrinseca di ciascuna telecamera, il metodo di calibrazione estrinseca di tipo SLAM, si basa sulle caratteristiche che si verificano in modo naturale nell'ambiente e sul movimento dell'auto piuttosto che sull'utilizzo di un obiettivo di fiducia; questo è possibile perché quando una camera cattura una serie di immagini da uno scenario, si ottengono dei parametri immutabili dai quali è possibile ottenere le corrispondenze. Grazie a queste corrispondenze si generano sufficienti vincoli per determinare in modo univoco le costanti di calibrazione. Dal punto di vista matematico, la calibrazione tra camera e veicolo, trova una soluzione al problema dei minimi quadrati non lineari (NLLS) che comprendono due insiemi di residui ponderati. La prima e la seconda serie di residui, corrispondono alla somma degli errori di riproiezione dell'immagine al quadrato e alla somma degli errori di posizione relativa al quadrato.

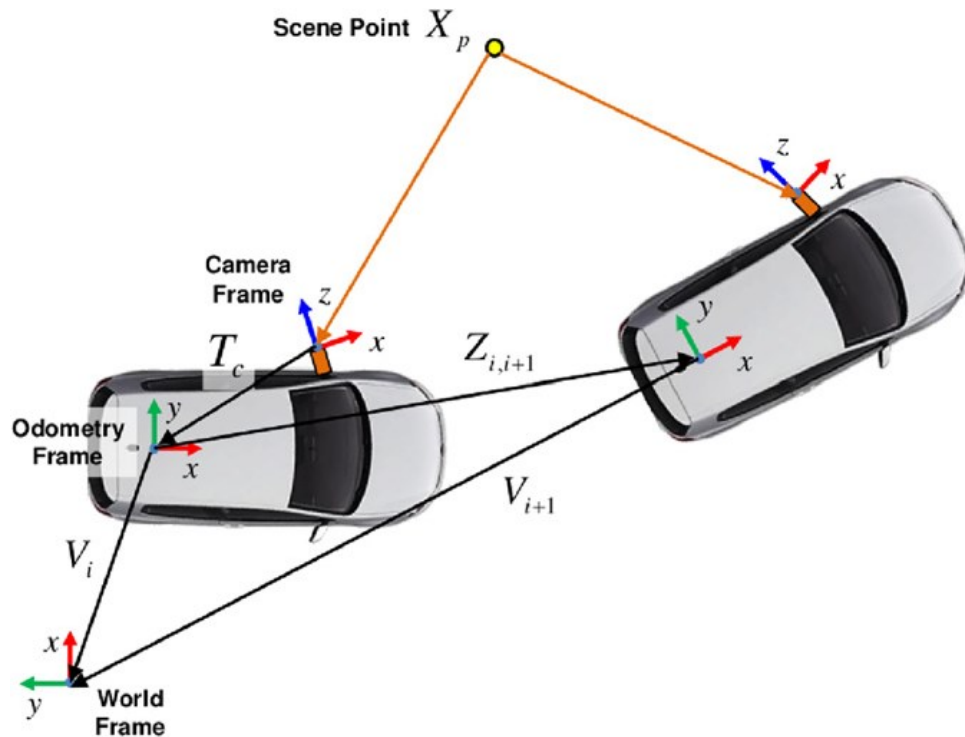


Figura 15 Rappresentazione dei diversi piani di riferimento

Questo problema contiene molti minimi locali; quindi, è necessaria una buona inizializzazione che otteniamo attraverso i seguenti passaggi.

- *Calibrazione dell'odometria della camera:* come prima cosa dobbiamo ottenere una stima iniziale dei parametri estrinseci; quindi, relativi alla posizione tra le videocamere; si trova la soluzione dei minimi quadrati per il problema della calibrazione planare riguardante il movimento relativo tra camera e veicolo. La soluzione è una trasformazione a 5 GdL (gradi di libertà) tra il riferimento camera e il riferimento dell'odometria.
- *Ricostruzione dei punti della scena:* il secondo passo consiste nel raffinare i parametri estrinseci ricavati dalla mappa 3D; per ogni camera vengono usati i parametri estrinseci inizialmente stimati e la posizione del veicolo, così da triangolare le caratteristiche 2D corrispondenti. Tuttavia, i parametri stimati, la posizione del veicolo, e le coordinate dei punti ottenute sono ancora inaccurate a causa di due problemi: per prima cosa, i dati relativi alla posizione delle ruote sono inaccurati; e per seconda, non ci sono caratteristiche corrispondenti tra le diverse camere e così non ci sono restrizioni che legano il sistema multicamera. Per gestire il primo problema dobbiamo trovare dei percorsi chiusi ed eseguire un grafico della posizione per correggere l'odometria delle ruote. Questi percorsi generano delle caratteristiche tra le videocamere, ma non possono essere usati a priori per stimare i parametri estrinseci.

- *Confronto delle funzioni tra le telecamere*: le telecamere vengono posizionate in modo da ottenere una minima sovrapposizione di visuale così da minimizzare il numero di telecamere. Per ottenere un confronto tra le telecamere, si mantiene la cronologia dei fotogrammi locali di ciascuna telecamera, e si esegue un confronto tra tutti i fotogrammi di ciascuna telecamera e tutti i fotogrammi archiviati nella cronologia dei fotogrammi locali corrispondenti alle altre telecamere. Fra le telecamere si hanno punti di visuale differenti ed in diversi istanti di tempo; quindi, il confronto da come risultati poche corrispondenze e poche di queste sono corrette. Di conseguenza i fotogrammi dati da due diverse camere vengono uniti fra loro in un'unica immagine così da trovare più corrispondenze, come si può vedere nella figura sottostante.

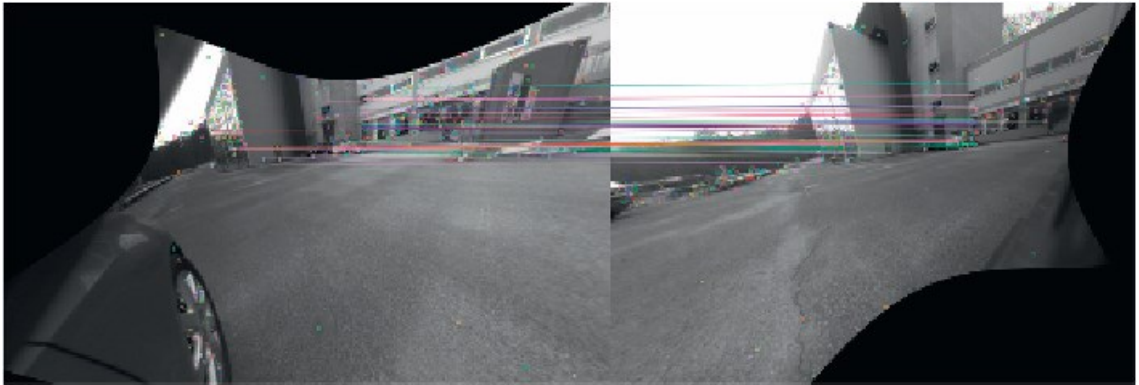


Figura 16 Corrispondenza delle caratteristiche tra la camera di destra e la camera frontale

- *Ottimizzazione*: usando il metodo dei minimi quadrati non lineari, si otterrà una stima accurata dei parametri estrinseci per il sistema multicamera grazie anche all'aiuto dei dati forniti dal confronto delle caratteristiche trovate nel passaggio precedente. Come possiamo vedere nella figura sottostante si evince la differenza tra le due mappe parziali, dove la prima a sinistra rappresenta la mappa ottenuta con la stima dei parametri senza l'ottimizzazione, mentre la seconda a destra rappresenta la mappa ottenuta con i parametri ottimizzati.

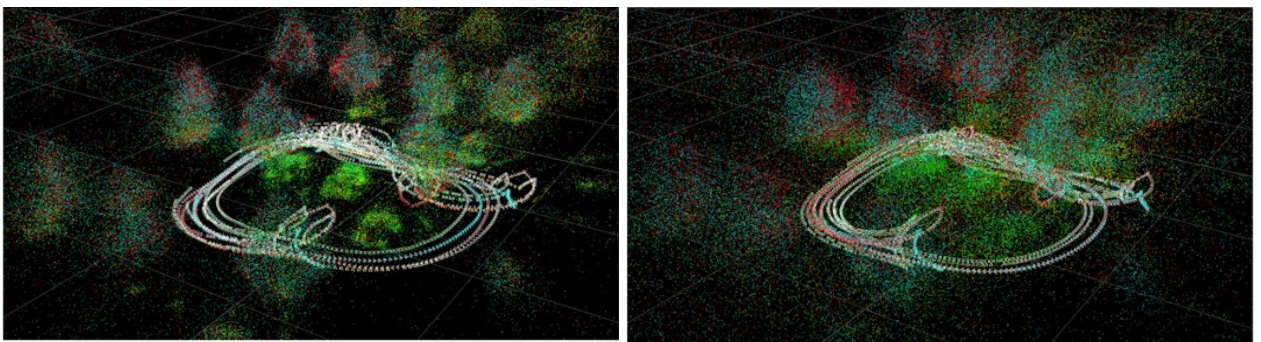


Figura 17 La mappa a sinistra è generata con i parametri iniziali, mentre a destra la mappa generata dopo l'ottimizzazione.

3.2.2 Mappa sparsa

L'approccio visto finora è adeguato a generare una mappa di piccole dimensioni, ora introduciamo i passi da seguire per gestire e generare una mappa sparsa di grandi dimensioni e con una struttura poco complessa.

- *Stima del movimento*: il primo passo da fare consiste nell'eseguire una stima del movimento fatto dalle videocamere basandosi sulle immagini raccolte durante la guida. Tuttavia, le immagini raccolte per ogni camera non è detto siano coerenti con le immagini raccolte dalle altre camere; quindi, si esegue un calcolo del movimento analizzando tutte le immagini assieme così da modellare il sistema multicamera come un'unica camera. La differenza principale tra una singola camera ed il sistema multicamera è che i raggi di luce generati dalle camere che attraversano l'immagine 2D non si incontrano in un singolo punto centrale; ma i raggi di luci generati possono essere espressi in un sistema di riferimento comune mediante la linea di Plünker. Il sistema a vettori di Plünker è un metodo di parametrizzazione di una linea nello spazio, il quale comprende due vettori definiti da 3 componenti: q , q' denominati, rispettivamente, vettore di direzione e vettore momento. q è un vettore di qualsiasi lunghezza nella direzione della linea da parametrizzare. E $q' = q \times P$, per qualsiasi punto P della retta. Ci sono due vincoli che questa coppia di vettori deve soddisfare. Primo, $q \cdot q' = 0$, e secondo, i restanti cinque parametri devono essere omogenei, la loro scala complessiva non influisce su quale linea descrivono. Spesso è conveniente forzare il vettore direzione per essere un vettore unitario, che definisce una scala per i parametri omogenei.

Come viene rappresentato in figura 18 a sinistra, V rappresenta il sistema di riferimento del sistema multicamera, (R_c, t_c) rappresentano la posizione della camera C in V . La linea di Plünker è espressa in V da $l = [q^T q'^T]$ dove $q = R_c \hat{x}$ e $q' = t_c \times q$. $\hat{x} = K^{-1}x$ è il raggio visivo corrispondente ad un punto 2D, x , nell'immagine della camera C . Dati un paio di punti immagine che esprimono la linea di Plünker $l \leftrightarrow l'$ su due piani consecutivi V e V' , il vincolo epipolare risulta:

$$l'^T \begin{bmatrix} E & R \\ R & 0 \end{bmatrix} l = 0 \quad (23)$$

Dove $E = [t]_x R$ è la matrice Essenziale, la quale permette di ricavare la posizione relativa tra le due camere ed in quanto tale dare una idea, approssimata, del movimento che ha subito una camera che si sposta nel mondo o della posa relativa di due camere in una coppia stereoscopica. (R, t) rappresentando il movimento relativo, da trovare, tra V' e V ; con l'equazione appena vista si possono calcolare i due parametri (R, t) ma per farlo è necessario l'uso di un ciclo di RANSAC. Per risolverlo, sono necessarie molte interazioni e genererebbe molti risultati; quindi, per ridurre il numero di interazioni e di soluzioni, dobbiamo prendere in considerazione che il veicolo si muove secondo la condizione di Ackermann, ovvero quando l'auto compie un movimento circolare, si muove attorno ad un punto chiamato centro di rotazione istantaneo ICR. In questo caso il movimento

relativo (R, t) tra due piani consecutivi può essere parametrizzato da 2 gradi di libertà:

$$R = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, t = \rho \begin{bmatrix} \cos\varphi_v \\ \sin\varphi_v \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (24)$$

Dove θ è l'angolo relativo di imbardata, mentre ρ è proporzionale alla traslazione relativa. Come si vede nella figura 18 a destra, dove $\varphi_v = \frac{\theta}{2}$. Ora inserendo le equazioni di R e t nell'equazione precedente, si ottiene un sistema a due polinomi con due incognite ρ e θ ; questo sistema può essere risolto trovando le radici di un polinomio cubico, che genera 6 soluzioni ma solo 2 corrispondono a quanto richiesto; questo permette di rendere RANSAC molto più efficiente.

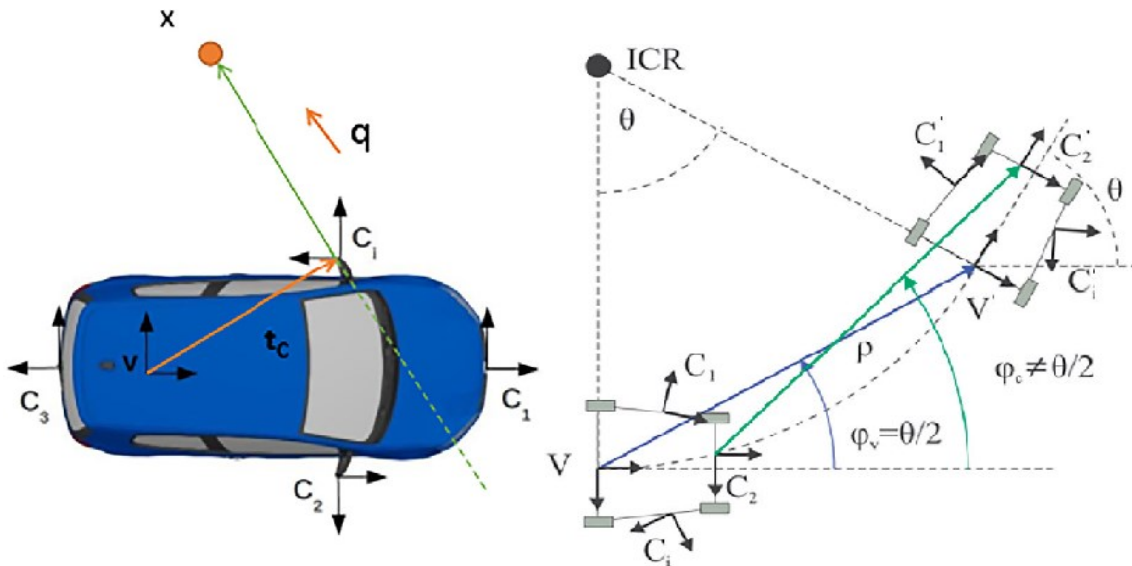


Figura 18 Nell'immagine a sinistra si vede l'illustrazione del raggio di luce Plücker, mentre l'immagine a destra rappresenta la relazione tra le camere nella condizione di ackermann

Nella figura 19 sottostante possiamo vedere la traiettoria (rossa) e i punti 3D della mappa (blu) ottenuti usando il metodo SLAM e trovando i percorsi chiusi. Come si può vedere la traiettoria stimata dall'algoritmo è molto simile alla traiettoria vera del GPS (verde); l'errore è sotto al limite massimo di 3m.



Figura 19 Vista dall'alto della traiettoria e dei punti della mappa 3D stimati attraverso l'algoritmo e confrontati con la traiettoria vera del GPS

- Ricerca ed utilizzo dei percorsi chiusi:* piccoli errori riguardanti la posizione relativa stimata possono portare il veicolo fuori strada; quindi, bisogna eseguire il rilevamento del percorso chiuso così da identificare il luogo, trovare i vincoli di posizione tra la vista corrente e quella precedente, ed ottimizzare la traiettoria e di conseguenza la mappa. Per fare ciò, definiamo $\mathcal{G} \in \{\mathcal{V}, \mathcal{E}\}$. I nodi $\mathcal{V} = v_1, v_2, \dots, v_k$ rappresentano la posizione del veicolo, calcolata mediante le posizioni stimate dall'algoritmo; $\mathcal{E} = \{e_{1,2}, e_{2,3}, \dots, e_{i,j}\}$ rappresentano i bordi, un bordo $e_{i,i+1}$ corrisponde al movimento relativo, di due istanti successivi, stimato nell'algoritmo; mentre $e_{i,j}$ con $j \neq i + 1$ corrisponde alla posizione stimata, da due istanti non successivi, tramite i percorsi chiusi. I bordi dei percorsi chiusi sono definiti attraverso le immagini e stimando la posizione relativa dei fotogrammi. se il suo rapporto interno è al di sotto di una certa soglia, viene aggiunto un bordo $e_{i,j}$, con $i \neq j$, così da ottimizzare il grafico di posizione.

Il modello di Ackermann è valido solo per due fotogrammi consecutivi, e non è valido se il veicolo ripassa su un posto; di conseguenza non si può stimare la posizione relativa tra due percorsi chiusi; quindi, si considera un solo percorso e poi si calcola la posizione relativa tra i due, (R, t) ,

Se il veicolo anziché muoversi su di un piano, si muove lungo una rampa, è possibile usare il rollio e l'angolo di incidenza per calcolare l'inerzia ed eseguire così la stima del movimento.

3.2.3 Localizzazione

Ogni punto 3D della mappa sparsa è ricavato triangolando le caratteristiche delle immagini 2D; così, la mappa può essere usata per una localizzazione online del veicolo. Di solito la localizzazione si riferisce al problema di determinare la rigida trasformazione

(R, t) tra il piano fisso F_W della mappa, e il riferimento del sistema multicamera F_G data una serie di corrispondenze 2D-3D. Per calibrare le camere sono necessarie tre corrispondenze 2D-3D; e per trovare la posizione relativa si usa ancora la linea di Plünker in quanto non tutti i raggi di luce emessi si incontrano in un singolo centro di proiezione. La posizione 3D lungo la linea di Plünker del punto X_i^G definito in F_G è dato da:

$$X_i^G = q_i \times q'_i + \lambda_i q_i \quad (25)$$

Dove $\lambda_i > 0$ è la profondità del punto, la distanza $d_{i,j}$ tra i punti 3D X_i in F_W e i punti X_i^G in F_G è la stessa come si può vedere in fig. 20. Usando questi vincoli e la rappresentazione della linea di Plünker, è possibile ricavare tre equazioni da risolvere per trovare le tre incognite di profondità λ_i . Una volta trovate le incognite, è possibile definire la posizione dei punti X_i in F_G e calcolare così la posizione complessiva (R, t) .

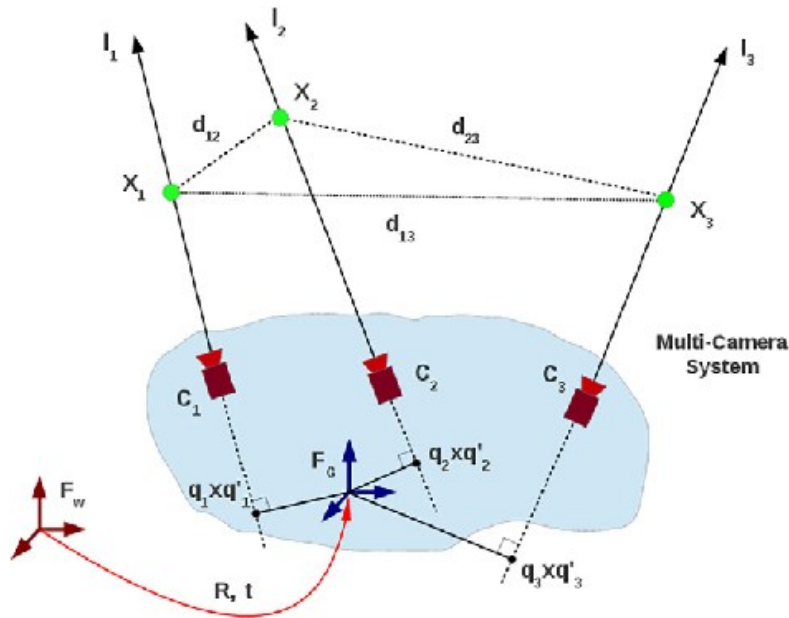


Figura 20 Illustrazione del problema della stima del posizionamento di un sistema multicamera

3.2.4 Mappa densa

Superfici come le facciate degli edifici ed il terreno, generalmente non sono rilevati in maniera corretta. Il risultato che si ottiene dalle corrispondenze dalla visione multicamera sono delle mappe di profondità, le quali possono essere calcolate in tempo reale e possono essere usate direttamente per la guida autonoma. La mappa finale relativa alle altezze è calcolata offline ed è usata per mappare un ambiente per la successiva guida autonoma all'interno di questo spazio.

- *Calcolo della mappa di profondità:* le immagini con uno scenario simile vengono confrontate con l'immagine di riferimento attraverso la proiezione di queste su un

piano, che funge da proxy geometrica, ovvero si presenta come un'immagine semplificata rispetto all'originale, quindi che occupa molta meno ram, ed è ideale quando si hanno molti oggetti identici da duplicare. Se il piano coincide con l'originale geometria, le proiezioni delle immagini sono molto simili. Invece di proiettare sul piano, l'immagine di riferimento viene fissata e le altre immagini vengono deformate, tramite le immagini proxy, rispetto all'immagine di riferimento. Dopo di che si sceglie il piano con minor dissomiglianza per ciascun pixel e si crea la mappa di profondità totale per l'immagine di riferimento.

Ogni immagine diversa dal riferimento, è deformata, le incongruenze sono calcolate tra ogni immagine deformata e l'immagine di riferimento. Per ogni pixel e piano si hanno molte incongruenze provenienti da tutte le immagini; per avere una singola incongruenza per ciascun pixel e piano, queste vengono aggregate in una singola incongruenza. Per farlo ci sono due modi, il primo consiste nella semplice media dei costi, è il più efficace dal punto di vista computazionale ed è quindi la scelta più efficiente per le applicazioni online. La seconda è più adatta per le immagini prese in sequenza, per esempio per le immagini prese da una singola camera mentre il veicolo è in movimento. Una media è calcolata fra tutte le immagini rilevate prima dell'immagine di riferimento, ed un'altra media viene eseguita tra tutte le immagini rilevate dopo l'immagine di riferimento. Infine, quella con minore incongruenza è il costo finale. Questo metodo ha il vantaggio di essere più robusto rispetto alla semplice media, ma necessita di conoscere le immagini future rispetto all'immagine di riferimento e quindi viene usato solo per generare la mappa offline.

La mappa densa di profondità è estratta scegliendo per ogni pixel il piano \hat{m} con minore incongruenza misurata e viene calcolata la profondità.

Per ridurre gli effetti della discretizzazione della profondità, si esegue un'interpolazione del sottopiano così da tracciare una parabola tra i punti del piano scelto e i punti dei piani adiacenti usando la stessa direzione normale. La profondità viene scelta nella posizione dove la parabola presenta il suo minimo. Per selezionare i piani, viene prima scelta la direzione normale; in seguito, una misura di distanza vicina e lontana dalla camera determina la ragione in cui si vuole rilevare la geometria; tipicamente il range va dai 30 ai 50 cm, all'interno di questo range i piani sono posti in modo tale che la differenza dell'inverso della distanza $\frac{1}{d}$ dai piani vicini sia costante.

- *Unione della mappa delle altezze*: prima di tutto le mappe di profondità sono unite in una griglia voxel e dopo di che, da questa griglia, si estrae una mappa delle altezze regolarizzata. Per ogni voxel (volume element), (x, y, z) viene memorizzato con corrispettivo peso scalare $w_{x,y,z}$, il quale indica se il voxel è situato nello spazio libero (peso negativo) o giace nello spazio occupato (peso positivo); questi pesi sono calcolati dagli input della mappa di profondità. Per il passo successivo, è importante definire l'asse z come l'asse rappresentativo della direzione verticale. Al fine di calcolare la mappa finale delle altezze, è necessario estrarre una serie di valori da ciascuna colonna delle z della griglia

voxel, in cui viene eseguita un'ottimizzazione a due passaggi; nel primo passaggio viene diviso il dominio Ω della mappa delle altezze in una regione osservata e quindi conosciuta Ω_{obs} , e in una regione sconosciuta. Il secondo passaggio determina i valori di altezza all'interno di Ω_{obs} .

Nell'ultimo passaggio dell'ottimizzazione la mappa delle altezze viene regolarizzata con una variazione totale di tipo Huber. L'uso del modulo di Huber porta ad una mappa delle altezze uniforme e consente la presenza di discontinuità.

3.3 Drive by wire

Il drive by wire, letteralmente la guida tramite filo, è un sistema costituito da sensori, attuatori, bus di campo e centraline elettroniche che permette di comandare il veicolo senza l'aiuto di organi meccanici. È un sistema che viene usato da molti anni nel settore dell'aeronautica con il nome di fly by wire, in quanto è l'unico sistema che ci permette di comandare le superfici di controllo degli aerei di grandi dimensioni; e nell'ultimo decennio si è sviluppato molto anche sulle vetture, con un incremento negli ultimi anni con i veicoli elettrici ma soprattutto con le auto a guida autonoma, anche perché senza questo sistema di sensori collegato alla centralina sarebbe impossibile che l'auto riesca a guidare in perfetta autonomia.

I componenti delle auto moderne che fanno uso del drive by wire sono:

- Steer by wire (Sbw)
- Break by wire (Bbw)
- Throttle by wire
- Clutch by wire
- Shift/gear by wire (Gbw)
- Suspension by wire

I primi ad essersi sviluppati sono stati il sistema riguardante all'acceleratore con l'avvento delle iniezioni elettroniche e il sistema di frizioni e cambio con i cambi automatici; ma i sistemi necessari per rendere l'auto a guida autonoma e che quindi si stanno sviluppando negli ultimi anni, sono lo steer by wire e quindi lo sterzo comandato elettronicamente eliminando completamente il piantone dello sterzo; e il break by wire ovvero i freni comandati in modo elettronico, che di per se come sistema di sicurezza esistono già da un po' d'anni con l'ABS, ma non sono una vera frenata controllata da un sistema elettrico come quella che, invece, viene eseguita dalle auto elettriche le quali usano i motori come generatori per generare forza frenante e rallentare così il veicolo.

3.3.1 Evoluzione dello sterzo

In questo sotto capitolo vediamo qual è stata l'evoluzione dello sterzo, dallo sterzo meccanico fino al steer by wire.

