



**Politecnico  
di Torino**

**Politecnico di Torino**

Corso di Laurea Magistrale  
In Ingegneria Gestionale

A.a. 2022/2023  
Sessione di Laurea Dicembre 2023

# **Trasformazione digitale dell'auto e uno studio preliminare sui need legati al veicolo autonomo**

Relatori:

Marco Cantamessa

Candidato:

Leonardo Benevento  
291414

Correlatori:

Francesca Montagna  
Samuele Colombo



## Sommario

ABSTRACT .....	4
INTRODUZIONE.....	5
Il contesto .....	5
Scopo .....	5
Metodo .....	6
Struttura.....	6
TECNOLOGIE ED ARCHITETTURA .....	7
ECU (electronic control units).....	7
Cenni della loro evoluzione .....	7
Sistemi drive-by-wire .....	7
Altri utilizzi .....	8
Protocolli.....	9
Sensori .....	9
Sensori dedicati agli assistenti ed alla guida autonoma .....	11
Connettività .....	13
ARCHITETTURA .....	16
Layered modular architecture .....	18
Architettura stratificata.....	18
Architettura modulare .....	19
Layered modular architecture nell'automotive .....	20
FUNZIONI E SERVIZI .....	27
Panoramica su funzioni e servizi.....	27
Aggiornamenti <i>over-the-air</i> (OTA) .....	31
Sistemi avanzati di assistenza alla guida (ADAS).....	34
Analisi delle funzioni.....	36
Modular layered architecture (funzioni) .....	43
Stakeholder .....	44
ANALISI DELLA TECNOLOGIA DELLA GUIDA AUTONOMA .....	46
Livelli di guida autonoma.....	46
Caratteristiche generali del veicolo autonomo.....	48
I vantaggi.....	50
Difficoltà da superare.....	51
Analisi dei driver di adozione della guida autonoma .....	53
Struttura delle interviste.....	53
Analisi dei risultati – attitudine all'utilizzo dei sistemi di assistenza.....	61

Analisi dei risultati – attitudine all’utilizzo della tecnologia della guida autonoma .....	64
Conclusione .....	70
BIBLIOGRAFIA .....	72

## ABSTRACT

Il processo di digitalizzazione nel settore dell'auto sta portando molti cambiamenti nella concezione dei veicoli attuali che, gradualmente, passano dall'essere prodotti fisici a vere e proprie piattaforme fisiche abilitate da elementi software ed immateriali. Questa trasformazione avviene tramite una progressiva rielaborazione della concezione del prodotto grazie all'utilizzo di nuove tecnologie implementate nelle auto ed al potenziamento di quelle già esistenti. In questo contesto, come avviene per altri prodotti digitali, l'auto è in grado di fornire una quantità maggiore di funzionalità e servizi che cambiano radicalmente l'esperienza d'uso dell'utenza. Questo sta portando ad una ridefinizione dell'architettura di questo prodotto, influenzata dall'architettura stratificata tipica delle tecnologie digitali. Ciò porta a identificare un'architettura modulare stratificata che abilita nel prodotto una maggior riprogrammabilità e nuove interazioni grazie alla crescente indipendenza tra hardware e funzioni.

Lo scopo principale di questo processo è permettere all'auto di offrire agli utenti la possibilità di portare comfort ed intrattenimento e contemporaneamente aiutare il conducente nell'utilizzo del veicolo attraverso una crescente automazione delle operazioni di guida, al fine di aumentare la sicurezza stradale. In questo senso, il trend della trasformazione digitale è un processo che porta ad un radicale cambiamento nella concezione dell'auto che culmina con la guida autonoma, passando attraverso la diffusione nel mercato degli attuali sistemi avanzati di assistenza alla guida (ADAS).

Nel presente lavoro di tesi si definirà, in primo luogo, il significato di trasformazione digitale nel settore dell'auto. A tal proposito, verranno definite le principali tecnologie coinvolte nel processo di digitalizzazione dell'auto per poi analizzarne il ruolo all'interno dell'architettura.

Successivamente viene fornita una panoramica delle principali funzioni abilitate.

In secondo luogo, dopo aver analizzato le implicazioni della trasformazione digitale, verrà preso in esame il caso del veicolo a guida autonoma con lo scopo di effettuare una prima esplorazione della comprensione e percezione di questa tecnologia da parte degli utenti.

# INTRODUZIONE

## Il contesto

Nel settore automotive si sta assistendo all'affermarsi di nuove tecnologie che abilitano interazioni e funzioni precedentemente assenti in un prodotto come l'auto, come la connettività (spesso si identificano le auto attuali come *connected-car*) ed i sistemi di guida autonoma. Tuttavia, è un tema ampio senza una precisa definizione del significato di digitalizzazione dell'automobile. A prima vista, si potrebbe identificare come il cambiamento più evidente la crescente presenza di display ed interfacce in auto con cui interagire. Tuttavia, questo rappresenta solo una conseguenza della trasformazione dell'auto in un prodotto sempre più digitale. Le implicazioni di questo processo sono più profonde. Questa evoluzione sta richiedendo molti sforzi ai produttori data la necessità di ridefinire l'architettura del prodotto al fine di far collaborare la sempre più spiccata componente digitale e la meccanica tipica di un'auto. Questo richiede nuove competenze, tecnologie ed investimenti; basti pensare che tutto ciò implica una costante diminuzione di controlli prettamente meccanici in favore di quelli elettronici e gestiti via software, in grado di poter garantire interazioni sempre più complesse col veicolo che verranno dettagliate in seguito.

La conseguenza più rilevante è la possibilità di estendere questo genere di controlli anche alle funzioni principali di un'auto, ovvero il controllo longitudinale e laterale della vettura. Facendo "percepire" all'auto l'ambiente circostante è stato possibile implementare sistemi avanzati che permettono al veicolo di eseguire autonomamente azioni di guida da sempre delegate esclusivamente all'essere umano, il che potrà portare ad una guida totalmente autonoma in cui è il prodotto stesso ad essere digitalizzato. Questa rappresenta una vera e propria innovazione radicale in cui molte aziende stanno investendo, nel mentre la percezione e l'opinione del pubblico è piuttosto eterogenea e divisa in merito. Di fatto, oltre alla complessità tecnologica, l'adozione rappresenta una grossa barriera che l'innovazione della *self-driving-car* si troverà ad affrontare.

## Scopo

Nel presente elaborato si vuole fornire un'analisi di cosa implica effettivamente la trasformazione digitale nell'automotive in termini di tecnologie ed architettura. Si vuole fornire, inoltre, una visione d'insieme delle principali funzioni, sia allo scopo di chiarire quali nuove interazioni implicano le tecnologie digitali nell'auto, sia per evidenziare le relazioni tra tecnologie e le funzioni da esse abilitate.

Di conseguenza, è possibile analizzare il caso del veicolo a guida autonoma definendone le principali caratteristiche allo stato attuale. Si provvederà a definire eventuali fattori rilevanti all'adozione ed i bisogni legati a questo tipo di prodotto, sulla base della percezione degli utenti in merito al suo funzionamento e le sue possibili applicazioni.

## Metodo

L'elaborato inizia con un'analisi della letteratura riguardante il tema della trasformazione digitale dell'auto al fine di costruire un'analisi quanto più chiara possibile. Viene quindi presentata la tecnologia che caratterizza un "veicolo digitale" e ne viene analizzata l'architettura applicando il modello dell'architettura modulare stratificata.

Successivamente vengono prese in esame le possibilità principali di interazione offerte da questi veicoli in termini di funzioni e contestualizzandole all'interno dell'analisi svolta.

Si vuole poi analizzare il caso particolare della guida autonoma tramite raccolta dati eseguita per mezzo di interviste semi-strutturate al fine di effettuare un'esplorazione qualitativa in merito alla percezione del veicolo autonomo e derivarne eventuali bisogni e fattori di adozione importanti per l'utente.

## Struttura

Nel secondo capitolo sarà dedicata una sezione descrittiva delle tecnologie per poter contestualizzare quanto verrà esposto nei capitoli successivi. Successivamente, viene presa in analisi l'architettura modulare stratificata del prodotto riportandone alcuni esempi per maggiore chiarezza. Il terzo capitolo è dedicato alla panoramica delle principali funzioni e servizi, fornendone gli esempi più rilevanti, con un focus sugli aggiornamenti over-the-air e assistenti alla guida avanzati. Questo è necessario per poterne analizzare le correlazioni con le tecnologie e l'architettura analizzate in precedenza. Verrà infine stilata una lista dei principali stakeholder.

Nel quarto capitolo viene preso in esame il veicolo a guida autonoma definendone le principali caratteristiche. In seguito, viene riportata la struttura delle interviste, i risultati e le relative analisi.

Nel quinto capitolo sono contenute le principali conclusioni.

## TECNOLOGIE ED ARCHITETTURA

La trasformazione digitale nell'auto è abilitata dallo sviluppo e dalla collaborazione di diverse tecnologie. Di seguito verranno trattate quelle più rilevanti per questo processo. In questo contesto si vede l'introduzione di nuove tecnologie e l'evoluzione di altre già esistenti da tempo, ridefinendone nuovi utilizzi. Queste lavorano all'interno dei diversi strati dell'architettura per fornire tutte quelle interazioni che caratterizzano l'auto moderna e del futuro.

### ECU (electronic control units)

#### Cenni della loro evoluzione

Le ECU (comunemente chiamate centraline elettroniche) sono componenti che svolgono il compito di elaborare dati per gestire e regolare molti aspetti del veicolo. L'elettronica è stata inizialmente impiegata in alcuni veicoli intorno agli anni '70, si trattava di semplici dispositivi di controllo che agivano sul carburatore dell'auto. Fu dagli anni '80 in poi che questa tecnologia iniziò ad acquisire molta rilevanza nelle auto, in particolare con l'introduzione dei sistemi di iniezione del carburante, sistema che presto sostituì il carburatore in quanto questo era meno efficiente e molto inquinante. Le centraline iniziarono a diventare componenti più complessi poiché dovevano gestire lo scoppio della benzina e la quantità di miscela carburante-aria da iniettare nel cilindro, aumentando notevolmente l'efficienza.

Oggi questi sistemi si sono notevolmente evoluti e non si limitano alla gestione del propulsore. Un'auto moderna presenta anche più di 80-90 ECU, infatti, si può affermare che (quasi) ogni azione compiuta in auto passa per un'apposita centralina.

Con l'aumentare della complessità delle azioni da gestire è aumentata anche la capacità di calcolo delle ECU. Oggi, oltre a regolare con estrema precisione ogni funzione del propulsore, gestiscono anche gli elementi del telaio (cambio, freni, sospensioni etc.), sistemi di sicurezza attivi e passivi, il body e vari accessori.

#### Sistemi drive-by-wire

L'introduzione dei sistemi drive-by-wire ha "digitalizzato" i classici collegamenti meccanici come quelli di acceleratore, freni e volante. Si tratta, in sostanza, di sistemi in cui un'azione non viene eseguita tramite collegamento meccanico, bensì passa tramite la centralina che elabora i segnali inviati dai sensori ed in base a questi va ad agire sulle componenti interessate tramite componenti come gli attuatori. In un sistema brake-by-wire, ad esempio, il pedale del freno non è collegato

idraulicamente alle pinze dei dischi ma serve soltanto a mandare il segnale tramite appositi sensori e la centralina calcolerà forza impressa e corsa del pedale garantendo una corretta frenata. Il principio di funzionamento è simile anche per gli altri sistemi: tramite l'acceleratore si invia la richiesta di potenza alle centraline che agiranno sul propulsore ed il volante non presenterà il classico sistema a piantone ma invierà la richiesta di angolo di sterzata alla centralina che agirà sui motori elettrici collegati alle ruote (sistema non ancora diffuso, ad oggi quasi tutte le auto hanno servosterzo elettrico). I vantaggi della digitalizzazione sono numerosi, questi sistemi sono più precisi, affidabili, duraturi e permettono di tenere conto di molti parametri raccolti dai sensori al fine di garantire efficienza e sicurezza. Le attuali funzionalità avanzate di assistenza alla guida e la futura guida autonoma sono possibili grazie a queste innovazioni portate dalla digitalizzazione. Senza il controllo elettronico delle ECU non sarebbe possibile automatizzare le azioni compiute dall'auto.

### Altri utilizzi

Oltre alla complessa gestione del propulsore e dei sistemi drive-by-wire, le centraline, ognuna con caratteristiche e potenza di calcolo differente, regolano molti altri aspetti fondamentali per il corretto funzionamento del veicolo.

L'elettronica gestisce, inoltre, molti accessori come la climatizzazione automatica, i sistemi di infotainment, connettività, fari automatici adattivi e molto altro. Vi sono persino sofisticati sistemi di sospensioni attive che autoregolano rigidità e smorzamento delle sospensioni grazie al monitoraggio continuo di parametri come la massa dell'auto in marcia, la frenata, l'accelerazione e così via.

Uno degli aspetti dell'impiego dell'elettronica che più coinvolge direttamente l'utente è la personalizzazione che va dal comfort in abitacolo (clima, sedili, illuminazione, infotainment etc.) alle impostazioni di guida.

La presenza dell'elettronica ha inoltre abilitato un miglior monitoring dell'auto. Questo fu possibile grazie alla diagnostica di bordo (OBD) usata per il recupero delle informazioni di diagnostica provenienti dalle centraline.

In futuro, con la presenza di veicoli sempre più connessi, una nuova sfida da affrontare per i produttori sarà quella di estendere alle ECU la possibilità di ricevere aggiornamenti over the air, ad esempio per la risoluzione di eventuali problemi.

## Protocolli

Data la crescente complessità dei ruoli svolti dalle ECU, queste non sono stand alone ma devono anche comunicare fra loro, con i sensori e le componenti da loro regolate. Esistono quindi differenti tipi di comunicazione, i principali standard sono:

- **CAN-bus.** È il protocollo e la rete fisica più diffusa. Esso garantisce prestazioni ed affidabilità di comunicazione e controlla una grande quantità di aspetti del veicolo fondamentali per il funzionamento dello stesso: gestione propulsore, chassis, body etc.
- **LIN network.** Viene utilizzato dove non sono necessarie alte prestazioni, infatti lo si trova all'interno di sottosistemi non fondamentali per le prestazioni e la sicurezza come le impostazioni dei sedili, illuminazione e climatizzatore.
- **FlexRay.** Più prestazionale del CAN, è il protocollo più diffuso per quanto riguarda gli ADAS ed i sistemi drive-by-wire.
- **Automotive ethernet.** Probabilmente sostituirà il FlexRay in quanto è più affidabile ed in grado di gestire sistemi che richiedono grande ampiezza di banda. L'automotive ethernet è in grado di gestire pacchetti di dati molto più grandi del CAN e del FlexRay, inoltre richiede un cablaggio molto più semplificato. La richiesta di banda sta crescendo rapidamente data la grande quantità di dati raccolti da sensori e videocamere, dai servizi connessi e così via. Infatti, oltre alla gestione dell'elettronica del veicolo, l'ethernet è in grado di fornire dati audio e video utili sia per gli ADAS che per la gestione dell'infotainment. Altro aspetto rilevante è che in futuro una rete di collegamento ethernet fra le ECU potrà facilitare la possibilità di aggiornarle da parte della casa automobilistica.

## Sensori

Come per le centraline elettroniche, l'impiego di sensori nelle auto ha preso piede dagli anni '80 in poi perché sono quelle fondamentali componenti che raccolgono i dati che vengono elaborati dalle centraline. Di fatto, i sensori hanno il compito di trasformare grandezze fisiche in segnali leggibili dalle centraline di bordo. Oggi, i sensori montati all'interno di un'auto sono estremamente numerosi, diventano sempre più sofisticati e precisi e sono disseminati in ogni parte del veicolo per svolgere i compiti più disparati. Semplificando, i sensori possono essere divisi in:

- Sensori impiegati per la gestione ed il funzionamento stesso del veicolo (ad esempio, i sensori situati nel propulsore che ne garantiscono il corretto funzionamento)
- Sensori dedicati all'aumento del comfort (di guida e dell'abitabilità interna) ed alla sicurezza
- Sensori impiegati per abilitare i sistemi attivi di guida assistita e guida autonoma in futuro

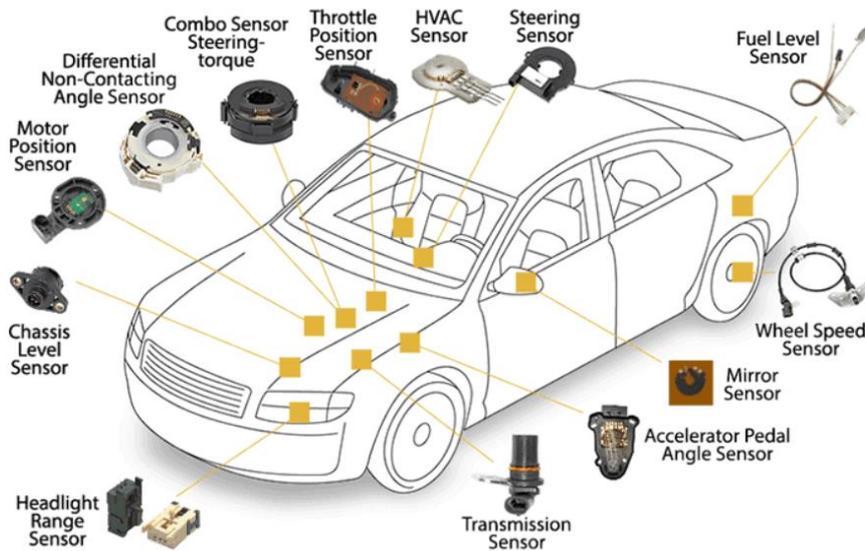


Figura 1: esempio di sensori presenti su un'auto

I sensori dedicati al funzionamento del veicolo stesso sono quelli che permettono il funzionamento del propulsore e che regolano, nel caso di motori endotermici, le emissioni. Degli esempi tipici di questa categoria di sensori nei motori a combustione sono:

- Sensori di posizione
- Sensori di pressione
- Sensori di temperatura
- Sensori di velocità
- Sensore ossigeno
- Sensore di detonazione

I sensori dedicati al comfort ed alla sicurezza garantiscono un miglioramento nell'utilizzo del veicolo da parte degli utenti e ne garantiscono i sistemi standard di sicurezza. Queste componenti sono in aumento in quanto i veicoli moderni sono dotati sempre più di nuovi accessori che richiedono sensori dedicati. Dato il loro grande numero, se ne riportano di seguito alcuni a titolo esemplificativo:

- Sensore ABS, registra il movimento delle ruote. Le informazioni raccolte da questi sensori vengono usate nei sistemi di sicurezza standard dell'auto come l'ABS e l'ESP
- Sensore pioggia
- Sensori portiere
- Sensore luce per l'accensione automatica dei fanali
- Sensori temperatura dell'impianto di climatizzazione
- Sensori di tensione (cinture di sicurezza)

### Sensori dedicati agli assistenti ed alla guida autonoma

Il concetto di guida autonoma era fino a qualche anno fa poco conosciuto e spesso categorizzato dal grande pubblico come qualcosa di impossibile da realizzare. Oggi questa tendenza sta decisamente cambiando poiché molte persone stanno familiarizzando con i moderni sistemi di guida assistita. Ad abilitare queste funzionalità vi sono alcuni sensori dedicati e, rispetto a quelli menzionati in precedenza, i costruttori hanno iniziato a adottarli soltanto negli ultimi anni.

La diffusione degli assistenti avanzati sta di fatto accelerando la corsa ai livelli di guida autonoma più elevati. Di seguito vengono riportati i principali sensori che portano l'auto ad avere più "consapevolezza" dell'ambiente circostante.

- **Lidar.** Il sensore Lidar basa il suo funzionamento sull'emissione di impulsi di luce: dopo esser stati emessi vengono rimbalzati dalle superfici circostanti e se ne calcola il tempo di ritorno. Questo sistema permette di avere un calcolo delle distanze molto preciso e quindi di ricostruire una mappa in 2D o 3D dell'ambiente circostante ed in tempo reale. Il vantaggio di questo genere di sensore è la precisione nel riconoscimento degli oggetti mentre la portata varia a seconda dei modelli di Lidar, questa va tra i 100 ed i 200 metri. Uno svantaggio di questi sensori è il costo elevato, inoltre vi è una considerevole perdita di risoluzione in determinate condizioni meteo come pioggia o nebbia. Il Lidar in futuro avrà un ruolo fondamentale nello sviluppo della guida autonoma.
- **Radar.** Il principio di funzionamento del radar è molto simile a quello del Lidar ma si differenzia da questo per l'utilizzo di onde radio. Si tratta di un sensore molto più economico del Lidar, inoltre, è in grado di funzionare correttamente anche in condizioni meteo non ottimali. Il radar, tuttavia, ha una risoluzione minore. La sua portata può superare i 200 metri

e, ad esempio, viene utilizzato nell'adaptive cruise control (regolazione automatica della distanza) e nella frenata d'emergenza.

- **Sensore ad ultrasuoni.** Utilizzando onde ultrasoniche, questo sensore è in grado di misurare, a corto raggio di operatività, la distanza da altri oggetti fisici anche di piccole dimensioni. Per questo motivo vengono utilizzati soprattutto come sensori ausiliari che aiutano nelle manovre di parcheggio. Il loro funzionamento non viene alterato da condizioni meteo avverse.
- **Telecamere.** Le telecamere oggi sono molto diffuse, a cambiare tra i vari modelli di auto è il numero e l'utilizzo che il veicolo ne fa. Tra le più diffuse vi è la retrocamera di ausilio al parcheggio. Questa è una telecamera posteriore ad angolo di apertura ampio che serve ad aiutare il conducente nelle manovre, può indentificare eventuali veicoli o pedoni che sopraggiungono dietro al veicolo in uscita da un parcheggio. Le telecamere possono restituire immagini ad alta risoluzione e, oltre che proiettare a schermo l'ambiente esterno, hanno il grosso vantaggio di poter fornire funzionalità utili alla guida. Tra queste vi è la possibilità di riconoscere la segnaletica orizzontale e verticale, oggetti e ostacoli. Queste funzioni sono abilitate, oltre che dalla cattura delle immagini ad alta risoluzione, dall'elaborazione tramite intelligenza artificiale e algoritmi di computer vision. Così queste componenti possono, ad esempio, riconoscere e proiettare a schermo i limiti di velocità indicati dalla segnaletica, aiutare nei sistemi di mantenimento della corsia e frenata d'emergenza. Tuttavia, non sono molto efficaci nel calcolo delle distanze e delle velocità (cose in cui sono molto più specializzati gli altri sensori sopra citati) e la loro efficacia è influenzata da condizioni meteo e scarsa luminosità.

Questi sensori sono quindi la base hardware che abilita molte funzioni presenti nelle auto moderne. La diffusione di funzionalità complesse come gli assistenti avanzati alla guida, è dovuta ai passi avanti fatti da queste tecnologie negli ultimi anni con lo scopo futuro, da parte di molte case automobilistiche, di arrivare ai livelli superiori di guida autonoma. Di fatto, la commercializzazione di soluzioni di guida autonoma fino al livello 2 può essere considerata come un testing utile per i futuri livelli di automazione.