- **Sterzo meccanico:** è principalmente composto da una scatola dello sterzo, collegata tramite dei bracci alle ruote, costituita da un ingranaggio che ruota su una cremagliera, il quale è comandato dal volante tramite il piantone dello sterzo.

Ha il vantaggio di essere affidabile in quanto è presente un collegamento meccanico, ma ha lo svantaggio di non essere confortevole ed ergonomico.

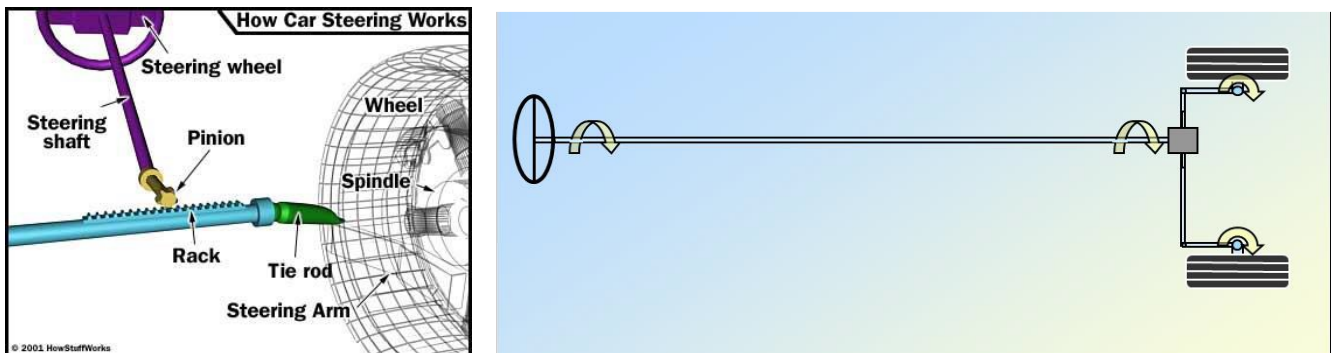


Figura 21 Schema rappresentativo del sistema a sterzo meccanico

- **Sterzo idraulico:** in questo caso manteniamo sempre lo sterzo collegato dal piantone ma in affiancamento, per aiutare il guidatore, vi è una pompa idraulica che funge da servosterzo, la quale permette di ridurre lo sforzo necessario per girare il volante; ha il vantaggio di essere affidabile come il sistema precedente in quanto viene mantenuto il collegamento meccanico ed inoltre fa da assistenza alla guida; ma di contro è ingombrante e utilizza liquidi inquinanti.

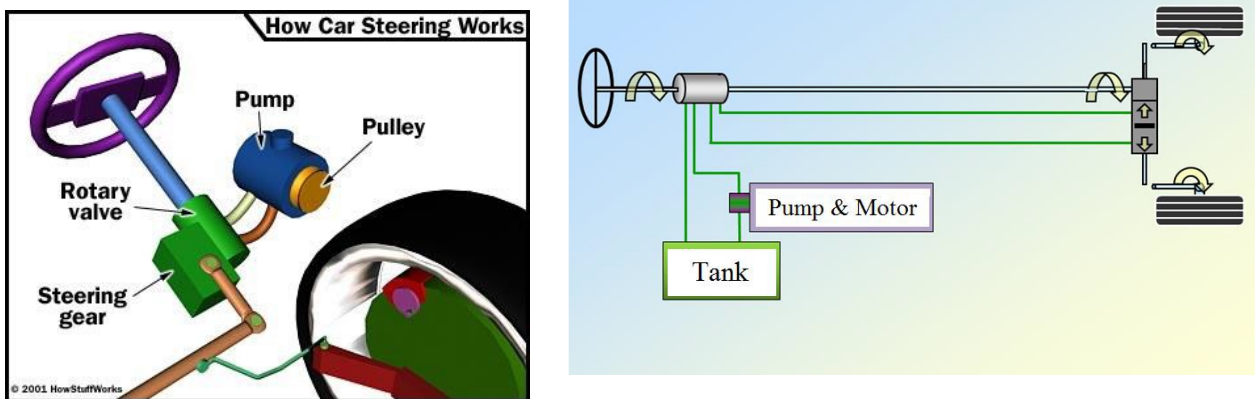


Figura 22 Schema rappresentativo del sistema a sterzo idraulico

- **Servosterzo elettrico:** in questa tipologia come possiamo vedere nell'immagine sottostante abbiamo sempre il piantone dello sterzo, ma la funzione di assistenza alla guida è eseguita da un motore elettrico comandato da una centralina, la quale prende il segnale da un sensore di posizione posto sotto il volante, quando il guidatore gira il volante il sensore rileva la posizione dello stesso e la invia alla centralina la quale elabora il segnale e comanda il motore elettrico. Questo sistema ha gli stessi vantaggi del precedente, ma presenta lo svantaggio di essere ingombrante.

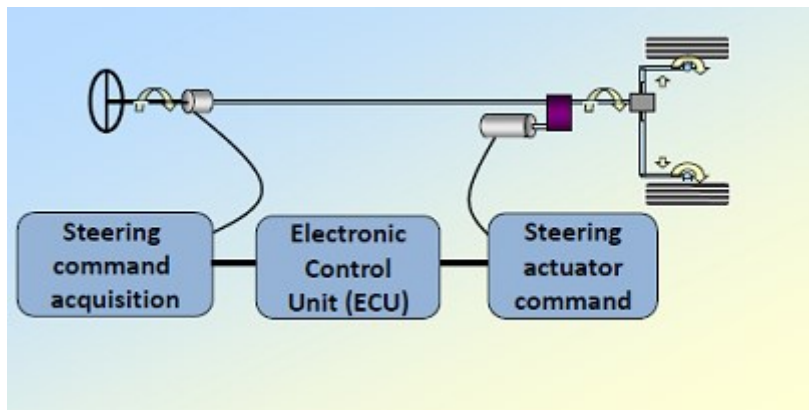


Figura 23 Schema rappresentativo del sistema a servosterzo elettrico

- Steer by wire (SbW):** tra i tipi di sterzo visti finora, quello più simile al SbW è il servosterzo elettrico, anche qui abbiamo il sensore di posizione sotto al volante che rileva l'angolo di rotazione del volante stesso ed in questo caso fornisce anche una retroazione al guidatore, e il motore che prima serviva da aiuto allo sterzo per renderlo più confortevole ora esegue tutto lo sforzo necessario per eseguire la sterzata, quindi in questo sistema non è presente il piantone dello sterzo e di conseguenza volante e ruote non sono collegate meccanicamente. Per far comunicare il sensore e il motore, quindi, è necessario introdurre un field bus dove passano le informazioni di posizione e di forza, in quanto il motore deve dare un feedback al sensore posto sotto al volante della forza che si sta compiendo per girare le ruote, negli altri sistemi eseguito dal piantone dello sterzo, altrimenti il guidatore avrebbe la sensazione che il volante giri a vuoto e potrebbe essere pericoloso. A gestire le informazioni di posizione e forza che circolano nel field bus è presente una centralina come possiamo vedere nello schema sottostante.

Il vantaggio di avere questo sistema consiste nell'avere assistenza alla guida ed un sistema di sicurezza attivo e passivo, attivo in quanto grazie a questo sistema se stiamo affrontando una curva con un angolo di sterzata troppo elevato per la curva stessa, il sistema può intervenire e correggere l'angolo di sterzata; inoltre è un sistema di sicurezza passivo in quanto in caso di incidente, non essendo presente il piantone dello sterzo, le probabilità di restare feriti tramite questo organo meccanico si azzerano. Di contro non avendo questo organo non abbiamo la stessa affidabilità in quanto le ruote non sono collegate in modo solidale al volante.

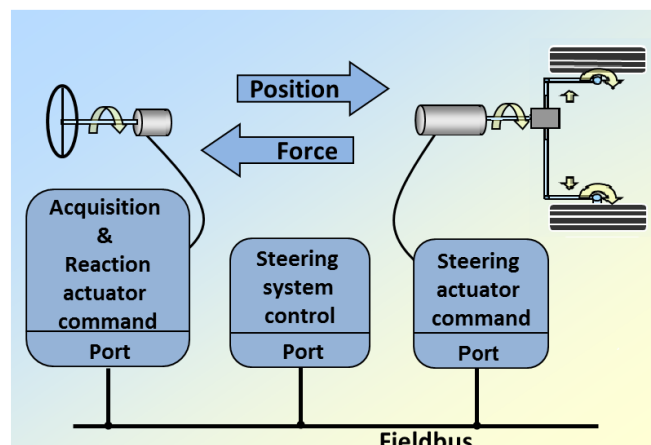
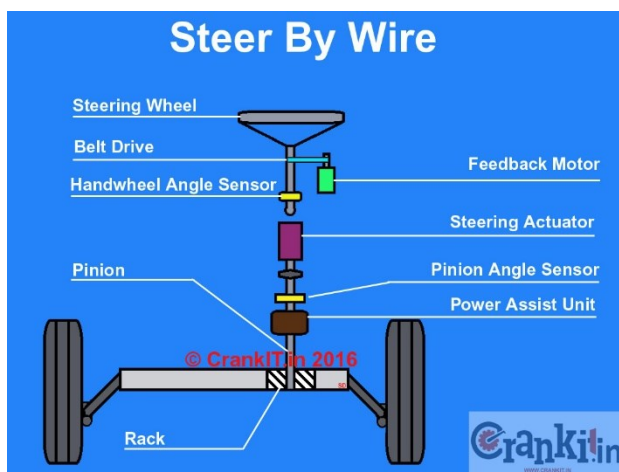


Figura 24 Schema rappresentativo del sistema steer by drive

3.3.2 Brake by wire (Bbw)

La tecnologia Brake-by-wire è spesso considerata più pericolosa del controllo elettronico dell'acceleratore poiché comporta la rimozione di qualsiasi connessione fisica tra il conducente e i freni. Tuttavia, il freno a filo presuppone l'utilizzo di tecnologie diverse. I freni idraulici tradizionali utilizzano un cilindro principale e diversi cilindri slave. Quando il guidatore spinge il pedale del freno, applica fisicamente la pressione alla pompa principale. Nella maggior parte dei casi, tale pressione è amplificata da una pompa a vuoto o da un servofreno idraulico. La pressione viene poi trasmessa attraverso i condotti idraulici dei freni alle pinze o ai cilindri.

I sistemi antibloccaggio sono stati i primi precursori delle moderne tecnologie di frenatura tramite filo, in quanto hanno permesso di azionare automaticamente i freni di un veicolo senza l'intervento del conducente. Ciò è realizzato da un attuatore elettronico che attiva i freni idraulici esistenti e su questa base sono state costruite numerose altre tecnologie di sicurezza. Il controllo elettronico della stabilità, il controllo della trazione e i sistemi di frenatura automatica dipendono tutti dall'ABS e sono legati alla tecnologia del freno-by-wire.

Nei veicoli che utilizzano la tecnologia elettroidraulica brake by wire, le pinze situate su ciascuna ruota sono ancora azionate idraulicamente. Tuttavia, non sono direttamente accoppiati a un cilindro principale che viene attivato premendo il pedale del freno. Invece, premendo il pedale del freno si attiva un sensore o una serie di sensori. L'unità di controllo determina quindi l'entità della forza frenante richiesta su ciascuna ruota e attiva le pinze idrauliche secondo necessità.

Nei sistemi di frenatura elettromeccanici, non vi è alcun componente idraulico. Questi sistemi brake-by-wire usano ancora i sensori per determinare quanta forza frenante è necessaria, ma quella forza non viene trasmessa attraverso l'idraulica. Invece, gli attuatori elettromeccanici sono utilizzati per attivare i freni situati in ogni ruota.

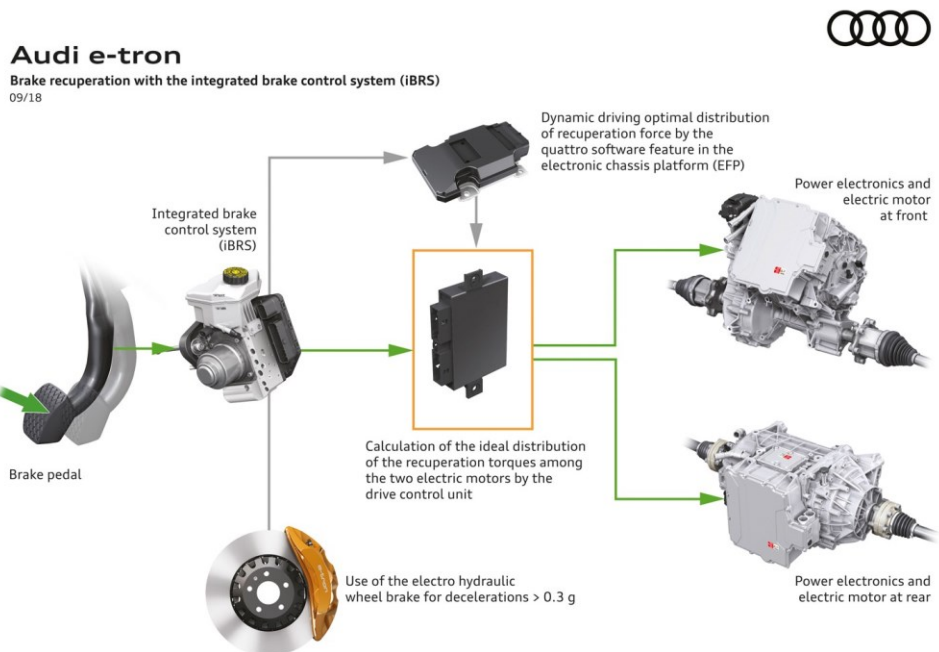


Figura 25 Schema di funzionamento Brake by wire Audi

3.3.3 Field bus

Il field bus necessario per il collegamento dei sensori e degli attuatori deve avere delle caratteristiche fondamentali dal punto di vista hardware e dal punto di vista software.

- Hardware
 - Affidabile: significa che l'informazione deve arrivare inalterata
 - Ridondante: nel caso si rompa un filo di comunicazione ce ne deve essere un altro pronto a sostituirlo.
- Software
 - Comunicazione in tempo reale: deve passare un tempo definito, noto e adatto alla specifica.
 - Trasmissione dati affidabile: deve lavorare in qualsiasi condizione.
 - Essere in grado di individuare la rottura di un circuito ed un errore di trasmissione.
 - Gestire la ridondanza: deve essere in grado di individuare la rottura di un circuito ridondante e quindi trasmettere sull'altro circuito e nel caso arrivino due informazioni diverse, da un circuito ridondante, capire quale è corretta.

Il field bus è collegato a tutti i terminali attraverso dei nodi, i quali presentano la seguente struttura:

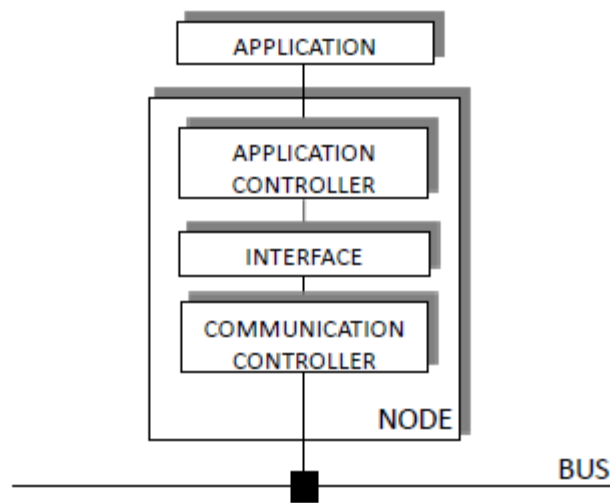


Figura 26 Schema rappresentativo della composizione di un nodo del field bus

Il nodo è implementato in una ECU, la quale può essere composta da due schede, una per il controller di comunicazione, e l'altra per il controller di applicazione; e da un'interfaccia tra di loro. Il controller di comunicazione, a sua volta, può includere una scheda di comunicazione che permette di interfacciarlo con il bus.

Il modello di comunicazione può essere di due tipi:

- Event-triggered (ET): i nodi della rete inviano i messaggi quando si verifica un evento che richiede questa attività. Successivamente il nodo verifica che il bus sia libero e, in tal caso, invia il messaggio. Se due o più nodi iniziano a trasmettere contemporaneamente, i messaggi entrano in collisione (conflitto di accesso al bus) e viene inviato solo il messaggio con la priorità più alta (le informazioni di priorità sono codificate nel messaggio). Gli altri nodi aspettano che il bus sia libero e poi rinviando i loro messaggi con la stessa regola appena descritta. Il protocollo si basa sul fatto che non c'è traffico elevato di messaggi ad alta priorità nella rete in modo che tutti i messaggi possano essere inviati entro un certo tempo. È il classico protocollo usato nella trasmissione di tipo CAN, non è molto indicato per il drive by wire in quanto se il bus è occupato, ed un nodo ha bisogno di trasmettere, passa un certo tempo e non va bene in quanto non si rispetta la condizione di tempo reale.

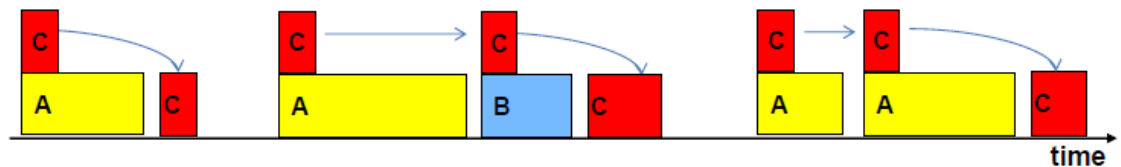


Figura 27 Principio di funzionamento del modello di comunicazione event-triggered

Come si può vedere in figura passa un certo tempo prima che si trasmetta il segnale C perché A e B hanno la priorità.

- Time-triggered: in questo sistema, i nodi della rete inviano i propri messaggi periodicamente, secondo una sequenza fissa programmata dall'utente, e dispongono di un intervallo di tempo di durata fissa per trasmettere il proprio messaggio; in questo problema non ci sono problemi di trovare il bus occupato.

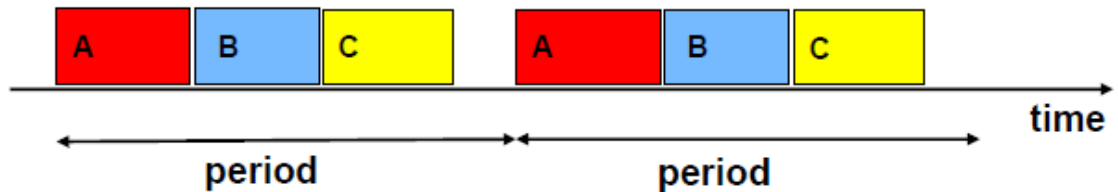


Figura 28 Principio di funzionamento del modello di comunicazione time-triggered

3.3.4 Vantaggi e svantaggi del DbW:

Questo innovativo sistema di controllo del veicolo presenta i seguenti vantaggi:

- Miglioramento della sicurezza di guida
 - condizionando i comandi del conducente in relazione all'ambiente, alle condizioni di guida e stato del veicolo e, per i veicoli commerciali, alle condizioni di trasporto/lavoro.
 - Tempi di reazione più brevi (in frenata)
 - Eliminazione di organi meccanici
- Ergonomia e miglioramento del comfort
 - Maggiore libertà nella progettazione del veicolo grazie all'eliminazione dell'elemento meccanico e dei circuiti idraulici
 - Personalizzazione dell'interfaccia conducente-veicolo
 - Riduzione degli ostacoli in cabina
 - Maggiore manovrabilità (meno sforzi, rapporto di sterzata variabile, adattamento ai comandi del guidatore, ecc.)
 - Minore rumorosità grazie all'eliminazione della pompa idraulica (nei veicoli commerciali con sterzo idrostatico)
- Riduzione dei costi di gestione
 - Meno massa e maggiore efficienza degli impianti elettrici (rispetto a quelli meccanico/idraulici); questo comporta una riduzione del consumo di carburante ed un'autonomia maggiore dei veicoli.
 - Monitoraggio in linea del veicolo per finalità gestionali e manutentive garantendo: una previsione dei guasti, diagnostica in tempo reale dei guasti, lavori di manutenzione programmata, in base al reale utilizzo/usura dei dispositivi, e quindi riduzione dei tempi di fermo del veicolo
- Rispetto dell'ambiente
 - Riduzione del consumo di carburante
 - Eliminazione del liquido inquinante (p.i. nel circuito frenante) e dei relativi fenomeni di perdita.
- Nuove funzionalità
 - Informatizzazione del veicolo, tramite scatola nera e teleassistenza, dato che tutte le informazioni sono disponibili da remoto.

Il sistema DbW presenta anche alcuni svantaggi:

- Costi di sistema elevati per la realizzazione
- Standards
- Sicurezza di funzionamento

Capitolo 4

Comunicazione tra Veicoli

Nei paesi in via di sviluppo, le agenzie governative concentrano lo sviluppo del sistema di trasporto sulla costruzione di più strade e strutture per alleviare il traffico, minando l'idea di utilizzare sistemi di trasporto intelligenti per massimizzare la capacità delle infrastrutture esistenti. Infatti, quando si parla di guida autonoma solitamente ci si concentra sulle tecnologie da introdurre sui veicoli che permettano loro di percepire l'ambiente circostante e muoversi in sicurezza, ma la vera svolta verso la mobilità del futuro arriverà quando anche l'ambiente stesso sarà in grado di collaborare, fornendo a sua volta informazioni utili; infatti, per funzionare nel modo più corretto, e garantire certi standard di sicurezza, i veicoli dotati di guida autonoma non possono avere solo la parte visiva costituita dai sensori citati nel capitolo precedente; bisogna che queste auto abbiano la possibilità di comunicare con l'ambiente che le circonda. Ora come ora, i sensori del traffico sono rari; ed i segnali di informazione delle infrastrutture, se malfunzionanti, non forniscono ai conducenti informazioni utili o accurate sul traffico. Per esempio, la grande alluvione in Thailandia nel 2011 ha evidenziato la necessità di un migliore sistema di gestione del traffico. Quando il governo ha emanato un obbligo di evacuazione a più di due milioni di residenti a Bangkok (Musulin et al., 2011), la maggior parte delle principali autostrade erano impraticabili. Le informazioni sulle autostrade utilizzabili e sui percorsi alternativi non sono state fornite o non sono state accuratamente segnalate. La congestione del traffico è stata aggravata anche dai veicoli abbandonati sui cavalcavia, ponti e strade sopraelevate. I conducenti a Bangkok dovevano fare affidamento sulle informazioni riguardanti il traffico auto-segnalate dai cittadini attraverso la radio pubblica o canali di social network come Twitter e Facebook.

Nella circostanza in cui il settore privato è più attivo rispetto al settore pubblico, una gestione decentrata del traffico sembra essere un approccio più appropriato per i paesi in via di sviluppo.

Tecnologie di comunicazione come la comunicazione tra veicoli (V2V) e tra veicoli ed altri apparecchi (V2X), potrebbero consentirci di formare un sistema di gestione del traffico decentralizzata; perciò, in Europa è nato il progetto C-Roads finalizzato a sviluppare e sperimentare tecnologie per la comunicazione e la connessione di tipo V2V e V2I (tra veicoli e infrastrutture), e coordina gruppi di lavoro nazionali che nel caso dell'Italia coinvolge l'ex-Centro Ricerche Fiat, oggi divisione tecnologica di Stellantis.

4.1 Tipologie di comunicazione

Possiamo andare a definire tre tipi di comunicazione:

- **Da veicolo a veicolo V2V:** è una comunicazione di tipo distribuito, in quanto in questo caso sono le auto che comunicano tra loro; per esempio l'auto che precede comunica all'auto che segue informazioni relative alla velocità, ad eventuali rallentamenti, ostacoli ecc.; oppure altro esempio in autostrada se un ostacolo blocca una corsia, un veicolo può informare tutti gli altri in modo che si spostino già sulla corsia libera. Si può anche pensare ad un eventuale anomalia dei sensori

di un veicolo, quest'ultimo grazie alla comunicazione con gli altri veicoli può usufruire delle informazioni provenienti da questi per accostare senza creare incidenti o disagi ad altri utenti della strada.

- **Veicolo con infrastrutture V2I:** questa comunicazione permette ai veicoli con guida autonoma di comunicare con le infrastrutture urbane, per esempio con i semafori, in questo modo si possono adeguare le durate dei semafori con le condizioni del traffico, inoltre il veicolo sa se deve rallentare o può mantenere la velocità costante perché sta per scattare il verde, aumentando così l'efficienza dell'ecosistema. In aggiunta il veicolo riceve informazioni sulle condizioni stradali, ad esempio se la strada è ghiacciata.
- **Veicolo con altri apparecchi mobili V2X:** i veicoli con guida autonoma saranno in grado di comunicare con altri dispositivi autonomi così che il veicolo venga avvisato quando un pedone si avvicina alle strisce pedonali o una bicicletta (necessariamente connessa a sua volta) viaggia lungo il percorso. O, ancora, quando conviene rallentare per traffico intenso o cantieri in carreggiata. Informazioni che arrivano sul cruscotto prima che l'ostacolo sia in vista, con l'obiettivo di ridurre brusche frenate e rischi. Le auto con guida pienamente autonoma possono interagire anche con le app del nostro telefono così da poterci far guardare film o scrivere e-mail anche durante il viaggio.

4.2 5G

Il termine 5G (5th Generation) indica l'insieme di tecnologie di telefonia mobile e cellulare, i cui standard definiscono la quinta generazione della telefonia mobile con una significativa evoluzione rispetto alla tecnologia 4G. La sua distribuzione globale si è avviata nel 2019.

Questa tecnologia si pone come obiettivo, quello di ottenere una maggiore efficienza e versatilità tramite i seguenti modi:

- Ottimizzazione dell'uso delle risorse di rete mediante la definizione di sottoreti virtuali indipendenti per ogni tipologia del servizio (*slicing*)
- virtualizzazione di gran parte dei dispositivi di rete e una gestione dinamica della banda disponibile tramite sistemi automatizzati di tipo SDN
- la capacità di gestire una maggiore quantità di dispositivi per unità di superficie (circa 1 000 000 di dispositivi per km² contro i 1 000-100 000 per km² della 4G)
- il supporto di caratteristiche più spinte in termini di latenza per garantire la risposta in tempi brevissimi, nonché “tempo reale”, necessarie per applicazioni critiche
- una maggiore velocità di trasmissione dei dati, teoricamente fino 10 gigabit al secondo (Gbit/s)
- una significativa diminuzione del consumo energetico (più precisamente, circa il 90% in meno rispetto alla rete 4G per ogni bit trasmesso)

Sono proprio queste caratteristiche che rendono la rete 5G adeguata all'internet of things, e di conseguenza anche per la comunicazione tra veicoli a guida autonoma.