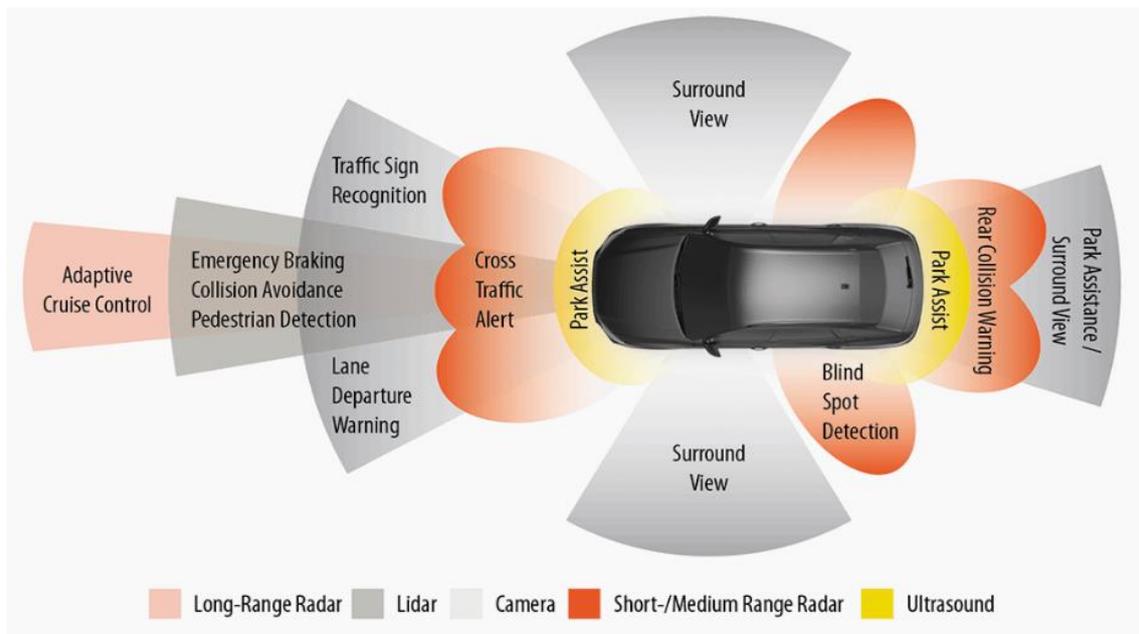


Figura 2: visione dei sensori ADAS (dewesoft.com)

Come si può notare, ogni sensore presenta interessanti vantaggi ma anche dei limiti. È per questa ragione che nessuna di queste componenti rappresenta una soluzione stand alone, bensì devono collaborare fra loro per aumentare la qualità dei dati raccolti e sopperire ai propri limiti. Inoltre, un utilizzo ben ottimizzato dei sensori aiuta a ridurre la larghezza di banda e la potenza di calcolo richieste che rappresentano aspetti non sottovalutabili quando si progetta una rete intra-vehicle.

## Connettività

Uno degli aspetti che sta influenzando il mercato dell'auto è la connettività in-vehicle, trend tecnologico che sta caratterizzando l'ultimo decennio. Questo non implica che in precedenza nessun produttore abbia provato a rendere l'auto un prodotto "più smart", soprattutto per quanto riguarda i brand considerati premium. Tuttavia, si trattava di tentativi poco rilevanti. Dal primo decennio degli anni 2000 fino a dopo il 2010, infatti, nelle auto non si erano neanche diffusi i sistemi di infotainment e quelle che ne disponevano erano dotate di interfacce poco intuitive e macchinose nell'utilizzo. La priorità rimaneva quella di guidare ed avere a portata di mano i comandi del climatizzatore e della radio.

Oggi è evidente quanto la semplicità di accesso ad Internet abbia cambiato le abitudini di tutti. Con la rapida diffusione degli smartphone connessi, ad esempio, si può restare in contatto con chi si vuole in qualsiasi momento, effettuare acquisti, usufruire delle mappe di navigazione con una semplicità

impensabile in precedenza, controllare a distanza altri oggetti smart (elettrodomestici, sistemi di allarme domestici, climatizzazione etc.) e molto altro. Il mercato dell'auto ha dovuto quindi adattarsi alle nuove esigenze dell'utenza. In verità, questa evoluzione ha tardato ad arrivare poiché l'automobile è sempre stato un prodotto a sé stante con il solo scopo di portare l'utente dal punto A al punto B e le case automobilistiche avevano scarse competenze in ambito "digitale". Fu così che, quando iniziarono ad essere installati display con interfaccia a bordo, queste erano meno fruibili e obsolete se paragonate a ciò che offrivano i sistemi operativi sugli smartphone, inoltre, le funzionalità offerte non erano molte. Di recente, il mercato dell'auto si sta allineando alle esigenze del pubblico portando sempre più interazioni abilitate dalla connettività all'interno del veicolo con lo scopo, di far diventare il viaggio in auto una vera e propria prosecuzione della vita domestica al di fuori della propria abitazione. In questo contesto si inserisce il concetto di IoT anche nel settore automotive: il veicolo diventa un prodotto in parte digitale ed offre nuove possibilità di interazione con l'auto stessa, con altri oggetti, con servizi connessi etc.

La connessione ad Internet è un requisito fondamentale per un veicolo connesso e vi sono soluzioni diverse per abilitarla in auto:

- **Soluzione *embedded*.**

La capacità di connettersi è data da una SIM installata permanentemente nel veicolo dalla casa in fase di costruzione. Il veicolo ha così accesso alla rete 4g (o 5g) e resta connesso offrendo applicativi, servizi di vario genere ed anche la possibilità di poter aggiornare *over the air* il software dell'infotainment o, in alcuni casi, il software di alcune ECU dell'auto. È una soluzione molto affidabile ma a causa della sua natura *embedded* la SIM non può essere modificata nel tempo.

- **Sim o device esterni.**

In questo caso si ha il modem installato in auto ma la connessione è abilitata tramite la possibilità da parte dell'utente di inserire la SIM o sfruttando la connessione del proprio smartphone. Non vi sono sostanziali differenze con la soluzione integrata.

- **Integrazione completa del device esterno.**

L'auto viene connessa tramite lo smartphone, collegato via cavo o bluetooth o Wi-Fi. In questo caso l'interfaccia mostrata a schermo è fornita dal device stesso che interagisce con il display centrale e, in alcuni casi, anche con il display cockpit di fronte al guidatore permettendo di personalizzare le informazioni mostrate. Ad esempio, il conducente può

decidere di avere a schermo davanti a sé la mappa di navigazione fornita dallo smartphone.

La UI fornita dal device sostituisce quella nativa dell'auto.

Gli scambi di informazioni abilitati dalla connettività in-vehicle sono di varia natura. I principali possono essere classificati nel seguente modo:

- **Connessione V2V (Vehicle to Vehicle).**

Si tratta della connettività inter-veicolare e riguarda la trasmissione di dati fra auto connesse creando una rete di comunicazione ad hoc (VANET). In base a questo tipo di rete, ogni auto rappresenterebbe un nodo attraverso il quale vengono diffuse informazioni utili ai veicoli che sopraggiungono. Queste possono riguardare, ad esempio, la presenza di un incidente, condizioni avverse, la velocità del veicolo di fronte, traffico ed altro. Ad oggi non vi sono protocolli efficienti di comunicazione fra auto, ma in futuro l'ottimizzazione delle reti veicolari sarà utile ad aumentare la sicurezza e si integreranno nello sviluppo della guida autonoma per permettere al veicolo di avere maggiore percezione dell'ambiente oltre il raggio d'azione dei propri sensori.

- **Connessione V2I (Vehicle to Infrastructure).**

Concettualmente è simile al V2V ma lo scambio di informazioni avviene tra l'auto connessa e l'infrastruttura, essa può essere un qualsiasi elemento a bordo strada (cartelli, semafori etc.) anch'esso connesso ed in grado di inviare informazioni che amplierebbero quelle fornite dal V2V. Esempi di servizi erogabili sono l'invio di informazioni riguardanti la sicurezza, la disponibilità di parcheggi, la velocità consigliata, distributori e così via. In sostanza la connessione V2I richiede la costruzione di vere e proprie smart road; pertanto, è una tipologia di comunicazione piuttosto sperimentale.

Generalizzando tutte le tipologie di scambi informativi potenzialmente possibili, è stata definita la connessione di tipo **V2X (vehicle to everything)**, che racchiude l'insieme delle connessioni (in teoria) possibili all'interno di un ecosistema.

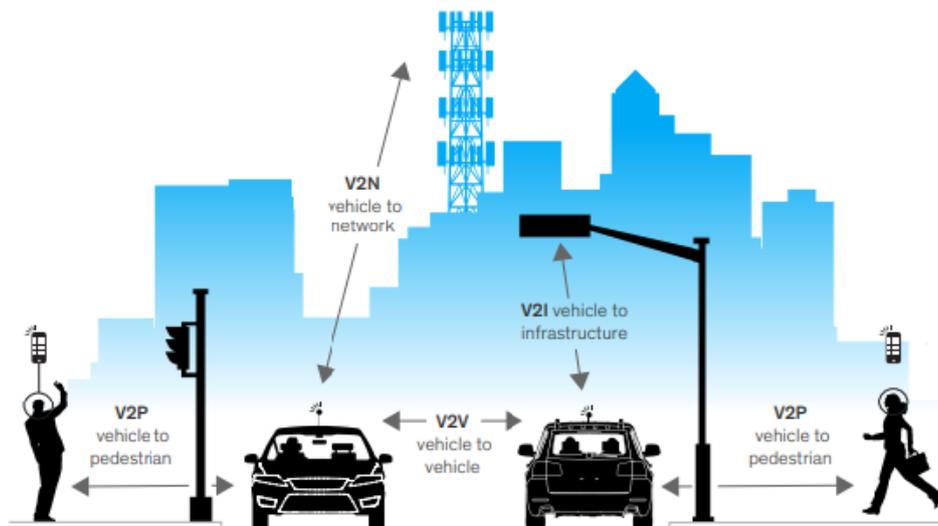


Figura 3: comunicazione V2X (mckinsey.com)

## ARCHITETTURA

Aver definito le principali tecnologie responsabili della componente “digital” dell’auto, permette di definirne l’architettura. Questo permette di identificare come esse si collocano nel prodotto ed in che modo si relazionano. In prima analisi, è stato usato il diagramma delle componenti riportato di seguito. Essendo l’auto un prodotto estremamente complesso, per semplificare la rappresentazione e per una maggiore chiarezza, l’architettura è stata definita riassumendola tramite cinque domini principali.

- **Body**  
Racchiude i sistemi che comprendono il corpo esterno del veicolo (portiere, gruppo fari etc.) e tutto ciò che riguarda il comfort interno.
- **Powertrain e chassis**  
È l’insieme dell’intero gruppo propulsore e del telaio, quindi i sistemi che hanno il ruolo fondamentale di permettere il funzionamento dell’auto (motore, trasmissione, freni, sospensioni etc.).
- **Assistenti avanzati alla guida**  
Comprende le componenti dedicate all’implementazione di sistemi base ed avanzati di aiuti alla guida.

- **Connettività**

Comprende i sistemi che abilitano la connessione in auto. Questa può essere utilizzata per varie funzionalità e servizi, dall'intrattenimento agli aggiornamenti dalla casa produttrice.

- **Infotainment system**

Comprende i sistemi che permettono all'utente di interfacciarsi con l'auto. La crescente necessità di sistemi più complessi con display di grande diagonale, CPU e GPU più avanzate ed interfacce più evolute, è uno dei segnali più evidenti di quanto la componente digitale (e tutto ciò che essa abilita) stia diventando fondamentale per l'esperienza d'uso.

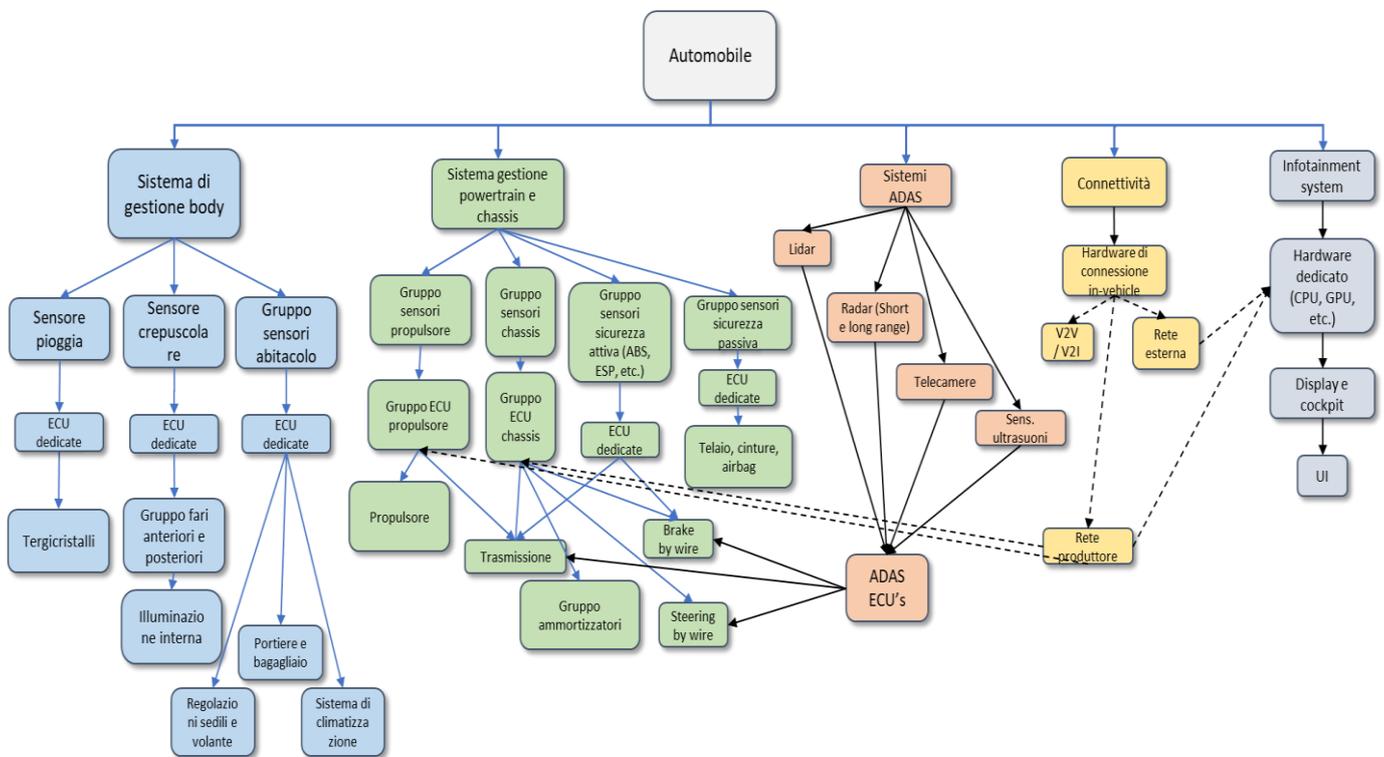


Figura 4: architettura

Data la grande quantità di sensori, ECU e componentistica in generale presente in un'auto, al fine di avere maggiore chiarezza è necessario generalizzarli in macro-gruppi in base al sottosistema di appartenenza. Ad esempio, il propulsore è uno dei sistemi più complessi dell'auto ed è composto e gestito da una intricato insieme di componenti, dalla meccanica all'elettronica. Inoltre, non è di interesse per questa analisi entrare nel dettaglio del tipo di alimentazione poiché ogni tipologia di motore presenta molte differenze, anche fra endotermici ed elettrici stessi. Pertanto, la rappresentazione è stata semplificata al fine di chiarire il nesso tra le tecnologie sopra descritte.

È interessante notare come la presenza di componenti ed hardware dedicati ad assistenti sempre più sofisticati stia portando la digitalizzazione anche nel modello di guida in cui si ha l'automatizzazione, seppur parziale, di alcune azioni che erano prerogativa dell'essere umano. Questa tendenza è coerente con l'obiettivo futuro di molte aziende di voler arrivare ad avere una guida autonoma in cui il veicolo può spostarsi autonomamente in qualsiasi contesto.

### Layered modular architecture

Quando l'innovazione digitale influenza i prodotti fisici, le funzionalità di questi ultimi spesso vengono migliorate e ampliate, questo è anche il caso dell'auto. In presenza di tecnologie digitali si hanno tre caratteristiche principali: riprogrammabilità, natura auto-referenziale ed omogenizzazione dei dati (Yoo, 2010). La riprogrammabilità permette di separare la logica funzionale da quella fisica permettendo l'ampliamento delle funzionalità. L'omogenizzazione dei dati risulta dal momento in cui i contenuti digitali, a differenza di quelli analogici, sono composti da numeri binari permettendone lo storage e la trasmissione attraverso lo stesso dispositivo. La natura auto-referenziale implica che l'innovazione digitale necessita di tecnologie digitali creando, pertanto, esternalità di rete che ne accelerano il processo di sviluppo.

Quando si è in presenza di prodotti fisici "potenziati" da una componente digitale si può avere un'architettura modulare stratificata. Questo nuovo tipo di architettura è un ibrido tra la classica architettura modulare di un prodotto fisico e l'architettura stratificata tipica delle tecnologie digitali.

### Architettura stratificata

Le tecnologie digitali portano alla stratificazione dell'architettura in quattro differenti layer: *device*, *network*, *service* e *content*.

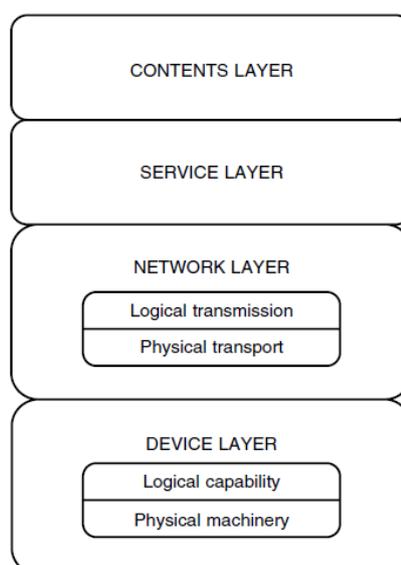


Figura 5: Layered Modular Architecture (Yoo 2010)

Il device ed il network layer sono divisi a loro volta da un layer fisico ed uno logico.

Il device layer comprende le componenti fisiche (ad esempio l'hardware) e le capacità logiche che gestiscono la componente fisica e la connettono agli altri layer (ad esempio il sistema operativo).

Il network layer, con una divisione molto simile, è il layer dedicato alla trasmissione dati e comprende una parte fisica rappresentata, ad esempio, dal cablaggio, e dalla logica di trasmissione che include gli standard utilizzati.

Agli strati superiori vi sono il layer di servizio e di contenuto che si occupano, rispettivamente, delle applicazioni utili all'utente che potrà così servirsi dei dati disponibili e dei contenuti come testi, immagini e video.

### Architettura modulare

L'architettura modulare di prodotto si differenzia dall'architettura integrale. Quest'ultima presenta componenti all'interno del prodotto funzionalmente interdipendenti e le interfacce tra questi non sono standardizzate. Questo porta a delle performance ottimali, tuttavia se si volesse intervenire su un componente da aggiornare, non sarebbe possibile farlo senza avere effetti anche sugli altri e quindi su tutto il prodotto. Al contrario, con architettura modulare si hanno interfacce standardizzate fra componenti ed ognuno di essi è progettato per fornire la miglior performance locale. La modularità riduce la complessità di progettazione e permette di avere maggior flessibilità nel caso in cui si voglia evolvere il prodotto o derivarne varie versioni poiché non vi è stretto legame fra le componenti. Un importante vantaggio di questa architettura è lo sviluppo di prodotti di piattaforma, oggi tipici nel settore automotive, in cui si ha un insieme di asset tecnologici comuni da cui derivano prodotti differenti permettendo di abbattere i costi, avere flessibilità di progettazione ed economie di scala. Il gruppo Volkswagen, ad esempio, dispone di piattaforme su cui nascono i vari modelli appartenenti al gruppo. Partendo dallo stesso insieme di asset la modularità permette di derivare auto diverse anche in termini di dimensioni, motore (la stessa piattaforma opportunamente modificata può supportare veicoli endotermici, ibridi o elettrici), tipologia di trazione, orientamento del propulsore e così via. Grazie a questa versatilità, seguendo sempre l'esempio del gruppo Volkswagen, dalla stessa piattaforma (MLB per motori longitudinali) derivano auto che vanno dalle berline di Audi a SUV come la Urus della Lamborghini.



Figura 6: esempio di piattaforma auto (porsche.com)

### Layered modular architecture nell'automotive

Come anticipato, l'architettura modulare stratificata nasce come ibrido delle architetture sopra descritte. Nell'architettura modulare la progettazione delle componenti è guidata dai requisiti funzionali del prodotto, ovvero, esse sono *specifiche del prodotto*. Inoltre, le componenti fanno parte della stessa gerarchia progettuale. Di conseguenza, queste vengono progettate e prodotte da aziende con conoscenze *product-specific*.

Nell'architettura modulare stratificata, al contrario, si hanno componenti *agnostiche dal prodotto* e la loro progettazione richiede poca conoscenza *product-specific*. Il prodotto è composto da componenti appartenenti a strati diversi dell'architettura che non sono necessariamente appartenenti alla stessa gerarchia di prodotto; pertanto, chi le progetta non conosce con precisione tutti i possibili modi in cui quella componente verrà utilizzata. Queste caratteristiche permettono al prodotto digitale di poter evolvere nel tempo, essere aggiornato e fornire più funzioni o servizi nel tempo. L'innovazione, inoltre, può sorgere indipendentemente in ogni strato ma nei limiti delle caratteristiche fisiche del prodotto. L'auto era precedentemente un prodotto prettamente fisico, tuttavia come anticipato, oggi implementa sempre più caratteristiche tipiche della tecnologia digitale.

Anche nel settore automotive vi sono quindi prodotti in cui, semplificando, il software incorporato può manipolare molti aspetti con molteplici scopi. Inoltre, un veicolo connesso alla rete, alle infrastrutture, ad altri veicoli e così via, apre le porte a nuove funzionalità.

Pertanto, anche in questo caso si assiste alla stratificazione dell'architettura modulare.

All'interno di un moderno veicolo vi è, in primo luogo, la collaborazione di hardware, meccanica e software che ne abilita molte funzioni, anche essenziali per azionare il veicolo stesso, tra cui le automatizzazioni di guida. In secondo luogo, un veicolo connesso abilita altri tipi di funzioni e servizi come la comunicazione con altri veicoli, intrattenimento, navigazione, monitoring e molto altro.

In questo contesto, per i produttori, l'auto si avvicina sempre più al concetto di piattaforma in termini anche di business model oltre che di prodotto facendo convergere gli aspetti di innovazione di prospettiva economica ed ingegneristica. Per queste ragioni le aziende si muovono verso un'architettura stratificata portando ad avere veicoli che sono sia dei prodotti, sia piattaforme per l'innovazione di prodotto e di servizio.

La capacità dell'innovazione digitale di trasformare il prodotto è attribuibile anche alla possibilità di creare nuove relazioni tra funzioni e forma grazie alla sempre più marcata "indipendenza" tra i layer materiali e quelli immateriali.

Un esempio di questo processo facilmente osservabile nelle auto moderne è il crescente utilizzo di display che stanno sostituendo anche la strumentazione analogica posta di fronte al conducente.

Gli schermi montati in auto hanno dimensioni, in termini di diagonale, sempre maggiori e talvolta non si limitano al classico display centrale. In alcune auto è possibile trovare monitor dedicati ai passeggeri o il quadro strumenti digitale, anch'esso (spesso) di grande diagonale tra i 10 ed i 12 pollici. Inoltre, questi sono sempre più sofisticati sia per quanto riguarda gli aspetti grafici (densità di pixel e risoluzione), sia per quanto riguarda l'hardware che li abilita. Queste tendenze sono coerenti con la crescente importanza dell'elaborazione dei dati e delle user interface che l'utente si ritrova a dover gestire. Basti pensare che disporre in tempo reale delle immagini provenienti dalle videocamere (specialmente se anch'esse in alta risoluzione) richiede display più sofisticati con buona frequenza di aggiornamento dell'immagine, bus ed hardware in grado di fornire questi dati senza lag di sistema. Inoltre, su alcuni veicoli non è una funzione limitata alla fase di parcheggio a basse velocità ma ne dispongono anche in marcia (utile in sistemi abbinati al rilevamento dell'angolo cieco che non solo avvisano se sopraggiunge un veicolo ma, quando si accende l'indicatore di direzione, mostrano le immagini riprese dalle telecamere laterali) richiedendo componentistica più avanzata. Se si guarda al passato (anche recente) il quadro strumenti di un'auto è da sempre costituito, tranne alcune eccezioni, da una strumentazione di forma circolare con gli indicatori fisici di giri motore e velocità ed altri indicatori utili come il livello del serbatoio, temperatura, spie etc. Nei quadri puramente analogici vi sono quindi elementi fisici come le lancette, i numeri stampati ed i simboli delle spie impressi o sagomati direttamente sullo sfondo del quadro, che lasciano intendere uno

stretto legame tra l'informazione e la componente fisica che la mostra. Quindi, in assenza di componente digitale non veniva considerata alcuna separazione tra i layer dell'architettura poiché questi erano strettamente legati fra loro e risulta evidente che un'impostazione simile non permette personalizzazioni o libertà nella manipolazione e nell'utilizzo dei dati a disposizione.

Per molti anni vari produttori hanno poi optato per un'impostazione ibrida molto utilizzata ancora oggi, ovvero inserire un piccolo display LCD tra tachimetro e l'indicatore dei giri motore. Questi offrono una fruizione delle informazioni leggermente più dinamica tramite semplici avvisi ed info come l'autonomia residua, temperatura esterna etc. Senza un display dedicato queste informazioni avrebbero richiesto altri indicatori dedicati da inserire nel quadro strumenti.

Oggi si sta invece assistendo alla completa sostituzione del quadro strumenti con cockpit completamente digitali, dotati di hardware più evoluto e UI spesso sofisticate. Questa ulteriore evoluzione permette ai produttori di avere piena libertà nella decisione in merito a quali informazioni mostrare e come farlo, separando definitivamente il layer di servizio da quello di contenuto. In questo modo, l'utente può ora gestire e fruire della grande mole di funzioni e servizi potenzialmente disponibili su un'auto, oltre che poter personalizzare la visualizzazione per adattarla alle proprie esigenze. Infatti, oltre alle info fondamentali, l'utente può navigare nel menù del cockpit per personalizzarlo o gestire le funzionalità messe a disposizione come le impostazioni riguardanti gli ADAS, modalità di guida e molto altro. Inoltre, grazie alla presenza di una connessione, è possibile aprire il sistema ad applicativi di terze parti (entrano in gioco le API) come nel caso delle applicazioni di navigazione per poterli visualizzare direttamente nel cockpit e non solo nel display centrale.

Volendo visualizzare più in generale l'effetto della stratificazione dell'architettura modulare di un'auto, è possibile riassumere i layer nel seguente modo:

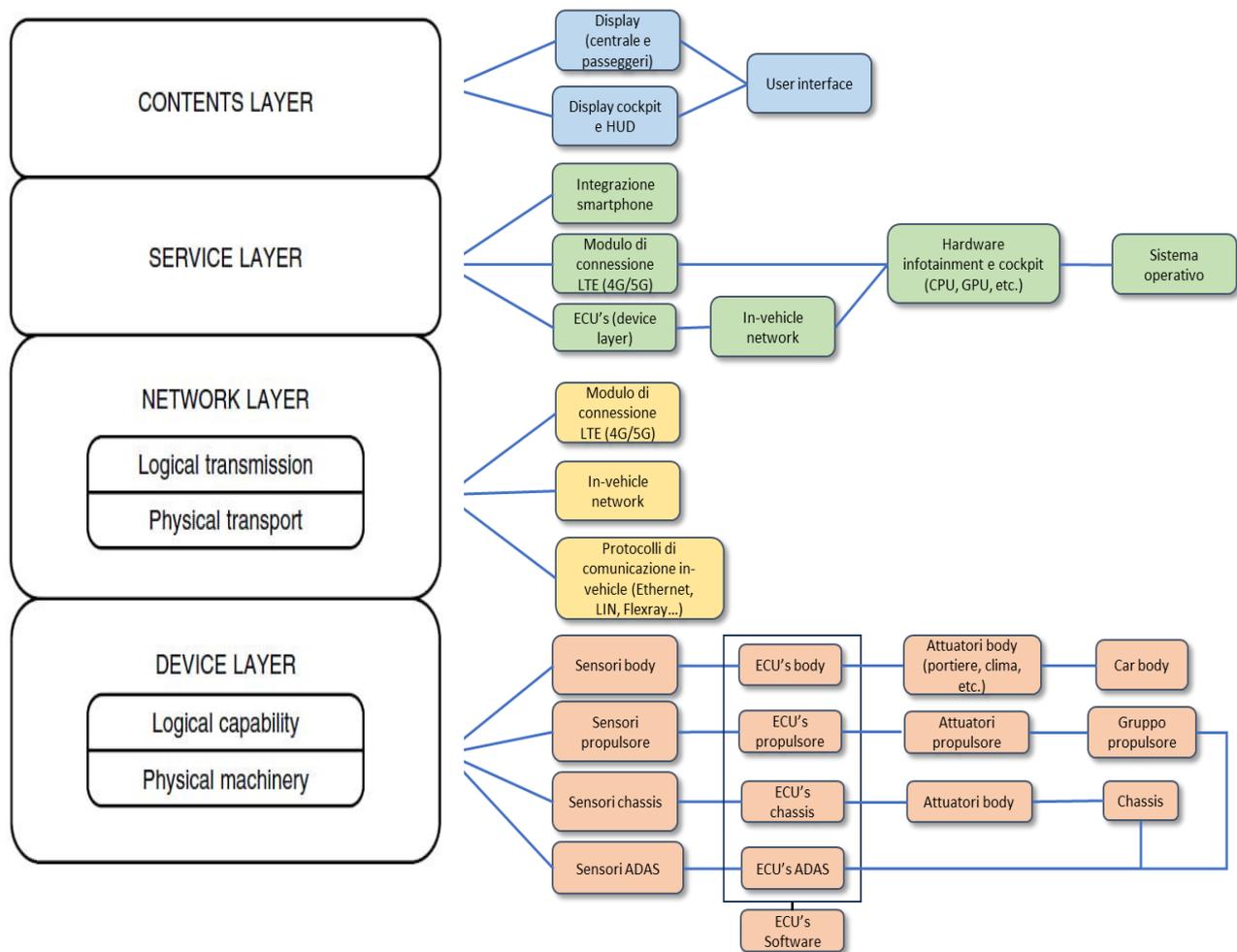


Figura 7: Layered Modular Architecture dell'automobile

Anche in questo caso, si è reso necessario semplificare molto la rappresentazione per chiarire come i vari sottosistemi di un veicolo possono distribuirsi nei layer. Pertanto, nella raffigurazione sono messe in evidenza i gruppi di componenti relative alle tecnologie precedentemente descritte.

Nel **device layer** si trova il sistema fisico che compone il prodotto e le “logical capability”. Generalizzando questo strato all'intera auto, vi si possono collocare i macrosistemi che la compongono, ovvero il gruppo propulsore e trasmissione, chassis, body, e le tecnologie che, tramite raccolta ed elaborazione dati, le gestiscono e le connettono ai layer superiori. Vi rientrano quindi le tecnologie sopra descritte, come le ECU ed i sensori; inoltre, sono classificabili in questo layer le “capacità logiche” del veicolo abilitate dai software che coordinano e gestiscono le varie componenti ed i relativi dati raccolti e da elaborare.

Il **network layer** è composto dalla rete fisica ed i protocolli di comunicazione che aggregano e trasportano la grande quantità di dati raccolti. Ne fanno parte i bus fisici di comunicazione che percorrono l'intera auto come il CAN o l'automotive ethernet ed i protocolli di comunicazione

utilizzati, entrambi descritti più nel dettaglio in precedenza. L'impatto che le componenti di questo layer hanno nella progettazione è tutt'altro che trascurabile poiché, in primo luogo, il cablaggio è costoso ed è reso difficoltoso anche dalle distanze che molti bus devono percorrere. In secondo luogo, è necessario scegliere un tipo di collegamento adeguato in base a quanta banda e latenza sono necessarie per il trasporto di alcuni dati piuttosto che altri, combinando l'utilizzo dei vari protocolli. Nei moderni veicoli connessi è collocabile in questo layer anche l'hardware che abilita la connessione alla rete.

Il **service layer** ed il **content layer** rappresentano gli strati superiori dell'architettura. Analizzando sempre l'intero prodotto, nel service layer vanno a collocarsi le componenti che rendono disponibili la vasta gamma di funzionalità, applicativi e servizi che un veicolo può offrire all'utente. La possibilità di usufruirne è data dalla raccolta ed utilizzo dei dati provenienti dai layer sottostanti. Infine, l'utente si interfaccia con esse grazie ai comandi presenti in auto ed ai sistemi di infotainment. Tramite il layer di contenuto, è possibile organizzare e restituire ogni tipo di dato da mostrare tramite user interface, elementi grafici e così via, con la possibilità di poter essere modificati anche dopo il lancio del prodotto.

Come spesso avviene per altri prodotti digitali, i layer superiori e legati agli aspetti "non materiali", non solo acquistano sempre più indipendenza dal livello "materiale" del prodotto, ma diventano contemporaneamente sempre più rilevanti. Questo accade perché oggi, per i produttori, lavorare e gestire correttamente gli aspetti legati ai layer superiori, è essenziale per stare quantomeno al passo in un mercato dell'auto in costante cambiamento.

In un contesto simile, come spesso accade con l'ingresso di nuove tecnologie, alcune aziende hanno iniziato a portare novità nei loro prodotti prima e più efficacemente di altre, guadagnando così un relativo vantaggio competitivo e know-how nell'implementazione delle tecnologie digitali all'interno dell'auto. Altre case automobilistiche stanno invece "inseguendo" di recente determinati trend di innovazione investendo in nuove piattaforme, formando alleanze con altre aziende e con i colossi dell'elettronica.

Per fare chiarezza, uno dei casi più rilevanti è stato quello di Tesla che, dal 2012 in poi, portò un certo scompiglio nel settore a cui seguì un graduale assestamento che generò, o quantomeno servì a favorire, un cambiamento nel mercato. Ad oggi si potrebbe affermare che la motivazione principale di questo impatto non è attribuibile alla propulsione elettrica in sé, che non è di certo una novità, bensì al come Tesla ha concepito l'auto, ovvero come un insieme di componenti ed hardware che permettono all'auto di essere "plasmabile" e perfezionabile nel tempo da parte del produttore e

dell'utente. Inoltre, al suo interno quasi tutto è controllabile tramite un'interfaccia ben progettata e limitando il più possibile la presenza di comandi fisici e meccanici come leve e pulsanti. Basti pensare che anche la selezione della direzione marcia avviene eseguendo uno swipe su schermo e non tramite leva o selettore fisico, così da liberare spazio nel tunnel centrale e limitando contemporaneamente la complessità costruttiva dovuta all'inserimento di un selettore apposito. Esempi simili riguardano anche la grande quantità di comandi totalmente elettro-attuati come il portaoggetti, portiere, bagagliaio etc. (ma non sempre si è rivelata una scelta vincente in termini di praticità). Inoltre, un'impostazione simile permette di estendere la possibilità di aggiornare il veicolo e non limitarla soltanto all'infotainment. Oltre che poter aggiornare post-lancio aspetti tecnici dell'auto, è possibile implementare nuove feature o attivare determinati servizi a pagamento. Ad esempio, è stato possibile aggiungere in un secondo momento l'apertura della portiera da remoto o, acquistando il rispettivo pacchetto, è possibile abilitare funzioni come la possibilità di far entrare o uscire da un parcheggio l'auto in autonomia mentre si aspetta fuori dal veicolo (funzione che Tesla chiama "summon").

È da sottolineare che una simile concezione di auto intesa come "scatola" composta da un hardware abilitato da una preponderante componente digitale è funzionale alla sperimentazione in vista di un aumento dell'autonomia del livello di guida in cui all'utente sarà richiesto soltanto di vivere l'esperienza di viaggio come passeggero. Per le case automobilistiche di impostazione più tradizionale è una sfida piuttosto impegnativa implementare molti degli aspetti legati a questo genere di innovazione per mancanza di conoscenze e per la presenza di piattaforme di prodotto tradizionali e non nativamente compatibili con questo genere di funzioni. Tuttavia, la concorrenza oggi è ampia e vi sono produttori che stanno riuscendo a fare della "digitalizzazione" il loro punto di forza come nel caso di Hyundai. L'azienda coreana, tramite partnership con aziende come Nvidia, ha aperto i propri veicoli più recenti agli aggiornamenti over the air ed il software sarà l'aspetto fondamentale in questo cambiamento. Inoltre, la prospettiva è quella di creare una rete di veicoli connessi con un proprio ecosistema di servizi ed avere contemporaneamente hardware e sistema operativo in grado di gestire molti dati per potersi muovere verso una maggiore automatizzazione della guida.

La stratificazione dell'architettura modulare ha quindi assunto un ruolo fondamentale anche nell'innovazione nel settore dell'auto così come, ad esempio, in passato è successo con i prodotti dell'elettronica di consumo. Tuttavia, essendo l'auto un prodotto originariamente fisico molto complesso, questo processo di innovazione ha richiesto più tempo affinché la tecnologia utilizzata

fosse abbastanza matura. Inoltre, non solo l'innovazione digitale nell'auto è giunta in ritardo e molto gradualmente (soprattutto se si considerano veicoli non "premium"), ma si evolverà ancora molto nel prossimo decennio. Questo è dovuto alla difficoltà intrinseca che caratterizza la digitalizzazione di un prodotto estremamente complesso che richiede molti investimenti e risorse ed alla pregressa mancanza di tutte quelle nuove competenze fondamentali quando si è in presenza di un'architettura stratificata scaturita dalle tecnologie digitali. Un aspetto chiave che rallenta questo processo ed in nessun modo sottovalutabile è la tolleranza pressoché nulla per quanto riguarda ogni aspetto del corretto funzionamento del veicolo. Se un errore o "bug" più o meno grave può essere sistemato senza creare particolari disagi in uno smartphone, nelle auto la meccanica, l'elettronica ed i software principali devono lavorare in maniera affidabile per evitare situazioni pericolose. Questo richiede molte risorse economiche e tempo dedicato alla ricerca e sviluppo ed al testing prima della vera e propria messa in produzione; sono al più ammesse piccole correzioni o miglioramenti post-lancio.

## FUNZIONI E SERVIZI

Nel capitolo precedente sono stati presi in esame gli aspetti principali riguardanti le tecnologie maggiormente implicate nella trasformazione digitale dell'auto e dove esse si collocano nell'architettura del prodotto. Per fare maggiore chiarezza sui temi trattati sono già stati presi degli esempi di feature abilitate da queste tecnologie. In questo paragrafo verrà data una visione d'insieme delle principali funzionalità e servizi che stanno gradualmente ampliando e trasformando l'esperienza d'uso per poter poi analizzare come le tecnologie precedentemente descritte sono ad esse correlate.

Le funzioni potenzialmente disponibili sono estremamente numerose ed ogni produttore ne inserisce nuove di volta in volta o migliora ed amplia quelle disponibili. Quindi, di seguito verranno prese in maggiormente in considerazione quelle genericamente più impattanti in termini di esperienza d'uso rispetto all'utilizzo di un'auto "classica" prendendo in considerazione quelle feature che precedentemente non erano presenti o poco diffuse. Se si prendono come esempio i sistemi di assistenza, questi cambiano considerevolmente l'esperienza di guida. Al contrario una funzione come il freno di stazionamento elettronico non ha ovviamente lo stesso impatto se non a livello percettivo dell'utente che non dovrà tirare una leva ma azionerà il freno elettroattuato tramite un pulsante.

### Panoramica su funzioni e servizi

Si possono catalogare le l'insieme delle funzioni e dei servizi che è possibile trovare su un veicolo moderno secondo le seguenti categorie:

- **Sicurezza**

L'ambito della sicurezza è tra i più importanti nell'automotive. Inoltre, uno degli aspetti su cui si fa maggiormente leva in tema di digitalizzazione dell'auto e guida autonoma, il cui scopo principale è quello di ridurre al minimo l'errore umano, causa principale degli incidenti stradali. Questo obiettivo viene oggi seguito con l'aiuto dei numerosi sistemi di assistenza al guidatore disponibili per poi, nei prossimi anni, ridurre notevolmente questo fattore di rischio grazie alla guida autonoma che solleverebbe completamente l'essere umano dalla guida. In questa categoria rientrano funzioni come:

- Il rilevamento di stanchezza e stress del conducente tramite i sensori del volante o videocamera in abitacolo capace di tracciare gli occhi e capire se si sta prestando attenzione alla strada
- Previsione degli incidenti fra auto o pedoni ed assistenza in caso di emergenza grazie ai sensori che analizzano l'ambiente circostante abilitando gli assistenti alla guida pronti ad intervenire automaticamente in caso di necessità. Nell'eventualità di un'emergenza, oggi vi sono servizi in grado di permettere al veicolo di rilevare l'incidente ed avvisare automaticamente i soccorsi.
- Aggiornamenti OTA di sicurezza che permettono alle case automobilistiche di tenere aggiornate le proprie auto già in circolazione
- Monitoring accurato delle condizioni del veicolo in modo da avvisare tempestivamente e con precisione l'utente in caso di potenziali malfunzionamenti

- **Comfort ed intrattenimento**

In questa categoria rientrano tutte quelle funzioni in grado, potenzialmente, di attrarre maggiormente gli utenti poiché con esse si interfacciano conducente e passeggeri. Sono funzionali ad una migliore esperienza di viaggio. Grazie ai moderni sistemi di infotainment e connettività, il tempo trascorso in auto può essere percepito quasi come una continuazione della vita domestica potendo svolgere attività che prima erano possibili solo in casa. Ne fanno parte funzioni come:

- L'accesso ai propri contenuti streaming preferiti (musica, video, etc.). Grazie ai sistemi operativi compatibili con applicativi di terze parti è possibile avere a disposizione in auto i propri account ed abbonamenti i cui dati restano sempre sincronizzati. Ovviamente i servizi come quelli di video streaming possono rappresentare una distrazione per chi guida. Questo ha costretto i produttori a limitare la fruizione di questo genere di funzioni a quando il veicolo è fermo, oppure sono disponibili anche in marcia solo per i passeggeri se l'auto è dotata di display dedicati.
- In-car wi-fi ed hotspot con cui tutti i passeggeri possono connettere i propri dispositivi così come normalmente accade in casa.
- La gestione di telefonia, messaggistica (tramite comandi vocali) ed e-mail. Queste sono funzioni oggi in rapida diffusione e che permettono di ridurre l'utilizzo improprio del cellulare alla guida. Tramite servizi connessi è anche possibile utilizzare le principali

piattaforme utilizzate per riunioni voce e video (utilizzando una telecamera all'interno dell'auto).

- La possibilità di avere molte personalizzazioni e veri e propri profili di guida. Tramite essi è possibile avere un profilo personale a cui accedere (ad esempio tramite un PIN o impronta digitale) con impostazioni personalizzate quali le regolazioni del sedile, temperatura abitacolo, illuminazione, impostazioni di guida e molto altro. In alcuni modelli di auto si può accedere ad una personalizzazione estremamente dettagliata dei sistemi dell'auto. Ne sono un esempio gli ultimi aggiornamenti di Tesla che permettono molte impostazioni di guida, tra cui slider (simili a quelli con cui si interagisce sugli smartphone per regolare parametri come la luminosità) che permettono di regolare l'intensità della frenata rigenerativa, ripartizione della trazione tra asse posteriore ed anteriore, intensità dell'accelerazione e così via. Si tratta di aspetti che cambiano radicalmente l'esperienza all'utente e rendono un prodotto complesso come l'auto sempre più vicino al concetto di piattaforma abilitata dalle tecnologie digitali. Viene così portata ad un livello superiore l'interazione con l'utente, quasi alla stregua di altri device digitali con cui esso è abituato ad interagire.
- Gli aggiornamenti del sistema operativo e dell'interfaccia con cui possono essere implementate nuove funzioni o semplicemente migliorare l'aspetto e la fruibilità della UI

- **Efficienza in viaggio**

Grazie a diverse feature e servizi è possibile migliorare l'efficienza in viaggio in termini di tempo, costi o stress. Questo è possibile grazie a funzioni come:

- La navigazione ed il planning di viaggio che permettono di impostare un itinerario (anche in app da smartphone per poi sincronizzarlo in auto) e poterlo pianificare al meglio grazie ad informazioni aggiornate in merito a parcheggi, distributori, colonnine di ricarica etc.
- La ricezione di informazioni in tempo reale sulle condizioni di viaggio nell'itinerario scelto come quelle riguardanti le condizioni meteo, rischio di congestioni stradali, condizioni del manto stradale, etc. In futuro, un effettivo utilizzo diffuso della comunicazione V2V permetterebbe agli utenti di usufruire di informazioni più

dinamiche ed attendibili trattandosi a tutti gli effetti di un network in cui i veicoli rappresentano i nodi di comunicazione.

- La riduzione della fatica nel traffico in città o nei lunghi tragitti grazie ai sistemi di assistenza che sollevano il conducente dal dover eseguire azioni monotone come le continue ripartenze nel traffico

- **Efficienza di costo**

Disporre di una forte componente digitale in auto permette anche di utilizzare i dati raccolti per aiutare l'utente, ad esempio, a ridurre i costi di gestione del veicolo. Alcune feature utili in questo senso sono:

- La profilazione del comportamento dell'utente per il calcolo del premio assicurativo
- L'utilizzo e la conservazione di diverse tipologie di dati al fine di stimare un corretto prezzo del veicolo nel momento della rivendita. Questo permette massima trasparenza in merito ai parametri decisivi nel pricing dei veicoli di seconda mano come i chilometri percorsi, eventuali tamponamenti o incidenti subiti dall'auto, riparazioni, manutenzione ed altro.
- L'ottimizzazione dei consumi tramite calibrando le funzioni dell'auto sulla base della propria guida e delle strade che si devono percorrere.
- La raccolta dati da parte dei produttori che possono risolvere eventuali criticità in tempo e per migliorare il comportamento del veicolo sulla base dei feedback ricevuti.

Questi sono i principali esempi di funzioni e servizi disponibili. Tuttavia, questi sono in continua evoluzione e molti produttori ne inseriscono di nuove con l'uscita di nuovi modelli di auto. Uno dei trend non trascurabili oggi in lenta diffusione, è quello dell'utilizzo di applicazioni per smartphone proprietarie che, oltre a permettere di monitorare determinati aspetti dell'auto a distanza, abilita il controllo da remoto di alcune funzioni come il climatizzatore o lo sblocco portiere. Inoltre, vi è una sempre maggiore integrazione con i sistemi "smart" domestici (Alexa, Google, etc.) con cui è possibile controllare i propri dispositivi collegati. Come è accaduto per altri prodotti come gli elettrodomestici di casa, risulta un crescente coinvolgimento dell'automobile nello scenario "*internet of things*" anche in questo senso.

## Aggiornamenti *over-the-air* (OTA)

Con aggiornamento *over-the-air* si intende una tipologia di aggiornamento tipica dei software dei dispositivi digitali per mezzo di una connessione che avviene con rete wireless, senza quindi la necessità di un cavo dedicato allo scambio dati. Questo tipo di aggiornamenti, in verità, fanno parte della quotidianità di tutti da molti anni e si può associare la diffusione in massa di questa funzione a quella dei dispositivi dell'elettronica di consumo connessi come smartphone, tablet, console per videogiochi, televisori e così via. Oggi, tramite la digitalizzazione di prodotti fisici e quindi il loro avvicinarsi all'IoT, è comune disporre di aggiornamenti dei software presenti all'interno di questi oggetti.

Questo processo di innovazione portato dalle tecnologie digitali, come visto, ha coinvolto il settore dell'automobilismo e, di conseguenza, poter estendere la possibilità portare aggiornamenti *over-the-air* sta diventando una necessità per diversi motivi. Tuttavia, la gran parte dei veicoli predisposti a questa funzione limitano gli aggiornamenti all'interfaccia con cui l'utente interagisce in modo simile a quanto avviene con l'aggiornamento del sistema operativo di un pc o tablet.