Come le reti precedenti, anche il 5G è una rete di tipo digitale, dove la zona coperta dal servizio è suddivisa in piccole aree geografiche denominate celle. Tutti i dispositivi 5G all'interno di una cella possono trasmettere e ricevere il segnale via radio all'antenna locale, che a sua volta è collegata alla rete telefonica ed a Internet tramite fibra ottica o via ponte radio.

Per aumentare la velocità di trasmissione dei dati, si usano frequenze radio maggiori rispetto alle reti precedenti; tuttavia, a frequenze radio più elevate corrisponde anche un raggio di portata più ridotto, il che comporta celle più piccole. Per assicurare un ampio servizio, le reti 5G utilizzano tre bande di frequenza: bassa, media e alta e di conseguenza una rete 5G sarà composta da tre tipi di celle differenti, a seconda della banda di frequenza associata, ognuna con un proprio tipo di antenna e un diverso rapporto tra velocità di trasmissione, distanza e area di copertura. I terminali 5G si collegano alla rete usando l'antenna a velocità più alta disponibile in loco:

- Le celle in banda bassa trasmettono sulla gamma di frequenze compresa tra 694 e 790 Mhz, finora utilizzate per le trasmissioni televisive sui canali UHF 49-60, con velocità di trasferimento comprese tra 30 e 250 megabit al secondo (Mbit/s); a queste frequenze la portata e l'area di copertura delle celle radio è simile a quelle 4G operanti a 800 MHz.
- Le celle in banda media impiegano microonde a 2,5-3,7 Ghz, che al momento consentono velocità di 100-900 Mbit/s e una dimensione della cella del raggio di alcuni chilometri. Questo è il livello di servizio più diffuso e dovrebbe essere disponibile nella maggior parte delle aree metropolitane nel 2020. Alcuni paesi non stanno implementando le celle di banda bassa, partendo quindi da questo livello di servizio come livello minimo.
- Le celle in banda alta utilizzano frequenze a 25-39 GHz, prossime alla banda delle onde millimetriche e non è escluso che in futuro possano essere utilizzate frequenze più elevate. A queste frequenze si possono raggiungere velocità di trasferimento di 1 gigabit al secondo (Gbit/s), paragonabili a quelle della trasmissione su fibra ottica. Tuttavia, le onde millimetriche (mmWave o mmW) hanno una portata ancor più limitata e richiedono molte celle di piccole dimensioni; inoltre vengono ostacolate da alcuni tipi di muri e finestre. A causa dei loro costi più elevati, i piani attuali prevedono di distribuire queste celle solo in ambienti urbani densamente popolati e nelle aree in cui si riuniscono folle di persone come stadi sportivi e centri congressi. Le velocità riportate sono quelle raggiunte nei test effettivi nel 2020 e si prevede che aumenteranno durante il lancio.

Ora andiamo a vedere due caratteristiche tecniche di questa connessione:

- **Velocità:** le reti 5G lavorano su un range che va da circa 50 Mbit/s fino ad oltre 1Gbit/s, decisamente maggiore rispetto alla velocità del 4G che può arrivare ad una velocità di circa 400Mbit/s; infatti, la versione avanzata di questa rete, ovvero la mmWave, ha raggiunto la velocità di 1,8 Gbit/s.
Nelle reti più comuni, quindi con frequenze inferiori a 6 GHz, si raggiungono velocità comprese tra 100 e 400 Mbit/s, e con portata maggiore delle precedenti visto la frequenza minore.
- **Latenza:** nelle reti 5G, la "latenza in aria" degli apparati introdotti nel 2019 è di 8–12 millisecondi ma per la maggior parte dei confronti a tale latenza va sommato il tempo di trasmissione necessario per raggiungere il server. Per le sue prime

installazioni 5G, Verizon riporta una latenza di 30 ms; server edge posizionati in prossimità delle torri possono ridurre la latenza a 10–20 ms.

Detto ciò, si può dedurre che la connessione 5G, è la connessione destinata ad impattare fortemente nelle auto, permettendo di innalzare il livello di guida autonoma; quindi, il futuro delle quattro ruote dipende dall'evoluzione delle tecnologie di connettività e dalle possibilità offerte dallo spettro radio. Frequenze, banda passante, capacità, latenza: sono i presupposti che guideranno la trasformazione digitale dell'automobile del futuro.

4.3 Scopo della comunicazione

La necessità di comunicare farà sì che non solo le case automobilistiche facciano parte dell'industria dell'automotive, ma anche le più grandi aziende di high tech, gli operatori della comunicazione, ma anche le più promettenti strat up.

Di conseguenza come per tutti gli altri tipi di apparecchiatura, semplice o complessa che sia, anche l'automobile diventa uno strumento connesso e la sua evoluzione non è più limitata dalla motoristica, telaistica o innovazione nella creazione della carrozzeria e del suo design. Invece, maggiore sicurezza stradale, ricerca di efficienza nel traffico, bisogno di riduzione dell'impatto ambientale e maggiore comfort nell'esperienza di guida sono le chiavi di lettura per capire come evolverà il futuro delle autovetture.

Questa tecnologia, infatti, renderà possibile la comunicazione tra tutti i sensori e quindi con gli ADAS delle auto, e contemporaneamente permetterà al veicolo di comunicare con altri veicoli e con le infrastrutture stradali. Così facendo, si innalzerà notevolmente il livello di guida autonoma, permettendo di passare da una guida assistita medio-bassa (livello 2), che ad oggi è quella implementata nella maggior parte dei veicoli in circolazione, ad una guida completamente autonoma di livello 5. Per avviare questo dialogo non basta il 4G e non bastano gli standard attuali. Occorre un lavoro maggiore con una serie di sistemi anche radio che permettano sia di partecipare alla rete cellulare che abilitare le comunicazioni dirette.

Nei prossimi due o tre anni, a partire dal 2024 di sicuro, secondo gli esperti di 5G Automotive Association (5GAA) questa sarà la regola e la sicurezza verrà anticipata e potenziata, con la creazione di reti su larga scala, l'introduzione di sistemi standardizzati e obbligatori. Infatti, proprio la 5GAA, ha presentato, nel 2020, la roadmap per la digitalizzazione delle strade entro il 2030; questa contiene tutti i servizi avanzati di connettività tra auto, infrastrutture di segnaletica, strade e tutti i loro utilizzatori, che abiliteranno non solo la guida autonoma, ma anche un'infinità di servizi e scenari. La roadmap è proprio costruita intorno al concetto di scenari di utilizzo, al fine di delineare con precisione requisiti tecnici e tecnologie necessarie per la loro implementazione.

La roadmap prevede due principali binari che procederanno parallelamente. Quello della *Traffic Efficiency* realizzerà la digitalizzazione della strada, con informazioni in tempo reale sempre disponibili sullo stato del traffico, avvisi di pericolo e mappe aggiornate fornite direttamente dall'infrastruttura che si sta percorrendo. Seguiranno l'arrivo sul mercato a partire dal 2026 dei servizi di condivisione dei feed dei sensori tra i veicoli nei primi modelli a guida autonoma; ed a partire dal 2029 delle prime implementazioni pilota di sistemi di gestione automatica del traffico autostradale e delle intersezioni stradali. Il

secondo binario è quello della *sicurezza stradale*, con lo scopo di arrivare a zero vittime sulla strada, un obiettivo che si spera di raggiungere con l'adozione di massa dei servizi V2X e l'integrazione nell'ecosistema anche dei terminali dei pedoni, oltre a cicli, motocicli e ogni altro tipo di veicolo.

Di conseguenza per rendere possibile tutto ciò, quello che emerge dalla roadmap, è che per l'implementazione dei servizi V2X sarà necessario uno spettro, in termini di frequenza, maggiore rispetto a quello allocato oggi. In particolare, servirà mettere a disposizione ulteriori 50 MHz nello spettro sotto 1 GHz, per la realizzazione dei servizi Vehicle to Network nelle aree rurali, più altri 500 MHz nella banda tra 1 e 7 GHz per le aree metropolitane ad alto traffico per i servizi V2X avanzati.

Come annunciato precedentemente, la connessione favorita è quella del 5G, la quale non include solo le reti, ma anche la comunicazione tra veicolo e veicolo. È anche vero che sono già state provate comunicazioni di tipo V2X tramite la rete 4G LTE, principalmente comunicazioni tra la segnaletica ed informazioni sul traffico, ma, come già detto, la prospettiva futura è quella di permettere ai veicoli di comunicare direttamente tra loro, scambiando informazioni su eventuali pericoli imminenti, fino a condividere il feed completo dei sensori di bordo.

Ed è proprio sul nuovo orizzonte aperto dal 5G che si è concentrata una recente analisi di McKinsey, approfondendo l'impatto che questa nuova tecnologia avrà per l'auto del futuro e non soltanto.

Già oggi gli ADAS, per funzionare, hanno bisogno di raccogliere attraverso sensori, radar e telecamere un'enorme quantità di dati. Con la progressiva implementazione delle funzioni di guida autonoma la mole di dati crescerà esponenzialmente e dovrà essere gestita in modo sicuro e affidabile. Intel ha stimato che un'auto a guida autonoma genera più di 4 terabytes di dati al giorno. Un'enormità, inimmaginabile fino a pochi anni fa. Come sottolinea McKinsey, il numero di sensori all'interno del veicolo è cresciuto esponenzialmente ed è destinato ad aumentare ulteriormente. Le prossime due o tre generazioni di auto con ADAS, che saranno obbligatori a partire dal 2022, saranno infatti dotate di sensori con funzionalità simili per garantire la sicurezza funzionale attraverso la ridondanza. A lungo termine, tuttavia, gli OEM potrebbero optare per l'introduzione di sensori "intelligenti" per ridurre il numero totale di sensori e costi. Tali sensori avrebbero infatti la capacità di assorbire parte della potenza di calcolo delle centraline auto preelaborando dati per semplici calcoli, attivando direttamente gli attuatori ed informando retroattivamente le centraline sulle loro azioni. McKinsey evidenzia inoltre la continua tendenza ad integrare le funzioni della vettura e le relative centraline elettroniche (ECU) in un controller di dominio centrale, con OEM di primo livello che guidano la spinta tecnologica verso sistemi di infotainment più integrati e collegati.

Mentre gli OEM stanno progettando i propri veicoli a guida autonoma per funzionare senza connettività costante, ci saranno nel breve-medio termine situazioni dove sono richieste anche operazioni manuali in remoto: ad esempio, alcuni veicoli sono già in grado di percorrere lunghe distanze senza driver – guida autonoma livello 5 – per poi essere condotti in remoto nell'ultimo miglio verso la destinazione. Per consentire il controllo in remoto dell'auto connessa sono tuttavia necessarie reti onnipresenti e affidabili, con un'elevata larghezza di banda per trasmettere video ad alta definizione e una bassissima latenza per consentire un controllo sicuro e regolare del veicolo, come nel caso delle reti 5G.

4.3.1 Modelli di comunicazione

Per rendere i veicoli connessi fra loro e con l'ambiente circostante esistono due opzioni di comunicazione: **in rete o diretta**.

La comunicazione basata sulla **rete** consente alle auto connesse di utilizzare la rete cellulare per comunicare con veicoli, pedoni e infrastrutture circostanti. Nota come comunicazione vehicle-to-network (V2N), ha un range di comunicazione molto più ampio rispetto ai metodi diretti. V2N utilizza infatti il campo con licenza commerciale degli operatori di rete mobile (MNO), con accesso a servizi basati su cloud e ulteriore sicurezza offerta dalle reti mobili.

La comunicazione **diretta** consente invece ai veicoli connessi di comunicare direttamente con l'ambiente circostante senza affidarsi in modo significativo alle reti mobili. Questo tipo di comunicazione comprende la comunicazione veicolo-veicolo, in cui i veicoli comunicano tra loro per inviare avvisi, evitare collisioni o condividere dati immediati su condizioni stradali e traffico. Comprende anche la comunicazione veicolo-infrastruttura in cui i veicoli comunicano con infrastrutture vicine come semafori, segnali stradali e altre infrastrutture di trasporto per rafforzare ulteriormente la sicurezza. Ad esempio, un semaforo può avvertire il veicolo che sta diventando rosso e il veicolo regola di conseguenza la sua velocità. L'ultima forma di comunicazione diretta comprende la comunicazione veicolo-pedone (V2P): il veicolo comunica con i dispositivi in uso dai pedoni per garantire la loro sicurezza, avvisando ad esempio il veicolo stesso che un pedone sta per attraversare le strisce.

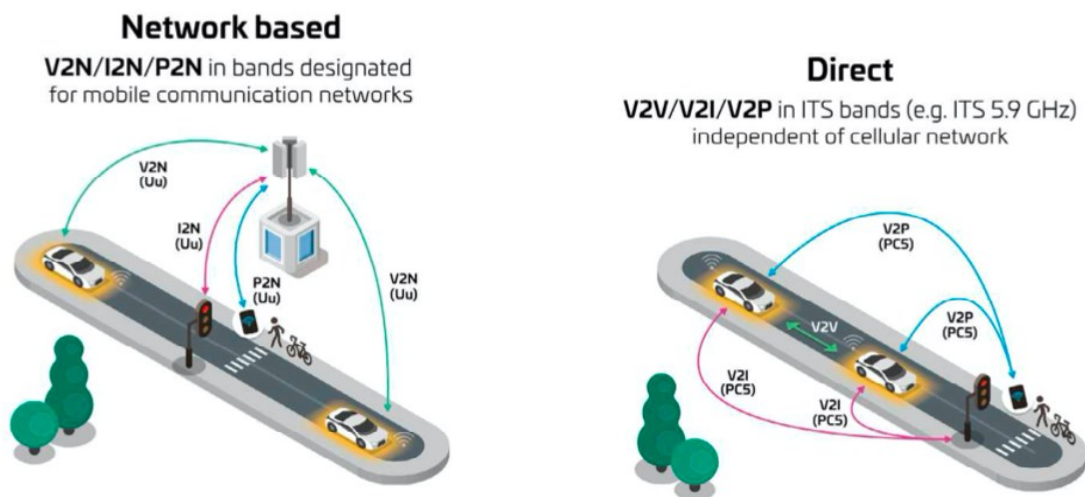


Figura 29 Nell'immagine a sinistra vediamo in modo schematico il principio di funzionamento del sistema Network based; mentre a destra vediamo il principio di funzionamento del sistema direct

4.4 Soluzioni per la comunicazione

Indipendentemente dal tipo di comunicazione, la connettività "totale" è la chiave per facilitare la guida autonoma tra le auto che circolano sulla strada. La comunicazione

diretta facilita la trasmissione delle coordinate tra le auto connesse nel momento in cui comunicano con l'ambiente circostante, ad esempio per regolare le velocità di spostamento. La comunicazione in rete, d'altra parte, facilita l'autonomia su larga scala, fornendo alle auto informazioni aggiornate sulle condizioni di guida e dati ad alta definizione delle mappe.

Il cloud computing sta guadagnando molto slancio per la sua flessibilità, elasticità ed efficienza dei costi. Il principio di base del cloud computing è che gli utenti non devono preoccuparsi del posizionamento dei loro servizi né della fornitura delle risorse richieste, offerti principalmente secondo il modello pay-per-use. Mentre per la maggior parte delle applicazioni Web elastiche, la distanza relativa tra gli utenti finali e gli endpoint del servizio non influisce sulla Quality of Experience percepita (QoE), le applicazioni altamente interattive sono sensibili alla latenza e al jitter, ovvero la variazione di una o più caratteristiche di un segnale. In assenza di un meccanismo di controllo della Quality of Service (QoS) esplicito nella rete, l'unico modo per migliorare la QoE per tali applicazioni consiste nell'individuare i server corrispondenti nelle vicinanze degli utenti finali. Tale approccio, ampiamente sfruttato dalle reti di distribuzione dei contenuti, può essere ulteriormente avanzato nell'era del cloud computing. Supponendo che diversi data center federati su piccola scala siano distribuiti ai margini di Internet (ad esempio, Federated Edge Cloud), i fornitori di servizi possono sfruttarli per individuare in modo ottimale le istanze del servizio il più vicino possibile ai rispettivi utenti. In tale contesto, la mobilità degli utenti rende difficili tali decisioni/pianificazione della posizione. Per far fronte a tale problema, è stato introdotto il principio Follow Me Cloud (FMC), in cui le apparecchiature degli utenti mobili sono sempre connesse tramite il gateway di ancoraggio dati ottimale, in modo da accedere a dati e servizi dai data center migliori e geograficamente più vicini.

Per garantire una connessione end-to-end ottimale al cloud per gli utenti mobili, le macchine virtuali (VM) (ovvero il servizio) possono essere migrate tra i data center quando ritenuto opportuno. Di conseguenza, i servizi vengono sempre forniti da data center geograficamente ideali per le attuali posizioni degli utenti finali. Vale la pena notare che la migrazione delle VM deve essere semplice e trasparente per gli utenti. Pertanto, le sessioni in corso tra le apparecchiature dell'utente e i server non devono essere interrotte e le connessioni non devono essere ristabilite, anche se gli utenti e/o i server (ovvero i servizi di hosting) cambiano posizione. Oltre a migliorare la qualità del servizio/qualità dell'esperienza degli utenti, FMC consente di preservare le risorse di rete degli operatori scaricando il traffico di rete ai data center attraverso i punti più vicini rispetto alle posizioni degli utenti.

Il Mobile Edge Computing (MEC) è emerso di recente come una tecnica promettente, l'idea centrale di MEC è quella di avvicinare il calcolo agli utenti, per cui piccoli server o micro-data center che possono ospitare applicazioni cloud sono distribuiti attraverso la rete e connessi direttamente a entità, come stazioni base cellulari, alla periferia della rete mobile. Si prevede inoltre che MEC sia più robusto rispetto ai tradizionali sistemi di cloud computing centralizzati, perché è distribuito e quindi è meno soggetto a guasti in un punto centralizzato. Il MEC consente di offrire ambienti caratterizzati da bassa latenza, elevata larghezza di banda e location-awareness che possono essere sfruttati dalle applicazioni, aprendo la strada allo sviluppo di numerose nuove applicazioni; al contrario della tecnologia esistente dove ogni server è responsabile solo di una area geografica.

È generalmente convenuto che il sistema mobile 5G trarrà in gran parte vantaggio da MEC al fine di consentire nuovi servizi delle industrie verticali, in particolare quelli che

coprono l'industria automobilistica; i quali hanno diversi vincoli che non possono essere gestiti dalle attuali reti mobili 4G.

Tra i nuovi servizi previsti, il supporto delle principali applicazioni risulta essere impegnativo, principalmente a causa del requisito di accesso a latenza ultra-bassa. Ad esempio, la guida automobilistica deve accedere ai servizi informatici in un intervallo di millisecondi. Sebbene il sistema 5G miri a garantire una latenza di 1 ms (utilizzando nuove tecniche a livello fisico e MAC), il supporto dei servizi automobilistici rimane impegnativo, se questi ultimi sono ospitati in un Cloud centralizzato. In questo contesto, la localizzazione dei servizi ai margini della rete mobile consentirà di mantenere l'accesso ai servizi a bassa latenza. Inoltre, le UE sono altamente mobili, il che porta ad aumentare il percorso di comunicazione (cioè la latenza) al servizio anche se quest'ultimo è ospitato in MEC (cioè, spostandosi lontano dall'attuale posizione del servizio). Per superare queste limitazioni, una soluzione può essere il framework FMeC (il quale copre l'architettura e gli algoritmi di abilitazione), che accoppia i concetti Follow Me Cloud (FMC) e Mobile Edge Computing (MEC). FMeC garantisce l'accesso a bassa latenza: (i) considerando che i servizi cloud si trovano all'edge; (ii) abilitando la migrazione dei servizi tra edge, garantendo che gli utenti siano sempre connessi all'edge migliore. FMeC è dedicato a coprire l'industria automobilistica verticale e, in particolare, la guida automatizzata nel contesto 5G. La metodologia adottata mira a presentare tutte le componenti abilitanti FMeC: (i) l'architettura ed i suoi elementi; (ii) gli algoritmi abilitanti (i.e. monitoraggio delle metriche, aggiornamento del modello di mobilità, valutazione della QoS, selezione ottimale dell'edge-Cloud e migrazione del servizio); (iii) la gestione del traffico tramite il paradigma SDN/OpenFlow.

La sfida principale affrontata da FMeC è garantire l'accesso a bassa latenza alle applicazioni, che è considerato il requisito principale dei servizi 5G Ultra Reliable Low Latency Communications (URLLC). Ricordiamo che la maggior parte dei contributi esistenti ottimizza gli strati inferiori dei sistemi 5G (MAC e fisico). Queste ottimizzazioni sono in grado di ridurre solo il ritardo di accesso alla rete di accesso radio (RAN) a meno di 5 ms, ma se il servizio è ancora ospitato nel cloud, la latenza non può essere ridotta a meno di 10 ms come richiesto dal servizio URLLC. Pertanto, si ritiene che FMeC possa essere una soluzione complementare alle soluzioni di ottimizzazione della RAN per ridurre la latenza di accesso ai servizi. Grazie all'hosting del servizio in MEC, pur garantendo la connessione all'Edge migliore tramite le migrazioni del servizio, FMeC permette di ridurre la latenza a meno di 10 ms.

Con l'utilizzo del 5G nell'auto si concretizza quindi il concetto di trasmissione dati in "tempo reale".

La comunicazione Vehicle-to-Everything (V2X) basata su 5G – chiamato 5G NR C-V2X – supporterà infatti una latenza di 10 millisecondi end-to-end (da e verso il livello applicazione) e un millisecondo via etere.

Per soddisfare tali requisiti estremi in termini di latenza e affidabilità si rende tuttavia necessaria una serie di miglioramenti nelle tecnologie di prossima generazione. Innanzitutto, il potenziamento dell'accesso radio del 5G e dell'architettura di rete sono alla base di un ulteriore incremento delle performance. In secondo luogo, gli Active Antenna Systems (AAS) che integrano le unità radio con centinaia di elementi dell'antenna noti come MIMO (Multiple Input, Multiple Output) forniscono agli operatori di rete mobile l'hardware necessario per aumentare la capacità della rete. Questi sistemi di antenne, in pratica, consentono la formazione di raggi "chirurgici" nella rete, che permettono di raggiungere più utenti contemporaneamente sulle stesse frequenze,

aumentando così la capacità della rete. Le funzionalità avanzate di compartizione della rete, come il network slicing, consentiranno inoltre un'allocazione più dinamica della capacità nella rete e una comunicazione dei sensori su massima scala.

4.5 Tecnologia ACES e sviluppi conseguenti all'integrazione degli AV

Ovviamente, da quanto detto si evince che per rendere tutto ciò possibile, sono necessari molti sensori in più rispetto a quelli già presenti al giorno d'oggi; più sensori significa più dati, e più dati equivale a nuove opportunità per sfruttarli. Non è dunque un caso se la proliferazione dei sensori è direttamente proporzionale all'aumento delle nuove applicazioni disponibili, tra cui car sharing più efficienti, pubblicità basata sulla posizione e consegna in-car (direttamente nel bagagliaio dell'auto). Queste applicazioni richiederanno nuove piattaforme applicative capaci di analisi in tempo reale e una forte integrazione con l'hardware che genera i dati. Molte applicazioni andranno a creare interazioni a tutti i livelli dell'ecosistema coinvolgendo consumatori, OEM e terze parti come Compagnie di assicurazione o fornitori di servizi.

Sebbene le case automobilistiche abbiano le chiavi per sbloccare questo enorme valore legato ai dati, molte di esse non hanno adeguate competenze in aree cruciali come lo sviluppo di app basate su cloud, la gestione dei dati e il machine learning. I costruttori, inoltre, sono circondati da player fortemente intenzionati a “mettere le mani” su nuovi modelli di business intorno ai dati. Nessuno, tuttavia, è in possesso di tutti gli accessi, le risorse e le competenze necessarie per costruire autonomamente queste applicazioni. Con ogni probabilità si andrà dunque verso un modello a rete capace di mettere in relazione tutti gli attori e le rispettive competenze.

Tutto ciò porterà a grossi cambiamenti nella filiera automotive; infatti, gli OEM automotive hanno tradizionalmente lavorato a stretto contatto con fornitori di primo livello. Oggi, tuttavia, si sta assistendo all'emergere di un ecosistema più ampio. Mentre le aziende high-tech entrano nel mercato automotive, gli operatori storici formano nuove partnership e i fornitori di secondo livello si mettono in fila per offrire prodotti e servizi direttamente agli OEM, superando così quelli di primo livello. Secondo l'analisi McKinsey, un OEM dovrebbe investire quasi 75 miliardi di dollari per avere una posizione di forza nelle tecnologie ACES (autonomia, connettività, elettrificazione e mobilità condivisa). Quel che è certo è che le nuove tecnologie legate all'auto connessa e alla guida autonoma produrranno un enorme valore, ma nessuno può già dire esattamente dove confluirà il profitto economico. Gli OEM hanno attualmente il controllo sul cliente finale (in una certa misura) e sul prodotto principale: l'auto. Tuttavia, per rimanere dominanti nel mondo ACES, le Case devono rivalutare il loro ruolo all'interno dell'intero ecosistema, capire quali leve muovere e decidere che fetta della torta saranno disposti a cedere per creare una virtuosa rete di innovazione. Gli OEM devono inoltre risolvere sfide tecniche che includono l'incremento della complessità dei software auto, problemi di sicurezza e responsabilità più complesse di gestione dell'auto connessa.

Gli operatori di reti mobili, da parte loro, andranno probabilmente oltre l'offerta di pura connettività per giustificare gli investimenti crescenti, godendo di una forte posizione di partenza nell'offrire servizi locali (ad esempio il parcheggio).

Per i produttori di dispositivi di telecomunicazione, i nuovi orizzonti aperti da ACES alimenteranno la necessità di ulteriori investimenti in reti e connettività. Emerge anche l'opportunità di vendere direttamente a nuovi potenziali clienti, tra cui OEM automotive e operatori di manutenzione stradale. Questi nuovi clienti richiederanno sistemi e

soluzioni su misura che coprono l'intero stack tecnologico inclusi l'accesso alla rete, i dispositivi di connettività, la gestione dei dati e le applicazioni. Per i giganti della tecnologia globale, l'auto ACES rappresenta una grande opportunità per entrare nell'industria automotive e rivoluzionarla. Già diverse vetture utilizzano piattaforme di infotainment di questi colossi, e sono numerosi i progetti in corso per creare nuove applicazioni e servizi. Anche le startup tecnologiche più piccole stanno cercando di farsi largo. Tutti questi operatori tecnologici saranno i primi a trarre vantaggio dalla crescente quantità di preziosi dati generati dalle auto. Sia i giganti della tecnologia che le startup hanno le carte in regola per supportare i costruttori automobilistici nella transizione verso un modello di azienda technology driven: un passaggio che gli OEM, secondo McKinsey, hanno assolutamente bisogno di fare.