Sono invece in lenta diffusione gli aggiornamenti che coinvolgono il software di determinate ECU e quindi votati al miglioramento o risoluzione di problemi del veicolo stesso. Le ragioni per cui non vi sono molti veicoli completamente aggiornabili sono diverse ma principalmente si possono individuare in:

- mancanza di competenze in questo ambito, nei costi di sviluppo di piattaforme moderne e compatibili con gli aggiornamenti e per ragioni di sicurezza informatica.
- Eterogeneità nel sistema causata dal grande numero di ECU di cui si deve tener conto in quanto ognuna ha caratteristiche diverse (in termini di diversità fra modelli di ECU, potenza di calcolo, capacità di storage). Un aggiornamento deve essere estremamente affidabile data l'interdipendenza delle centraline (un errore può avere effetti a cascata). In altre parole, l'auto è un sistema decisamente più complesso rispetto ai device connessi tipicamente composti da una o poche unità di calcolo e portarvi degli aggiornamenti è un processo complicato.

Un veicolo connesso con aggiornamenti abilitati, porta con sé diversi vantaggi:

- Costi minori per i produttori che possono rilasciare facilmente gli aggiornamenti e per gli utenti che possono scaricarli ed installarli senza la necessità di recarsi in un centro autorizzato in cui generalmente si aggiorna tramite porta OBD.
- Aumento della sicurezza in quanto potenziali problemi verrebbero tempestivamente risolti.
- Conservazione del valore dell'auto nel tempo dato che un veicolo aggiornabile a lungo "invecchia" più lentamente.
- Aumento della soddisfazione dei clienti che possono beneficiare dei vantaggi degli aggiornamenti scaricandoli ovunque ed in qualunque momento. La disponibilità di un nuovo pacchetto di aggiornamenti può essere notificata, in modo simile agli smartphone, tramite il display in auto e l'utente può avviarne il download mentre può continuare ad utilizzare il veicolo. Al contrario, come avviene per ogni device elettronico, durante l'installazione l'auto non può essere utilizzata. Pertanto, è un aspetto che l'utente deve tenere in considerazione quando ne accetta la procedura.

È possibile identificare quattro scenari in cui tipicamente è richiesto un aggiornamento:

- **Aggiornamenti di richiamo sicurezza**

Gli aggiornamenti di richiamo sono uno dei principali problemi per le case automobilistiche. Nella maggior parte dei casi la necessità di effettuare un richiamo da parte del produttore non è causata da problemi meccanici, bensì da problemi software emersi durante la messa in commercio dell'auto. Tipicamente si richiede al cliente di portare l'auto in un centro autorizzato per eseguirlo. Questo processo, che spesso implica il richiamo di decine di migliaia di veicoli, crea disagio all'utente e danneggia l'azienda a livello di immagine ed economicamente dato il delicato tema della sicurezza.

I difetti che necessitano un richiamo di sicurezza riguardano quei malfunzionamenti che possono minare alla sicurezza del veicolo e dei passeggeri e possono includere malfunzionamenti del motore, dei sistemi di assistenza, dell'impianto frenante, e così via. Quando questo genere di problemi riguarda il software, la possibilità di aggiornarli a distanza permetterebbe di risolverli molto più velocemente, causando meno disagio e, soprattutto, aumentando la sicurezza.

- **Aggiornamenti non a scopo di sicurezza**

In questo scenario rientrano difetti che hanno un impatto sul corretto funzionamento del veicolo ma non sulla sicurezza di conducente e passeggeri. Uno degli esempi più rilevanti

per quanto riguarda i potenziali difetti che non inficiano sulla sicurezza è il malfunzionamento del controllo delle emissioni dei motori endotermici. L'importanza di questo aspetto è dovuta all'impatto atmosferico dei veicoli ed alla presenza di norme antinquinamento che i produttori devono rispettare. Le case automobilistiche devono quindi progettare motori che rispettino determinati livelli di emissione di NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub> e particolato. Con lo scopo di ridurre le emissioni, nel tempo sono state adottate molte soluzioni come il filtro antiparticolato (FAP), additivi a base di urea nei motori diesel, catalizzatori dei gas di scarico, regolazione della combustione e così via. È quindi importante che le centraline disposte al controllo delle emissioni funzionino correttamente. La vicenda più nota fu il caso delle emissioni dei motori diesel Volkswagen del 2015 in cui l'EPA (l'agenzia statunitense per la protezione dell'ambiente) notificò alla casa tedesca una violazione sulle emissioni delle auto con motori diesel TDI. La casa tedesca fu accusata di aver programmato intenzionalmente la centralina affinché regolasse le emissioni (a scapito delle prestazioni) soltanto nei test di omologazione e non durante la normale messa in strada e questo problema riguardò circa undici milioni di veicoli nel mondo. La casa ne fu costretta al richiamo per un aggiornamento del software.

Un aggiornamento over-the-air avrebbe quantomeno permesso di risolvere facilmente e velocemente questo problema, assicurandosi che tutti i clienti costretti al richiamo attuassero effettivamente l'aggiornamento. Casi simili sono indicativi delle potenzialità della funzione di aggiornamento wireless di un'auto.

- **Aggiornamenti per il miglioramento delle prestazioni**

Questi sono aggiornamenti che riguardano gli aspetti che non sono correlati ad alcun tipo di rischio. Comunemente sono gli aggiornamenti dei sistemi di infotainment che possono riguardare modifiche all'aspetto, miglioramento della stabilità del sistema operativo, implementazione di nuove applicazioni, aggiornamento delle mappe e così via. Tuttavia, è anche possibile portare aggiornamenti in grado di modificare le performance del veicolo stesso, a patto che l'auto supporti questo genere di update.

- **Misure di sicurezza preventive**

La connettività e la stessa apertura agli aggiornamenti wireless dei software presenti in auto porta con sé delle problematiche di sicurezza informatica poiché potrebbe rendere il veicolo vulnerabile ad attacchi hacker. Su auto sempre più caratterizzate dalla presenza di tecnologie digitali, una falla nella sicurezza potrebbe essere pericolosa non solo per la

privacy dell'utente ma anche per la sua sicurezza. Questo tema diventerà ancor più delicato in un futuro in cui si ambisce ad alti livelli di guida autonoma. Le case automobilistiche devono proteggere i veicoli da potenziali incursioni nei sistemi dell'auto che potrebbero addirittura riguardare i sistemi drive-by-wire come acceleratore e freni con conseguenze pericolose. Pertanto, è indispensabile fornire costantemente supporto ed aggiornamenti di sicurezza nel ciclo vita dell'auto.

## Sistemi avanzati di assistenza alla guida (ADAS)

Gli ADAS (acronimo di Advanced Driver Assistance Systems) sono moderni sistemi di assistenza e, di fatto, sono fra le funzioni più rilevanti abilitate dalle tecnologie digitali in tema di sicurezza. Una prima caratteristica che li differenzia da sistemi di sicurezza più tradizionali sta nello scopo stesso di questi assistenti. Mentre dispositivi come le cinture di sicurezza e gli airbag servono a contenere i danni in caso di incidente, gli assistenti avanzati di basso ed alto livello operano con lo scopo di prevenirli riducendo il fattore di rischio legato all'errore umano.

Gli ADAS fondano il loro funzionamento sull'analisi ambientale tramite i sensori precedentemente citati (Lidar, radar, telecamere, etc.) e sull'elaborazione in tempo reale di questi dati per fornire informazioni o agire attivamente sui comandi del veicolo. Tuttavia, anche per quanto riguarda i sistemi più avanzati oggi in commercio, la responsabilità alla guida resta del conducente e ne è richiesta la costante attenzione sulla strada anche quando questi sistemi vengono attivati.

Tra i principali sistemi di assistenza avanzati si hanno:

- **Blind spot assist** o monitoraggio dell'angolo cieco. Permette al conducente di monitorare l'angolo cieco non visibile dagli specchietti retrovisori. Questo è possibile grazie a radar e telecamere e, tipicamente, il veicolo avvisa il guidatore, tramite un led negli specchietti o sulla portiera della presenza di un altro veicolo dietro di sé nel caso in cui si voglia svoltare o cambiare corsia. In alcuni sistemi più avanzati vengono anche mostrate le immagini provenienti dalle telecamere laterali nel cockpit digitale.
- **Riconoscimento della segnaletica stradale.** Si tratta di un sistema in grado di riconoscere i segnali stradali, molto utile nel caso dei limiti di velocità poiché vengono mostrati costantemente a schermo permettendo al conducente, anche in caso di disattenzione, di sapere quale limite vige sul tratto di strada che si sta percorrendo. Questo è possibile grazie alla telecamera montata dietro al parabrezza ed è in grado di riconoscere molti tipi di

segnaletica, dai normali cartelli a quelli provvisori per lavori in corso e con elevato grado di precisione.

- **Monitoraggio delle condizioni del conducente.** È una tipologia di ADAS piuttosto sofisticata ed ancora non molto diffuso. Tramite sensori e telecamera interna è possibile monitorare il livello di attenzione del conducente. Nei sistemi più sofisticati, come quello presente nelle moderne Mercedes, una telecamera traccia con precisione gli occhi del conducente così da poterne valutare l'attenzione ed i segnali di un potenziale colpo di sonno.
- **Lane keep assist.** Tramite telecamere il veicolo è in grado di riconoscere la segnaletica sull'asfalto, quindi riconoscere le linee che delimitano le corsie e la carreggiata. Se il veicolo supera questi limiti emette degli avvisi acustici e visivi e, se l'auto ne è disposta, in mancanza di intervento da parte del conducente, il sistema agisce attivamente sul volante per centrare l'auto sulla propria corsia.
- **Cruise control adattivo.** Abbreviato in ACC (adaptive cruise control), è uno dei sistemi più sofisticati e recenti assieme al lane keep assist ed è in grado di cambiare drasticamente l'esperienza di guida. Si tratta di un sistema che, tramite radar, permette di "agganciare" il veicolo di fronte e di calcolarne distanza di sicurezza e la velocità permettendo di seguirlo autonomamente senza dover accelerare o frenare manualmente, ovviamente nel limite di velocità massima impostata dall'utente. Rappresenta, quindi, una grande evoluzione del tradizionale cruise control presente sulle auto da oltre vent'anni che permetteva di impostare e far mantenere al veicolo una certa velocità, utile soltanto in strade con poche curve e non trafficate.
- **Traffic jam assist.** È un sistema che combina ACC e mantenitore della corsia per portare l'automazione di guida in contesti cittadini trafficati poiché permette al veicolo di gestire autonomamente lo start&stop in presenza di ingorghi mentre si procede a basse velocità.
- **Frenata d'emergenza automatica.** È un sistema che è in grado di riconoscere gli ostacoli come altri veicoli o pedoni e, nel caso l'auto ritenga che una situazione sia pericolosa, procede ad avvisare il conducente e, in mancanza di intervento, frena automaticamente l'auto fino a fermarla. Questo sistema agisce tipicamente al di sotto di 50-60 Km/h.



*Figura 8: esempio di interfaccia ADAS (mercedes-benz.com)*

Questi sono gli assistenti principali ed utili ad aumentare la sicurezza durante la guida. Tuttavia, non è un elenco completo. Infatti, molte case automobilistiche offrono, ad esempio, sistemi di assistenza al parcheggio differenti con telecamera posteriore o su ogni lato, ricostruzione video a 360 gradi o parcheggio completamente automatico; night vision (con proiezione degli ostacoli sul parabrezza), sistema di controllo intelligente dei gruppi ottici a LED e così via.

Inoltre, ogni azienda mette a disposizione una gamma di ADAS più o meno completa in cui, alcuni vengono offerti come costosi optional a discrezione del cliente ed altri sono di serie. In un simile contesto si trovano dotazioni differenti di ADAS di veicolo in veicolo e, in aggiunta, sono più o meno efficaci in base alla tecnologia ed al software utilizzato da ogni produttore. Pertanto, data la presenza di sistemi differenti, oggi non è scontato definire il livello effettivo di autonomia di guida di un veicolo. Se si guarda all'impatto che questo tipo innovazione ha sul pubblico, sebbene non siano ancora diffusi in tutte le auto, questi sistemi stanno avvicinando gradualmente gli utenti al concetto del modello di guida autonoma. Grazie ad essi, è già possibile provarne le tecnologie di base che la abiliteranno ed i potenziali vantaggi che si potranno trarre da essa in termini di sicurezza e comfort.

## Analisi delle funzioni

Al fine di analizzare il ruolo delle tecnologie abilitanti della componente digitale dell'auto, nei paragrafi precedenti è stato necessario dare una visione d'insieme delle principali funzioni/servizi rese da esse disponibili. Si è, inoltre, entrati maggiormente nel dettaglio dei temi degli aggiornamenti

software e degli assistenti avanzati in quanto la loro presenza e completa implementazione nell'auto rappresenta una sorta di cartina tornasole indice del livello di digitalizzazione di un veicolo moderno. Dopo aver chiarito questi aspetti, le tecnologie implicate e le loro relazioni all'interno dell'architettura, è possibile evidenziare con maggiore precisione quali sono le effettive correlazioni fra tecnologie e funzioni abilitate ai fini di una più completa comprensione del tema, tramite alberi funzionali.

Come per la definizione dell'architettura, anche in questo caso ai fini della rappresentazione, le componenti messe in evidenza sono quelle dedicate alla componente digitale dell'auto ed aggregate in blocchi in base ai moduli in cui operano per fornire determinate funzioni. Considerando un veicolo con una forte componente digitale e sottintendendo il ruolo della meccanica ad essa connessa, si nota come pressoché ogni funzione sia abilitata da gruppi di sensori ed ECU dedicate e/o dai dispositivi di connessione dell'auto.

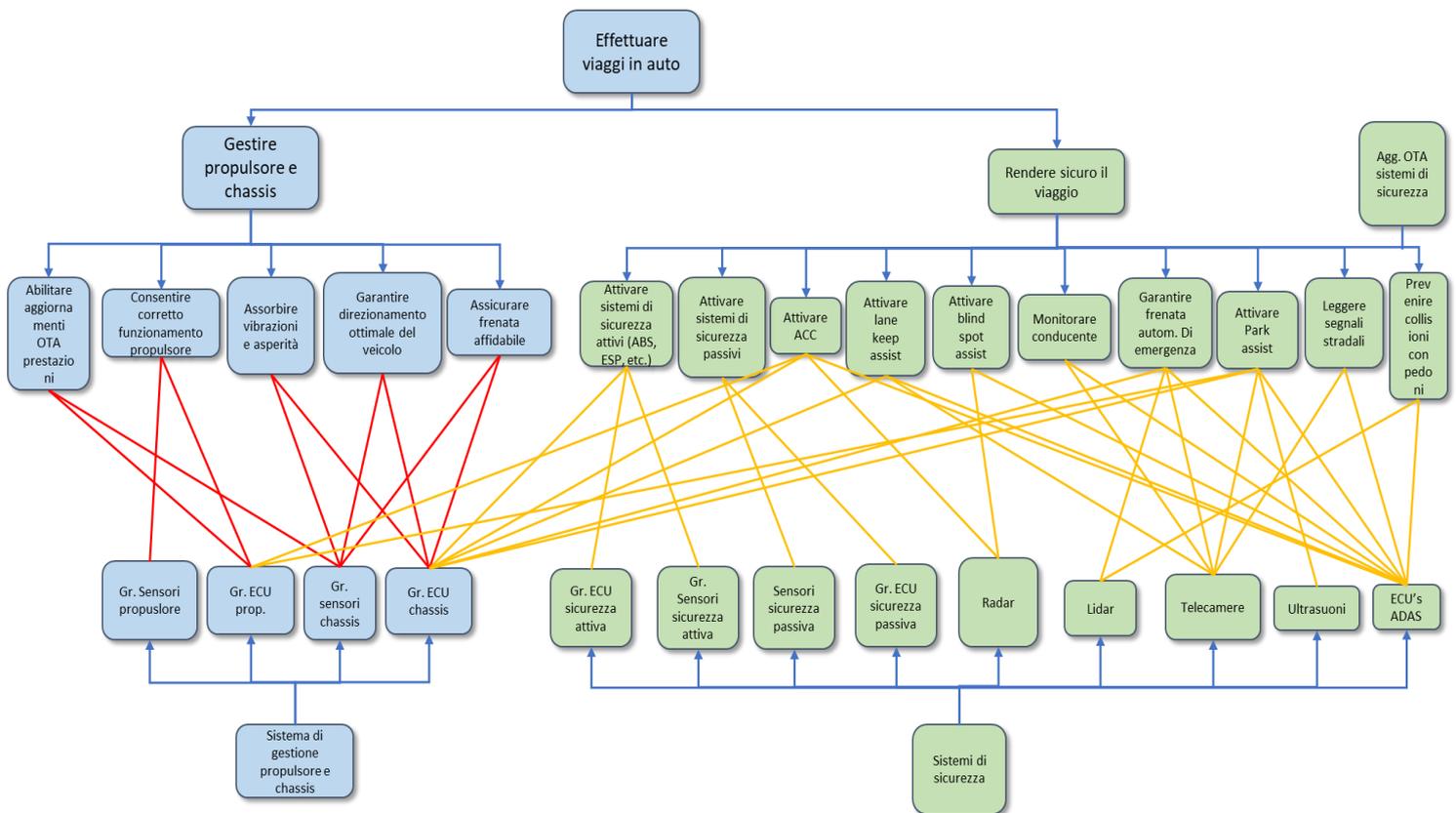


Figura 9: struttura funzionale (sistema gestione propulsore e chassis - sistemi di sicurezza)

Si ha la gestione del propulsore e dello chassis che passa attraverso la complessa elettronica dedicata garantendone il funzionamento di motore, sistemi drive-by-wire e telaio.

Una simile impostazione è oggi estensibile anche a sistemi tipicamente meccanici come le sospensioni poiché, al netto del loro costo, anch'esse possono essere a controllo elettronico nei casi di sospensioni attive o semi-attive in grado di regolare autonomamente la durezza e/o l'estensione dell'ammortizzatore in base alle condizioni dell'asfalto.

È possibile notare, inoltre, la stretta correlazione esistente tra l'aumento dell'elettronica dedicata alla gestione delle funzioni principali del veicolo e le numerose funzioni disponibili dedicate alla sicurezza stradale e all'automazione. Infatti, allo scopo di incrementare la sicurezza in viaggio, ai classici sistemi come i controlli di trazione e l'ABS, cinture ed airbag, si aggiungono tutti quei sistemi avanzati descritti in precedenza. Ciò che accomuna questi sistemi è il loro principio di funzionamento che parte dai dati raccolti dai sensori che analizzano l'ambiente circostante al veicolo e la loro elaborazione in tempo reale. I sistemi più avanzati non si limitano a fornire informazioni o avvisi (visivi, acustici o tattili) ma possono agire sull'accelerazione, la frenata e la sterzata richiedendo la collaborazione fra le centraline che li gestiscono. In questo modo i "computer" che gestiscono i sistemi ADAS possono agire attivamente anche lato motore e telaio.

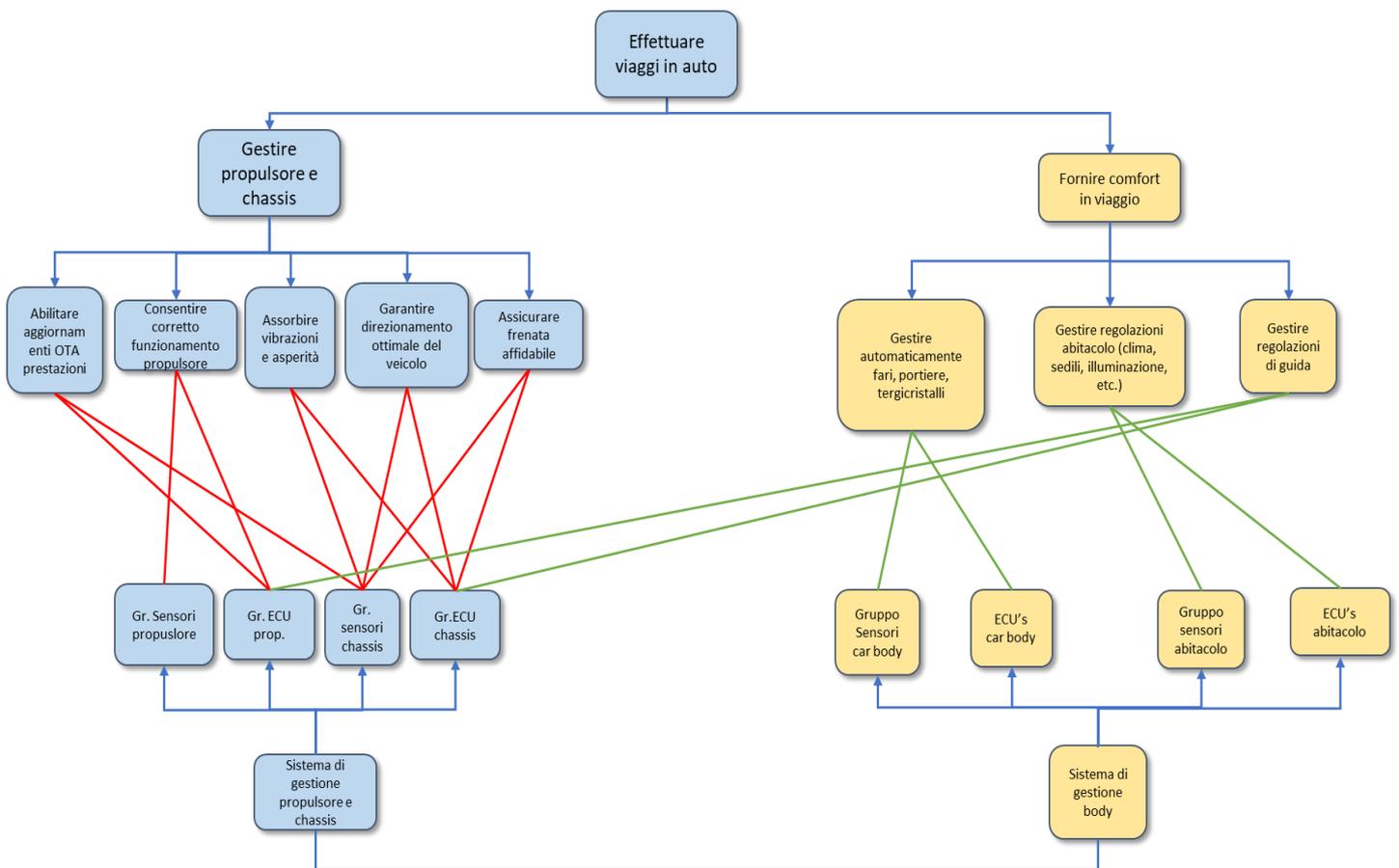


Figura 10: struttura funzionale (sistema di gestione propulsore e chassis - sistema di gestione body)

Anche per quanto riguarda l'esperienza d'uso dell'utente durante un viaggio vi sono sensori e centraline dedicate ed abilitano una grande quantità di funzioni votate al comfort. Grazie all'elettronica ed ai sensori dedicati è possibile implementare funzioni come la gestione automatica di portiere e fari (tramite sensore crepuscolare in grado di distinguere anche luce naturale ed artificiale) e le tante feature presenti in abitacolo. Esse spaziano dagli impianti di climatizzazione sempre più sofisticati alle regolazioni dei LED di illuminazione ambientale in grado di illuminare con tonalità adeguate automaticamente alla luce esterna. Anche in questo caso, l'elettronica permette di aumentare l'interazione tra l'utente ed il prodotto come nel caso delle personalizzazioni di guida, ad oggi sempre più complete e diffuse in molte auto.