Capitolo 5

Interfaccia uomo-macchina (HMI)

5.1 Cos'è la HMI

La rapida evoluzione delle tecnologie interattive sta producendo anche una maggiore interazione uomo-macchina. I primi sistemi interattivi risalgono ai primi degli anni '80 e questi utilizzavano una macchina a stati finiti per modellare l'interazione, fino ai giorni nostri dove i sistemi d'interazione possono essere considerati ecosistemi digitali, i quali includono molti dispositivi e persone differenti che interagiscono tra loro attraverso un'interazione flessibile.

Oggi come oggi è presente, da parte dei produttori, un'enorme spinta alla funzionalità di guida automatizzata; tali produttori indicano la loro intenzione di portare sul mercato, nel prossimo futuro, auto altamente automatizzate. I veicoli a guida totalmente autonoma non hanno l'obbligo di essere azionati direttamente da un essere umano tramite controlli attivi, a parte l'inserimento della destinazione richiesta o la necessità, nell'improbabile caso di un arresto di emergenza, o per annullare l'intero sistema. Tuttavia, per il prossimo futuro sarà presente una varietà estremamente ampia di veicoli senza conducente, che offriranno diversi livelli di funzionalità di automazione. Il corretto funzionamento di tale automazione dipende dalla collaborazione tra uomo e veicolo. Se tale collaborazione funziona come previsto, il conducente umano può cedere parte, la maggior parte o tutto il controllo della guida al veicolo, e il veicolo può allo stesso modo richiedere l'intervento umano in caso di guasto o nel caso in cui il sistema non sia in grado di gestire la situazione attuale o imminente. In alternativa, l'essere umano può chiedere di subentrare e ottenere tale richiesta dal veicolo.

Con queste funzioni automatizzate, il veicolo e l'essere umano possono essere visti come un sistema cognitivo congiunto, con entrambi gli elementi necessari per collaborare in modo da offrire una guida sicura e confortevole. Il principale mezzo di comunicazione tra veicolo e l'uomo in tale collaborazione è l'interfaccia uomo-macchina (human machine interface HMI). L'HMI non può essere visto in modo restrittivo solo come un insieme di display visivi e uditivi che trasmettono informazioni in entrambe le direzioni. Include anche tutti i controlli del veicolo, poiché tali controlli forniscono canali sia per l'input umano al veicolo sia per il feedback del veicolo al conducente. Il feedback può includere sia la sensazione tradizionale trasmessa dai pedali e dallo sterzo, ma anche la dinamica del veicolo all'interno di un contesto specifico e ulteriori elementi tattili (resistenza, impulsi, vibrazioni, guida fisica), utilizzati per guidare e assistere l'essere umano. Il termine "HMI" sarà quindi utilizzato in questo ampio senso per comprendere l'intera gamma di comunicazioni esplicite e implicite tra l'operatore umano e il veicolo. È l'unico sistema che ci permette di comunicare e ricevere informazioni dal veicolo. I sistemi HMI sono ampiamente utilizzati nelle app per auto in modo tale da trasmettere grandi quantità di informazioni interne ed esterne. I conducenti non saranno in grado di comunicare con veicoli autonomi (AV) senza un'interfaccia uomo macchina; ecco perché entrambi gli elementi del sistema devono tener conto dell'altro e non solo offrire una comunicazione unidirezionale su tutte le azioni. L'HMI non solo deve fornire informazioni ad un monitor, ma anche deve garantire che il livello di attenzione sia

sufficiente e che le aspettative reciproche siano corrette. Si deduce quindi, che senza un'adeguata progettazione del sistema di interfaccia uomo-macchina, un efficace dialogo uomo-veicolo è fuori discussione. Quindi, prima di raggiungere la completa indipendenza, le auto dovrebbero imparare a comunicare le proprie intenzioni agli umani e farlo nel modo più completo. Man mano che tali sistemi si sviluppano, conducenti e pendolari, a loro volta, diventano più esigenti; il pubblico ha aspettative incredibilmente alte ed i marchi automobilistici devono creare un HMI abbastanza sviluppati da competere con i dispositivi mobili. La migliore HMI per veicoli è incentrata sull'utente. Quindi è difficile da creare a meno che non si capisca il guidatore, così come il passeggero.

Le auto non dovrebbero solo capire, informare e garantire la sicurezza dei passeggeri, ma anche intrattenere i passeggeri.

5.2 Obiettivi ed implementazioni per la progettazione dell'HMI

Andiamo ora, a definire gli obiettivi e le implementazioni necessarie per realizzare un HMI automobilistico in grado di soddisfare le esigenze sia delle persone che dei veicoli. Con lo sviluppo della guida autonoma (autonomous driving), il designer deve concepire diversamente l'automobile: cambia l'esperienza utente della guida, cambia l'esperienza della connettività, cambiano le architetture di sistema e le concezioni di "affidabilità" e sicurezza. Servono nuove interfacce per vivere appieno un'esperienza che fino ad oggi abbiamo potuto solo immaginare; in quanto l'HMI è il cervello del veicolo autonomo, quindi il responsabile della comunicazione e della costruzione di fiducia e sicurezza con il conducente. Già oggi, in un mondo in cui la guida autonoma è ancora sottosviluppata, i problemi di comunicazione sono fastidiosi, ma negli AV, la mancanza o l'errata comunicazione può essere disastrosa; quindi, un design chiaro e univoco è essenziale per la guida autonoma. Di conseguenza odometri, tachimetri e altri apparecchi importantissimi nell'automobile si digitalizzeranno con sempre maggior efficacia, per garantire grande sicurezza ma anche intrattenere e fornire un'esperienza di guida sempre più gradevole e comoda, nonché sicura e su misura per il guidatore; in modo da dare un feedback al conducente/passeggero del veicolo su tutto ciò che accade durante il viaggio, quindi la guida autonoma, mediata da HMI sempre più performanti e facili da usare, acquisirà sempre maggior ragion d'essere. Fino a quando i veicoli non saranno completamente autonomi, tutte le funzioni tradizionali dell'HMI dovranno essere disponibili per il guidatore e si dovrà cercare di ridurre ogni possibile distrazione. Progredendo verso questa scalata "all'autonomizzazione", avremo un elevato numero di "funzioni aggiuntive" e "addons" nei nostri cruscotti, come assistenza e supporto alla guida.

La strada verso la guida automatizzata offre varie sfide in varie fasi. Fortunatamente, esistono soluzioni per la maggior parte dei problemi relativi ai fattori umani, con un ruolo esteso per l'HMI nel senso più ampio del termine. Negli attuali documenti SAE, l'HMI non è specificamente menzionato, a parte un rapido accenno di un messaggio di indicazione di malfunzionamento. Quindi, mentre viene menzionato l'essere umano, le esigenze di informazione dell'essere umano non vengono affrontate.

Per progettare un HMI sicuro e confortevole, è importante rendersi conto che i vari argomenti che abbiamo descritto sono correlati, e ciò che può offrire una soluzione ad un problema, potrebbe non essere vantaggioso per un altro problema. Pertanto, in figura 30 si fornisce un modello semplificato dei concetti più importanti. Spesso, viene utilizzata

una soluzione tecnica per superare i problemi legati ai fattori umani di disattenzione o fiducia, assumendo che se il sistema diventa più affidabile, la maggior parte dei problemi relativi ai fattori umani verrà risolta. Tuttavia, fino al livello 5 con automazione completa senza alcun requisito di attenzione da parte del conducente, il modello presentato di seguito continuerà a essere valido. La figura 30 mostra che se l'affidabilità del sistema tecnico aumenta, questo porterà ad un aumento del comfort e della fiducia, ottenendo così un vantaggio. Tuttavia, anche i tempi di risposta aumenteranno, così come la sorpresa dell'automazione, entrambi con potenziali impatti negativi sulla sicurezza. Si noti che con un aumento dell'affidabilità del sistema, la frequenza della sorpresa dell'automazione diminuirà, ma l'impatto quando si verifica sarà più grave. La consapevolezza situazionale e l'attenzione diminuiranno così come la calibrazione della fiducia. Il semplice fatto che la consapevolezza situazionale e l'attenzione diminuiscano non è necessariamente pericoloso. Se la consapevolezza situazionale e la quantità di attenzione sono sintonizzate sull'effettiva affidabilità del sistema, o se l'HMI può migliorare la consapevolezza e l'attenzione situazionali in modo tempestivo, il sistema è progettato correttamente. Qui, è degno di nota il fatto che Endsley (2015) sostiene specificamente il miglioramento delle interfacce utente piuttosto che l'applicazione di strumenti decisionali o la formazione di abilità correttive come contromisura appropriata ai problemi nella consapevolezza della situazione dell'operatore. Tuttavia, si può anche prevedere che, più un sistema diventa affidabile, maggiore è la possibilità di eccessiva fiducia nei confronti del sistema (anche se ci si confronta con le conseguenze meno frequentemente ma più intensamente, come nel caso della sorpresa dell'automazione).

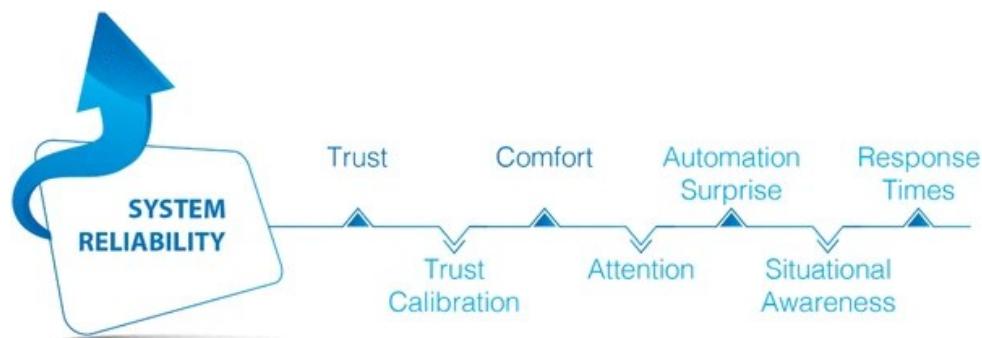


Figura 30 I fattori umani nel modello di guida autonoma e la loro dipendenza al variare dell'affidabilità del sistema

In ogni caso, l'automazione della guida di qualsiasi livello non può continuare il suo sviluppo fino a quando non verranno presi in considerazione i seguenti aspetti durante la progettazione delle interfacce uomo-macchina:

- Fornire la comprensione necessaria delle capacità e dello stato AV (riduci gli errori della modalità).
- Generare una corretta calibrazione della fiducia.
- Stimolare un adeguato livello di attenzione e intervento.
- Ridurre al minimo le sorprese dell'automazione.
- Fornire comfort all'utente umano, ovvero ridurre l'incertezza e lo stress.
- Essere utilizzabile.

5.2.1 Fornire la comprensione necessaria delle capacità e dello stato AV (riduci gli errori della modalità).

5.2.1.1 Obiettivo

È un requisito fondamentale per l'operatore umano, quando lavora con l'automazione, comprendere quali funzionalità automatizzate sono fornite dal veicolo e, in contropartita, cosa ci si aspetta dall'uomo sia in termini di supervisione, che in termini di attenzione allo stato dell'automazione e alla disponibilità della persona stessa a riprendere il controllo. Se un veicolo funziona in automazione senza conducente, senza necessità di attenzione o intervento umano, allora l'essere umano può essere totalmente svincolato dalla guida, cioè essere un semplice passeggero che può essere immerso in qualsiasi attività non di guida o addirittura addormentato. Se adeguatamente progettato, il passeggero richiede solo informazioni (strategiche) relative al viaggio, insieme ad informazioni sui costi, condivisione del viaggio o situazioni di emergenza.

D'altra parte, quando potrebbe essere necessaria l'acquisizione, o quando è richiesta la supervisione, allora l'essere umano ha una serie di esigenze di informazione che devono essere fornite dai display visivi e acustici dell'HMI, nonché da avvisi di tipo tattili sotto forma di vibrazioni del sedile e sobbalzi longitudinali o laterali istigati dal controllo del veicolo. L'essere umano sentirà anche il comportamento del veicolo, ad es. essere potenzialmente avvisato di condizioni di traffico alterate rilevando la decelerazione e l'accelerazione del veicolo stesso.

Detto ciò, l'essere umano potrebbe voler sapere se il veicolo sta eseguendo il controllo longitudinale (ACC e funzionalità stop and go), se sta controllando il mantenimento della corsia, se ha la capacità e l'autorità di cambiare corsia, se può sorpassare un veicolo di testa e quali altre manovre può eseguire (es. gestione incroci e rotonde). Tali autorità non sono in alcun modo indicate dai livelli SAE, ma sono quelle che un guidatore umano capirebbe. Dato l'enorme numero di compiti e sotto compiti coinvolti nella guida, non è chiaramente possibile comunicare all'essere umano se il veicolo è in grado di eseguire ogni singolo elemento. In ogni caso, come minimo, è necessario indicare se il veicolo in automazione può gestire il controllo longitudinale e laterale nelle condizioni attuali, se può manovrare nell'ambiente (es. gestire una rotatoria) e se può svolgere aspetti strategici di guida (cioè passare da una strada all'altra o cambiare percorso). Senza indicazione e conseguente comprensione, esiste la possibilità di confusione di modalità e conseguenti errori di modalità, che potrebbero essere solo fastidiosi ma potrebbero anche essere pericolosi se l'automazione si aspetta un'azione che l'essere umano non riesce a eseguire o se l'essere umano ritiene che l'automazione abbia più capacità di quante ne abbia effettivamente. Il marketing da parte degli OEM può contribuire a tale confusione.

Per fornire alle persone un feedback sulla funzionalità e su ciò che l'essere umano dovrebbe fare, è tipicamente presente un'interfaccia visiva negli attuali sistemi disponibili in commercio. Il feedback più elementare che un sistema può fornire è mostrare se il sistema o una funzione è attivato/a o meno. Per evitare confusione di modalità, dovrebbe essere possibile accertarlo con una breve occhiata. Un secondo dettaglio è se il sistema può rilevare l'input richiesto per essere in grado di eseguire l'attività richiesta (qualità delle prestazioni quando è attivo). La maggior parte degli utenti della strada non cercherà queste informazioni poiché presume che il sistema funzionerà correttamente una volta attivato. Sebbene la maggior parte dei sistemi SAE di livello 2 sia progettata in modo tale da impedire l'attivazione del sistema da parte del conducente quando non viene rilevata

la segnaletica orizzontale o i bordi della corsia, gli avvisi rilevabili potrebbero non essere forniti quando il sistema, dopo essere stato attivato dal conducente, perde il rilevamento della segnaletica orizzontale. Questo è un concetto che è molto difficile da comprendere per le persone e lascia spazio a grandi miglioramenti. È probabile che gli utenti presuppongano che, quando il sistema è acceso, funzionerà bene e, in caso contrario, verrà fornito un avviso.

È utile qui fare riferimento ad alcuni progetti attuali specifici di HMI per sistemi di livello 2. La maggior parte dei display dei veicoli attuali mostra un volante verde/giallo/blu quando il sistema è attivo e vengono rilevati i segnali stradali ai bordi della corsia. Alcuni marchi (ad es. Tesla e BMW) mostrano anche la segnaletica orizzontale ed i bordi delle corsie a colori se rilevati correttamente e in grigio o bianco se non rilevati correttamente. Alcuni esempi sono forniti in figura 31.



Figura 31 L'immagine rappresenta le indicazioni di sterzo autonomo attivo e rilevamento della segnaletica orizzontale di Volvo S90, Mercedes classe E, Tesla e BMW serie 7.

5.2.1.2 Implementazione

Il veicolo non può informare il conducente di ogni attività che sta eseguendo o fornire informazioni dettagliate sulle prestazioni del sensore. È necessario trovare un equilibrio tra, da un lato, un display HMI troppo scarso che fornisce una comprensione minima e dall'altro lato, un estremo sovraccarico di informazioni da più display di stato in costante cambiamento.

È possibile dedurre quali sono alcune esigenze informative assolute:

- Il mio veicolo sta effettuando il controllo longitudinale?
- Il mio veicolo, oltre al compito longitudinale, sta effettuando il controllo laterale? Quando il controllo laterale e longitudinale è offerto al livello 2 (basso livello di affidabilità), dovrebbe essere fornita in modo attivo l'informazione che le mani devono essere sul volante e questo dovrebbe essere monitorato quasi continuamente.
- Il controllo longitudinale o laterale viene disattivato da me o dal sistema? Questo dovrebbe essere comunicato attivamente per mezzo di un feedback almeno uditivo e visivo.
- Il mio veicolo può eseguire le manovre desiderate: cambiare corsia, sorpassare, gestire una rotatoria?
- Il mio veicolo può cambiare il percorso indicato?
- Posso o non posso distogliere l'attenzione su un'attività di infotainment o addirittura addormentarmi?
- Il veicolo mi avviserà a tempo debito quando dovrò assumere il controllo?

Qui c'è un netto divario tra essere accoppiato al controllo del veicolo (in particolare essere responsabile dello sterzo) e non essere accoppiato e quindi essere solo nel circuito di monitoraggio dell'elaborazione delle informazioni. Ciò sembrerebbe giustificare un cambiamento sul "look" generale o sul tema dei display, come è stato effettuato in alcuni veicoli prototipo. Quindi il "look" dovrebbe cambiare da un'indicazione riguardante qualche responsabilità per il controllo, a responsabilità del solo monitoraggio, a nessuna responsabilità per il controllo o la supervisione.

Inoltre, i conducenti si aspettano che quando l'operazione a mani libere è possibile, sia anche sicura. Anche se può essere offerta l'informazione che il sistema di mantenimento della corsia non rileva la segnaletica orizzontale/bordi di corsia al livello richiesto, questa non è un'informazione su cui il conducente sarà in grado di agire senza ulteriori avvisi.

Le soluzioni HMI sarebbero:

- Consentire l'abilitazione del sistema solo su strade in cui vi è un'elevata possibilità che il sistema funzioni correttamente. Questo può essere fatto mediante geofencing o mediante l'utilizzo di sensori più avanzati per rilevare se le condizioni richieste sono soddisfatte. Se non vengono soddisfatti, il sistema non può essere acceso.
- Spegnerne il sistema quando le condizioni richieste non sono soddisfatte continuamente per più di un paio di secondi e fornire un chiaro avviso (non solo visivo ma anche uditivo) che il sistema si spegnerà. Nota che questo può essere fatto in sicurezza solo con sistemi in cui i conducenti hanno le mani sul volante.
- Utilizzare un'icona per indicare di mantenere la corsia con le mani sul volante e lasciare le mani libere solo per un paio di secondi.
- Utilizzare conseguenze sgradevoli se il conducente non tiene le mani sul volante quando richiesto (rallentamenti, avvisi invadenti, sterzata nella corsia, impossibilità di utilizzare il sistema per il resto della guida)
- Per livelli di automazione più elevati, il sistema può consentire al conducente di essere temporaneamente fuori dall'anello rappresentate il monitoraggio (vedi figura 32). Per creare fiducia, è possibile visualizzare un display più avanzato sulla direzione del veicolo (informazioni di navigazione, informazioni sulla svolta) e su ciò che rileva intorno al veicolo. Tuttavia, questo display non dovrebbe offrire solo informazioni passive su quando il conducente dovrebbe subentrare. Questo dovrebbe essere comunicato attivamente dal sistema.

Il progetto più autoesplicativo per un utente sarebbe solo quello di poter accendere il sistema quando può funzionare correttamente e l'attenzione può essere temporaneamente deviata altrove.

5.2.2 Generare una corretta calibrazione della fiducia

5.2.2.1 Obiettivo

La fiducia nell'automazione è comunemente descritta come un fattore importante per l'utilizzo e l'accettazione del sistema. Se i conducenti non si fidano dei sistemi, non li acquisteranno né li attiveranno. La fiducia, una volta persa, è difficile da riconquistare (Muir 1994). Con la mancanza di fiducia, le funzioni possono essere annullate quando il

sistema avrebbe effettivamente potuto farcela, influenzando negativamente l'accettazione, il comfort e forse anche la sicurezza. Tuttavia, se i conducenti si fidano eccessivamente delle funzionalità, ciò può certamente portare a situazioni non sicure. Vari studi hanno dimostrato che i conducenti sono più impegnati in attività secondarie durante la guida con ACC o funzioni altamente automatizzate e prestano meno attenzione alla strada, anche se gli viene detto che i sistemi potrebbero non funzionare. Internet è pieno di video che mostrano un'eccessiva fiducia, con persone che attivano funzioni automatizzate e poi lasciano il proprio posto o sabotano le richieste manuali. Tali video hanno il potenziale per ispirare idee sbagliate sulla capacità delle informazioni e quindi ispirare un uso improprio. Gli studi hanno dimostrato che quando si guida con ACC vengono eseguite fino a tre volte in più attività non legate alla guida (Malta et al. 2012), con la guida altamente automatizzata, gli occhi sono tenuti sulla strada un 30-70% di tempo in meno (de Winter et al. 2014), inoltre le persone si addormentano sulle piste di prova nonostante siano state avvertite che il sistema potrebbe guastarsi (Omae et al. 2005).

Pertanto, è importante definire cosa si intende per fiducia nell'automazione e, nel nostro caso specifico, cosa si intende sulla fiducia nelle funzioni di guida automatizzata dal punto di vista del conducente.

Si può definire la fiducia nell'automazione nel seguente modo ovvero: "avere fiducia che il sistema agirà in base a ciò che il conducente si aspetta ed inoltre che esso generi ulteriori vantaggi per il conducente". Nella definizione va aggiunto l'aspetto dei benefici aggiuntivi per il conducente, poiché il solo fatto di avere le giuste aspettative non porta alla fiducia se questo significa che il sistema è correttamente percepito come non funzionante.

Lee e See (2004) hanno specificato la calibrazione della fiducia come una delle tre componenti della fiducia appropriata. Hanno descritto la calibrazione della fiducia come una conoscenza accurata delle capacità del sistema. La calibrazione è necessaria affinché un conducente sappia quando è richiesta l'azione umana. Tuttavia, c'è da concentrarsi maggiormente sulla calibrazione così da evitare l'eccessiva fiducia o la mancanza di fiducia. La fiducia può essere perfettamente calibrata con un sistema molto inaffidabile. In quel caso c'è un livello di fiducia molto basso, ma ben calibrato. Si potrebbe persino sostenere che la mancanza di fiducia è positiva per la sicurezza del traffico poiché il conducente avrà un alto livello di attenzione e un'elevata disponibilità a riprendere il controllo. Quindi, sebbene la calibrazione della fiducia sia un problema importante nella guida automatizzata, sembra che sia necessario un livello minimo di fiducia per avere dei vantaggi per l'utente; inoltre, l'eccessiva fiducia è più pericolosa della mancanza di fiducia.

La fiducia non è un concetto unidimensionale o binario, presente o assente. Soprattutto quando ci riferiamo alla fiducia nell'automazione dei veicoli, questa si riflette al meglio nelle situazioni di guida reali, poiché è probabile che il livello di fiducia nella guida automatizzata sia correlato a scenari specifici (avvicinarsi ad un incrocio con pedoni che attraversano, piuttosto che guidare in autostrada), le impostazioni e le caratteristiche del veicolo (es. velocità massima impostata dal conducente, profilo di accelerazione) e se un conducente ha esperienza o meno con le funzionalità specifiche (e, quindi, sa che il sistema può o non può farcela). Questi problemi non si riflettono spesso nella ricerca che utilizza questionari con domande piuttosto generali sulla fiducia. Questa differenza tra le opinioni misurate tramite questionari e i segnali di fiducia quando si sperimenta la guida automatizzata è stata anche descritta come Trust Fall (Miller et al. 2016). Una

spiegazione, è che nei questionari è disponibile più tempo per prendere una decisione. Un'altra spiegazione è che nei questionari non viene percepito alcun rischio diretto in caso di guasto dell'automazione. Quindi, si sono trovate differenze tra ciò che le persone affermano di fare in un questionario e ciò che effettivamente fanno di fronte a quella situazione in un simulatore di guida. Molte persone sono intervenute con i sistemi automatizzati attivi in un simulatore, nonostante avessero dichiarato nei questionari che pensavano che il sistema potesse gestire la situazione. Tuttavia, c'erano anche persone che non hanno agito anche quando avevano indicato che l'auto, a parer loro, non poteva gestire la situazione.

Poiché la fiducia si evolve nel tempo, in base all'esperienza che si va ad acquisire con i sistemi in questione e alla conoscenza che le persone hanno di questi, e del rischio percepito (consapevolezza del rischio), esiste un ruolo potenziale per l'HMI. La progettazione di un'interfaccia HMI che guidi il conducente nelle condizioni di guida reali in impostazioni specifiche e incoraggi un'adeguata fiducia è a nostro avviso di fondamentale importanza per garantire un uso sicuro e confortevole.

5.2.2.2 Implementazione

Un HMI per supportare un'adeguata calibrazione della fiducia dovrebbe avere:

- **Osservabilità**
- **Prevedibilità**
- **Direzionalità**
- **Tempestività**

5.2.3 Stimolare un adeguato livello di attenzione e intervento

5.2.3.1 Obiettivo

Il livello appropriato di attenzione e intervento è direttamente correlato al livello di sicurezza che richiediamo. In teoria, se il livello di sicurezza desiderato fosse semplicemente che il numero di incidenti e conflitti non dovrebbe aumentare rispetto alla guida manuale, allora il livello di attenzione richiesto potrebbe essere impostato di conseguenza. Tuttavia, come ha dichiarato l'amministratore delegato del Toyota Research Institute Gill Pratt nel Sydney Morning Herald (16 febbraio 2017), una delle sfide chiave è: "quanto è abbastanza sicuro"? Afferma che è improbabile che le persone accettino un numero significativo di decessi attribuibili a veicoli autonomi, che accettiamo da conducenti umani. Quindi, finché i veicoli necessitano di un certo livello di controllo da parte di un essere umano, creare il giusto livello di attenzione per consentire un intervento sicuro quando necessario, è vitale.

Se l'affidabilità del sistema fosse costantemente e accuratamente conosciuta, potremmo conoscere il livello di attenzione che può essere richiesto in qualsiasi momento. Tuttavia, questo non sembra realistico poiché un sistema potrebbe non funzionare o potrebbero verificarsi situazioni impreviste a causa del tempo, del traffico o di un ostacolo sulla strada. Inoltre, non è accettabile in termini di comfort e carico di lavoro interferire continuamente con il livello di attenzione, consentendo attività secondarie per alcuni secondi, chiedendo lo sguardo sulla strada per i successivi 10 s e permettendo al guidatore di impegnarsi in altre attività poco dopo.

In generale, è corretto affermare che, con il livello di tecnologia oggi disponibile in commercio, l'attenzione del conducente per la strada deve essere elevata come durante la guida manuale per garantire il massimo livello di sicurezza. Tuttavia, c'è una differenza tra il livello di attenzione che è formalmente richiesto e il livello di attenzione che sembra ragionevole aspettarsi in base all'esperienza dei fattori umani. Maggiore è l'affidabilità del sistema sperimentata dal conducente, minore sarà il livello di attenzione del conducente e maggiore sarà l'impatto di un guasto o di una limitazione del sistema. Si può anche sostenere che, dal punto di vista umano, c'è una grande differenza tra l'essere accoppiati al veicolo tramite un controllo attivo e l'essere disaccoppiati e semplicemente monitorare il funzionamento del veicolo e dei sistemi del veicolo. Questa distinzione è illustrata in figura sottostante. Nella guida manuale, entrambi i circuiti funzionano, ma sotto la guida automatizzata, specialmente al livello 2, è (presumibilmente) presente solo il circuito esterno. Quindi, possiamo dedurre che ci sono due livelli di essere "fuori dal loop": essere rimossi dal loop di controllo ed essere rimossi sia dal loop di controllo che da quello di monitoraggio.

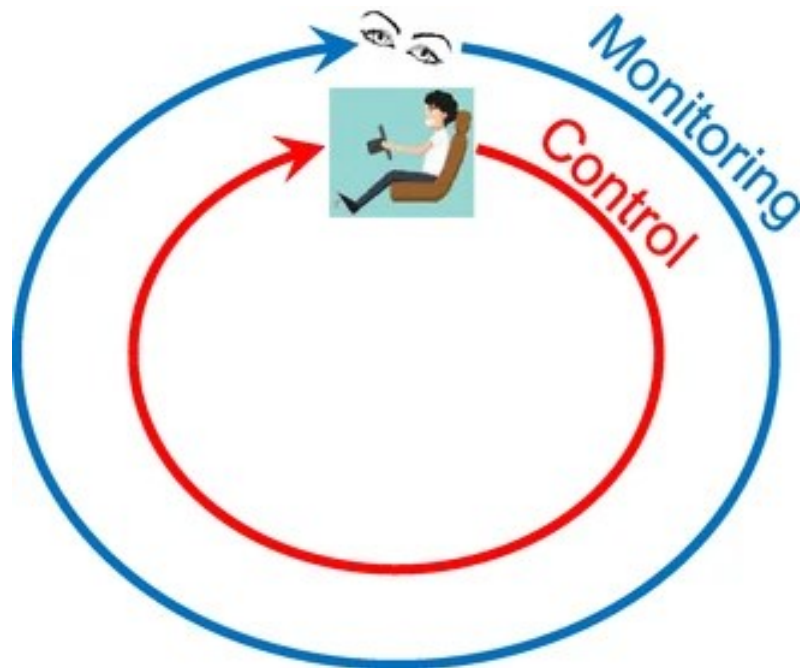


Figura 32 Anelli rappresentanti la posizione del conducente rispetto al monitoraggio dell'HMI

Una domanda rilevante qui è se gli utenti interpreteranno la rimozione dal ciclo di controllo come un'assenza di necessità di monitoraggio. È probabile che la guida senza mani venga equiparata alla non necessità di monitorare continuamente, quindi di fatto, la guida senza mani porti alla guida ad "occhi spenti", il che è un'ulteriore ironia. Questo effetto è stato osservato da Carsten et al. (2012) in un esperimento di simulazione di guida in cui ai partecipanti è stata data la libertà di impegnarsi in una serie di mansioni secondarie quando desideravano. I partecipanti che avevano precedentemente sperimentato un sistema di mantenimento della corsia a mani libere insieme all'ACC erano disposti a guardare un video per il 43% del loro tempo di guida in autostrada quando

erano in "alta automazione" (combinazione di ACC e mantenimento della corsia). Lo hanno fatto interamente volontariamente, non c'era alcun incoraggiamento a farlo.

Dal punto di vista dell'utente, è perfettamente logico che attivare un sistema, il quale assume il controllo laterale, mantenendo il veicolo nella sua corsia, significa che non è necessario sterzare. Non ha senso avere un sistema che esegue un'attività per te, ma in cui devi comunque svolgere almeno parte dell'attività. E se il veicolo può mantenersi nella sua corsia, perché il conducente deve tenere le mani sul volante? È una conseguenza di cui le case automobilistiche sono consapevoli; da qui l'emissione di avvisi quando viene rilevato uno stato di non intervento per un certo periodo di tempo.

Sebbene questo venga spesso venduto come richiesto solo per motivi legali, la base risiede nella sicurezza. Poiché gli attuali sistemi SAE di livello 2 sono ancora fallibili in momenti abbastanza imprevedibili nel tempo, non è ancora possibile indicare in tempo sufficiente quando è necessario l'essere umano. Pertanto, non è (ancora) possibile fornire avvisi tempestivi per riprendere il controllo. Ciò richiede un monitoraggio costante da parte dell'essere umano, in modo che un sistema che dovrebbe essere rilassante possa effettivamente essere piuttosto impegnativo.

Diversi OEM utilizzano strategie diverse per contrastare gli effetti dell'essere fuori dal circuito di controllo e quindi anche dal circuito di monitoraggio.

Quando si fa riferimento alla disattenzione alla guida, vengono spesso discussi compiti secondari e distrazione del conducente. La distrazione del conducente è definita come una deviazione dell'attenzione dalle attività critiche per una guida sicura verso un'attività competitiva (Lee et al. 2008). Tuttavia, il modo in cui la distrazione influisce sulla sicurezza del traffico durante la guida con funzioni automatizzate può essere diverso rispetto alla guida manuale. In condizioni normali, dobbiamo monitorare quasi continuamente la strada per mantenere il veicolo nella corsia ed evitare di scontrarsi con veicoli che stanno davanti o che provengono dalla direzione opposta. Tuttavia, con i sistemi automatizzati, il livello di attenzione o distrazione potrebbe in teoria essere sintonizzato sul livello di affidabilità dell'automazione in queste condizioni. Ciò significherebbe che, in condizioni in cui il sistema è in grado di controllare in modo affidabile il veicolo, il conducente potrebbe essere distratto o avere un livello di attenzione ridotto senza alcuna conseguenza per la sicurezza. Tuttavia, per consentire un sufficiente livello di attenzione e, quindi, un intervento adeguato, sono necessarie diverse funzionalità:

1. Quando è noto che il sistema ha limitazioni all'interno di un'unità specifica da un istante all'altro, come nel caso dei sistemi SAE di livello 2, il conducente dovrebbe monitorare quasi continuamente il mondo esterno. Il conducente dovrebbe essere in grado di rilevare quando il sistema sta deviando dal percorso richiesto o non risponde in corrispondenza di ciò che un conducente considera sicuro. Poiché questi cambiamenti nelle prestazioni dipendono dalle condizioni della strada e del traffico, il conducente dovrebbe monitorare continuamente il mondo esterno per rilevare uno di questi cambiamenti. Tuttavia, per intervenire, occhi sulla strada e mente sulla strada non bastano, il guidatore deve anche avere il piede pronto (pedale del freno) e due (minimo una) mani sul volante. Soprattutto in caso di ingresso in curva ad alta velocità, l'annullamento del sistema dovrebbe essere eseguito immediatamente per mantenere il veicolo sulla strada. Questa situazione è molto critica ed è difficile spiegare al guidatore perché il veicolo non può affrontare queste curve strette nonostante la strada sia un'autostrada, avendo una segnaletica orizzontale chiara. Potrebbe anche essere che un guidatore abbia

sperimentato che il sistema funzionava bene in quella stessa curva a causa del fatto che le velocità erano inferiori e c'era un veicolo di testa che ha ridotto la sua velocità a causa della curva. Per limitare questo tempo, le mani dovrebbero essere sempre al volante quando i sistemi hanno qualche possibilità di guastarsi e l'attenzione visiva dovrebbe essere sulla strada. Tuttavia, come abbiamo già affermato, questo non è molto accettabile dal punto di vista dell'utente durante la guida in modalità parzialmente automatizzata. E anche se i conducenti hanno le mani sul volante e guardano fuori, il conducente dovrebbe essere avvisato con un segnale acustico se il sistema perde l'automazione.

2. I sistemi noti per essere pericolosi in condizioni molto specifiche dovrebbero essere in grado di rilevare queste condizioni. Se il sistema dovesse essere utilizzato solo su strade di alta qualità, dovrebbe rendersi conto del tipo di strada su cui sta viaggiando e non consentire l'attivazione su altri tipi di strada. Se il sistema funziona solo a velocità inferiori, deve essere collegato alla velocità di guida e agire se queste condizioni non sono soddisfatte (non consentire l'attivazione a velocità superiori o non consentire velocità superiori quando attivato). Con gli attuali sistemi in commercio, spesso questo è solo descritto nel manuale o in piccole notifiche sul display, ma spesso l'attivazione è ancora possibile su strade di qualità inferiore. La restrizione a velocità inferiori è generalmente inclusa nella progettazione del sistema, combinata con un avviso attivo per il conducente. Questo approccio è da preferire.

5.2.3.2 Implementazione

L'HMI dovrebbe garantire che il livello di attenzione che un conducente presta alla guida sia adatto al livello di automazione. La guida senza mani non è compatibile con la richiesta di attenzione poiché sappiamo che spesso la guida automatizzata porta a disattenzione. Pertanto, si consigliano le seguenti linee guida:

- I sistemi di livello 2 dovrebbero richiedere ai conducenti di tenere le mani sul volante quasi continuamente.
- Il sistema dovrebbe consentire l'attivazione solo su strade adatte a quella categoria di automazione, ed al livello 2, quando le mani non sono al volante, il sistema dovrebbe avvisare in modo invadente, dovrebbe monitorare se gli occhi sono sulla strada e dovrebbe agire di conseguenza (es. peggioramento delle prestazioni di mantenimento della corsia, spegnimento dopo avvisi intrusivi, rallentamento del veicolo o impossibilità di spegnere il sistema per un periodo di tempo più lungo).
- Le funzioni che offrono un cambio di corsia dovrebbero sempre verificare se non c'è traffico nella corsia adiacente e se non c'è traffico in avvicinamento rapido in questa corsia. Offrire un cambio di corsia senza questo controllo è altamente pericoloso.
- In particolare, per l'automazione dei livelli 3 e 4, in cui l'attenzione del conducente è temporaneamente non richiesta, è possibile fornire un design diverso del cruscotto, sebbene nessuna informazione sia sconsigliabile. Sebbene formalmente il conducente non abbia bisogno di alcuna informazione in quel momento, è piuttosto improbabile che l'umano si senta a suo agio.
- Quando il veicolo deve fornire ad un conducente una richiesta tempestiva di riprendere il controllo, il sistema dovrebbe avere possibilità avanzate per rilevare

ciò che sta facendo il conducente (attenzione del conducente e monitoraggio delle attività secondarie) e prevedere quanto tempo ci vorrà prima che il conducente sia in grado riprendere il controllo. Con queste informazioni il sistema può anticipare e adottare misure aggiuntive come la frenata per concedere più tempo e prevenire situazioni pericolose.

- Idealmente, il veicolo dovrebbe controllare ciò che sta facendo il conducente, ad esempio essere in grado di spegnere un tablet se l'attenzione deve essere rivolta al mondo esterno. Possono essere d'aiuto display aggiuntivi come display head-up per indirizzare l'attenzione sulla posizione di un potenziale pericolo.

Per l'automazione di livello 4 nel trasporto pubblico, l'essere umano non dovrebbe avere altro ruolo che quello del passeggero e, pertanto, non è saggio fornire alcuna informazione sulle capacità tecniche del veicolo se non a scopo dimostrativo. Quando si sale a bordo di un autobus, non chiediamo all'autista la sua patente di guida; confidiamo solo che sarà in grado di guidare in sicurezza.

5.2.4 Ridurre al minimo le sorprese dell'automazione

5.2.4.1 Obiettivo

Un sistema di automazione ben progettato dovrebbe avere la capacità di prevedere, per quanto possibile, quando non è più in grado di gestire un ambiente o una situazione e, pertanto, richiede l'intervento umano. L'essere umano dovrebbe essere (pre-) allertato da quella previsione, in modo da ridurre al minimo la sorpresa. Per i sistemi di livello 2, ciò significa che un conducente dovrebbe almeno essere avvisato quando il sistema perde l'automazione. Per i sistemi SAE di livello 3 e 4, ciò significa che un veicolo deve fornire informazioni tempestive al conducente prima di raggiungere un limite operativo, ad esempio prima di uscire da un'autostrada su strade di qualità inferiore o strade cittadine. La volontà umana, a condizione che venga data adeguata notifica, si spera sia pronta a riprendere il controllo. Questa può essere una sfida in termini di progettazione dell'HMI. Tuttavia, la maggior parte dei sistemi di navigazione fornisce un'anteprima della strada e del percorso da percorrere. Per i sistemi di livello 3 e 4, è necessario che il sistema informi che non può farcela, perché non può farcela e fornire un conto alla rovescia per l'acquisizione richiesta. Un orizzonte elettronico (anteprima della strada in arrivo) e il geo-fencing sono elementi essenziali. Il geo-fence, tradotto letteralmente “recinto geografico”, è un perimetro virtuale, il quale viene associato ad una area geografica del mondo reale, può essere generato dinamicamente, ad esempio come l'area entro un raggio da un punto prefissato, oppure può essere definito da un insieme di confini prestabiliti. L'uso di geo-fence è noto come geo-fencing, e tipicamente prevede l'uso di dispositivi capaci di determinare la propria posizione; quando l'utente entra o esce da un geo-fence, il dispositivo oppure il gestore del servizio ricevono una notifica, che può essere usata per controllare le azioni prestabilite. Nelle auto a guida autonoma il geo-fencing viene implementato così da impedire l'accesso degli AV ad aree congestionate, dove il traffico è intenso o per evitare l'ingresso nelle zone a traffico limitato. Se fossero state applicate queste tecnologie si sarebbe potuto evitare l'incidente all'intersezione di Tesla il 7 maggio 2016 in Florida, dal momento che il sistema di pilota automatico Tesla era noto per essere incapace di negoziare in sicurezza un incrocio.

Un tipo specifico di sorpresa, noto come "sorpresa dell'automazione", è stato definito per la prima volta nel settore dell'aviazione (Sarter et al. 1997; Woods et al. 1994; Dekker 2009). Dekker (2009) ha utilizzato la seguente definizione: "L'automazione compie un'azione senza ricevere l'input dell'equipaggio relativo all'azione e tale azione di automazione non è coerente con le aspettative dell'equipaggio". Hurts e de Boer (2015) affermando ciò significa che la sorpresa dovuta all'automazione può verificarsi anche prima che un pilota se ne accorga. Quando ci si riferisce alla guida automatizzata, usiamo il termine sorpresa dell'automazione principalmente per situazioni in cui il conducente nota effettivamente che l'azione non è coerente con le proprie aspettative. In teoria, la sorpresa dell'automazione può anche essere positiva, con un sistema in grado di gestire una situazione che il conducente non si aspetta, ma in termini di sicurezza e fattori umani, il caso più interessante è quello in cui un conducente viene sorpreso negativamente da un'azione (o assenza di azione) del sistema automatizzato.

A tal proposito distinguiamo due differenti tipologie di sorpresa da automazione:

- **Assenza di azione prevista:** il conducente è sorpreso che il sistema non esegua un'azione specifica senza alcun rischio o stress apparente per la sicurezza. Esempi sono il sistema che non aumenta la velocità quando i limiti di velocità salgono o non parte dopo essersi fermati quando l'auto di testa inizia a muoversi, o non cambia corsia quando l'indicatore è acceso.
- **Presenza di un'azione inaspettata:** il guidatore è sorpreso perché il sistema esegue un'azione che non corrisponde a quanto si aspetta il guidatore stesso e fornisce a quest'ultimo un aumento dell'eccitazione e dello stress. Esempi sono l'accelerazione quando si esce dall'autostrada prima di una curva in assenza di (rilevamento di) un veicolo di testa, la mancata diminuzione della velocità in avvicinamento a un semaforo in assenza di un veicolo di testa, o l'aumento della velocità quando il conducente accende l'indicatore in previsione di un cambio di corsia. Questa seconda categoria può comportare un pericolo imminente se un guidatore non è pienamente consapevole dell'inviluppo operativo del veicolo, il suo livello di attenzione è troppo basso e se successivamente la risposta del guidatore è piuttosto brusca.

La sorpresa dell'automazione del secondo tipo deve sempre essere evitata a causa del rischio per la sicurezza. Ciò significa che i conducenti devono essere consapevoli delle capacità del veicolo, avere avvisi tempestivi e devono monitorare la strada al momento opportuno per riconoscere che una situazione non è conforme a ciò che si aspettano. Come Johnson et al. (2014) ha descritto, la migliore interfaccia fallirà per l'utente se il funzionamento del sistema non è osservabile, prevedibile e orientabile a un livello appropriato di granularità e tempestività.

Pertanto, le seguenti quattro qualità possono essere considerate importanti in un HMI per ridurre al minimo la sorpresa dell'automazione:

1. **Osservabilità:** (un conducente può comprendere o rilevare lo stato del sistema, come la modalità del sistema e se il sistema riceve le informazioni richieste). In questo, l'HMI può svolgere un ruolo importante fornendo segnali specifici per far capire al conducente cosa fa e cosa non fa il sistema. Un nuovo concetto

interessante è l'idea di una "barra della salute" che indica l'affidabilità tecnica del veicolo a guida autonoma. Tuttavia, è discutibile se l'autodiagnosi per un sistema tecnico difettoso sia davvero utile. In questo momento, l'HMI mostra spesso lo stato attuale e se le informazioni richieste vengono rilevate. Tuttavia, non prevede che il sistema non possa far fronte alla stessa situazione in 0,002 s e, spesso, il sistema indica che rileva la segnaletica orizzontale richiesta ma continua a uscire dalla corsia.

2. **Prevedibilità:** (le azioni del sistema dovrebbero essere sufficientemente osservabili, comprensibili e affidabili in modo che un conducente possa pianificare le proprie azioni di conseguenza). In questo, l'HMI dovrebbe aiutare il conducente a prevedere, quando si trova di fronte ad una situazione, se il sistema può farcela o non può farcela. Ciò è fortemente correlato al fatto che il sistema si guasta in situazioni specifiche ben definite (es. lavori stradali) o se i confini esatti del sistema siano meno definiti (es. essere in grado di affrontare alcune curve ma non tutte), a seconda anche dell'impostazione velocità e la presenza di un veicolo di testa.
3. **Direzionalità:** (la capacità di influenzare ed essere influenzati per ottenere la migliore performance congiunta). Questo si collega direttamente ai comandi sia espliciti che impliciti forniti dall'HMI, sia dal conducente al sistema che viceversa. Ciò significa anche che un sistema dovrebbe accettare, utilizzare e interpretare input specifici dell'utente e forse anche decidere di ignorare tale input se ciò migliora la sicurezza.
4. **Tempestività:** (è l'informazione o l'avviso fornito con sufficiente anticipo in modo che il conducente possa intraprendere le azioni appropriate). In questo caso, le informazioni devono essere fornite prima, quando siamo al di fuori del cerchio azzurro della figura precedente; quindi, prima che il conducente monitori in modo attivo e prenda il controllo del veicolo.

5.2.4.2 Implementazione

Per ridurre al minimo la sorpresa dovuta all'automazione, è necessario prendere in considerazione i seguenti principi di progettazione:

- Consentire l'attivazione solo in situazioni in cui le funzioni lavorano correttamente. Questo è ciò che la gente si aspetta. Nel caso della funzione di cambio corsia, i conducenti non capiranno se il sistema cambia corsia automaticamente senza opportuni controlli, lasciando al conducente la responsabilità del rilevamento dell'angolo cieco. Anche se il conducente indica la volontà di cambiare corsia, il sistema dovrebbe verificare se è sicuro farlo. Quando una funzione può essere attivata, dovrebbe funzionare bene, con il geofencing che offre una soluzione adeguata.
- Se il sistema non funziona in modo affidabile (ad es. a causa di limitazioni o errori nei sensori), questo dovrebbe essere comunicato attivamente non consentendo di levare le mani dal volante, degradando le prestazioni laterali in modo che il guidatore se ne accorga, rallentando il veicolo e fornendo avvisi invadenti. Per

livelli di automazione più elevati (livelli 3 e 4), il conducente dovrebbe sempre ricevere un avviso tempestivo per riprendere il controllo in modo da evitare sorprese causate dall'automazione. Il sistema dovrebbe essere consapevole delle possibili limitazioni e agire di conseguenza chiedendo al conducente di riprendere il controllo o rallentare. Inoltre, il sistema dovrebbe informare il conducente che non può farcela, perché non può farcela e fornire un conto alla rovescia per l'acquisizione richiesta. Anche qui il geofencing è un elemento indispensabile per realizzare tale sistema.

La sorpresa dovuta all'automazione sarà ridotta se i sistemi agiranno secondo regole semplici da spiegare e prevedibili per un conducente. La prevedibilità per livelli di automazione più elevati sarebbe assistita da un display che mostra ciò che sta per accadere, ad esempio un cambio di corsia o un'altra manovra. Poiché la funzione look-ahead (guardare avanti) è già comune nei sistemi di navigazione, i display utilizzati possono essere imitati.

5.2.5 Fornire comfort all'utente umano, ovvero ridurre l'incertezza e lo stress

5.2.5.1 Obiettivo

Fornire comfort all'utente è uno degli argomenti di vendita per le funzioni automatizzate. La commercializzazione delle funzioni automatizzate come sistemi di comfort anziché come sistemi di sicurezza suggerisce implicitamente che il conducente è ancora responsabile della guida sicura. Tuttavia, con l'aumento dei livelli di automazione, l'offerta di comfort può andare oltre l'offerta di supporto al conducente. Un ulteriore comfort può essere offerto consentendo alla persona a bordo del veicolo di fare qualcos'altro oltre a guidare e utilizzare il tempo in un modo più prezioso.

Il comfort contiene una componente sia fisica che psicologica, sebbene manchi una definizione completa di comfort di marcia (Kudritzki 1999). La definizione che utilizzeremo per il comfort del guidatore è “la sensazione soggettiva di piacevolezza di guidare in un veicolo in assenza di stress sia fisiologico che psicologico”. Il comfort fisico è correlato a elementi come le vibrazioni del veicolo o del sedile, le forze sul corpo (accelerazioni laterali e longitudinali), il design del sedile, la posizione dello stesso. Il comfort psicologico si riferisce a sensazioni più soggettive di agio o piacevolezza (o mancanza di spiacevolezza). Nota che sia il comfort fisico che quello psicologico sono altamente soggettivi e variano da persona a persona. La maggior parte degli studi che riportano il comfort di guida con funzioni automatizzate non fornisce una definizione di comfort.

Comfort fisico

Per quanto riguarda le accelerazioni, il comfort non è necessariamente una funzione della forza dello stimolo. Un fattore di intervento molto importante è il tempo. Un leggero stimolo può non causare alcun disagio quando è breve, ma se dura abbastanza a lungo, o si verifica abbastanza spesso, può certamente iniziare a causare disagio (Wertheim e Hogema 1997). Kudritzki (1999) ha affermato che il comfort sperimentato (nel suo caso le vibrazioni) è anche correlato alle aspettative. Quando qualcuno vede una superficie stradale liscia, si aspetta anche una mancanza di vibrazioni, rendendo le vibrazioni ancora

meno confortevoli quando si verificano. In termini di guida automatizzata, si può immaginare che questo effetto delle aspettative di comportamento del veicolo sul comfort sarà presente. Se un veicolo automatizzato non si comporta come le persone si aspettano, potrebbe verificarsi un disagio. Ad esempio, in normali condizioni di guida manuale, i conducenti evitano specifiche forze laterali e longitudinali sulla carrozzeria, oppure mentre si avvicinano a un incrocio segnalato, i conducenti tendono a non fermarsi quando la decelerazione richiesta supera i 3-3,5 ms² al momento dell'inizio del colore giallo del semaforo (Baguley 1988; Niittymaki e Pursula 1994; van der Horst e Wilmink 1986). Il design del veicolo dovrebbe rispettare queste preferenze nel suo comportamento, sebbene sia chiaro che un veicolo sotto controllo automatizzato non può violare un semaforo rosso. In scenari più estremi, le forze “scomode” saranno accettabili se aiutano a evitare di finire in situazioni altamente critiche per la sicurezza. In questo senso, il comfort sperimentato di un sistema di supporto alla guida in condizioni normali è valutato in modo diverso rispetto a condizioni critiche per la sicurezza.

Quando si parla di comfort fisico, una preoccupazione per i veicoli automatizzati è la potenziale cinetosi. Anche se si può discutere se la cinetosi causi disagio fisico o psicologico, lo discuteremo come disagio fisico poiché la base non è di natura psicologica. Diels e Bos (2016) si riferiscono a questo come cinetosi da guida autonoma, causata da un'incongruenza tra ciò che le persone sentono e ciò che vedono. Soprattutto nel caso in cui una persona sia impegnata in attività diverse dalla guida o addirittura sia seduta in posizione arretrata in futuri veicoli automatizzati, esiste il rischio di cinetosi. Guardare qualcosa che non corrisponde a ciò che sentono gli organi o l'equilibrio è una causa plausibile di cinetosi indotta visivamente (Bos et al. 2008). Diels et al. (2016) ha scoperto che dopo 15 minuti passati a guardare un display di tipo head-down, il 25% dei partecipanti ha avvertito un certo disagio a causa della cinetosi, e dopo 35 minuti, questo è aumentato al 50%. Per un display head-up, le percentuali erano quasi la metà, con il 13% dopo 15 min e il 27% dopo 35 min. Ciò indica che alcune soluzioni possono essere trovate nella posizione di tablet e schermi.

La cinetosi è principalmente correlata alle accelerazioni orizzontali, dalla frenata e dalle curve (Guignard e McCauley 1990; Turner e Griffin 1999a, b). Sebbene ci sia qualche variazione tra le persone e le circostanze, il tempo di insorgenza dei segnali di cinetosi per i passeggeri nei veicoli normali è normalmente compreso tra 10 e 20 minuti (O'Hanlon e McCauley 1974), indicando che è qualcosa che ha bisogno di tempo per accumularsi. Oltre al disagio, la cinetosi può anche rappresentare una seria minaccia per la prestazione in caso di richiesta di riprendere il controllo. Diels e Bos (2016) scrivono che questo non deve necessariamente riferirsi ad un guidatore che vomita al momento di una situazione di emergenza, ma anche a effetti più sottili come una ridotta consapevolezza della situazione e tempi di risposta aumentati. La cinetosi può essere evitata regolando il comportamento del veicolo, regolando la posizione o le caratteristiche del display o fornendo display aggiuntivi.

Comfort psicologico

Il comfort psicologico riguarda l'essere in uno stato di benessere e quindi ridurre al minimo lo stress. Al di fuori del contesto di guida, essere nella propria zona di comfort è stato descritto come uno stato comportamentale all'interno del quale una persona opera in una condizione di ansia neutrale, utilizzando un insieme limitato di comportamenti per fornire un livello costante di prestazioni, di solito senza un senso di rischio (Bianco 2009).