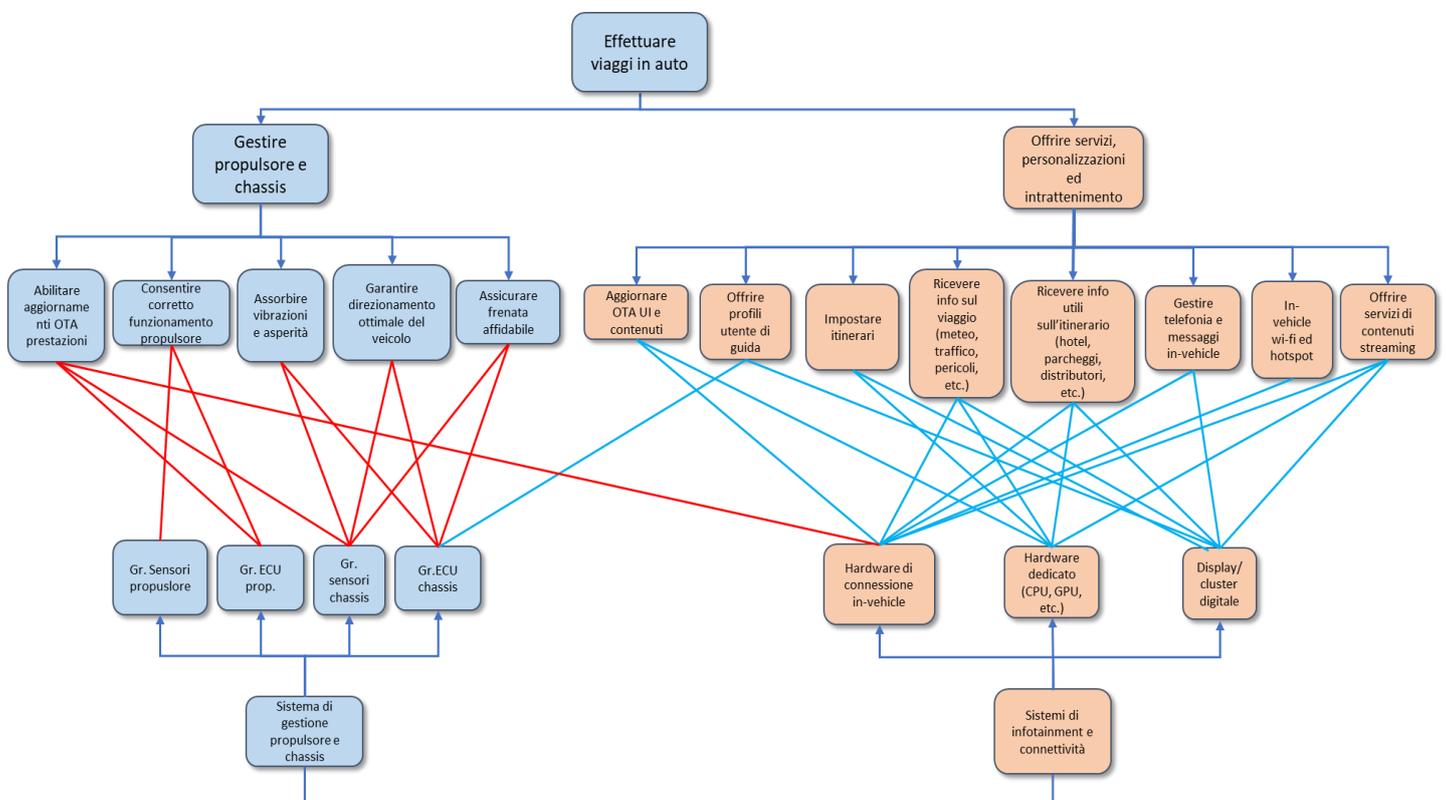


Figura 11: struttura funzionale (sistema gestione propulsore e chassis - sistemi di infotainment e

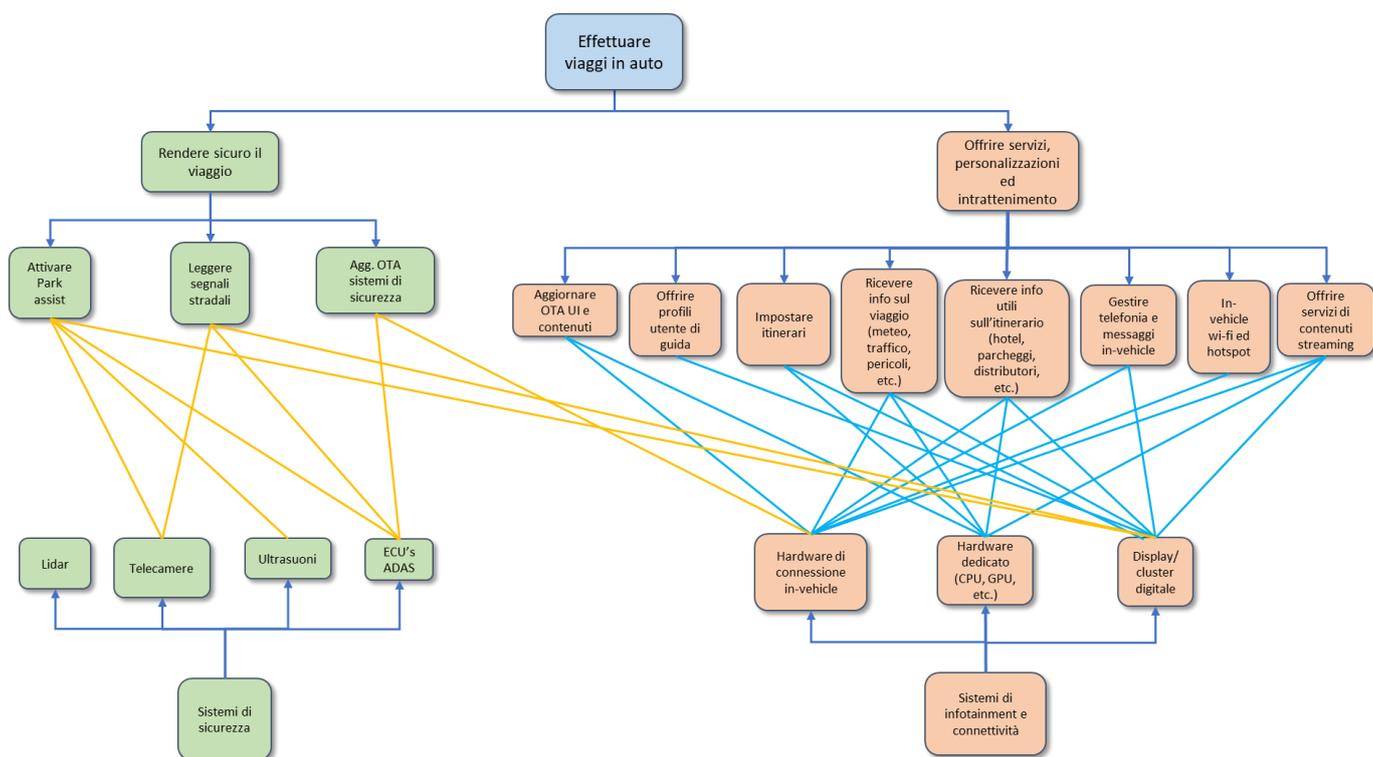


Figura 12: struttura funzionale (sistemi di sicurezza - sistemi di infotainment e connettività)

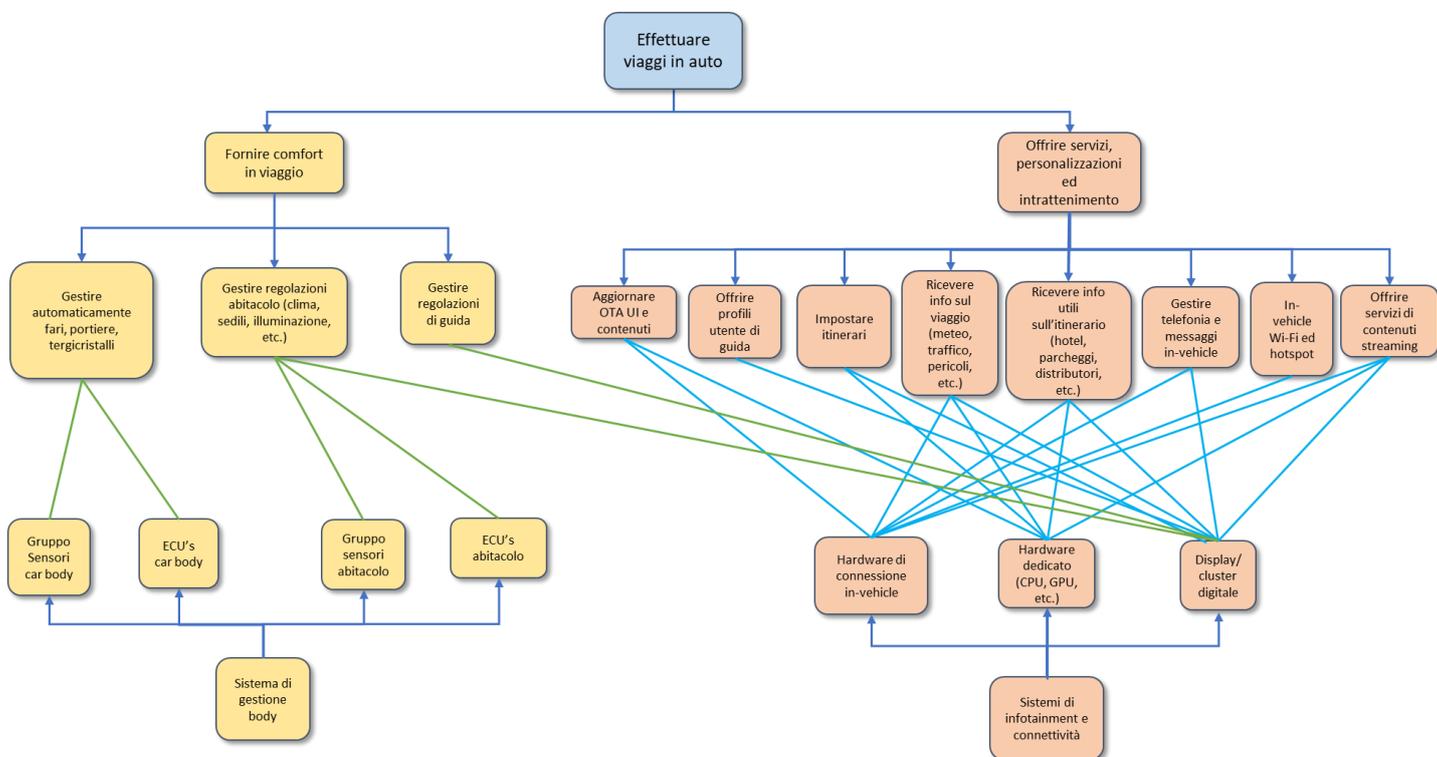


Figura13: struttura funzionale (sistema di gestione body - sistemi di infotainment e connettività)

Gran parte di funzioni e servizi presenti sono oggi accessibili e gestibili tramite i display dedicati e connettività. Al costo della fase di apprendimento circa l'utilizzo del sistema operativo di bordo e di tutte le funzioni a cui dà accesso, l'utente interagirà tramite interfacce ad esso familiari poiché simili a quelle dei tipici device personali come gli smartphone. Questo permette dopo poco tempo di poter gestire funzioni più o meno complesse con molta facilità, motivo per cui tramite esso è possibile usufruire di funzioni che vanno dai servizi connessi alle regolazioni e modalità di guida. In questo senso, lo sforzo richiesto alle case automobilistiche è anche quello di adeguare l'interazione semplice ed immediata tipica di un'interfaccia "smartphone-like" alla complessità intrinseca presente in un veicolo. In altre parole, si tratta di offrire funzioni ingegneristicamente complesse (come le regolazioni dell'assetto di guida) tramite semplici passaggi a schermo.

Inoltre, come visto in precedenza, la presenza di centraline dedicate alla gestione di quasi ogni aspetto dell'auto ne rende possibile l'aggiornamento software grazie all'hardware dedicato alla connettività per eventuali correzioni o miglioramenti nel corso del tempo dopo la commercializzazione di un determinato modello d'auto. Quanto investire su piattaforme adeguate a riceverli e quanto aprire le ECU agli aggiornamenti è, ad oggi, a discrezione del produttore.

In questa analisi, per visualizzare le relazioni logiche presenti fra le numerose funzioni ed i relativi flussi di informazione scambiati, è stato costruito un diagramma di Rodenacker. Per la rappresentazione sono stati individuati i principali elementi funzionali che costituiscono il sistema. L'input rappresenta la funzione principale dell'auto, ovvero permettere il trasporto.

È chiaro che per assolvere allo scopo principale sono necessarie le funzioni di propulsore e telaio e quindi la conversione di una fonte di energia in lavoro tramite flussi di energia. Tuttavia, le relazioni tra gli elementi funzionali si articolano ulteriormente a causa della componente digitale con i relativi flussi informativi necessari alla raccolta, elaborazione e scambio dati, necessari ad abilitare numerose funzioni.

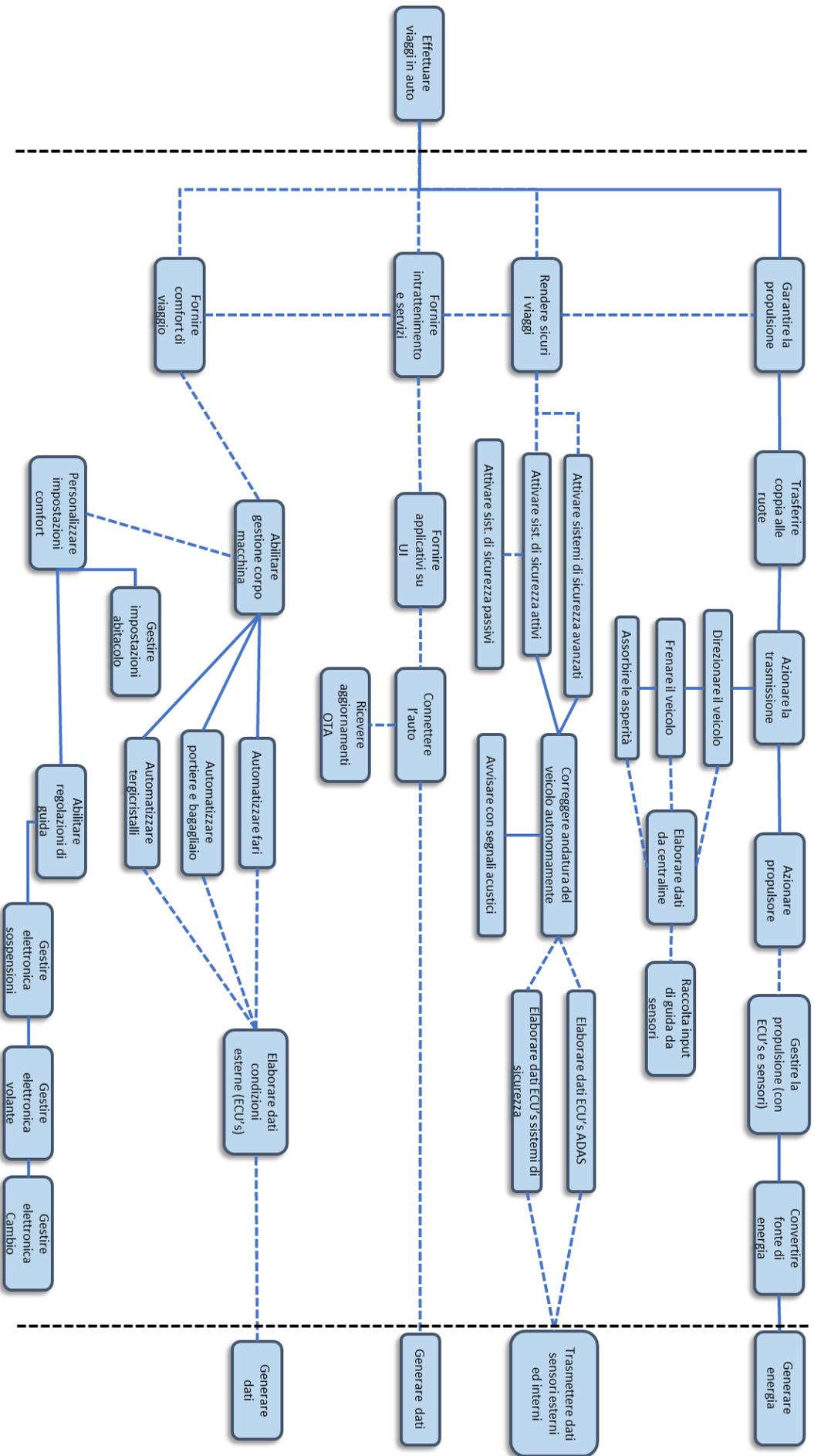


Figura 12: diagramma di rodenacker

## Modular layered architecture (funzioni)

Tramite l'analisi delle funzioni associate ai layer dell'architettura stratificata è possibile, in primo luogo, evidenziare la rilevanza del livello di network ai fini della trasmissione (a livello fisico e logico) della grande quantità di dati necessari sia al device layer, sia negli strati superiori. Ciò è coerente con la precedente analisi delle tecnologie e dell'architettura, in quanto la digitalizzazione sta richiedendo un notevole sforzo in termini di network più complessi rispetto al passato e di protocolli di comunicazione adeguati alla trasmissione rapida di dati eterogenei.

Infatti, la componente digitale è essenziale per garantire la gestione delle funzioni di base del prodotto fisico e quelle ad esso direttamente connesse (come i sistemi di sicurezza). Contemporaneamente, vi è una crescente rilevanza dei layer superiori in cui oggi si collocano le numerose funzioni e servizi che vanno a servire l'utente arricchendone l'esperienza d'uso.

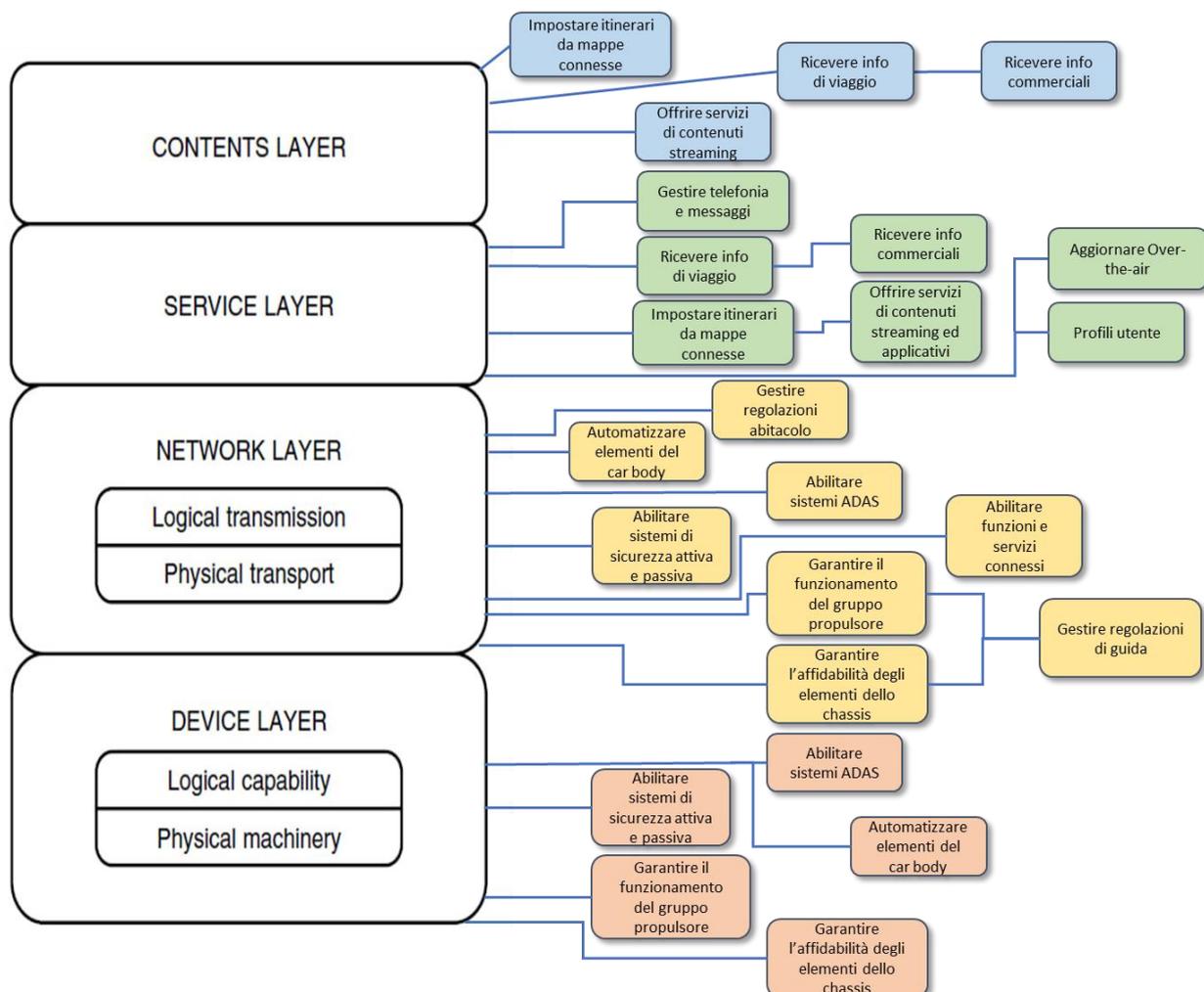


Figura 13: Layered modular architecture e funzioni

## Stakeholder

Il tema dell'innovazione legato alle tecnologie digitali nel settore dell'auto finora analizzato, porta con sé diversi cambiamenti per quanto riguarda gli stakeholder coinvolti.

Tradizionalmente le parti che hanno interessi nel mondo dell'auto sono numerose in quanto è un prodotto che coinvolge numerosi attori, dalle fasi di progettazione al ciclo vita post-vendita. La produzione di un veicolo richiede una lunga fase di progettazione e molte risorse, così oltre alla casa automobilistica sono coinvolti numerosi fornitori. Inoltre, ogni veicolo è soggetto a norme per la circolazione ed omologazioni affinché ogni componente sia a norma di legge per la sicurezza e l'inquinamento.

Essendo l'auto un bene durevole, vi sono diversi attori coinvolti nei servizi di riparazione, mercato dei ricambi, rivenditori e così via. Questi sono solo alcuni esempi.

Di seguito, sono stati individuati gli stakeholder principali relativamente al loro coinvolgimento nel processo di innovazione di questo settore. In particolare, in questo contesto uno dei più grandi cambiamenti riguarda la crescente rilevanza delle *tech companies* nel mondo dell'auto. Questa è dovuta alla necessità dei produttori d'auto di collaborare con esse per far fronte alla mancanza di competenze richieste in questo processo di innovazione (connettività, sistemi operativi, etc.) ed alla necessità di installare hardware di calcolo sempre più performante.