Per le funzioni automatizzate, la misura tipica del comfort psicologico è l'indicazione soggettiva della facilità o piacevolezza d'uso, in relazione al fatto che il veicolo si comporti in maniera congruente ai desideri dell'utente. Il comfort psicologico viene sperimentato quando il conducente si sente a proprio agio, ha fiducia che il veicolo avrà il comportamento corretto e sta guidando verso la giusta destinazione senza perdere il controllo.

Poiché la guida automatizzata è relativamente nuova, non molte persone hanno avuto la possibilità di sperimentarla e, poiché ha varie forme, le persone potrebbero sentirsi a disagio con il suo comportamento a causa dell'incertezza sulle sue capacità. De Vos et al. (1997) ha già scoperto che i livelli di comfort diminuiscono con il diminuire dei progressi dei veicoli automatizzati. Tuttavia, è molto plausibile che, quando le persone acquisiscono più esperienza con il plotone e acquisiscono più fiducia, anche i progressi più brevi sarebbero visti come confortevoli. Ciò può valere anche per il comportamento specifico del veicolo automatizzato. È quindi altamente probabile che nel caso dei veicoli automatizzati, il comfort psicologico sia correlato alla prevedibilità delle azioni del veicolo e alla fiducia che farà fronte alla situazione e che cambierà con il tempo e l'esperienza.

Poiché le aspettative possono essere basate sull'esperienza di guida manuale e gli stili di guida variano da guidatore a guidatore, ci si potrebbe chiedere se un veicolo automatizzato debba comportarsi in qualche modo in maniera simile alla guida manuale. Gli studi iniziali mostrano che i conducenti non vogliono che il sistema automatizzato copi il loro preciso comportamento di guida. De Gelder et al. (2016) ha mostrato una chiara diversità di preferenze tra i conducenti in situazioni di guida reali con ACC. È interessante notare che il comfort del conducente non è massimo quando il sistema copia lo stile di guida personale. Gli autori affermano che questo potrebbe essere il risultato di una mancanza di fiducia del conducente nell'ACC. Questo ha senso. Quando si avvicina a una situazione nella guida manuale, il conducente sa cosa farà. In caso di automazione del veicolo, un conducente sa cosa farà il veicolo solo dopo che avrà iniziato a rispondere e/o con informazioni o feedback adeguati. Ad esempio, quando un veicolo automatizzato sta per cambiare corsia, il conducente deve essere rassicurato che ha rilevato tutte le informazioni richieste e che cambierà corsia solo in condizioni di sicurezza. Inoltre, per ridurre l'incertezza e lo stress, e quindi il disagio psicologico, i veicoli automatizzati dovrebbero comportarsi secondo le regole e i regolamenti generali del traffico. Summala (2007) si riferisce all'importanza di sentirsi in controllo per il comfort nella guida manuale. Con livelli più elevati di veicoli automatizzati, il conducente non ha il controllo, con conseguente sensazione di disagio se il conducente non si fida del veicolo e, quindi, si sente fuori controllo. Il modo in cui il veicolo si comporta e le informazioni visualizzate dovrebbero fornire al conducente la sensazione che il veicolo abbia il controllo e si comporti secondo regole prevedibili e comportamenti spiegabili.

5.2.5.2 Implementazione

C'è un sottile equilibrio da tracciare tra sovraccarico di informazioni e conseguente stress ed informazioni troppo scarse con conseguente incertezza. Poiché le prestazioni della suite di sensori sono così critiche (come lo è nella guida umana), un HMI che mostri ciò che il veicolo sta "vedendo" (carreggiata, segnaletica orizzontale, traffico circostante) sembrerebbe altamente desiderabile in caso di livelli più elevati di automazione. Con livelli di automazione inferiori (livello 2), l'attenzione del conducente dovrebbe essere

sulla strada; quindi, i display dovrebbero offrire solo informazioni minime e preferibilmente tramite un display head-up.

Affinché un guidatore si senta fisicamente e psicologicamente a suo agio in un veicolo automatizzato, è necessario che ci sia un comportamento di guida fluido e prevedibile con un minimo di variazioni della velocità laterale e longitudinale. Offrendo informazioni visive aggiuntive sotto forma di un miglioramento artificiale di una scena visiva o per mezzo di un display head-up che mostra la traiettoria futura del veicolo, il modello mentale del conducente può essere migliorato. Per evitare la cinetosi con i veicoli automatizzati (il conducente svolge altre attività oltre a guardare all'esterno), dovrebbero essere evitati movimenti del veicolo intorno a 0,16 Hz, gli occupanti dovrebbero essere in grado di anticipare la traiettoria del movimento del veicolo e dovrebbero essere evitati segnali di auto-movimento visivo-vestibolari incongruenti. I display che mostrano contenuti non correlati al mondo esterno dovrebbero essere posizionati vicino alla linea di vista fuori dal vetro anteriore e le dimensioni del display dovrebbero essere limitate per consentire sufficienti informazioni visive periferiche. Queste raccomandazioni sono tutte descritte in Diels et al. (2016).

Inoltre, quando i veicoli sono così avanzati da poter rilevare cosa sta facendo il conducente e come è posizionato nel veicolo stesso, i movimenti del veicolo possono essere adattati a questo. Ciò significa che quando il veicolo rileva che il conducente sta leggendo, il veicolo può passare ad uno stile di guida più difensivo senza cambi di corsia e ridurre la velocità nelle curve.

5.2.6 Essere utilizzabile

5.2.6.1 Obiettivo

Secondo la definizione ISO 9241, l'usabilità è l'efficacia, l'efficienza e la soddisfazione con cui determinati utenti raggiungono certi obiettivi in particolari ambienti. L'efficacia in questo caso è l'accuratezza e la completezza con cui utenti specifici possono raggiungere obiettivi specifici in ambienti particolari. L'efficienza si riferisce alle risorse spese in relazione all'accuratezza e completezza degli obiettivi raggiunti e alla soddisfazione e accettabilità del sistema di lavoro per i suoi utenti e le altre persone interessate dal suo utilizzo.

Ciò illustra chiaramente che l'usabilità della guida automatizzata dipende dai suoi utenti e dal sistema in un determinato contesto. L'obiettivo della guida automatizzata non è molto diverso dall'obiettivo della guida manuale, ovvero guidare da A a B in modo relativamente sicuro con una quantità di risorse relativamente accettabile. Nel caso della guida automatizzata, il guadagno maggiore per il conducente riguarda l'efficienza, ovvero le risorse spese. Se il sistema è efficace quanto il conducente umano, una persona potrebbe spendere meno risorse fisiche e cognitive per il compito di guida, rendendolo più efficiente. Tuttavia, se il sistema automatizzato non è così efficace, o meno efficace del conducente umano, ciò significa che il sistema è meno efficiente e un conducente dovrebbe prestare più risorse, di conseguenza il carico di lavoro può persino aumentare se il conducente non ha esattamente chiaro il modus operandi del sistema.

L'HMI in tutti i suoi aspetti svolge un ruolo importante nell'usabilità: l'interazione umana con l'automazione è mediata dall'HMI. L'HMI per veicoli stradali si è evoluto nel corso degli anni fino a raggiungere un alto grado di comunanza e standardizzazione nei controlli e nei display. Parte di questa comunanza è dovuta agli standard o agli accordi del

produttore, o semplicemente, come molte cose, si sono standardizzate grazie alla tradizione: le posizioni dei pedali, i modelli di cambio per i cambi manuali ed automatici (con alcune eccezioni per la retromarcia nei i cambi manuali) e la posizione del gambo dell'indicatore sul lato sinistro del piantone dello sterzo possono essere citati come esempi. In effetti, quando i produttori si discostano dai layout tradizionali, possono verificarsi problemi di sicurezza; pertanto, con auto e camion "tradizionali", i controlli e l'HMI tendono ad essere coerenti e, le deviazioni dalla convenzione sono disapprovate. Per i sistemi di assistenza alla guida e per le funzioni di guida automatizzata, attualmente non esiste alcuna convenzione e poca pressione verso la coerenza. Si può affermare che tale coerenza non esiste in altri modi di trasporto, come l'aviazione civile, e che la mancanza di coerenza non ha impedito un funzionamento sicuro. Tuttavia, nell'aviazione civile, ci sono tre principali produttori di cellule in tutto il mondo e c'è una filosofia di progettazione comune all'interno di ciascun produttore come Boeing e Airbus (Sarter e Woods 1997). Inoltre, gli equipaggi ricevono una formazione intensiva su ogni specifico tipo di aeromobile, sebbene all'interno di un produttore i tipi possano essere raggruppati ai fini della "abilitazione per tipo" di un pilota a causa della loro somiglianza (EASA 2017). Al contrario, nei veicoli stradali esiste un numero considerevole di produttori con modelli e tipi di veicoli in continua evoluzione, prodotti per essere azionati da una gamma molto ampia di conducenti principalmente non professionisti, che normalmente non ricevono alcuna formazione sul funzionamento di un veicolo specifico. Con l'introduzione graduale delle funzioni di guida automatizzata, veicoli diversi avranno capacità di guida automatizzata diverse e ogni veicolo varierà anche nelle sue capacità a seconda del tipo di strada, del layout della strada e delle condizioni ambientali. A questo si può aggiungere la sfida di una mancanza di qualsiasi standardizzazione dell'HMI finora. In effetti è vero il contrario: ogni produttore mostra concetti diversi.

Al momento queste differenze possono non essere molto importanti, ma si può anche notare che anche il quadro per attivare i vari sistemi di livello 2 varia notevolmente tra i produttori. Ciò potrebbe causare confusione ed errori da parte del conducente durante la guida di un veicolo sconosciuto, ad esempio un'auto a noleggio o un veicolo fornito tramite un programma di car sharing.

5.2.6.2 Implementazione

Molti attuali sistemi di livello 2 hanno sistemi di menu troppo complessi ed interruttori multifunzione. C'è una grande virtù nella semplicità e nella comunanza dei controlli tra diverse marche e modelli di veicoli. Il numero di modalità di automazione selezionabili dall'utente deve essere ridotto al minimo. Alcune soluzioni di usabilità di base possono essere trovate nelle seguenti raccomandazioni:

- Utilizzare un simbolo standardizzato per la guida automatizzata.
- Utilizzare un simbolo standard per il mantenimento della corsia con le mani sul volante (da includere nel simbolo).
- Il sistema dovrebbe essere facile da imparare e ricordare, il che implica che dovrebbe anche essere facile passare da marche e modelli di veicoli diversi, il che implica un alto livello di comunanza nel formato del display.
- L'attivazione delle funzioni deve avvenire tramite una doppia azione, contemporanea (come la pressione di due pulsanti o paddle) o in sequenza per evitare attivazioni accidentali e conseguenti sorprese dell'automazione. Tuttavia,

tale approccio in due fasi non dovrebbe mai essere utilizzato come mezzo per confermare che l'utente ha compensato le carenze di un sistema automatizzato.

- Il sistema dovrebbe sempre essere in grado di indicare se è potenzialmente disponibile (è possibile accenderlo se lo si desidera).
- Il sistema dovrebbe essere in grado di anticipare e far sapere al conducente a tempo debito quando non sarà più disponibile.
- Le funzioni del sistema dovrebbero essere collegate alla mappa per aumentare la funzionalità, aiutare a comprendere i limiti e fornire al conducente l'anteprima corretta.
- Il sistema e il conducente dovrebbero sempre collaborare per risolvere il potenziale pericolo. Quando il sistema rileva una situazione pericolosa e, quindi, è necessaria la frenata, il sistema non deve consentire lo spegnimento a causa di un'azione frenante da parte del conducente. Tuttavia, in questo caso, il sistema riceve effettivamente due segnali che indicano la necessità di frenare; quindi, le due azioni di frenata dovrebbero essere utilizzate insieme per evitare una collisione. Un conducente non dovrebbe sempre essere autorizzato a prevalere su un sistema. Se il sistema sa che l'azione di un conducente porterà al pericolo, potrebbe essere necessario ignorare o limitare l'effettivo input del conducente.
- Le informazioni dovrebbero sempre essere presentate in tempo utile, in particolare una richiesta di acquisizione.
- Quando il sistema si spegne automaticamente dovrebbe essere sempre attivo un avviso acustico per avvisare il conducente di un cambiamento di stato.

Detto ciò, i sistemi HMI per AV devono assicurare ai passeggeri che il veicolo è completamente responsabile della situazione e conosce l'ambiente circostante; quindi, il sistema deve essere in grado di comunicare con gli occupanti del traffico ed informare l'utente secondo i principi sopracitati, evitando il sovraccarico di dati poiché andrebbe ad intaccare la fiducia.

A seconda del livello di automazione della guida, un design HMI in un veicolo autonomo dovrebbe consentire all'utente di monitorare, riconoscere e controllare l'auto in diverse misure. Fornire segnali chiari e tempestivi per informare un guidatore che il veicolo potrebbe aver bisogno dell'interazione umana è una solida base per una guida autonoma sicura. Inoltre, le auto del futuro dovrebbero interpretare razionalmente le risposte umane. Ciò include ignorare le indicazioni umane se il sistema le identifica come pericolose. Di conseguenza, nella progettazione di un HMI, è pertinente applicare i principi di progettazione dell'interfaccia ecologica; dove l'obiettivo è prevenire per quanto possibile l'ingresso a livelli superiori del controllo cognitivo, cioè mantenere l'essere umano ai livelli delle proprie competenze e, ove necessario, definire delle regole, e quindi evitare l'apprendimento lento e meno efficace (potenzialmente più pericoloso). In altre parole, i riflessi sono da preferire alla riflessione.

Oltre a quanto esposto finora, il sistema di HMI per veicoli con guida autonoma, deve mantenere anche un certo livello di comfort, ovvero non deve creare stress né fisico né psicologico all'utente, in più deve rendere la guida più piacevole. Lo stress da guida è causato principalmente da situazioni in cui un veicolo autonomo non si comporta come si aspettano i passeggeri, di conseguenza, un HMI progettato correttamente non manterrà le persone in ansia perché non sanno cosa accadrà, bensì attraverso i comandi vocali e la comunicazione audio-visiva, il conducente dovrà essere in grado di chiedere e ricevere un feedback sufficiente su quello che il veicolo sta per fare. Quindi, quando un progettista

realizza un sistema HMI, deve rispettare l'esigenza fondamentale della sicurezza, così che i passeggeri del veicolo possano sentirsi a proprio agio e rilassati. Una volta soddisfatto il requisito della sicurezza, il progettista dell'HMI può concentrarsi sulla personalizzazione così da rendere l'interfaccia uomo macchina un'esperienza gradevole per l'utente.

Continental, per sviluppare al meglio tutto ciò, si sta già adoperando in test dettagliati, in laboratorio e su strada, per perfezionare il processo di transizione alla fine di una fase di guida automatizzata, poiché convinta che il fattore umano giocherà sempre un ruolo fondamentale.

Per i test su strada, Continental utilizza un metodo che dà ai soggetti di prova la sensazione di trovarsi su un veicolo altamente automatizzato. Il veicolo di prova utilizza numerosi sensori per registrare il comportamento del conducente ed analizzare le sue reazioni. Il soggetto di prova si trova a sinistra, dietro ad un volante fittizio; seduto a destra, dietro al vero volante, si trova invece un pilota specializzato in test. Durante le fasi di guida manuali, il pilota addestrato visualizza su un head-up display le azioni del conducente di prova e le converte in azioni effettive. Durante le fasi di pilotaggio automatico, il pilota addestrato prende il pieno controllo del volante e del veicolo, creando l'illusione della guida altamente automatizzata. Questo metodo consente di testare l'interazione uomo-macchina su strada, in situazioni reali di guida, senza mettere a rischio l'incolumità dei soggetti di prova. I risultati aiutano gli sviluppatori di Continental a formulare gli algoritmi di controllo necessari per la guida completamente automatizzata.

5.3 Elementi dell'HMI

L'interfaccia uomo-macchina è caratterizzata da:

- **telecamere interne:** serviranno per scambiare informazioni tra il guidatore, il veicolo e l'ambiente circostante. Ogni dispositivo dovrà essere in grado di attivarsi con semplicità e di comunicare il suo funzionamento in maniera intuitiva a chi sta al volante. Per questo il sistema di HMI dovrà essere capace di richiamare l'attenzione del conducente sulle situazioni di guida, tramite segnali visivi e luminosi attivati proprio dalle telecamere interne. Uno dei dispositivi più utili per questo scopo è l'head-up-display, che può essere utilizzato per fornire le informazioni prioritarie, che vengono visualizzate nell'area visiva di maggior attenzione del guidatore;
- **realtà aumentata:** il fenomeno della realtà aumentata avviene grazie ad un dispositivo chiamato head-up display o HUD, è un dispositivo che integra la comune strumentazione: talvolta, fa parte della dotazione di serie, in altri casi è fornito a richiesta e in altri ancora è un dispositivo aftermarket che può essere collegato allo smartphone. Il nome può essere tradotto letteralmente con "visore a testa alta" per indicare un sistema originariamente sviluppato per l'aeronautica militare, in grado di proiettare informazioni utili nel campo visivo del pilota. La sua utilità è rilevante anche quando è in funzione il cruise control adattivo, visto che può informare sullo stato dell'attivazione, sulla velocità di crociera e sull'avvicinamento agli altri veicoli.

5.3.1 Principio di funzionamento dell'HUD

Il visore dell'head-up display sfrutta un piccolo computer per generare le immagini, le quali vengono poi proiettate attraverso un collimatore ottico, ovvero una lente convessa o uno specchio concavo con tecnologia laser, o con un display collocato nel suo fuoco. Il punto focale è percepito all'infinito e le immagini proiettate in sovrapposizione sul parabrezza o sul vetrino retrattile di plastica appaiono al pilota come se fluttuassero nell'aria, senza che sia necessario metterle a fuoco rispetto alla scena circostante.

Con le nuove tecnologie e vari step di sviluppo degli head-up-display si portano nuove possibilità, come l'utilizzo dei Digital Micromirror Device che permettono di proiettare una visione di realtà aumentata. Si tratta di dispositivi composti da 1,3 milioni di microspecchi che ruotano attorno all'asse diagonale in due direzioni e vengono orientati autonomamente attraverso un segnale elettrico. Così consentono di riflettere la luce in modo indipendente, con una riflessione dei colori da parte dei singoli specchi, che vengono utilizzati come pixel sullo schermo verso cui l'immagine è proiettata. Il risultato è una proiezione brillante e definita che permette il passaggio diretto dall'immagine digitale a quella proiettata.

Ora vediamo il principio di funzionamento di questi dispositivi. Il DMD o digital micromirror device (dispositivo digitale a microspecchi) è un semiconduttore ottico sul quale si basa la tecnologia di proiezione DLP.

Un chip DMD è composto da migliaia di microspecchi ognuno dei quali corrisponde ad un pixel dell'immagine proiettata. Gli specchi vengono orientati tramite segnali elettrici e possono ruotare individualmente $\pm 10-12^\circ$, dallo stato ON a quello OFF. Nello stato ON la luce dalla sorgente viene riflessa rendendo il pixel completamente luminoso, nello stato OFF è completamente scuro.

Essendo questa una tecnologia digitale (prevede solamente due stati, ovvero ON e OFF) per produrre tonalità intermedie lo specchio viene cambiato di stato rapidamente e il rapporto tra stato ON e stato OFF determina la tonalità. Un chip DMD può produrre oltre 1024 tonalità (10 bit).

Come detto sopra il DMD si basa sulla tecnologia di proiezione DLP (Digital Light Processing), essa sfrutta un semiconduttore ottico per manipolare la luce digitale. Il risultato è una qualità di visione superiore alla tecnologia LCD ed un alto rapporto di contrasto.

Partendo dal concetto che un'immagine a colori è generalmente formata scomponendola in almeno tre diverse immagini, solitamente RGB (rosso, verde e blu), le quali sovrapposte danno vita ad un'unica immagine rappresentante tutti gli altri colori. Ci sono due principali metodi grazie ai quali un sistema di proiezione DLP è in grado di generare immagini a colori: utilizzare un singolo chip oppure usarne tre. In un DLP a singolo chip i colori vengono prodotti interponendo una ruota cromatica di almeno tre colori (rosso, verde e blu) tra la sorgente luminosa e il chip DMD oppure utilizzando tre distinte sorgenti luminose LED o laser che si attivano alternativamente. Il chip DMD è sincronizzato con il colore proiettato e genera sequenzialmente immagini di colori diversi che essendo proiettate velocemente appaiono come un'unica immagine a colori; mentre in un DLP a tre chip le tre diverse immagini (rossa, verde e blu) vengono generate e visualizzate allo stesso momento, sovrapponendole direttamente all'interno del proiettore. Ne risulta un'immagine con colori molto vividi.

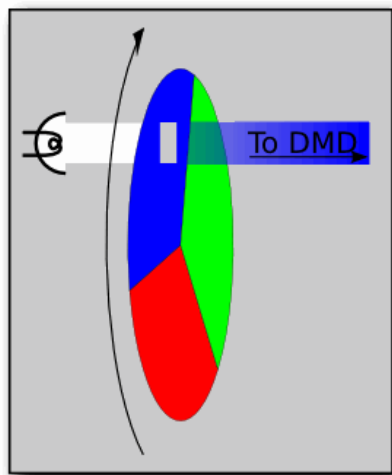


Figura 33 Ruota cromatica

Molti sistemi offrono la possibilità di essere configurabili secondo le proprie esigenze, con la possibilità di selezionare le informazioni preferite da tenere in evidenza. Queste possono riguardare, per esempio, la velocità istantanea, i limiti vigenti e le eventuali indicazioni del sistema di navigazione, oltre ai brani musicali e alle chiamate, in attesa che la realtà aumentata possa diffondersi su larga scala. I sistemi più evoluti sono in grado di regolarsi autonomamente in funzione della luce nell'ambiente circostante.

In questo modo, come si può dedurre, l'head up display ha la funzione di rendere immediatamente disponibili alcuni dati utili alla guida, senza che il guidatore debba distogliere gli occhi dalla strada per concentrarsi sul quadro strumenti. In questo modo, si riduce il rischio di incidenti e si guida con meno stress, accusando un minor affaticamento durante i lunghi viaggi.

5.4 Conclusione HMI

Con i veicoli che ottengono sempre più funzioni automatizzate, è importante che un guidatore capisca ancora cosa può e non può fare e che il veicolo capisca ancora cosa può e non può fare. Idealmente, il veicolo e l'essere umano possono essere visti come un sistema cognitivo congiunto, con entrambi gli elementi che collaborano per offrire una guida sicura e confortevole. Il principale mezzo di comunicazione tra veicolo e uomo in tale collaborazione è l'interfaccia uomo-macchina (HMI). Anche se in molti casi l'HMI viene utilizzato per descrivere le interfacce visive, proponiamo che l'HMI non possa essere visto in modo restrittivo. Oltre ai display visivi include anche i display uditivi e tutti i comandi del veicolo, compresa la tradizionale sensazione trasmessa da pedali e sterzo, ma anche la dinamica del veicolo all'interno di un contesto specifico e ulteriori elementi tattili - resistenza, pulsazioni, vibrazioni, guida fisica - utilizzati per guidare e assistere l'umano.

L'HMI nel senso lato del termine può quindi essere visto come la finestra tra uomo e macchina. Fornisce al veicolo informazioni dettagliate sui comandi e sull'attenzione dell'essere umano e fornisce all'uomo informazioni sulle modalità di automazione, sullo stato del sistema e sull'intenzione del sistema. Infine, è responsabile delle richieste di consegna in entrambe le direzioni. L'HMI ha quindi un ruolo centrale e critico nel funzionamento del sistema articolare. Nel capitolo sono stati evidenziati alcuni dei requisiti dei fattori umani per una buona progettazione dell'HMI. Non ha fornito

raccomandazioni specifiche su aspetti di progettazione dettagliati, ma ha comunque evidenziato alcune delle anomalie negli attuali progetti che sono già sul mercato. Si può sostenere che qui siamo su una ripida curva di apprendimento, con capacità di sistema in rapida evoluzione, ma questa non è certo una scusa per ignorare i principi di un buon design e il ruolo di quel buon design nel garantire la sicurezza del veicolo durante il funzionamento automatizzato.

L'uso di simboli standardizzati per le funzioni automatizzate richiede di affrontare il problema di progetti alternativi per le stesse esigenze. Ciò può essere utile in termini di buoni progetti che eventualmente soppiantano quelli più poveri, ma può anche causare confusione ed errori umani quando i conducenti passano da un veicolo all'altro. Ciò richiede un programma o comitato indipendente che dovrebbe identificare le migliori soluzioni alle varie sfide e quindi promulgare tali soluzioni sotto forma di accordi collettivi e standard. Questo compito è urgente, poiché più a lungo ci sarà una mancanza di comunanza e un fallimento nel raggiungere la "convenzionalità", maggiore sarà la proliferazione di approcci alternativi. La standardizzazione fornirà un mezzo importante per aiutare i conducenti a comprendere le loro auto automatizzate.

Capitolo 6

Normativa

Quello delle auto a guida autonoma appare come un settore con un grande potenziale di crescita, ma prima che si concretizzino le stime che parlano del possibile arrivo di centinaia di migliaia di veicoli senza conducente sulle strade, è presente un importante ostacolo da superare: la normativa. L'aspetto legale infatti potrebbe apparire un dettaglio, ma non lo è affatto: per passare da mezzi sperimentali e prototipi a vere e proprie autovetture commerciali è necessario che ci siano delle basi normative che consentano la libera circolazione in tutti i casi e in tutte le situazioni.

Al momento la SAE (Society of Automotive Engineers), come descritto nel capitolo 2, identifica 6 livelli di automazione che vanno dalla tradizionale guida, in cui tutti gli aspetti sono gestiti dal pilota (livello 0), passando per un'assistenza parziale (livelli 1 e 2), per raggiungere alti gradi di automazione in cui il veicolo può procedere praticamente da solo (livelli 3 e 4) e concludendo con la vera e propria guida senza bisogno di autista (livello 5, ossia l'automazione totale anche in condizioni meteo avverse).

Questa distinzione è importante perché a oggi sulle nostre strade possono circolare auto che presentano strumenti ausiliari e che rientrano nei livelli 1-2, ma la normativa attuale non consente ancora l'ingresso sul mercato di mezzi con guida autonoma di livello superiore. I primi, infatti, essendo dotati solo di uno o più sistemi di assistenza alla guida, non vengono considerati veri e propri veicoli autonomi, dal momento che necessitano della presenza di un guidatore attivo. Un mezzo a guida autonoma, ovvero dotato di tecnologie capaci di adottare comportamenti di guida senza l'intervento attivo di un pilota, non è attualmente omologabile.