Car makers	<ul style="list-style-type: none"><li>• Servizi connessi ed applicativi appetibili per i clienti</li><li>• Gestire gli aggiornamenti OTA e raccolta dati con piattaforme di prodotto adeguate</li><li>• Garantire propulsore (termico e non) e gruppo chassis affidabili e facili da gestire da parte dei clienti</li><li>• Implementazione del grande numero di funzioni legate all'elettronica di bordo (personalizzazioni di guida, automatismi, etc.)</li><li>• Sistemi di sicurezza tradizionali attivi e passivi ed assistenti alla guida avanzati</li></ul>
Utenti-conduttore	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sistemi di sicurezza tradizionali attivi e passivi ed assistenti di guida avanzati</li><li>• Fruizione e gestione dell'auto in termini di propulsore e chassis facilitate dall'elettronica di bordo</li><li>• Servizi connessi ed applicativi volti all'intrattenimento ed all'efficienza in viaggio</li><li>• Aggiornare facilmente over-the-air per la correzione di problemi o implementazione di funzioni</li><li>• Automatismi che migliorano l'esperienza d'uso (fari "intelligenti", tergi automatici, etc.)</li><li>• Funzioni relative alla personalizzazione in abitacolo (clima, poltrone, illuminazione etc.) e possibilità di controllarle da remoto in app</li></ul>
Utenti-passeggeri	<ul style="list-style-type: none"><li>• Funzioni relative alla personalizzazione in abitacolo</li><li>• Servizi connessi ed applicativi volti all'intrattenimento fruibili durante la marcia del veicolo su interfaccia indipendente da quella del conducente per motivi di sicurezza</li></ul>

Figura 14: stakeholder

Governo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemi ADAS obbligatori sulle auto per la sicurezza stradale</li> <li>• Gestione elettronica delle funzioni del propulsore per regolare le emissioni</li> </ul>
Enti gestione della rete stradale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemi ADAS per la sicurezza stradale</li> <li>• Servizi connessi per la futura comunicazione V2I</li> </ul>
Tech companies	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Servizi connessi, aggiornamenti OTA ed applicativi di terze parti</li> <li>• Funzioni relative alla personalizzazione in abitacolo ora fruibili tramite sistema operativo ed interfaccia su display e cockpit</li> <li>• Funzioni di personalizzazione di guida integrate ed accessibili da sistema operativo</li> <li>• Funzioni legate all'elaborazione di grandi quantità di dati provenienti da sensori esterni e che necessitano di hardware adeguato</li> </ul>
Compagnie assicurative	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilità di profilare il comportamento dell'utente grazie ai dati raccolti dall'auto in caso di sinistro</li> </ul>
Reseller	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Raccolta e salvataggio di dati utili durante il ciclo di utilizzo del veicolo al fine di garantire il corretto pricing del veicolo (ad esempio, non sarà possibile nascondere eventuali sinistri subiti dall'auto o ridurre illegalmente i chilometri percorsi effettivamente dal veicolo)</li> </ul>
Car repairer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Le numerose funzioni abilitate da software ed elettronica descritte nelle slide precedenti richiedono manodopera più specializzata in caso di guasti</li> <li>• Aggiornamenti OTA possono evitare (entro certi limiti) al cliente eventuali riparazioni in un centro specializzato o permettono di fare prevenzione correggendo probabili difetti prima che si verifichi un guasto</li> </ul>

*Figura 15: stakeholder*

## ANALISI DELLA TECNOLOGIA DELLA GUIDA AUTONOMA

Le tecnologie digitali hanno portato un cambiamento significativo nel prodotto e nell'esperienza dell'utente. Nei capitoli precedenti, sono stati presi in esame gli aspetti principali che sono alla base di questo cambiamento e quali conseguenze hanno portato alla concezione del prodotto da parte delle aziende in termini di tecnologie, architettura e funzioni abilitate.

Tuttavia, anche dal lato utente, la crescente abitudine nell'interfacciarsi con prodotti "digitalizzati" e connessi ha fatto sì che il mercato dell'auto venisse stimolato ad innovarsi in tal senso per andare incontro alle nuove esigenze degli utenti. Queste sono soddisfatte da nuove funzioni, servizi connessi e dall'interazione col prodotto potenziata dalle tecnologie digitali, aspetti tipici di un artefatto coinvolto in questa tipologia di innovazione.

Per questo motivo, si può affermare che l'innovazione in questo senso sia anche spinta dall'esigenza di rispondere a nuovi bisogni (*demand pull*).

I sistemi di guida autonoma, sebbene storicamente presentino una prima sperimentazione fine a sé stessa a partire dagli anni '60, sono invece considerabili il lato "più innovativo" e "*technology push*" della trasformazione digitale delle auto. Gli assistenti più avanzati, infatti, sono abilitati da tecnologie con molto potenziale e che stanno già modificando radicalmente l'esperienza di spostamento in auto degli utenti che ne dispongono. Una ricca e sofisticata dotazione di questi sistemi, infatti, permette agli utenti di familiarizzare con un'auto in grado di viaggiare prendendo autonomamente molte decisioni (con l'obbligo del conducente di prestare sempre attenzione ed intervenire se necessario), instaurando una nuova tipologia di interazione col prodotto, precedentemente inesistente.

Queste tecnologie sono la base della *self-driving car* che rappresenta una vera e propria *innovazione radicale* nel settore automotive. Questa richiede un insieme di tecnologie e conoscenze completamente nuove nel settore che mirano alla futura eliminazione della necessità di un essere umano alla guida ed i relativi rischi ad esso legato in termini di sicurezza stradale.

Inoltre, l'emergere di queste tecnologie ha creato fermento in questo settore che ha visto l'ingresso di aziende non appartenenti al mondo dell'automobilismo (come nel caso di Waymo di Alphabet) ed ha spinto le case automobilistiche ad investire sul potenziamento della guida autonoma.

### Livelli di guida autonoma

Per maggiore chiarezza, è opportuno definire il significato di guida autonoma. L'ente americano SAE International che si occupa di normazione nel campo della mobilità, nel 2013 definì un sistema di

classificazione di cinque livelli di autonomia di guida in modo da definire una nomenclatura comune in grado di fare chiarezza su questa tecnologia emergente.

I livelli sono:

- **Livello 0**

Rientrano in questo livello le auto “tradizionali” in cui tutte le operazioni e decisioni da prendere alla guida sono completamente demandate al conducente, non vi è la presenza di alcun sistema ad aiutare attivamente il guidatore. In questo livello rientrano anche le vetture dotate di assistenti che forniscono segnali acustici o visivi come l’avviso dell’angolo cieco o di collisione, ma che di fatto non intervengono sulla guida. I sistemi di sicurezza tradizionali come l’ABS e l’ESP non influenzano il livello di guida autonoma perché intervengono solo quando necessario, dopo il presentarsi di situazioni critiche che ne richiedono l’intervento.

- **Livello 1**

Comprende i veicoli dotati di sistemi di assistenza semplici in grado di controllare velocità e sterzo del veicolo entro certi limiti. Sebbene si tratti di sistemi che agiscono attivamente su acceleratore e sterzo, sono soltanto di supporto ed è sempre il conducente a guidare.

- **Livello 2**

Comprende i veicoli dotati di sistemi che permettono all’auto di compiere manovre agendo contemporaneamente sull’accelerazione e sullo sterzo aumentando il livello di autonomia del veicolo. È sempre richiesta l’attenzione del conducente. Questo livello è quello di riferimento per quanto riguarda gli attuali sistemi di assistenza avanzata.

- **Livello 3**

È il primo livello in cui non è richiesta la costante attenzione del conducente. Si tratta di guida altamente automatizzata dove il veicolo può compiere manovre complesse in accelerazione e sterzata grazie ad una completa analisi ambientale. L’attivazione di questo tipo di guida autonoma è limitata a contesti che l’auto può gestire ed il conducente deve quantomeno restare vigile per poter intervenire se il veicolo lo richiede. Sebbene il codice della strada vieti la possibilità di staccare le mani dal volante mentre si circola su strade pubbliche, alcune case automobilistiche stanno implementando dei sistemi classificabili come livello 3, utilizzabili con dovute limitazioni.

- **Livello 4**

Si tratta di guida altamente automatizzata. L'auto può svolgere operazioni complesse ed in questo caso non è necessaria l'attenzione di un conducente. È attivabile su strade preposte a questo livello di guida autonoma ed in condizioni definite. L'auto presenta ancora i comandi tradizionali poiché il veicolo riconosce i propri limiti e può richiedere l'intervento se necessario o fermarsi in sicurezza se il conducente non interviene (ad esempio in condizione di improvviso meteo avverso).

- **Livello 5**

I veicoli di livello 5 sono in grado di spostarsi autonomamente in qualsiasi situazione e senza mai richiedere l'intervento umano. Inoltre, non sono dotati di volante e pedali ma sono completamente predisposti ad ospitare soltanto passeggeri. Rappresenta una totale ridefinizione del concetto attuale di automobile. Ad oggi, è possibile trovare veicoli con queste caratteristiche solo allo stadio di prototipo.

Questa classificazione è utile per dare una definizione più rigorosa di una tecnologia precedentemente inesistente nel settore, tuttavia, è un'esemplificazione di una realtà più complessa. Ogni azienda utilizza soluzioni tecnologiche differenti fra loro e in assenza di normative precise in merito alla classificazione dell'autonomia di guida in relazione alle caratteristiche tecniche, non è banale definire con precisione il livello di automazione di un veicolo. Nelle successive analisi, pertanto, si prenderà come riferimento di guida autonoma un veicolo generalmente in grado di effettuare viaggi ed operazioni complesse in autonomia e senza la necessità dell'attenzione del conducente come accade dal livello 4 (in parte anche il livello 3 lo permette ma in modo limitato).

## Caratteristiche generali del veicolo autonomo

In presenza di sistemi di guida autonoma, si è di fronte ad un prodotto completamente digitalizzato che eroga le proprie funzioni mediante la componente fisica e può essere considerato un vero e proprio *product service system*. L'auto in questo caso permette gli spostamenti mediante un continuo flusso di dati che abilita di conseguenza le funzioni della meccanica regolata elettronicamente.

Il principio di funzionamento di un veicolo a guida autonoma è concettualmente simile a quello degli attuali sistemi di assistenza avanzati precedentemente descritti, in un certo senso ne rappresenta l'evoluzione. Tuttavia, si tratta di una tecnologia ancor più complessa in quanto richiede hardware e software ben più evoluti.

Al veicolo autonomo è completamente demandata l'analisi ambientale, pertanto è fondamentale il ruolo dei sensori che devono costantemente mappare l'ambiente circostante e ridurre al minimo il

rischio di errore nella lettura. Sebbene ogni produttore adotti soluzioni tecniche diverse, di base, le tipologie di sensori che possono essere equipaggiati dai produttori sono gli stessi dettagliati in precedenza in merito agli assistenti avanzati alla guida, con i relativi vantaggi e svantaggi.

L'ingente quantità di dati generati in tempo reale dai sensori deve poter essere elaborata senza latenza dalle centraline e dal software dell'auto e richiede la presenza di un hardware di calcolo idoneo. Questo è uno degli aspetti più critici dell'automazione e rappresenta una delle sfide più grandi da superare. La complessità di queste operazioni, infatti, non deriva solo dalla necessità di mappare in 2D o 3D l'ambiente circostante ma è dovuta anche alla difficoltà intrinseca che risiede nel far percepire al veicolo ciò che accade attorno. Infatti, l'auto durante lo spostamento deve tener conto della segnaletica stradale, dei pedoni, dei ciclisti, delle condizioni del traffico e di tutte le variabili che richiedono tempi di reazione brevi. Per far sì che l'auto risponda correttamente a quante più situazioni possibili si fa uso di sistemi di intelligenza artificiale, le DNN (*Deep Neural Networks*). Si tratta di un complesso insieme di algoritmi volti ad apprendere, ad esempio tramite simulazioni, come percorrere le strade in determinati scenari come incroci, rotonde, in presenza di pedoni che attraversano la strada così via.

Altro punto fondamentale sarà la comunicazione con gli altri veicoli e con le infrastrutture (V2V e V2I) che permetterebbe un costante scambio di dati con gli altri veicoli e le infrastrutture connesse. Come descritto in precedenza, queste possono riguardare varie informazioni che verrebbero sfruttate dagli algoritmi del veicolo in diversi modi. Ad esempio, conoscere posizione e velocità di un altro veicolo ne facilita l'individuazione, può permettere di prevedere se un tratto di strada si sta congestionando in modo da scegliere un percorso migliore; si può anche potenziare la lettura dell'ambiente con le informazioni raccolte da un altro veicolo in modo da prevedere con più precisione cosa sta per accadere. Inoltre, lo scambio di informazioni sul meteo, condizioni della strada, traffico ed altre variabili permettono un planning di viaggio più efficiente da parte del veicolo andando ad una gestione più intelligente del flusso di auto.



Figura 16: self driving car di Cruise (getcruise.com)

## I vantaggi

Questa tecnologia porterebbe con sé diversi vantaggi, fra i più rilevanti si ha:

- **Sicurezza stradale**

Il netto miglioramento della sicurezza stradale è uno dei vantaggi più importanti della guida autonoma grazie all'eliminazione dell'intervento umano alla guida e la relativa possibilità di errore. Infatti, le cause principali degli incidenti stradali sono il più delle volte riconducibili ad errori o comportamenti illeciti alla guida, come l'utilizzo dei propri dispositivi in marcia, eccesso di velocità, infrazioni, stanchezza e così via.

- **Miglioramento della qualità della vita**

Contrariamente a quanto avviene oggi, durante un viaggio su un veicolo autonomo l'utente può utilizzare il suo tempo per dedicarsi ad altre attività. Molti individui, per gli spostamenti quotidiani devono dedicare molto tempo alla guida e spesso in situazioni di disagio come il traffico. Con la guida autonoma questo tempo può essere speso per dedicarsi ad altro, come attività lavorative, di intrattenimento o sociali nel caso non si viaggi da soli.

- **Gestione "intelligente" del flusso stradale**

Un flusso di auto composto da veicoli autonomi e connessi fra loro può abilitare lo scambio di informazioni fra essi in modo da farli cooperare. Ad esempio, si possono mantenere velocità e distanze di sicurezza ottimali per rendere più fluido il viaggio riducendo gli stop&go tipici nei centri urbani dove si tende, ad esempio, a muoversi velocemente da un semaforo

all'altro congestionando gli incroci. Inoltre, nel *path planning* dell'auto possono essere incluse le informazioni in tempo reale della quantità di veicoli su un determinato percorso e decidere di conseguenza quale sia la strada migliore da seguire.

- **Vantaggio sociale**

L'accessibilità è un aspetto non trascurabile. Oggi, per le persone con difficoltà motorie è molto difficile spostarsi agevolmente poiché è necessaria assistenza o l'installazione di appositi comandi al volante per l'accelerazione e la frenata (implicando la necessità di un'auto a cambio automatico o senza cambio per poter gestire tutti i comandi con le mani). Inoltre, molti utenti potrebbero non sentirsi a loro agio nel guidare l'auto limitandone l'utilizzo nei contesti in cui ci si sente più sicuri o, in alcuni casi, evitando di mettersi alla guida. La tecnologia della guida autonoma porterebbe una notevole indipendenza in questi casi non precludendo agli individui i vantaggi che ne conseguono: basti pensare che spesso le opportunità di occupazione sono legate alla necessità di guidare.

- **Riduzione dell'impatto atmosferico**

La riduzione delle emissioni è correlata alla migliore gestione del flusso di auto poiché la riduzione di inefficienti eccessi di velocità e degli *stop&go* permettono di ottimizzare considerevolmente i consumi. La ricerca e l'innovazione della guida autonoma è inoltre legata all'elettrificazione dei veicoli già in atto.

## Difficoltà da superare

Le tecnologie di guida autonoma stanno compiendo molti progressi negli ultimi anni e l'attuale diffusione degli assistenti avanzati ne sono un primo esempio. Per quanto riguarda i veicoli a guida totalmente autonoma i passi avanti sono stati tali da poter sperimentare i primi taxi a guida autonoma, come è avvenuto nel corso del 2022 in alcune città degli Stati Uniti tramite i servizi di Cruise e Waymo, rispettivamente di proprietà di General Motors e Alphabet. Tuttavia, la vera e propria diffusione e commercializzazione deve superare diverse sfide, riguardanti:

- **Tecnologia**

Come già sottolineato, il veicolo autonomo deve poter vedere e percepire l'ambiente riducendo al minimo il tasso di errore. Questo richiede l'installazione di diversi sensori ed i dati raccolti devono essere elaborati da un hardware duraturo e prestante e da un software affidabile.

Come analizzato in precedenza, ogni sensore ha un livello di dettaglio diverso ed è più o meno suscettibile alle condizioni avverse, motivo per cui, al momento, le auto a guida autonoma sono ritenute affidabili con condizioni di cielo prevalentemente sereno. Inoltre, il Lidar è il sensore più rilevante per la guida autonoma in termini di qualità di ricostruzione dell'ambiente e per il riconoscimento di pedoni ed oggetti anche di piccole dimensioni. Sulla *self-driving-car* è un sensore piuttosto complesso e costoso, oltre che ingombrante ed antiestetico per gli utenti in quanto viene montato sul tetto dell'auto a causa della necessità di mappare a 360 gradi l'area. Proprio quest'ultima esigenza implica una notevole complessità tecnica del sensore in quanto esso deve ruotare a lungo portando complessità costruttiva e fragilità. Sistemi di mappatura a 360 gradi senza la necessità di far ruotare il sensore sono ancora in fase di sviluppo.

Un altro aspetto decisivo è l'affinamento del *decision making* del veicolo, per cui è necessario "istruire" adeguatamente il veicolo per la gestione di ogni situazione su strada, considerando anche lo scenario ibrido di lunga durata con la presenza di veicoli tradizionali. Questo processo richiede notevoli sforzi e risorse in test e simulazioni.

- **Aspetto normativo**

Trattandosi di un'innovazione radicale nel mondo dell'auto, non esiste un quadro normativo dettagliato. È necessaria una definizione chiara di norme e omologazioni che l'auto deve rispettare per garantire la sicurezza degli utenti nei possibili contesti di utilizzo. Per far questo è necessario che le aziende condividano i propri dati con gli enti preposti.

Il quadro assicurativo è un altro aspetto da rivedere poiché la responsabilità degli incidenti non dipenderà dall'errore umano ma da eventuali guasti tecnici; pertanto, passa dall'individuo all'azienda costruttrice del veicolo.

- **Cyber security**

Il tema della sicurezza informatica è già ricorrente nel settore data la maggiore connettività dei veicoli attuali e la possibilità di aggiornarli. Su un veicolo a guida autonoma è un tema ancor più delicato poiché centraline fondamentali dell'auto (anche quelle che gestiscono accelerazione, frenata e sterzo) possono essere dei bersagli sensibili agli attacchi informatici. Chiaramente rappresenta un rischio che le aziende devono affrontare con adeguate misure di sicurezza e, nel peggiore dei casi, avvisare tempestivamente gli utenti in caso di un'intrusione.

## Analisi dei driver di adozione della guida autonoma

Il processo di innovazione della guida autonoma è iniziato da diversi anni (ad esempio, il progetto di Waymo iniziò nel 2009), ma di recente ha compiuto molti passi avanti che hanno permesso a questa tecnologia di diventare nota all'interno di un pubblico più ampio rispetto al passato. Merito di ciò potrebbe essere attribuito alla crescente dotazione di sistemi avanzati di assistenza sulle auto odierne che permettono agli utenti di sperimentare alcune funzioni di guida autonoma. Tuttavia, per i motivi sopra citati, saranno necessari altri anni di sviluppo prima di vederne una vera e propria diffusione ed uno degli ostacoli principali in tal senso potrebbe essere la resistenza all'adozione da parte degli utenti. Si tratta, infatti, di un'innovazione radicale che ridefinisce il concetto di auto così come è ora conosciuto e potrebbe portare molti cambiamenti nella vita di tutti i giorni.

Di seguito, si vuole eseguire una prima esplorazione qualitativa in merito alla comprensione e percezione della guida autonoma da parte degli utenti. Questo può essere d'aiuto nella comprensione della posizione dell'utenza nei confronti di questa tecnologia e, andando oltre i bias derivanti da una tecnologia ancora non diffusa, permetterebbe di intuire quali potrebbero essere i driver che spingono all'adozione e di ricavarne una lista preliminare di *user need*.

Inoltre, è importante comprendere quali fattori possono essere più o meno incisivi in merito alla percezione di questa tecnologia.

### Struttura delle interviste

I dati sono stati raccolti mediante delle interviste semi-strutturate.

I partecipanti sono stati selezionati in parte dal network personale diretto e, principalmente, indiretto. Si è ritenuto importante diversificare quanto più possibile il campione per quanto riguarda conoscenze ed esperienza di guida intesa sia in termini di frequenza di utilizzo dell'auto che di tipologie di auto utilizzate in relazione al "grado di digitalizzazione". In questo modo, verrà presa in considerazione la percezione in merito agli attuali e futuri sistemi di guida autonoma da parte di utenti diversi in quanto esposti in modo differente alle tecnologie citate.

Per le interviste, della durata tra venti e quaranta minuti, sono stati coinvolti diciotto partecipanti di età compresa fra 22-66 anni.

Le domande hanno lo scopo di impostare una discussione che permetta di raccogliere opinioni ed esperienze e si suddividono in tre temi principali:

- Domande di carattere generale: anagrafica e abitudini.

- Domande relative agli assistenti di guida di diversa tipologia. In relazione all'esposizione differente degli utenti a queste tecnologie si vuole indagare quali fattori emergono (pro, contro, dubbi etc.) in merito ai sistemi di guida autonoma attuali. Non essendo diffusa la guida autonoma nei suoi livelli più alti, è utile poter introdurre la discussione passando per le esperienze odierne con questi sistemi che, di fatto, riescono già a modificare radicalmente l'esperienza di guida quando vengono utilizzati. Concettualmente è quanto di più simile si possa attualmente sperimentare in termini di guida autonoma e potrebbe potenzialmente suscitare sensazioni simili trattandosi, di fatto, di un contesto dove l'utente si affida alle capacità di guida autonoma dell'auto. Inoltre, è utile verificare se e quali differenze emergono nei risultati sulla base dell'esperienza con questi sistemi. Per non distorcere la comprensione dei rispondenti è stata fornita una spiegazione standard dei sistemi di cui sono state richieste opinioni.
- Domande in cui ai partecipanti viene richiesto di dare il loro giudizio in merito al potenziale utilizzo di un veicolo autonomo, definito come un'auto in grado di compiere un percorso senza l'intervento di un conducente. Queste sono utili ad analizzare quale può essere la loro percezione della tecnologia e se sono presenti elementi rilevanti che ne influenzano la possibilità di adozione. Per comprendere quali possano essere i motivi che spingerebbero all'adozione è utile indagare, ad esempio, se gli utenti ne sentono un'utilità legata ad esigenze attuali, quali sfide percepiscono nella diffusione della guida autonoma e così via.

Di seguito viene riportata la tabella riassuntiva dei risultati. Per semplicità di lettura, è stata suddivisa nei principali macro-temi che compongono l'intervista e, per ogni rispondente, sono stati sintetizzati i concetti principali emersi durante la discussione in merito agli argomenti trattati.