Come si può capire il tema è complesso, al di là delle questioni tecnologiche, però, è l'aspetto burocratico quello su cui al momento ci sono più difficoltà, nel nostro Paese così come nel resto del mondo. Andando ad analizzare la legislazione in merito ci troviamo di fronte a un quadro articolato e, come prevedibile, pensato per un contesto tradizionale, o per meglio dire precedente all'epoca digitale. In Italia quindi dobbiamo fare i conti con il Codice della strada che definisce veicoli tutte le macchine circolanti su strada guidate dall'uomo, escludendo quindi a priori – ad una prima analisi – la possibilità di un'auto in grado di muoversi autonomamente.

Il punto cruciale nell'elaborazione di una normativa riguardo le *self driving cars* è individuare quale paradigma di responsabilità civile possa essere applicato in ipotesi di danni causati dalla macchina.

Si potrebbe anzitutto pensare ai robot quali beni di consumo e, pertanto, applicare la disciplina dei prodotti difettosi (responsabilità del produttore: **art. 114** Codice del Consumo, d.lgs. 206/2005: “*Il produttore è responsabile del danno cagionato da difetti del suo prodotto*”). Tuttavia, a differenze delle normali macchine il cui funzionamento è ben prevedibile a priori, le *self driving cars* si caratterizzano per essere dotate di sistemi di autoapprendimento che impediscono all'ingegnere di poter predire con estrema precisione come funzionerà il prodotto in questione nei diversi contesti in cui verrà inserito. Occorrerebbero a tal fine delle norme *ad hoc* che evidenzino quali standard minimi di sicurezza e design debba rispettare un robot pensante al fine di poter escludere qualsiasi difetto di produzione.

Ma cosa accade se il danno non deriva da un difetto del robot, ma da un suo comportamento? Una soluzione sarebbe applicare l'art. 2051 del codice civile (Danno cagionato da cose in custodia: “*Ciascuno è responsabile del danno cagionato dalle cose che ha in custodia, salvo che provi il caso fortuito*”) e imputare la responsabilità per danni a colui che ha la custodia sul bene.

Per quanto riguarda il più specifico settore delle *self driving cars* si può fare riferimento alle tradizionali categorie giuridiche proprie del diritto assicurativo, le quali, pur non cogliendo le specificità del fenomeno, forniscono una valida cornice normativa. La norma di riferimento è quella di cui all'art.1917 del codice civile tale norma obbliga l'assicuratore di tenere indenne l'assicurato di quanto questi, in conseguenza del fatto accaduto durante il tempo di validità della polizza, deve pagare ad un terzo, in dipendenza della responsabilità dedotta nel contratto. Sono esclusi, tuttavia, i danni derivanti da fatti dolosi; quindi, la funzione del contratto di assicurazione, come richiamato in questa disposizione, è quella di tenere indenne l'assicurato da un eventuale risarcimento dovuto ad un terzo. In particolare, nell'ipotesi di RC Auto, la responsabilità oggetto di copertura assicurativa è quella derivante dalla circolazione di veicoli prevista dall'art. 2054 cc. L'assicurazione liquida entro i limiti del massimale al proprio assicurato un indennizzo pari a quanto quest'ultimo deve corrispondere al terzo danneggiato.

Nonostante in Italia non siano ancora state introdotte le auto a guida autonoma, sono già presenti alcuni meccanismi che vengono installati sulle auto di più recente fabbricazione, i quali comportano un abbassamento del rischio di sinistri stradali: tra questi le “black boxes” (scatole nere), in gergo tecnico *Event Data Recorder (EDR)*. Si tratta di dispositivi elettronici portatili che vengono collocati nei veicoli e dotati di un localizzatore GPS collegato ad una centrale remota tramite una scheda telefonica, in grado di registrare e memorizzare la condotta tenuta dal conducente in occasione di un sinistro stradale e identificare la posizione, velocità e direzione di marcia del veicolo. Tali dispositivi sono in grado di misurare l'accelerazione del veicolo a seguito di un incidente, offrono la possibilità di ricostruire la dinamica di un sinistro e agevolano anche il ritrovamento del mezzo in caso di furto.

Quanto detto finora sui modelli assicurativi, dovrà in ogni caso essere rivisto con l'ingresso sul mercato delle *self driving cars*. La guida autonoma pone, infatti, una serie di problemi all'assetto normativo attuale.

Anzitutto, il problema relativo all'imputazione della colpa per danni arrecati a cose e persone. Poiché il livello 5 SAE – che non risulta ancora raggiunto dai veicoli in circolazione – non prevede l'azione dell'uomo, ma anzi la sua assenza, il guidatore non dovrebbe essere ritenuto responsabile qualora il veicolo sul quale è a bordo arrecasse danni a terzi.

Inoltre, con riferimento alle auto autonome non bisogna considerare solo il rischio di incidenti stradali, ma anche eventuali danni causati dall'intromissione di terzi nel sistema di connessione tra le auto e tra le auto e le infrastrutture. Qualora, ad esempio, un *hacker* riuscisse a manomettere il software di una sola driverless car, essa potrebbe inviare agli altri veicoli dati errati e ciò comporterebbe un collasso dell'intero sistema di comunicazione delle auto. Perciò, se da un lato non rileveranno più la distrazione, l'imprudenza o l'errore del conducente tra le cause di incidenti, dall'altro ci saranno nuovi fattori di rischio, tra i quali il *Cyber Risk* e possibili malfunzionamenti dei sistemi computerizzati delle automobili a guida autonoma. In quest'ultimo caso la responsabilità dovrebbe essere posta a carico del produttore del sistema di guida automatico (il quale, molto spesso, è un'azienda diversa da quella che costruisce il veicolo) affinché non venga

introdotto un modello assicurativo che si basi sulla responsabilità oggettiva del proprietario o passeggero dell'auto.

Particolare rilievo rivestirà, quindi, il cyber risk e il pericolo, ulteriore, che si abbia una fuoriuscita di dati personali. Le self driving cars, infatti, immagazzinano grandissime quantità di dati che, seppur non sono strettamente legati alla persona del proprietario, se vengono tra loro combinati possono fornire informazioni che l'interessato potrebbe desiderare non vengano divulgate, come ad esempio le registrazioni dell'orario di utilizzo dell'auto e la distanza percorsa che, se combinati, potrebbero con molta facilità permettere di risalire al luogo e all'orario di lavoro del conducente, o ad altri aspetti della sua vita privata.

6.1 Normativa Italiana

In Italia non vi sono stati molti interventi da parte delle autorità pubbliche sul tema della mobilità intelligente, seppur nel 2014 il Ministero dei Trasporti abbia pubblicato il **Piano di Azione Nazionale sui Sistemi Intelligenti di Trasporto (ITS)**. In questo documento si legge che l'iniziativa tecnico-giuridica che caratterizza più di tutte lo sviluppo e l'adozione degli ITS in Italia è rappresentata dal **Decreto-legge n. 179/2012**, il cui articolo 8, rubricato *Misure per l'innovazione dei sistemi di trasporto*, recepisce la **Direttiva europea n. 40 del 2010** relativa al *Quadro generale per la diffusione dei Sistemi Intelligenti di Trasporto (ITS) nel settore del trasporto stradale e nelle interfacce con altri modi di trasporto*. Vengono così individuati i settori di intervento e gli obiettivi prioritari per la diffusione e l'utilizzo di sistemi di trasporto intelligenti sul territorio nazionale:

- a) *uso ottimale dei dati relativi alle strade, al traffico e alla mobilità;*
- b) *continuità dei servizi ITS di gestione del traffico e del trasporto merci;*
- c) *applicazioni ITS per la sicurezza stradale e la sicurezza del trasporto;*
- d) *collegamento telematico tra veicoli e infrastruttura di trasporto.*

In questi ambiti settoriali i sistemi intelligenti di trasporto devono garantire:

- a) *la predisposizione di servizi di informazione sulla mobilità multimodale;*
- b) *la predisposizione di servizi di informazione sul traffico in tempo reale;*
- c) *i dati e le procedure per la comunicazione gratuita agli utenti, ove possibile, di informazioni minime universali sul traffico connesse alla sicurezza stradale;*
- d) *la predisposizione armonizzata di un servizio elettronico di chiamata di emergenza (eCall) interoperabile;*
- e) *la predisposizione di servizi d'informazione per aree di parcheggio sicure per gli automezzi pesanti e i veicoli commerciali;*
- f) *la predisposizione di servizi di prenotazione per aree di parcheggio sicure per gli automezzi pesanti e i veicoli commerciali.*

Inoltre, si prescrive che gli enti proprietari e i gestori di infrastrutture di aree di sosta e di servizio e di nodi intermodali sul territorio nazionale debbano essere in possesso di una banca dati relativa all'infrastruttura e al servizio di propria competenza, da tenere costantemente aggiornata.

Sulla base di ciò, il Piano di Azione Nazionale definisce i principi a cui devono sottostare la progettazione e la realizzazione di tali sistemi (*in primis* efficienza, parità di accesso, assicurazione dell'intermodalità e dell'interoperabilità al fine di assicurare che i sistemi e i processi commerciali che li sottendono dispongano della capacità di condivisione di

informazioni e dati). Il Piano, inoltre, prescrive che le competenti Autorità nazionali si impegnino a promuovere, tra le altre cose, la costruzione di una piattaforma telematica nazionale; l'elaborazione e l'utilizzazione di standard tecnici per la progettazione degli ITS; l'introduzione di un modello di classificazione delle strade che tenga in considerazione le tecnologie ITS presenti; l'utilizzo di tecnologie a bordo delle auto che consentano la comunicazione V2V e V2I; la costituzione un database riportante i benefici ottenuti dalle diverse utenze in ragione dell'utilizzo delle applicazioni ITS; l'utilizzo del sistema satellitare EGNOS e GALILEO per i servizi di navigazione satellitare di supporto al trasporto di persone e merci e lo sviluppo di un sistema di trasmissione delle chiamate di emergenza dei veicoli (e-call).

Al fine di garantire che i progetti in materia ITS rispettino i principi e gli scopi del Piano di azione, il Decreto interministeriale n. 72 dell'1.02.2013 prevede l'istituzione di un **comitato di indirizzo e coordinamento delle iniziative in materia di ITS (ComITS)**, presieduto dal Capo del Dipartimento dei trasporti e composto dai Direttori delle Direzione Generali per la motorizzazione, per la sicurezza stradale, per il trasporto stradale e l'intermodalità, per i sistemi informativi, statistici e la comunicazione, per lo sviluppo del territorio, la programmazione ed i progetti internazionali, per le infrastrutture stradali del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti e da un rappresentante di ciascuno dei Ministeri concertanti. Il ComITS deve esprimere, in particolare, pareri vincolanti in merito alla compatibilità e alla coerenza dei singoli progetti nel settore ITS che prevedono l'utilizzo di finanziamenti pubblici.

Inoltre, il 28 febbraio 2018 il Ministero delle infrastrutture e dei trasporti ha adottato il Decreto relativo alle modalità attuative e strumenti della sperimentazione su strada delle soluzioni di Smart Road e di guida connessa ed automatica, relativo alla sperimentazione delle auto a guida autonoma e all'adattamento delle infrastrutture. Nel decreto si legge che prima di investire finanziamenti pubblici nella creazione di nuovi tratti stradali, è opportuno inserire le tecnologie ITS a disposizione sulle strade già esistenti. Inoltre, nel decreto, nonostante non si faccia menzione dei livelli SAE di automazione, si può intuire che il termine guida autonoma vada ricondotto ai soli veicoli dotati di tecnologie di livello SAE 5; si tratta, perciò, di veicoli totalmente autonomi. L'autorizzazione alla sperimentazione viene rilasciata dal Ministero delle infrastrutture e dei trasporti ed ha la durata di un anno. Può essere chiesta dal costruttore del veicolo, dagli istituti universitari e dagli enti di ricerca sia privati sia pubblici relativamente a veicoli che siano già omologati, nella versione priva delle tecnologie di guida automatica, secondo la normativa vigente. Nel caso in cui il richiedente sia un soggetto diverso dal costruttore, deve essere allegato il nulla osta del costruttore del veicolo. I veicoli verranno poi registrati in un apposito registro tenuto dall'autorità autorizzante e dovranno esporre un contrassegno speciale di autorizzazione. L'art. 10 del decreto prevede che la sperimentazione avvenga in presenza di un supervisore, il quale: possieda da almeno cinque anni la patente di guida per la classe del veicolo in prova, abbia superato con successo un corso di guida apposito presso un ente accreditato in un Paese dell'Unione europea, abbia già condotto prove su veicoli a guida automatica in sede protetta o su strade pubbliche anche all'estero, purché in uno stato in cui la sperimentazione sia regolamentata, per una percorrenza di almeno mille chilometri e possieda documentate conoscenze per poter prendere parte all'esperimento in veste di supervisore. Il supervisore, inoltre, deve essere in grado di commutare tempestivamente tra operatività del veicolo in modo automatico e operatività dello stesso in modo manuale e viceversa, poiché egli ha la responsabilità del veicolo in entrambe le modalità operative.

6.2 Cenni sulla normativa Europea ed extra-Europea

Nel frattempo, anche l'UE sta lavorando per affrontare la questione a tutto tondo. Lo scopo è quello di mettere le basi per una regolamentazione comune che riguardi tutti i tipi di trasporto a condotta autonoma su gomma e rotaia, marittimi e droni, assicurando l'interoperatività a livello globale, introducendo l'obbligo di "scatole nere" per migliorare gli accertamenti a seguito di incidenti, prendendo in considerazione gli aspetti che riguardano la protezione dei dati dei soggetti interessati e aggiungendo un'attenzione particolare alle persone con disabilità.

La **Francia** è uno dei primi Paesi europei a dotarsi di una normativa pensata per consentire la circolazione dei veicoli a guida autonoma. Per raggiungere questo obiettivo, infatti, non bisogna solo superare ostacoli di carattere tecnico, ma anche arrivare ad approvare norme che disciplinino le peculiarità di un'attività che non può essere assimilata alla conduzione di vetture a guida manuale o assistita.

Il decreto francese apporta modifiche al Codice della strada e al Codice dei trasporti. Uno dei pilastri della nuova normativa riguarda le modifiche alle regole sulla responsabilità penale del conducente. Prima della modifica il Codice della strada prendeva solo in considerazione l'ipotesi che a condurre il veicolo fosse una persona, ma le nuove regole prendono atto che il controllo possa essere affidato ad un sistema di guida automatizzato. Con le nuove norme il conducente può liberarsi dalla responsabilità penale, a patto che il sistema di guida autonoma sia impiegato in conformità ai suoi termini di utilizzo; vale a dire innanzitutto rispettando le prescrizioni del produttore del veicolo sulle modalità di impiego. In concreto, se un veicolo a guida autonoma causa un incidente, e se il sistema è stato usato correttamente, il guidatore non sarà penalmente responsabile.

Nel **Regno Unito**, invece, una legislazione in materia di SDV's esiste già dal 2015, recentemente aggiornata con un nuovo Codice di pratiche per la sperimentazione dei veicoli automatizzati. In particolare, la conduzione di test sugli SDVs è consentita a tutti i livelli a condizione che vengano soddisfatti tre requisiti: (i) la presenza di un guidatore all'interno del veicolo o in immediata prossimità; (ii) un veicolo adatto alla circolazione stradale; e (iii) una copertura assicurativa conforme alla legge. Qualora il test venga condotto in assenza di guidatore all'interno del veicolo, è comunque necessaria la presenza di un operatore dotato di un controllo remoto sullo stesso così da poter effettivamente intervenire in caso di necessità.

Iniziative significative sono state intraprese anche al di fuori dell'Unione Europea. **Singapore**, ad esempio, è stato uno dei primi Paesi ad introdurre una disciplina della sperimentazione dei veicoli a guida autonoma. Queste disposizioni, pur non imponendo la necessità di un guidatore per i veicoli a motore, non eliminano del tutto la presenza dell'essere umano, il quale deve comunque essere presente a bordo qualora dovessero sorgere problemi.

Negli **Stati Uniti**, alcune aziende della Silicon Valley stanno collaudando veicoli automatizzati già da diversi anni. Tuttavia, in alcuni Stati l'utilizzo di tali veicoli sulle strade è stato vietato. Il Congresso sta discutendo un progetto di legge per l'adozione del Self-Drive Act, che introdurrà principi simili a quelli del quadro dell'Unione per

l'omologazione dei veicoli, al fine di evitare che alcuni Stati adottino leggi che contravvengano alle normative federali in materia.

In Ontario, **Canada**, invece, i test su strada dei SDVs erano stati autorizzati già dal Regolamento 306/15, recentemente modificato dal 1° gennaio 2019. La normativa prevede, in particolare, che ogni veicolo automatico (condotto da un guidatore) deve essere dotato di un meccanismo facilmente accessibile in grado di attivare e disattivare il pilota automatico. Inoltre, deve essere predisposto un sistema di allerta che segnali al guidatore ogni problema che possa sorgere durante la conduzione automatica, e che gli consenta di riprendere il controllo di tutte le funzioni di guida o, in alternativa, che sia in grado di arrestare il veicolo in completa sicurezza. Il guidatore del veicolo deve rimanere seduto al volante per tutta la durata dell'esperimento e monitorarne lo svolgimento, e deve essere in possesso di una autorizzazione alla sua conduzione.

In **Russia**, infine, in data 26 novembre 2018 il Governo ha emanato un Regolamento che consente per la prima volta di testare su strada i SDVs tramite esperimenti che verranno condotti dal 1° marzo 2019 al 1° marzo 2022. Al fine di partecipare alla sperimentazione, è necessario ottenere un certificato di conformità del veicolo con requisiti di sicurezza già introdotti allo stadio della progettazione, rilasciato dal Ministero degli Interni. Il proprietario del veicolo è tenuto a registrare durante l'esperimento le azioni del guidatore e la situazione del traffico circostante, ed è dichiarato pienamente responsabile degli eventuali incidenti, fatte salve le ipotesi di condotta colposa di terzi.

6.3 Normativa ed intelligenza artificiale (IA)

Il 21 aprile 2021, la Commissione Europea ha pubblicato la COM (2021) 206 contenente una proposta di regolamento sull'utilizzo dell'intelligenza artificiale. La proposta di Regolamento è ambiziosa, ma focalizzata principalmente su determinati usi dell'Intelligenza Artificiale considerati ad alto rischio.

L'obiettivo principale della proposta, che rientra nella strategia complessiva dell'UE in materia, è **duplice**:

- fare in modo che l'uso dell'IA avvenga nel rispetto dei diritti fondamentali e dei valori europei;
- al contempo assicurarsi che la regolamentazione europea dell'IA sia equilibrata, proporzionata e non limiti inutilmente lo sviluppo tecnologico, anzi lo promuova sviluppando la fiducia in questa tecnologia.

In sostanza, l'obiettivo è quello di garantire all'UE di acquisire e preservare una leadership tecnologica, assicurandosi però che i cittadini europei possano beneficiare delle nuove tecnologie di IA senza rinunciare a quei valori e principi che caratterizzano il nostro sistema giuridico comune.

Il Regolamento si applica all'immissione sul mercato, alla messa in servizio e all'uso di "sistemi di IA".

Questi ultimi sono definiti in maniera piuttosto ampia dal Regolamento come software, sviluppati con tecniche specificamente elencate dal Regolamento stesso, che siano in grado di generare contenuti, previsioni, decisioni o raccomandazioni in grado di influenzare l'ambiente con cui interagiscono.

Il Regolamento divide gli usi in base al rischio, basso, medio o elevato.

Tuttavia, la gran parte dei requisiti del Regolamento riguardano solo determinati sistemi di IA considerati "ad alto rischio". La maggior parte degli attuali usi (come i sistemi di raccomandazione) sono considerati a basso rischio.

Il Regolamento non si applica invece ai sistemi di IA utilizzati esclusivamente per scopi militari. Le tecnologie a duplice uso, civile e militare, sembrerebbero invece rientrare nell'ambito di applicazione del Regolamento.

Per quanto riguarda l'ambito di applicazione **territoriale**, il Regolamento si applica sia agli operatori europei che a quei fornitori o utenti di sistemi di IA stabiliti al di fuori dell'Ue qualora l'"output" dei sistemi sviluppati o utilizzati dagli stessi venga utilizzato all'intero dell'Ue.

Il Regolamento non si applica però né alle autorità pubbliche in paesi terzi né alle organizzazioni internazionali, ma solo qualora tali autorità od organizzazioni utilizzino sistemi di IA nell'ambito di programmi di cooperazione giudiziaria o investigativa con l'Ue o con uno Stato Membro.

L'ambito di applicazione territoriale del Regolamento è quindi piuttosto ampio, in linea con l'approccio seguito da altre normative di derivazione europea, quali il GDPR.

Il Regolamento vieta in termini sostanzialmente assoluti una serie di possibili usi di alcuni sistemi di IA; quali:

1. La vendita e l'uso di sistemi di IA che utilizzano tecniche **subliminali** per distorcere in maniera sostanziale il comportamento di una persona, così causando, o potendo causare, danni fisici o psichici a quella persona o ad altri.
2. La vendita e l'uso di sistemi di IA che sfruttano una **vulnerabilità** legata all'età o ad una disabilità di uno specifico gruppo di persone al fine di distorcere in maniera sostanziale il comportamento di una persona appartenente al gruppo, così causando o potendo causare danni fisici o psicologici a quella persona o a terzi.
3. L'uso di sistemi di **social scoring** (tipo quelli utilizzati in Cina) da parte delle autorità pubbliche o da parte di chi agisce per conto delle stesse.
4. L'uso in tempo reale di sistemi di **identificazione biometrica da remoto** (come i sistemi di riconoscimento facciale) in luoghi accessibili al pubblico per finalità di repressione dei reati. Il Regolamento però prevede svariate eccezioni a questo divieto e lascia in parte liberi gli Stati Membri di consentire e regolamentare l'uso di questo tipo di sistemi di IA.

Il Regolamento qualifica come "sistemi di IA ad alto rischio" una serie di tecnologie che **creano rischi elevati per la salute, la sicurezza o i diritti fondamentali delle persone**. Il Regolamento prevede due principali categorie di "sistemi di IA ad alto rischio":

1. I sistemi di IA destinati ad essere utilizzati come componenti di sicurezza di prodotti soggetti a valutazione di conformità secondo quanto previsto da altre norme europee (specificamente elencate in un allegato del Regolamento). Si tratta, ad esempio, di sistemi di IA destinati ad essere utilizzati come componenti di sicurezza di dispositivi medici, apparecchiature radio, ascensori, giocattoli, ecc.
2. Una serie di sistemi di IA specificamente elencati in un allegato del Regolamento, tra cui i sistemi di IA da utilizzare per la selezione del personale, i sistemi di IA per valutare la solvibilità delle persone, i sistemi di polizia predittiva, ecc. Tale lista potrà essere integrata dalla Commissione nel corso del tempo seguendo una serie di criteri fissati dal Regolamento stesso.

La verifica di questi sistemi ad alto rischio avverrà attraverso “procedure di valutazione della conformità”, secondo modalità identiche o analoghe a quelle già previste per altri prodotti regolamentati a livello europeo, come i dispositivi medici, le apparecchiature elettroniche, ecc. Infatti, per alcune categorie di sistemi di IA, sarà il produttore stesso a valutare in maniera autonoma la conformità dei propri sistemi di IA ai requisiti del Regolamento, mentre per altri sistemi sarà necessario coinvolgere un organismo esterno di valutazione della conformità. Questo sistema di *conformity assessment* sarà facilitato dall’adozione di appositi standard di riferimento (per categorie di sistemi di IA) da parte degli enti di normazione quali ISO e CEN.

Una volta effettuata con successo la “procedura di valutazione della conformità”, i sistemi di IA dovranno essere marcati CE. Alcuni sistemi dovranno inoltre essere registrati in un apposito database accessibile al pubblico. Solo a questo punto, potranno essere immessi sul mercato. La marcatura CE e la registrazione nel suddetto database saranno quindi i principali strumenti che consentiranno di valutare facilmente, almeno in prima battuta, quali sono quei prodotti e tecnologie che rispondono alla normativa europea.

Per quanto riguarda gli aspetti istituzionali, il Regolamento prevede la creazione di un Comitato europeo per l’intelligenza artificiale. Si tratta di un organismo, in parte simile al Comitato europeo per la protezione dei dati (EDPB), con lo specifico incarico di sorvegliare la corretta applicazione del Regolamento nei vari Stati Membri e di elaborare linee guida in materia.

I fornitori di sistemi di IA sono tenuti ad implementare sistemi volti a monitorare l’uso dei sistemi di IA che immettono sul mercato per verificare se gli stessi rimangono conformi al Regolamento nel corso del proprio ciclo di vita. Sono inoltre tenuti a segnalare alle autorità competenti eventuali malfunzionamenti ed incidenti che dovessero riscontrare attraverso tale attività di monitoraggio.

Il Regolamento prevede che le autorità competenti, individuate da ciascuno Stato Membro, potranno comminare sanzioni amministrative fino a 30.000.000 euro o 6% del fatturato annuo mondiale in caso di violazioni del Regolamento. Le sanzioni applicabili sarebbero quindi maggiori di quelle previste dal GDPR, ma risulterebbero in linea con quelle previste dal Digital Services Act, secondo il testo proposto dalla Commissione.

Il testo del Regolamento si può dire che funge da punto di riferimento per la regolamentazione dell’Intelligenza Artificiale a livello globale, in quanto si tratta del primo tentativo mondiale di regolamentare l’uso di questa tecnologia avanzata. In questo modo l’Unione Europea si conferma uno dei player di riferimento per la regolamentazione delle nuove tecnologie digitali.

Detto ciò, possiamo dire che le self-driving cars rientrano nella categoria del rischio elevato e quindi devono seguire le regole dei sistemi AI che creano un rischio elevato per la salute e la sicurezza o i diritti fondamentali delle persone fisiche. Di conseguenza sono consentiti sul mercato solo dopo aver verificato che siano conformi. Ciò significa che un sistema di guida automatico dei veicoli deve essere *compliant* con le prescrizioni dettate dal Regolamento, considerando che presenta potenzialmente un rischio elevato per la salute e la sicurezza: in questo senso, essenziale il rispetto di quanto dettato dall'articolo 10, che richiede lo sviluppo dei modelli sulla base di serie di dati di addestramento, convalida e prova che soddisfano alcuni criteri di qualità, tenuto conto di scelte progettuali pertinenti, raccolta dei dati, pertinenti operazioni di trattamento della preparazione dei dati, quali annotazione, etichettatura, pulizia, arricchimento e aggregazione, formulazione delle ipotesi pertinenti, in particolare per quanto riguarda le informazioni che i dati dovrebbero misurare e rappresentare, valutazione preliminare della disponibilità, della quantità e dell'adeguatezza delle serie di dati necessari, esame in vista di possibili distorsioni e identificazione di eventuali lacune o carenze di dati e il modo in cui tali lacune e carenze possono essere affrontate.