	Età	Titolo di studio	Grandezza città (abitanti)	Abitudini di utilizzo dell'auto	Conoscenze ed esperienze con ADAS
<b>Rispondente 1</b>	27	Laurea magistrale	Oltre 800.000	6 Km/sett. (car sharing, strade urbane)	Nessuna esperienza e conoscenza scarsa degli ADAS
<b>Rispondente 2</b>	29	Laurea	Oltre 800.000	30Km/sett (veicolo personale, strade urbane)	Poca esperienza con alcuni sistemi di base e buona conoscenza degli ADAS
<b>Rispondente 3</b>	30	Laurea magistrale	36.000	300 Km/sett. (veicolo personale, strade urbane, autostrada)	Molta esperienza e buona conoscenza di molti sistemi ADAS
<b>Rispondente 4</b>	56	Diploma	80.000	1000 Km/sett. (veicolo personale, strade urbane, autostrada)	Poca esperienza con alcuni sistemi di base e discreta conoscenza degli ADAS

	Percezione degli aiuti alla guida	Percezione assistenti di basso livello	Percezione assistenti con accelerazione adattiva	Percezione assistenti con azione attiva sul volante
<b>Rispondente 1</b>	L'auto deve fornire informazioni utili al conducente senza la necessità di sistemi "invasivi"	Se li avessi mi tornerebbero utili	Utile perché aumenta la sicurezza	Poca fiducia sull'affidabilità e potrebbero indurre il conducente a distrarsi
<b>Rispondente 2</b>	L'auto deve avere anche sistemi attivi per ridurre il rischio incidenti e tamponamenti	Molto utili ed ormai considerabili un basic	Non sono ancora molto affidabili	Utile e se commette un errore può essere facilmente corretto
<b>Rispondente 3</b>	L'auto deve garantire sicurezza tramite aiuti di vario livello	Piccoli aiuti molto utili	Funzionalità molto utile e comoda, funziona molto bene nel traffico e riduce lo stress	Molto utile e comodo fuori città (autostrada) riducendo anche lo stress di guida, ancora non affidabile in città
<b>Rispondente 4</b>	L'auto deve essere affidabile in termini di guidabilità	Utili ma non devono distrarre	Utile nel traffico cittadino	Poca fiducia sull'affidabilità e possono indurre il conducente a distrarsi

	Percezione della guida autonoma	Pro/contro e dubbi sulla guida autonoma	Considerazioni su cosa deve avere/garantire	Considerazioni su come poterlo usare
<b>Rispondente 1</b>	Funzionalità che permettono di togliere stress alla guida ma sempre con un conducente umano	Vantaggiosa per chi non può guidare ma problematica per la sicurezza	È improbabile ma dovrebbe rispondere correttamente in ogni condizione	Non farei altro che non posso fare già ora
<b>Rispondente 2</b>	L'auto "guida da sola" , si deve impostare solo il percorso	Dubbi sull'affidabilità e rischio di eventuali bug	Serve uno standard di comunicazione fra veicoli e non dovrebbero più esserci veicoli tradizionali	Intrattenimento, dormirei o organizzerei faccende per il lavoro
<b>Rispondente 3</b>	L'auto deve poter percorrere qualsiasi strada in autonomia	Molti vantaggi in termini di sicurezza, futuri problemi di regolamentazione di mercato e di norme	Deve avere affidabilità in ogni condizione e magari una certificazione di corretto funzionamento	Intrattenimento tramite infotainment dell'auto
<b>Rispondente 4</b>	L'auto esegue tutto autonomamente	Forse vantaggioso per la sicurezza ma in condizioni specifiche	Dovrebbe garantire la sicurezza di chi è dentro e fuori al veicolo ma è infattibile	Guarderei la strada come se dovessi guidare

	Opinioni su prova/acquisto in futuro del veicolo autonomo	Considerazioni sulla diffusione futura del veicolo autonomo
<b>Rispondente 1</b>	Non lo proverei	Probabile diffusione in futuro ma solo in contesti autostradali
<b>Rispondente 2</b>	Lo proverei ma tramite servizio o conoscenze	Sarà il futuro ma inizialmente solo come servizio. Funzioneranno meglio in contesti urbani
<b>Rispondente 3</b>	Lo proverei tramite servizio	Sarà senza dubbio il futuro, il contesto ideale in un primo momento è quello urbano
<b>Rispondente 4</b>	Non lo proverei	Probabilmente si diffonderà per ragioni di mercato, principalmente in contesti urbani

Figura 17: riassunto dei risultati

	Età	Titolo di studio	Grandezza città (abitanti)	Abitudini di utilizzo dell'auto	Conoscenze ed esperienze con ADAS
<b>Rispondente 5</b>	27	Laurea	Oltre 800.000	30 Km/sett. (car sharing, strade urbane)	Conoscenza intermedia ed esperienza con alcuni ADAS
<b>Rispondente 6</b>	26	Laurea	Oltre 800.000	Utilizzo sporadico dell'auto (car sharing, strade urbane)	Quasi nessuna conoscenza degli ADAS e nessuna esperienza se non con qualche aiuto di base
<b>Rispondente 7</b>	26	Laurea	Oltre 800.000	10 Km/sett. (veicolo personale, strade urbane)	Poche conoscenze degli ADAS ma esperienze con quelli di cui è dotata l'auto privata
<b>Rispondente 8</b>	66	Diploma	7000	100 Km/sett. (veicolo personale, strade urbane)	Molta esperienza e buona conoscenza di molti sistemi ADAS

	Percezione degli aiuti alla guida	Percezione assistenti di basso livello	Percezione assistenti con accelerazione adattiva	Percezione assistenti con azione attiva sul volante
<b>Rispondente 5</b>	Non mi piace guidare e vorrei che l'auto facesse più cose possibili al mio posto	Utili ed indispensabili per la sicurezza, per esperienza	Non mi fiderei pienamente ma mi piacerebbe non dover accelerare e frenare continuamente in città	Lo utilizzo e funziona molto bene, può salvarmi la vita
<b>Rispondente 6</b>	L'auto dovrebbe avere più assistenza alla guida per ridurre la difficoltà, specialmente nel traffico	Aiutano ad eliminare dei fattori di stress alla guida	Sarebbero d'aiuto ma non mi fiderei senza conoscerne il funzionamento	Ancor più importante conoscerne il funzionamento perché mi darebbe ansia vedere l'auto sterzare
<b>Rispondente 7</b>	Il problema principale sono i punti ciechi che non riesco controllare, vorrei che l'auto mi aiutasse in questo	Tutti utili a facilitarmi la guida	Soprattutto in città servono troppi riflessi e non mi fiderei di un sistema automatico	Usarlo fa sentire al sicuro ed aiuta in caso di stanchezza
<b>Rispondente 8</b>	L'auto deve avere dispositivi che sopperiscano alla distrazione dei conducenti	Tutti utili ad evitare collisioni, anche quelli più semplici	Funziona bene ed è utile perché toglie stress che alla lunga logora	Potrebbero sembrare superflui ma in realtà possono salvare delle vite

	Percezione della guida autonoma	Pro/controllo e dubbi sulla guida autonoma	Considerazioni su cosa deve avere/garantire	Considerazioni su come poterlo usare
<b>Rispondente 5</b>	È il veicolo che mi porta dove voglio	Il vantaggio è non dover guidare	Deve essere sicuro ma ho fiducia se in futuro verrà commercializzato	Ora si perde troppo tempo nel traffico, nel frattempo si può utilizzare meglio il tempo
<b>Rispondente 6</b>	Portata all'estremo è l'auto che guida completamente da sola	Alla lunga porterà più sicurezza perché il veicolo reagisce prima di me, però potrebbero essere poco flessibili in alcune situazioni	Se verrà commercializzato sarà pronto ma servirà più che altro informazione in merito	Trovarei utile fare altro ma sempre con attenzione a cosa accade attorno
<b>Rispondente 7</b>	È una sorta di assistente molto sofisticato ma non in grado di seguire un percorso complesso	Il valore aggiunto è sopperire alla stanchezza del conducente ma in contesti complessi come Torino è alto il rischio di errori	Deve poter permettere di riprendere il controllo manuale e deve essere resistente in caso di incidenti	Passerei il tempo come si farebbe nel salotto di casa
<b>Rispondente 8</b>	È un veicolo completamente autonomo	Può risolvere il problema della stanchezza e della distrazione ma deve funzionare bene	I sensori non devono avere problemi, bisognerebbe averne tanti per sopperire ad eventuali errori di altri	Puoi fare cose che dovresti fare da fermo come organizzarti faccende di lavoro

	Opinioni su prova/acquisto in futuro del veicolo autonomo	Considerazioni sulla diffusione futura del veicolo autonomo
<b>Rispondente 5</b>	Lo userei con servizi di sharing anche per poter provare modelli diversi	Probabilmente funzionerà bene in città ma spero che si diffondano ovunque perché è quasi un'evoluzione necessaria per risolvere i problemi attuali sulle strade
<b>Rispondente 6</b>	Anche in futuro lo proverei tramite eventi o test-drive dove viene spiegato come funziona	Si diffonderà probabilmente per i viaggi autostradali essendo più lineari
<b>Rispondente 7</b>	Ne valuterei l'acquisto solo dopo averlo potuto provare in altro modo	Sarà di difficile diffusione in Italia ed Europa in genere per via della conformazione delle strade
<b>Rispondente 8</b>	Lo proverei anche subito se esistesse un servizio	Funziona meglio per i lunghi viaggi ma si diffonderà anche nei centri urbani

Figura 18: riassunto dei risultati

	Età	Titolo di studio	Grandezza città (abitanti)	Abitudini di utilizzo dell'auto	Conoscenze ed esperienze con ADAS
<b>Rispondente 9</b>	39	Laurea magistrale	Oltre 800.000	10 Km/sett. (veicolo personale, strade urbane)	Nessuna esperienza e conoscenza scarsa degli ADAS
<b>Rispondente 10</b>	29	Laurea magistrale	Oltre 800.000	30 Km/sett. (veicolo personale, strade urbane e autostrada)	Molta esperienza e buona conoscenza di molti sistemi ADAS
<b>Rispondente 11</b>	26	Laurea magistrale	Oltre 800.000	Quasi nessuna esperienza di guida	Poca conoscenza degli ADAS, esperienze con questi vissute da passeggero
<b>Rispondente 12</b>	26	Laurea magistrale	Oltre 1.000.000	650 Km/sett. (veicolo personale, strade urbane e autostrada)	Esperienze e discreta conoscenza degli ADAS

	Percezione degli aiuti alla guida	Percezione assistenti di basso livello	Percezione assistenti con accelerazione adattiva	Percezione assistenti con azione attiva sul volante
<b>Rispondente 9</b>	Vorrei più comodità in auto	Sono molto utili quelli che uso	Richiederà abitudine nell'utilizzo ma li troverei utilissimi	Mai provato, a livello di impatto mi preoccuperebbe un po'
<b>Rispondente 10</b>	L'auto deve avere i sistemi di secondo livello ed i fari a matrice di Led	Saranno obbligatori, ormai sono molto rodati	Riescono a rilassarti alla guida ed anche nel traffico, sono tarati bene di solito	Alcuni invasivi, altri tarati meglio ed il loro utilizzo dipende molto dal contesto
<b>Rispondente 11</b>	Vorrei dei sistemi che mi aiutino nel traffico e nelle manovre	Mi motiverebbero a guidare nuovamente	Lo userei volentieri perché vorrei fare meno cose possibili alla guida	Fa sentire al sicuro usarlo, di solito funziona bene ma ad alcuni potrebbe assuefare e concedere troppa distrazione
<b>Rispondente 12</b>	Vorrei più comodità in auto	Sono sempre utili, meglio averli	Vorrei provarli, credo che risulterebbe strano	Risulta strano usarlo ma basta farci l'abitudine. Può essere molto utile

	Percezione della guida autonoma	Pro/contro e dubbi sulla guida autonoma	Considerazioni su cosa deve avere/garantire	Considerazioni su come poterlo usare
<b>Rispondente 9</b>	Imposto il percorso e l'auto mi porta in giro	Diminuire la stanchezza causata dalla guida è il vantaggio più importante ma l'ibrido tra veicoli autonomi e non può causare problemi	Devono essere tutti autonomi i veicoli nelle zone in cui circolano	Vorrei passare il tempo facendo altro come leggere o guardare qualcosa
<b>Rispondente 10</b>	Non solo un veicolo autonomo ma un sistema IoT connesso nelle città. Essere passeggero di un veicolo autonomo era strano	Sicurezza e comodità in città, in futuro non avrà particolari problemi	La presenza di veicoli autonomi e classici è problematica. Ogni macchina, inoltre, deve essere connessa alle altre e comunicare mentre i sensori ed a livello computazionale sono già molto prestanti	Immagino un futuro in cui l'auto viene a prendermi, vorrei avere la flessibilità di fare altro mentre viaggio
<b>Rispondente 11</b>	Un sistema automatico senza conducente	Non ne conosco la fallibilità ma l'aspetto più importante è poter non guidare	Rispettare il codice della strada e funzionare bene in caso di meteo avverso	Poter farmi venire a prendere e fare con più comodità ciò che farei su un mezzo pubblico
<b>Rispondente 12</b>	Un'auto che guida da sola tramite i sensori	Simile alla domotica, agevola la vita ma deve funzionare bene altrimenti la complica	Niente di particolare perché in futuro funzionerà	Utile trascorrere meglio il proprio tempo e rilassarsi

	Opinioni su prova/acquisto in futuro del veicolo autonomo	Considerazioni sulla diffusione futura del veicolo autonomo
<b>Rispondente 9</b>	Mi piacerebbe provarlo in condizioni di poco traffico, ad esempio la sera tramite servizio	Può prendere piede per i viaggi in autostrada, in città ci sono troppe interazioni da considerare
<b>Rispondente 10</b>	Lo riprovarei su strada in condizioni reali quando funzionerà	A breve termine nelle autostrade si potranno usare, già ora esistono sistemi in grado di guidare molto autonomamente. In città è più difficile, magari in ZTL dedicate
<b>Rispondente 11</b>	Mi rilasserebbe di più farmi prendere da un taxi autonomo che da uno tradizionale	Probabilmente fra molto tempo ancora e soprattutto in città
<b>Rispondente 12</b>	Lo proverò sicuramente tramite servizio	Si diffonderà, a lungo termine funzionerà in tutti i contesti

Figura 19: riassunto risultati

	Età	Titolo di studio	Grandezza città (abitanti)	Abitudini di utilizzo dell'auto	Conoscenze ed esperienze con ADAS
<b>Rispondente 13</b>	28	Laurea magistrale	Oltre 800.000	10-15 Km/sett. (veicolo personale, strade urbane)	Nessuna esperienza e conoscenza scarsa degli ADAS
<b>Rispondente 14</b>	27	Laurea	Oltre 800.000	50 Km/sett. (veicolo personale, strade urbane e autostrada)	Qualche esperienza e buona conoscenza di molti sistemi ADAS
<b>Rispondente 15</b>	62	Laurea	80.000	80-100 Km/sett. (veicolo personale, strade urbane e autostrada)	Varie esperienze con ADAS su auto differenti
<b>Rispondente 16</b>	45	Diploma	80.000	60 Km/sett. (veicolo personale, strade urbane)	Esperienze con ADAS

	Percezione degli aiuti alla guida	Percezione assistenti di basso livello	Percezione assistenti con accelerazione adattiva	Percezione assistenti con azione attiva sul volante
<b>Rispondente 13</b>	Vorrei al massimo più aiuti nelle manovre	Faciliterebbero la guida	Sarebbe utile per la sicurezza ma avrei molti dubbi sull'affidabilità	Avrei dubbi sull'affidabilità ma eventualmente è facile riprendere il controllo
<b>Rispondente 14</b>	Voglio che l'auto abbia sistemi di secondo livello per la comodità in viaggio	Ormai sono diffusi e tutte le auto devono averli	Mai provato ma credo tornerebbe utile in diverse situazioni	Funziona molto bene e fa sentire più al sicuro sapere di averlo
<b>Rispondente 15</b>	L'auto deve avere una buona guidabilità e degli aiuti per la sicurezza	Sono sempre utili, servono meno se sai guidare bene	Lo trovo sempre affidabile quando lo uso	Soprattutto comodo in autostrada ma lo uso più raramente
<b>Rispondente 16</b>	È utile avere delle personalizzazioni delle modalità di guida per viaggiare più comodamente	Ormai sono estremamente affidabili	Non ho mai riscontrato problemi anche se preferisco guidare perché mi piace	Utile in caso di colpo di sonno ma in genere lo uso poco. Funziona comunque bene

	Percezione della guida autonoma	Pro/contro e dubbi sulla guida autonoma	Considerazioni su cosa deve avere/garantire	Considerazioni su come poterlo usare
<b>Rispondente 13</b>	Imposto il percorso e l'auto mi porta a destinazione	Potrebbe portare vantaggi sulla sicurezza ma avrei seri dubbi sull'affidabilità	Vorrei poterla fermare con dei comandi anche se non avesse pedali e sterzo	Non mi distrarrei troppo dalla strada
<b>Rispondente 14</b>	È un veicolo almeno di livello 3 o 4	Sicuramente la sicurezza stradale ne gioverebbe, forse degli incidenti avverrebbero lo stesso ma meno di frequente rispetto ad ora	Riguardo alla tecnologia in sé nulla di particolare, più che altro devono poter comunicare fra loro i veicoli anche di case diverse	Principalmente vorrei mandarlo a cercare parcheggio autonomamente
<b>Rispondente 15</b>	Un sistema autonomo, più avanzato dell'attuale autopilot della Tesla	Se funziona bene è più sicuro in generale, non vorrei una totale sostituzione dell'auto normale	I sensori devono lavorare bene anche con la pioggia o se si sporcano	Guidando da molti anni per abitudine presterei abbastanza attenzione alla strada
<b>Rispondente 16</b>	Un'auto che segue da sola un percorso impostato	Può essere utile per chi non sa guidare ma serve comunque una preparazione minima sulle regole della strada	Penso che funzionerebbero bene data l'attuale efficienza dei sistemi ma vorrei poter anche guidare manualmente per divertirmi	Mi rilasserei usando il cellulare ma senza distogliere troppo l'attenzione

	Opinioni su prova/acquisto in futuro del veicolo autonomo	Considerazioni sulla diffusione futura del veicolo autonomo
<b>Rispondente 13</b>	Non credo che lo proverei su strada, solo in un test in condizione sicure	Potrebbe affermarsi ma credo ci vorranno più di dieci anni, in un primo momento forse in zone dedicate in città
<b>Rispondente 14</b>	Prima con dei test drive, poi anche tramite car sharing	Funzionerà prima nei contesti autostradali perché già ora riescono a leggere bene la strada fuori città
<b>Rispondente 15</b>	Lo userei per curiosità, eventualmente comprandolo o con noleggio	Si diffonderà tra un po' di anni, sicuramente per le autostrade
<b>Rispondente 16</b>	Lo proverei sicuramente prima di valutare se ne vale la pena l'acquisto	Probabilmente si vedranno in città perché non si va ad alte velocità

Figura 21: riassunto risultati

	Età	Titolo di studio	Grandezza città (abitanti)	Abitudini di utilizzo dell'auto	Conoscenze ed esperienze con ADAS
<b>Rispondente 17</b>	22	Diploma	oltre 2.000.000	< 15 Km/sett. (car sharing, strade urbane)	Nessuna esperienza e conoscenza scarsa degli ADAS
<b>Rispondente 18</b>	30	Diploma	4.000	200 Km/sett. (veicolo personale, strade urbane e autostrada)	Nessuna esperienza e poca conoscenza dei sistemi ADAS

	Percezione degli aiuti alla guida	Percezione assistenti di basso livello	Percezione assistenti con accelerazione adattiva	Percezione assistenti con azione attiva sul volante
<b>Rispondente 17</b>	Vorrei che possa facilitare in qualche modo la guida nel traffico	Sono piccoli aiuti utili	Se funzionasse nel traffico sarebbe comodo ma non mi fiderei molto	Ridurrebbe il rischio di incidenti dovuti alla stanchezza
<b>Rispondente 18</b>	Voglio soprattutto più comfort in viaggio	Quelli che uso sono abbastanza utili	Non mi affiderei a sistemi simili, ho dubbi sulla sicurezza	Forse può essere utile in alcuni casi ma bisogna stare attenti

	Percezione della guida autonoma	Pro/contro e dubbi sulla guida autonoma	Considerazioni su cosa deve avere/garantire	Considerazioni su come poterlo usare
<b>Rispondente 17</b>	Può essere un'auto che guida autonomamente attivandone la relativa funzione	Può far stancare meno rispetto alla guida tradizionale ma credo sia difficile renderla totalmente sicura	Credo sia difficile ma deve rispondere senza errori con ciclisti, animali e bambini che potrebbero attraversare improvvisamente la strada	Lo userei per viaggi brevi e non farei niente di troppo diverso rispetto ad ora
<b>Rispondente 18</b>	Sono degli assistenti che lavorano contemporaneamente per guidare autonomamente	Avrei dubbi sull'utilità effettiva, forse è utile per chi non può guidare	Bisogna poter riprendere il controllo in qualsiasi momento	Guarderei la strada e se non guido credo che mi annoierei

	Opinioni su prova/acquisto in futuro del veicolo autonomo	Considerazioni sulla diffusione futura del veicolo autonomo
<b>Rispondente 17</b>	Se ce n'è la possibilità lo proverei ma solo per curiosità	Potrebbe diffondersi in futuro ma solo in alcune città idonee
<b>Rispondente 18</b>	Non lo proverei	Probabilmente si diffonde ma principalmente per alcune aree nelle grandi città

Figura 20: riassunto risultati

## Analisi dei risultati – attitudine all'utilizzo dei sistemi di assistenza

In prima analisi, per indagare il rapporto con i sistemi di assistenza, si è voluto distinguere i rispondenti in due categorie:

- Utenti che utilizzano abitualmente l'auto (oltre 30 Km a settimana): 11 rispondenti.
- Utenti che non utilizzano abitualmente l'auto (meno di 30 Km a settimana): 7 rispondenti.

Questo è utile per comprendere se l'esperienza al volante possa essere influente nel giudizio o se emergono altri fattori che condizionano utilizzo e percezione dei sistemi di guida autonoma attuali e che, eventualmente, potrebbero estendersi alla guida completamente autonoma.

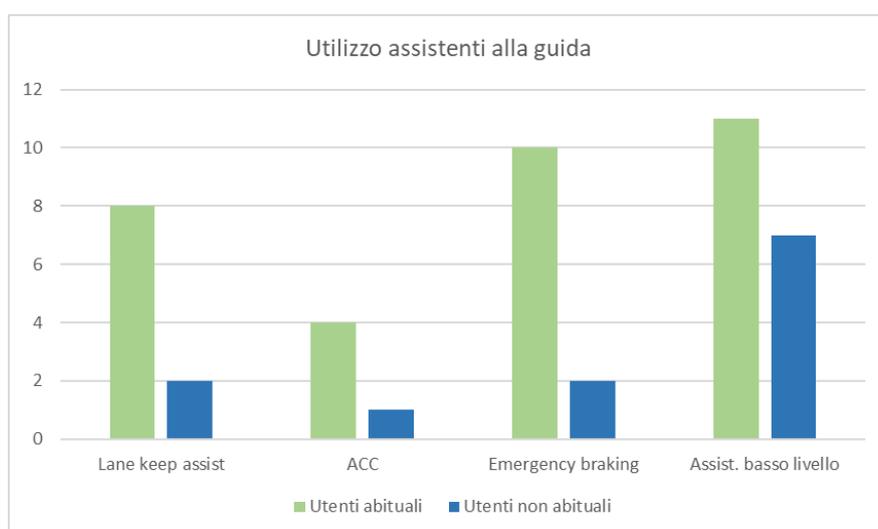


Figura 22: trend di utilizzo degli assistenti alla guida

Tutti i rispondenti hanno avuto esperienze con aiuti e sistemi di basso livello poiché sono ormai presenti di serie su molte auto. Gli assistenti più avanzati, invece, sono molto meno diffusi per via della loro maggiore complessità che li rende decisamente più costosi. Infatti, molte case automobilistiche spesso dotano le proprie auto con questi sistemi soltanto se richiesto dall'utente, offrendoli all'interno di pacchetti di sicurezza come optional. Al contrario, a volte vengono installati di serie ma solitamente su auto di fascia medio-alta di prezzo (genericamente identificabile con prezzi oltre quarantamila euro). In particolare, nel campione, vi è maggiore diffusione dei sistemi con azione sul volante rispetto al controllo automatico longitudinale delle distanze e della velocità. Questo potrebbe essere dato dal fatto che i sistemi di controllo adattivo della velocità possono essere installati solo su auto a cambio automatico o senza un vero e proprio cambio, come nel caso della trasmissione dei motori elettrici. Ciò implica un costo di partenza maggiore del veicolo stesso. Di seguito viene presa in esame l'attitudine degli utenti all'utilizzo degli assistenti giudicata sulla base dei feedback ricevuti.