In questo senso è assolutamente prioritario e obbligatorio realizzare un sistema di gestione dei rischi, consistente in un processo iterativo continuo durante l'intero ciclo di vita con aggiornamento sistematico regolare, strutturato in modo tale da identificare ed analizzare non solo i rischi noti e prevedibili, associati a ciascun sistema di intelligenza artificiale ad alto rischio, ma anche stimare e valutare rischi che possono emergere quando il sistema di intelligenza artificiale ad alto rischio è utilizzato conformemente alla sua destinazione e in condizioni di uso improprio ragionevolmente prevedibili.

6.4 Normativa negli Stati Uniti

6.4.1 Progressi nei test e nella pratica delle auto a guida autonoma negli Stati Uniti

La California è stato il primo stato degli Stati Uniti a cimentarsi nel campo delle auto a guida autonoma. Il 26 febbraio 2018, il Dipartimento dei veicoli a motore della California (DMV) ha emesso un nuovo approccio gestionale relativo alle auto a guida autonoma. Nell'ambito di questo programma, le auto a guida autonoma potevano eseguire il test di guida completamente automatizzato senza conducenti umani. Il 2 marzo 2018, la California DMV ha annunciato che il primo permesso sarebbe stato rilasciato il 2 aprile, con un periodo di preavviso di 30 giorni. Dopo il 2 aprile 2018, le aziende potrebbero richiedere al DMV della California tre tipi di permessi per i test su veicoli autonomi: un permesso di test senza conducente, un permesso di test con conducente e un permesso per il sistema di distribuzione a guida autonoma. In California, aziende come Uber e Google hanno attivamente richiesto di essere tra i primi tester, il che ha rappresentato un grande balzo in avanti per l'industria della guida autonoma negli Stati Uniti. Il DMV della California ha rilasciato quasi 300 permessi per auto a guida autonoma dopo i test.

Al momento, un totale di 50 aziende, sono state autorizzate a testare le auto a guida autonoma e quasi 1000 conducenti esperti sono stati approvati per testarle. Dopo l'entrata in vigore delle nuove normative sull'implementazione delle auto a guida autonoma in California, sarebbe consentito guidare senza un guidatore umano in completa autonomia. Nel frattempo, è in corso l'implementazione di un piano di test su strada su larga scala. L'azienda pionieristica di Google ha aperto al pubblico la sua piattaforma tecnologica per

la guida autonoma, fornendo supporto tecnico gratuito alle aziende e alle case automobilistiche di tutto il mondo.

Per quanto riguarda la legislazione sui veicoli autonomi, la legge del Congresso degli Stati Uniti avrà la priorità sulle normative emanate dai singoli stati del sistema federale; questo, a sua volta, è destinato ad avere un impatto su tutti i sistemi normativi già in essere negli Stati federali. Il National Self-Driving Bill era in stallo al Senato verso la fine del 2018, quando il Senato ha contestato la mancanza di misure di sicurezza e l'eccessiva libertà data dal disegno di legge ai produttori di auto autonome. Noto per la sua tradizione di legislazione conservatrice, gli Stati Uniti non pubblicheranno una legge nazionale unificata sulla guida autonoma nel prossimo futuro. Tra pochi anni, il Dipartimento dei trasporti degli Stati Uniti dovrebbe emettere la politica sulla guida autonoma 3.0, ma questa sarebbe solo una politica di guida volontaria.

Prima che il National Self-Driving Bill potesse essere approvato, più di 20 stati federali avevano emanato regolamenti sulle auto a guida autonoma negli Stati Uniti. In effetti, diversi stati hanno standard tecnici diversi, rendendo così difficile per le case automobilistiche la possibilità di soddisfare l'accesso tecnico ed i requisiti di prova su strada dei rispettivi dipartimenti di gestione del traffico.

Pertanto, la legislazione regionale deve disporre di un quadro legislativo flessibile per rispondere al cambiamento delle esigenze e delle priorità. Allo stesso tempo, l'innovazione tecnica per i test su strada richiede libertà legale in termini, ad esempio, di infrastrutture stradali, segnali stradali, aggiornamenti dei dati ed impostazione delle politiche locali. Gli stati potrebbero ancora avere le proprie regole per le licenze, l'immatricolazione delle auto, le ispezioni di sicurezza e i requisiti assicurativi: un'arena normativa simile a quella che gli stati hanno sempre occupato.

La legislazione federale, tuttavia, non dovrebbe approfondire troppo il vero business, compresa la definizione del design, della produzione e dei dettagli operativi delle auto a guida autonoma perché gli stati hanno già una legislazione in vigore in relazione a questi campi. Gli stati hanno stabilito le loro normative locali mediante la definizione di termini, quali un veicolo completamente autonomo o un sistema di guida automatizzata. In diversi stati, i sistemi di trasporto pubblico hanno emesso ordini esecutivi, istituendo consigli consultivi professionali e gruppi di lavoro. Questi funzionari pubblici decidono come i loro stati dovrebbero procedere per quanto riguarda l'industria automobilistica.

Case automobilistiche come General Motors e Ford, così come Apple e Waymo, hanno lavorato alla tecnologia delle auto a guida autonoma. Le auto a guida autonoma diventeranno presto comuni nelle strade di tutto il mondo. Nel prossimo futuro, se i veicoli autonomi circolano e si mescolano con i veicoli a guida manuale nel traffico reale, potrebbero esserci implicazioni normative e avremmo bisogno degli strumenti per affrontarli. In effetti, è un passo positivo che il governo federale e gli stati stiano lavorando a stretto contatto per coltivare questa tecnologia e affrontare i problemi in modo amichevole.

6.4.2 Analisi della normativa sulle auto a guida autonoma negli Stati Uniti

La Camera dei Rappresentanti degli Stati Uniti ha approvato all'unanimità il primo Self-drive Act (HR3388) del paese il 6 settembre 2017, che ha rivisto il codice del traffico degli Stati Uniti, stipulando l'autorità di regolamentazione della National Highway Traffic Safety Administration (o NHTSA) sulla guida autonoma automobili e intraprendere azioni normative uniche per garantire misure di sicurezza per i veicoli autonomi. Ora

riassumiamo le disposizioni dettagliate dei vari aspetti del Federal Self-drive Act degli Stati Uniti, inclusi i seguenti aspetti:

6.4.3 Regolamento federale solo con effetto consultivo

L'attuale Federal Motor Vehicle Safety Standard (FMVSS) è stato emesso da NHTSA, che si basa sui produttori di veicoli tradizionali in termini di progettazione e produzione di condizioni di accesso automobilistico e standard di produzione di parti automobilistiche. Le case automobilistiche tradizionali devono rispettare rigorosamente le disposizioni tecniche tradizionali. Il sistema di guida manuale che non soddisfa i Federal Vehicle Standards (FVS) potrebbe non entrare nel mercato.

FMVSS prescrive gli standard legali diretti per la guida tradizionale di un'auto; pertanto, i suoi vari regolamenti e indici tecnici si basano principalmente su una qualifica standard per la guida di veicoli. È difficile applicare i requisiti dello standard di sicurezza federale basato sulla responsabilità operativa dei conducenti dei veicoli tradizionali alle auto a guida autonoma.

Prima dell'attuazione dello schema di guida autonoma, l'NHTSA ha emesso 2500 esenzioni annuali dall'attuale FMVSS, consentendo alle case automobilistiche di testare su strada un numero corrispondente di auto a guida autonoma. Il piano di guida autonoma aumenterebbe gradualmente il limite delle esenzioni annuali di veicoli, con NHTSA in grado di emettere 25.000 esenzioni nel primo anno, 50.000 nel secondo e 100.000 nel terzo e quarto anno. In base alla clausola di esenzione, le auto a guida autonoma possono essere testate sulle strade statali purché rientrino nei limiti legali e purché il produttore dell'auto possa garantire che la strada sia sicura.

Il Federal Self-Drive Act sembra pratico e appropriato ed è accolto con favore dal pubblico perché mantiene il ruolo distintivo del governo federale. La legge probabilmente è un'affermazione del governo federale per continuare il suo ruolo nella regolamentazione della sicurezza delle auto, lasciando la patente di guida, i requisiti assicurativi e le norme sulla circolazione stradale agli stati.

L'obiettivo principale del Self-drive Act è creare un regolamento unificato sulla sicurezza dei veicoli in assenza di leggi federali dirette. Il governo federale degli Stati Uniti ha la responsabilità di capire come regolamentare questi veicoli affinché funzionino senza problemi in tutta la nazione. Sulla base della storia della legislazione, sappiamo che vari stati presentano nuovi progetti di legge e revisionano continuamente la legislazione su scala federale.

6.4.4 Regolamentazione unificata della supervisione dei test

Oltre allo United States Self-drive Act, gli stati sono ancora responsabili dell'immatricolazione delle auto, delle domande di assicurazione e dei test sulle emissioni di carburante, ma i requisiti di progettazione, produzione e prestazioni sono disciplinati dalla legge federale. Gli Stati hanno il diritto di proporre solo standard di prestazione più elevati rispetto a quelli stabiliti dalle leggi federali per l'uso di veicoli autonomi.

La legge ha affermato che l'NHTSA dovrebbe emettere una norma finale che imponga ai produttori di auto a guida autonoma di presentare valutazioni di sicurezza dei loro veicoli entro un periodo di due anni dalla data di approvazione del disegno di legge. Il certificato di valutazione della sicurezza deve includere i seguenti criteri: le specifiche e le qualifiche

di ciascun dettaglio di produzione, i risultati dei test, il principio di riservatezza dei dati, lo standard di progettazione e altri fattori tecnici.

Inoltre, nell'arco di un anno dalla data di attuazione del Self-drive Act, NHTSA è stato tenuto a sviluppare, pubblicare e presentare alla Camera e al Senato un piano prioritario di sicurezza per stabilire nuovi standard tecnici, incluso un piano aggiornato di un certificato di valutazione della sicurezza e delle carte elettroniche che convalideranno un'auto a guida autonoma è sicura sulla strada e collaborerà con altri veicoli a motore. La legge affermava che per i veicoli autonomi, gli standard di sicurezza dovrebbero coprire interfacce uomo-computer, sensori, attuatori, software e informazioni di rete.

6.4.5 Istituire un comitato consultivo per le auto a guida autonoma

La legge proponeva che l'NHTSA preparasse un comitato consultivo per le auto a guida autonoma, che dovrebbe essere formato sei mesi dopo l'approvazione ufficiale del disegno di legge. Le principali responsabilità del comitato consultivo per i veicoli autonomi sono la raccolta di opinioni, il miglioramento della legislazione, la tutela della privacy, occupandosi della gestione della sicurezza dei dati, tra le altre funzioni. Un'auto a guida autonoma sarà una grande risorsa per le persone disabili, aiutandole in termini di mobilità, e per gli anziani che perdono la capacità di guidare.

Pertanto, la mobilità dei disabili e la qualità della vita degli anziani saranno notevolmente migliorate. La legge ha inoltre fornito consulenza e soluzioni al governo federale e alle autorità dei trasporti attraverso innovazioni nei settori della copertura assicurativa, della divisione della responsabilità in caso di incidente e della protezione delle vite umane.

6.5 Normativa in Cina

La Cina sta ora sviluppando strade per auto a guida autonoma. La Commissione municipale dei trasporti di Pechino ha rilasciato una dichiarazione in cui afferma che le società registrate in Cina sarebbero in grado di testare i propri veicoli autonomi su determinate strade e in determinate condizioni. In passato le autorità cinesi avevano vietato la circolazione dei veicoli a guida autonoma sulle autostrade del paese, finché non sono usciti i nuovi regolamenti che potrebbero essere approvati. Questi, tuttavia, sono stati lenti ad arrivare; ad esempio, la società cinese Baidu e il suo amministratore delegato Robin Li sono stati presi di mira nel 2017 per aver condotto una dimostrazione apparentemente illegale per rivelare la tecnologia dell'auto a guida autonoma.

I nuovi regolamenti consentirebbero alle aziende manifatturiere di richiedere targhe temporanee per i veicoli di prova. Questi veicoli richiederebbero un'assicurazione di responsabilità civile per incidenti stradali; inoltre, un essere umano dovrebbe sedersi al volante per prendere il controllo se qualcosa va storto e per cercare di evitare situazioni pericolose. La Cina si unisce così, con il nuovo regolamento, al team pionieristico per coltivare la tecnologia di guida autonoma.

Nel 2018, Pechino aveva emesso targhe temporanee per i veicoli a guida autonoma di Baidu da testare su strade pubbliche. Per i test sulle auto, la capitale aveva aperto 33 strade, per una lunghezza totale di 105 km, al di fuori del quinto raccordo anulare e lontano da aree densamente popolate. Secondo i regolamenti e le linee guida di Pechino sulle auto a guida autonoma per i test su strada, solo i veicoli autonomi che avevano completato 5000 km di guida in appositi campi di prova chiusi e avevano superato con successo le valutazioni, sarebbero stati idonei per i test su strada pubblica.

I veicoli di prova devono essere dotati di dispositivi di un sistema monitoraggio. Il sistema di informazione centrale a distanza dovrebbe essere in grado di raccogliere istantaneamente informazioni sulla posizione del veicolo e definire se un veicolo è in modalità di guida autonoma. Gli esaminatori di guida sono tenuti a completare 50 ore di formazione sulla guida autonoma. Pechino ha costruito il suo primo campo prova chiuso in un'area di circa 13 ettari nel distretto di Haidian. La licenza per la prova su strada è valida per 30 giorni, ma i titolari della licenza possono richiedere il rinnovo.

6.5.1 Stato della legislazione cinese sulle auto a guida autonoma

Nell'ultimo decennio, con un progresso tecnologico sempre crescente, la legislazione cinese sulle auto a guida autonoma è stata all'ordine del giorno. Il 25 aprile 2017, la Commissione nazionale cinese per lo sviluppo e la riforma, il Ministero cinese della scienza e della tecnologia e il Ministero cinese dell'industria e della tecnologia dell'informazione hanno pubblicato il piano di sviluppo a lungo termine per l'industria automobilistica. Inoltre, il 12 giugno 2017, la Cina, per la prima volta, ha discusso il tema del percorso tecnologico sulla guida autonoma e il quadro standard. Guidata dal Ministero dei trasporti, è stata formalmente annunciata la National Industry Standard Networking System Construction Guide for Intelligent-made Cars (2017) (bozza) (di seguito denominata "la System Construction Guide").

In conformità con lo spirito della "Guida alla costruzione del sistema di veicoli intelligenti", le auto a guida autonoma cinesi lavorano sul percorso di sviluppo strategico dei siti di "controllo a distanza" più "connessione di rete". La Cina si impegna a condividere dati e tecnologie operative con diversi produttori di auto e altri partner rilevanti come il sistema decisionale intelligente, il centro di controllo collaborativo e il complesso sistema di percezione dell'ambiente.

La linea guida sull'accelerazione dei test su strada dei veicoli a guida autonoma a Pechino è stata pubblicata ufficialmente nel dicembre 2017, che è stato un momento spartiacque, in quanto è stato il primo regolamento a guidare effettivamente i test su strada in Cina. Il 28 febbraio 2018, la Commissione municipale per l'economia e la tecnologia dell'informazione di Shanghai, la Commissione municipale dei trasporti di Shanghai e l'Ufficio municipale per la sicurezza pubblica di Shanghai hanno annunciato congiuntamente la "Misura amministrativa per la gestione dei test su strada dei veicoli Smart Network Alliance (di seguito denominata come "Provvedimento Amministrativo"). I provvedimenti amministrativi sono una forma legislativa, che descrive in dettaglio le regole della prova su strada, le ripercussioni sull'esercizio abusivo, le condizioni applicative, la gestione della prova e l'approccio adottato in caso di incidente.

Il 20 marzo 2018, la Cina ha pubblicato ufficialmente le Linee guida sulla regolamentazione dei test su strada dei veicoli a guida intelligente a Shenzhen. C'è un'enorme prospettiva di mercato e di domanda di veicoli a guida autonoma, che ora sembra poter essere a portata di mano. I principali produttori in Cina continuano a realizzare importanti progressi tecnologici nelle auto a guida autonoma; tuttavia, non possono ignorare il fatto che il comportamento di guida di questi veicoli autonomi è complesso, coinvolgendo la sicurezza pubblica, le regole sociali e l'etica.

Ci sono ancora troppi problemi tra la svolta tecnologica e la reale operazione su larga scala che dobbiamo risolvere. Qui entra in gioco la saggezza dei legislatori in Cina, poiché il pubblico fa affidamento sulle regole stabilite da loro che garantiranno un uso sicuro e

quotidiano dei trasporti pubblici; hanno quindi bisogno di bilanciare il rapporto tra innovazione tecnica e la sicurezza pubblica. In una certa misura, svolge anche un ruolo importante che influisce sul destino delle nuove tecnologie e delle imprese correlate.

Capitolo 7

Conclusioni

Lo scopo di questa tesi, come enunciato nel sommario, è quello di descrivere da un punto di vista generale cosa sono e come funzionano i veicoli a guida autonoma. Dalla ricerca eseguita si è visto che con veicoli a guida autonoma non si considerano solo le auto in grado di guidare da sole senza conducente e senza comandi, ma vengono prese in considerazione anche tutti i veicoli che forniscono un supporto alla guida in modo da agevolare il conducente; e queste sono le auto che vediamo maggiormente sulle strade visto che ad oggi molti modelli di auto presentano già una serie di ADAS in grado di eseguire una frenata di emergenza o mantenere le corsie in modo autonomo. Tuttavia, come abbiamo visto molte persone non sono ancora pronte a questo tipo di guida a causa della mancanza di fiducia nei confronti del veicolo, proprio per questo motivo è fondamentale realizzare un'interfaccia uomo-macchina ottimale in grado di comunicare tutte le informazioni necessarie in modo da creare un ambiente confortevole e generare un certo livello di fiducia.

Le auto che vediamo in circolazione sulle nostre strade ad oggi, presentano una guida autonoma di livello 2 ma, oggi, possiamo affermare che il livello di guida autonoma al centro dell'attenzione per le case automobilistiche è il livello 3, infatti molte delle case automobilistiche stanno provando da tempo auto con sistemi che portano l'auto a guida autonoma al livello 3, quindi con l'auto in grado di guidare da sola in determinate situazioni o percorsi; inoltre in molti paesi d'Europa si stanno sviluppando le strade per permettere la guida autonoma, anche se l'inconveniente maggiore a rallentare questo sviluppo è la normativa, in quanto i governi non hanno ancora stabilito regole chiare per la circolazione di questi veicoli, visto che i conducenti non hanno più la piena responsabilità come per il livello 2, lasciando così la responsabilità ai costruttori.

Nel prossimo futuro molti ADAS saranno obbligatori, infatti da quest'anno, secondo normativa, le auto di prima immatricolazione dovranno presentare sistemi in grado di rilevare la stanchezza del conducente, la frenata di emergenza autonoma, sistema di mantenimento della corsia, e una black box così da monitorare gli eventi che avvengono prima di un incidente, inoltre si predisporrà l'auto per un sistema in grado di rilevare il tasso alcolemico del conducente e andrà a bloccare il motore in caso di positività al test.

Per quanto riguarda la guida autonoma di livello 4 e 5, ci vorrà ancora un po' di tempo prima di vederla su strada; tuttavia, sono già stati sviluppati alcuni robot taxi, ovvero taxi che sono in grado di guidare in maniera autonoma, questi veicoli presentano un livello 4. Grazie a questo incremento tecnologico nella guida, in futuro si potrebbero eliminare gli ingorghi nelle strade causati da semafori, lavori stradali, ecc.. Infatti, dato l'elevato livello di comunicazione presente tra questi veicoli, sarebbe possibile organizzare il passaggio ad un incrocio senza l'uso del semaforo in quanto i veicoli comunicando saprebbero esattamente quando devono passare o quando devono lasciare lo spazio necessario all'immissione di un altro veicolo. Inoltre, in caso di manutenzione stradale, che sarebbe programmata e comunicata in anticipo, i veicoli sarebbero in grado di generare in automatico un percorso alternativo. Tutto ciò porterebbe ad una evoluzione straordinaria nella gestione dei rallentamenti e ridurrebbe notevolmente i tempi necessari allo spostamento, dando la possibilità alle persone di avere più tempo libero ed organizzare al meglio la giornata lavorativa.

Bibliografia

Capitolo 1

<https://www.leaseplan.com/it-it/news-auto/futuro-della-mobilita/self-driving-cars/>

<https://www.lautomobile.aci.it/articoli/2020/08/06/guida-autonoma-un-secolo-di-storia.html>

Capitolo 2

<https://smartrider.ch/it/attualita/5-livelli-di-automazione-sae>

<https://www.quattroruote.it/news/tecnologia/2021/05/06/guida-autonoma-la-sae-r-idefinisce-i-livelli-di-automazione-per-fare-chiarzza.html>

<https://www.quattroruote.it/news/tecnologia/2021/05/06/guida-autonoma-la-sae-r-idefinisce-i-livelli-di-automazione-per-fare-chiarzza.html>

Schratter, M., Hartmann, M., and Watzenig, D., "Pedestrian Collision Avoidance System for Autonomous Vehicles," *SAE Intl. J CAV* 2(4):279-293, 2019, <https://doi.org/10.4271/12-02-04-0021>.

<https://www.digikey.it/it/articles/sensors-for-self-driving-vehicles>

<https://www.autoappassionati.it/mantenimento-in-corsia-cos-e-come-funziona/>

<https://www.quattroruote.it/guide/Guida-assistita/cos-e-e-come-funziona-il-lane-assist.html>

<https://www.motorbox.com/auto/magazine/auto-novita/honda-sensing-elite-guida-autonoma-livello-3-video>

<https://auto.hwupgrade.it/news/tecnologia/waymo-spiega-come-funzionano-i-sensori-alla-base-della-guida-autonoma-87749.html>

<https://www.fastweb.it/web-e-digital/come-funziona-auto-autonoma/>

<https://www.newsauto.it/notizie/guida-autonoma-livelli-come-2021-140786/>

<https://www.strumentazioneelettronica.it/tecnologie/wireless/verso-la-guida-autonoma-201912062449/>

<https://eu.beasensors.com/it/tecnologia/>

<https://it.wikipedia.org/wiki/Radar>

<https://www.partsweb.it/radar-auto-e-lidar-come-funziona-la-tecnologia-dietro-la-guida-autonoma/>

<https://it.wikipedia.org/wiki/Lidar>

<https://www.macitynet.it/guida-autonoma-il-sensore-lidar-di-argo-arriva-a-400-metri/>

<https://consystem.it/faq/tecnologia-lidar-che-cosa-e-come-funziona/>

<https://www.ilsole24ore.com/art/guida-autonoma-arriva-telecamera-che-vede-meglio-occhio-umano-ACaOcWh>

Capitolo 3

Farag, Wael. "Real-time NMPC Path Tracker for Autonomous Vehicles." *Asian Journal of Control*, vol. 23, no. 4, Wiley Subscription Services, Inc, 2021, pp. 1952–65, <https://doi.org/10.1002/asjc.2335>.

Li, W., Liang, J., Zhang, Y., Jia, H., Xiao, L. and Li, Q. (2020), Accelerated LiDAR data processing algorithm for self-driving cars on the heterogeneous computing platform. *IET Comput. Digit. Tech.*, 14: 201-209. <https://doi.org/10.1049/iet-cdt.2019.0166>

Häne, Christian, et al. "3D Visual Perception for Self-Driving Cars Using a Multi-Camera System: Calibration, Mapping, Localization, and Obstacle Detection." *Image and Vision Computing*, vol. 68, Elsevier B.V, 2017, pp. 14–27, <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2017.07.003>.

G. Carrera, A. Angeli and A. J. Davison, "SLAM-based automatic extrinsic calibration of a multi-camera rig," *2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2011, pp. 2652-2659, doi: 10.1109/ICRA.2011.5980294.

R. Pless, "Using many cameras as one," *2003 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2003. Proceedings.*, 2003, pp. II-587, doi: 10.1109/CVPR.2003.1211520.

<https://ita.go-travels.com/42239-what-is-drive-by-wire-534825-8681358>

Capitolo 4

[https://it.motor1.com/news/533632/croads-conessione-v2x-guida-autonoma/\(comunicazione\)](https://it.motor1.com/news/533632/croads-conessione-v2x-guida-autonoma/(comunicazione))

<https://autoblog.amag.ch/it/come-riescono-le-automobili-a-guida-autonoma-a-vedere/>

<https://www.partsweb.it/auto-connessa-e-autonoma-il-5g-e-la-tecnologia-chiave/>

<https://www.wired.it/internet/tlc/2020/09/22/5g-auto-connesse/>

<https://www.dmove.it/news/la-5g-automotive-association-presenta-la-roadmap-per-la-digitalizzazione-delle-strade>

Aissioui, Abdelkader, et al. “On Enabling 5G Automotive Systems Using Follow Me Edge-Cloud Concept.” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 67, no. 6, IEEE, 2018, pp. 5302–16, <https://doi.org/10.1109/TVT.2018.2805369>.

Capitolo 5

https://it.wikipedia.org/wiki/Interfaccia_uomo-macchina
<https://www.sicurauto.it/news/linterfaccia-uomo-macchina-secondo-continental/>

<https://www.iocarroziere.it/news/curiosita/item/770-continental-testa-l-interazione-uomo-macchina-per-la-guida-autonoma/>

<https://blog.davidberti.com/verso-la-guida-autonoma-design-hud-digital-instrument-clusters-e-hmi/>

Carsten, O., Martens, M.H. How can humans understand their automated cars? HMI principles, problems and solutions. *Cogn Tech Work* **21**, 3–20 (2019).
<https://doi.org/10.1007/s10111-018-0484-0>

<https://www.wired.it/attualita/tech/2018/02/10/geofencing/>

<https://www.quattroruote.it/guide/componenti-auto/head-up-display.html>

https://it.wikipedia.org/wiki/Digital_Light_Processing

https://it.wikipedia.org/wiki/Digital_Micromirror_Device

Capitolo 6

<https://www.economyup.it/automotive/auto-a-guida-autonoma-a-che-punto-e-la-normativa-in-italia-e-in-europa/>

<https://www.agendadigitale.eu/cultura-digitale/auto-a-guida-autonoma-regole-e-responsabilita-nel-regolamento-europeo-su-ai/> LEGGERE E VEDERE

<https://www.agendadigitale.eu/cultura-digitale/intelligenza-artificiale-i-punti-chiave-del-regolamento-europeo/>

https://www.dejalex.com/wp-content/uploads/2019/03/Articolo_Veicoli-autonomi-18.03.2019.pdf

<https://www.pandslegal.it/neurotecnologie/normativa-sulle-self-driving-cars/> usato anche per AI

Ziyan, Chen, and Liu Shiguo. “China’s Self-Driving Car Legislation Study.” *The Computer Law and Security Report*, vol. 41, Elsevier Ltd, 2021, p. 105555–, <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2021.105555>.