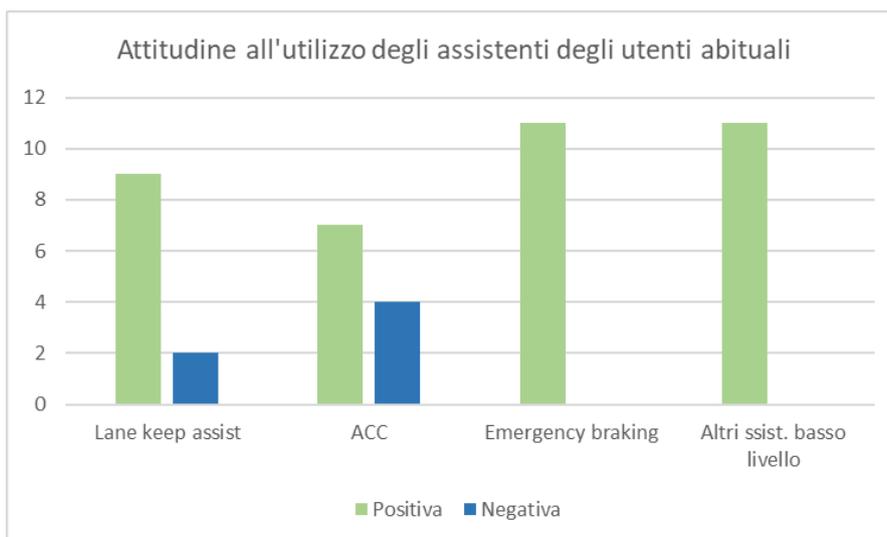


Figura 25: numero di utenti abituali per attitudine all'utilizzo degli assistenti

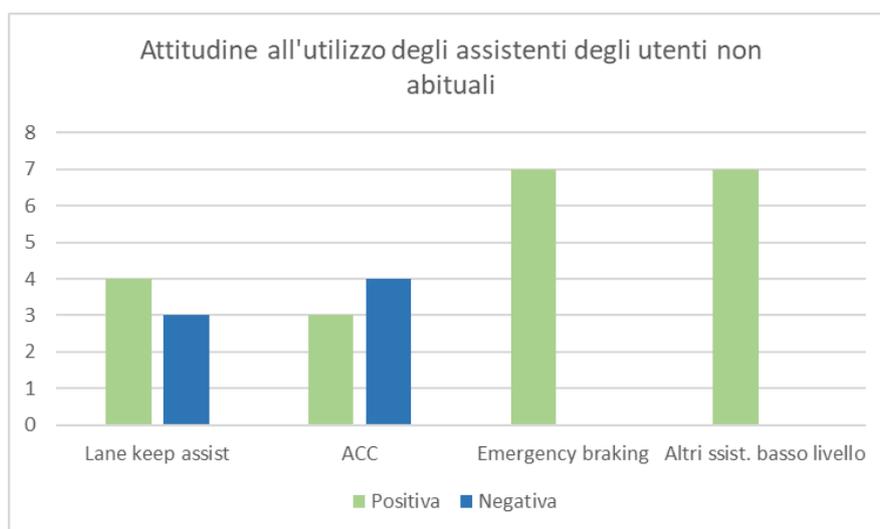


Figura 26: numero di utenti non abituali per attitudine all'utilizzo degli assistenti

### Sistemi di basso livello

Questi sono rappresentati da semplici sistemi di aiuto che forniscono principalmente avvisi acustici o visivi (sensori di parcheggio, monitoraggio dell'angolo cieco, etc.) o possono prevenire incidenti come accade con la frenata automatica d'emergenza. Essi sono stati giudicati molto positivamente da entrambe le categorie poiché il loro utilizzo è entrato nelle abitudini di guida e sono ritenuti poco invasivi sulla guida anche da chi non ha esperienze con sistemi di livello superiore.

### *Sistemi avanzati.*

Nel campione considerato, vi è eterogeneità per quanto riguarda i feedback in merito agli assistenti avanzati. In particolare, dai risultati delle interviste, emerge che i rispondenti hanno sempre espresso pareri piuttosto positivi in merito agli assistenti da loro effettivamente utilizzati e ne hanno un'idea ben chiara di quali vantaggi e svantaggi presentano. Di conseguenza, essi si abituano ad utilizzarli correttamente e nei contesti più favorevoli smussandone i difetti riscontrati in favore dei benefici percepiti durante il loro utilizzo. In particolare, questi ultimi riguardano principalmente:

- Maggiore sicurezza percepita alla guida. Essere consapevoli di avere dei sistemi avanzati che intervengono in caso di bisogno, fa percepire una maggiore sicurezza di base durante il viaggio. Inoltre, i rispondenti ne riportano molte esperienze d'uso positive dove i sistemi funzionano correttamente e, nei casi di necessità, con tempi di reazione più rapidi di quelli umani.
- Riduzione di stress e stanchezza. Gli utenti percepiscono un miglioramento della qualità dei propri viaggi quando non bisogna eseguire manualmente azioni ripetitive tipiche della guida come nel caso dei continui *stop&go* nel traffico.

Nei casi in cui non abbiano mai utilizzato assistenti avanzati o solo alcuni di essi, hanno invece espresso pareri discordanti in merito a quelli da loro non conosciuti, percependone in modo soggettivo la complessità e fallibilità. Questo è stato riscontrato in entrambe le categorie di utente. Si evince, quindi, che in caso di mancata esperienza e conseguente poca conoscenza di questi sistemi piuttosto innovativi, il giudizio è influenzato da una componente piuttosto soggettiva. Anche i rispondenti che utilizzano un solo dispositivo avanzato (giudicato positivamente) ma senza disporre di una guida autonoma completa di livello 2, esprimono spesso dubbi in merito ai sistemi da loro non posseduti.

Queste evidenze sono risultate comuni sia fra i rispondenti con più esperienza di guida, sia dagli utilizzatori non abituali dell'auto. Nei limiti del campione, questa evidenza come l'esperienza diretta con gli ADAS sia una discriminante più rilevante, in termini di percezione dei sistemi di guida autonoma, rispetto all'esperienza di guida in sé. Infatti, le interviste ai rispondenti che utilizzano di frequente l'auto e più avvezzi alla guida, generalmente non hanno portato feedback molto differenti rispetto a chi la utilizza con meno frequenza poiché sembra essere rilevante l'abituarsi alle sensazioni che scaturiscono nel vedere l'auto effettuare azioni autonome.

## Analisi dei risultati – attitudine all'utilizzo della tecnologia della guida autonoma

Nei risultati ottenuti in questo campione, l'esperienza d'uso sembra giocare un ruolo importante in relazione alla percezione degli attuali sistemi di guida autonoma. Sulla base di essa, gli utenti potrebbero avere un'attitudine maggiore o minore in merito all'adozione della futura guida autonoma. In altre parole, sperimentare gli ADAS attuali potrebbe essere un fattore chiave per la comprensione ed eventuale accettazione della guida autonoma.

In tal senso, i rispondenti sono stati divisi in due tipologie:

- Utenti con esperienze con sistemi di assistenza avanzati
- Utenti senza esperienze con assistenti avanzati.

Si ritiene con esperienza nell'uso degli assistenti di guida autonoma un utente che usa o ha visto usare almeno uno tra gli assistenti con accelerazione adattiva o azione autonoma sul volante. Lo scopo è quello di evidenziare quali siano gli elementi ricorrenti emersi dalle discussioni e quali punti in comune o discrepanze sono presenti fra le due categorie. Trattandosi di un'innovazione radicale, per indagarne la comprensione sono state costruite due *empathy map* riguardanti l'adozione della guida autonoma, una per tipologia di rispondente. Il fine è quello di visualizzare quali caratteristiche presentano queste due categorie per comprenderle ed evidenziare quali elementi di bisogno emergono. Per far questo è necessario sottolinearne le peculiarità raggruppando all'interno delle mappe gli elementi ricorrenti emersi dalle interviste (opinioni, paure, perplessità, etc.). Questi sono suddivisi in quattro quadranti corrispondenti a cosa è stato da loro detto e pensato, cosa farebbero e quali sensazioni ha suscitato.

ADOZIONE GUIDA AUTONOMA

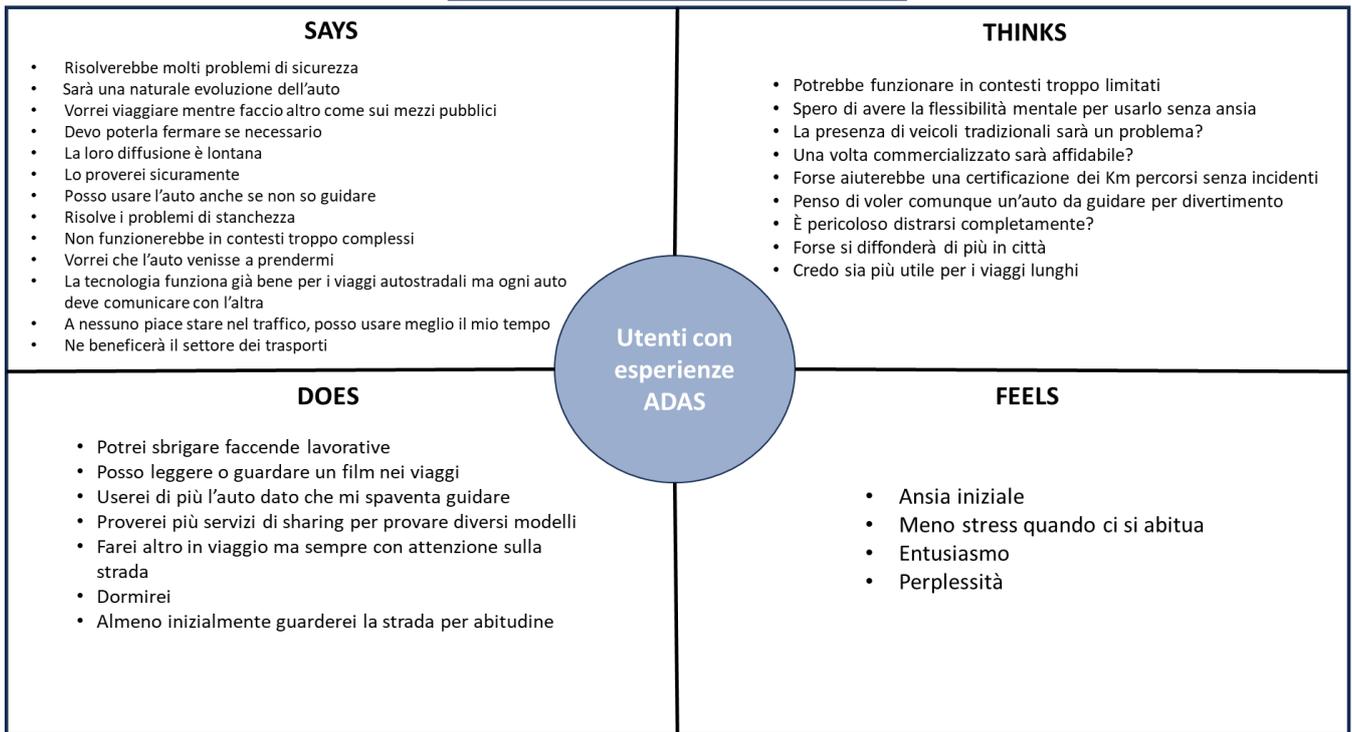


Figura 24: empathy map (utenti con esperienze nell'uso degli ADAS)

ADOZIONE GUIDA AUTONOMA

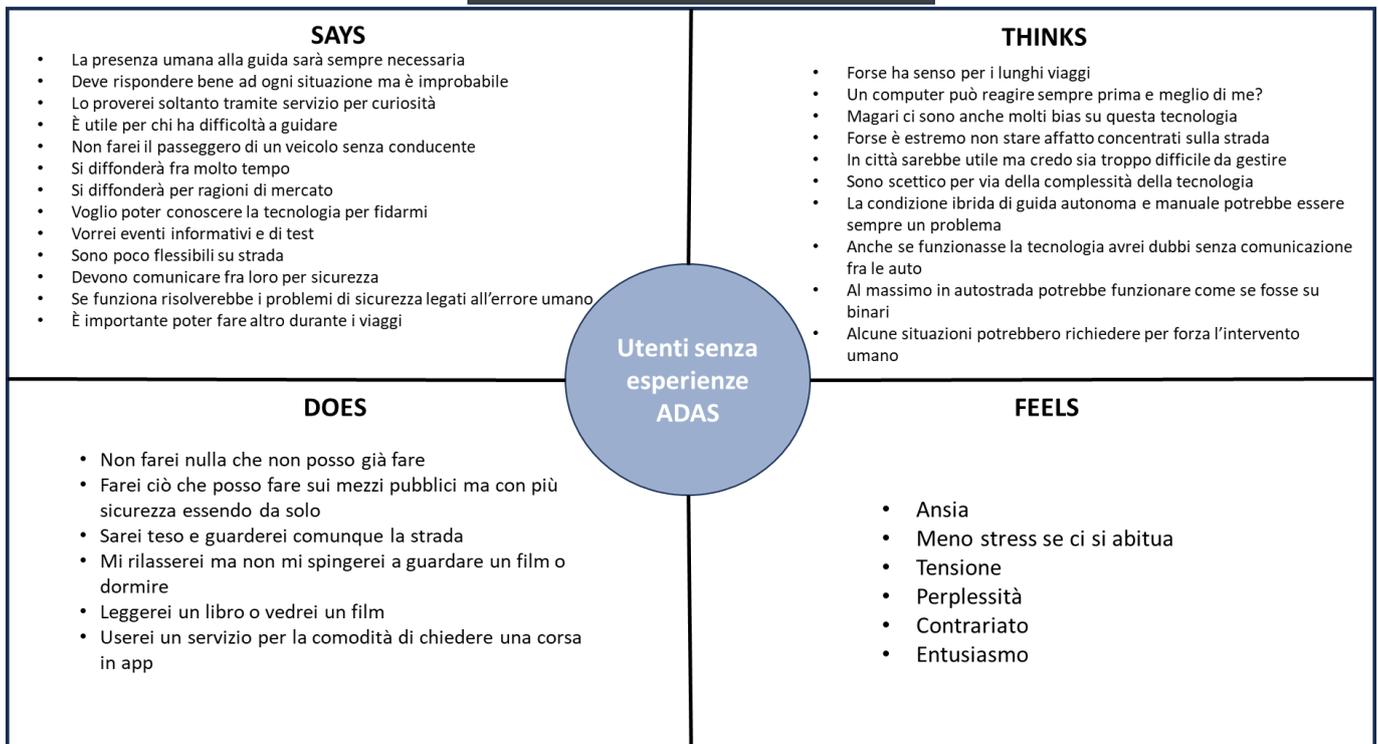


Figura 23: empathy map (utenti senza esperienze nell'uso degli ADAS)

### *Utenti con esperienze ADAS*

Nel campione analizzato, gli utenti con esperienze nell'uso degli ADAS si sono generalmente dimostrati più propensi all'adozione della guida autonoma. Una maggiore conoscenza ed apprezzamento degli attuali sistemi porta ad avere maggiore fiducia sul futuro sviluppo della guida autonoma. Questa, inoltre, viene considerata con maggior ricorrenza come soluzione a vari problemi che gli utenti del campione riscontrano con l'utilizzo dell'auto tradizionale. In particolare, vengono ricondotti al veicolo autonomo le seguenti caratteristiche:

- Potenzialmente più sicuro di un veicolo con conducente umano
- Riduzione di stress e minor frustrazione nel traffico
- Risoluzione ai problemi di congestione stradale con una gestione più intelligente del traffico di auto autonome e connesse fra loro
- Miglior utilizzo del proprio tempo

Inoltre, al netto delle sensazioni di ansia o tensione che provare un veicolo totalmente autonomo può far scaturire inizialmente, è ricorrente un maggior entusiasmo circa il futuro progresso della guida autonoma. Questo porta ad una maggiore curiosità e speranza di poterli provare in futuro. Questo è anche dovuto alle esperienze positive raccontate dai rispondenti con gli attuali sistemi che, di conseguenza, rassicurano sull'efficacia della tecnologia.

### *Utenti senza esperienze ADAS*

Gli utenti senza esperienze nell'uso degli ADAS percepiscono delle potenzialità legate alla guida autonoma simili a quelle elencate in precedenza. Tuttavia, è più ricorrente una maggiore sfiducia sulla futura affermazione di questa tecnologia, ritenendola talvolta implausibile. Questo dipende anche dalle conoscenze personali poiché l'utente che non ha mai sperimentato l'uso degli ADAS ma ha conoscenze di base in merito a tecnologie, potrebbe essere portato ad avere una maggior fiducia. Si tratta, tuttavia, di rare eccezioni all'interno del campione. Come riassunto nella mappa, dalle discussioni è emersa, inoltre, una percezione più negativa della guida autonoma e della sua eventuale diffusione futura. Talvolta i rispondenti si sono dimostrati contrariati nei confronti di una prospettiva simile attribuendo grande importanza alla componente umana alla guida.

### *Dubbi riscontrati*

Nonostante il riscontro maggiormente positivo degli utenti con esperienze ADAS, entrambe le categorie hanno espresso dubbi simili in merito alla guida autonoma ed al suo futuro funzionamento. Questo è dovuto al fatto che si tratta di un'innovazione radicale e, per l'utente in generale, è difficile proiettarsi in uno scenario completamente nuovo. Infatti, i principali dubbi riguardano:

- Affidabilità della tecnologia in contesti complessi
- Coesistenza di veicoli autonomi e tradizionali su strada
- Contesti ottimali di utilizzo della guida autonoma
- Aspetti etici

Tuttavia, vi è una maggior fiducia sull'affidabilità futura della tecnologia in determinati contesti da parte di chi utilizza attualmente gli ADAS che, in determinate condizioni ed in sistemi ben tarati, permettono già di sperimentare situazioni di guida molto automatizzata.

Nel contesto del campione preso in esame, gli utenti che attualmente hanno esperienze nell'uso degli ADAS potrebbero rappresentare i futuri early adopters del veicolo a guida autonoma. Chi non ha modo di sperimentare gli attuali sistemi di assistenza avanzati potrebbe essere invece più resistente all'adozione in futuro.

### *Adozione guida autonoma*

Tramite l'aggregazione svolta precedentemente è possibile identificare quali sono i fattori emersi come rilevanti nell'adozione della guida autonoma. La seguente mappa riporta gli elementi ricorrenti percepiti dagli utenti che spingerebbero all'adozione della guida autonoma e quali correlazioni intercorrono fra essi. Mappare questi fattori permette di sintetizzare il loro punto di vista per identificarne il grado di comprensione della tecnologia e cosa influenza valore percepito del prodotto in questione. In particolare, questi fattori hanno iniziato ad emergere con ripetitività dopo circa dieci/ dodici interviste.

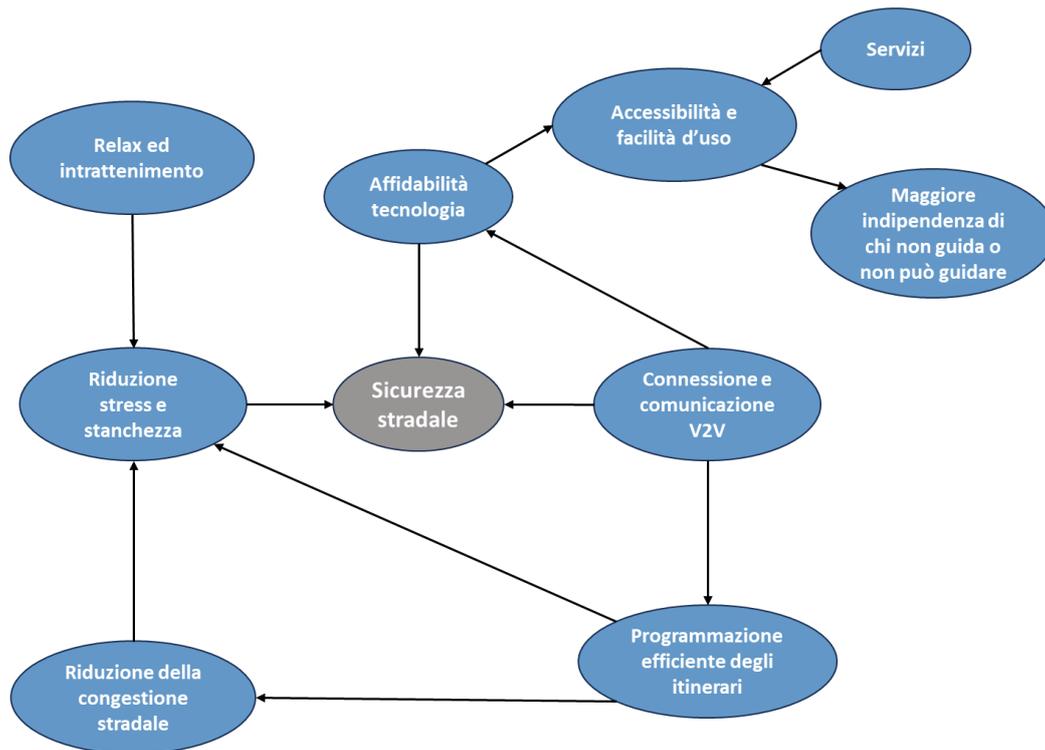


Figura 25: mappa dei fattori d'azione

In primo luogo, per i rispondenti è importante poter disporre una tecnologia di cui potersi fidare. Superata la barriera rappresentata da una tecnologia non ancora diffusa, sono emersi diversi fattori che aumentano il valore percepito del veicolo autonomo, spesso correlati alla risoluzione di problemi attuali. Alla guida autonoma vengono associati diversi benefici come una maggiore indipendenza negli spostamenti per coloro che non possono guidare o non si sentono sicuri nel farlo, una migliore gestione del proprio tempo, la risoluzione delle congestioni stradali, dello stress e così via. Il fattore percepito come più rilevante è quello della risoluzione degli attuali problemi di sicurezza stradale. Infatti, è l'elemento con più correlazioni entranti dato che, per i rispondenti, gli altri fattori che aumentano il valore percepito convergono spesso in una maggiore sensazione di sicurezza stradale rispetto alle condizioni di circolazione attuali.

A seguito delle precedenti analisi qualitative, è possibile fornire una lista di bisogni terziari emersi durante le discussioni in merito alla percezione del veicolo a guida autonoma oggi.

Need
Poter viaggiare in sicurezza nei centri abitati
Poter viaggiare in sicurezza in autostrada
Poter fermare l'auto con dei comandi se necessario
Poter riposare durante i viaggi
Poter leggere durante i viaggi
Evitare il traffico per raggiungere la destinazione
Potersi spostare con un veicolo senza saper guidare
Utilizzare servizi di intrattenimento in attesa di arrivare
Deve guidare senza manovre brusche
Disporre di aree con soli veicoli autonomi
Arrivare subito a destinazione
Poterlo controllare a distanza
Avere un veicolo più affidabile di un conducente umano
Viaggiare in sicurezza anche con meteo avverso
Deve essere confortevole
Deve proteggere comunque in caso di incidente
Deve cercare parcheggio autonomamente
Deve eseguire autonomamente manovre difficili

*Figura 26: bisogni (terziarsi) emersi dalle interviste*

## Conclusione

La trasformazione digitale nel settore dell'auto è un trend di innovazione che ha subito una forte evoluzione negli ultimi anni. Essendo l'auto un prodotto fisico molto complesso, le tecnologie digitali portano numerosi cambiamenti in un prodotto caratterizzato da una crescente componente "immateriale" che ne potenzia le funzionalità culminando nella totale digitalizzazione con il veicolo a guida autonoma.

Per fare chiarezza su un tema così ampio si è voluto analizzare il significato di innovazione digitale nel settore automotive, approfondendo l'architettura di prodotto e le funzioni legate ad essa.

Il tema della digitalizzazione dell'auto si potrebbe identificare, erroneamente, soltanto alla possibilità di utilizzare nuove funzioni e servizi abilitati grazie alla connettività, ma questa è solo una parte del processo che implica, invece, una maggiore complessità in termini di tecnologie digitali ed integrazione di esse all'interno del veicolo. L'obiettivo è quello di fornire un quadro chiaro in cui collocare i principali elementi che riguardano la trasformazione digitale dell'auto in modo da comprenderne il ruolo, le effettive implicazioni nel prodotto e nella sua architettura. In questo contesto, le case automobilistiche devono ridefinire la classica concezione di auto ed uno degli effetti più rilevanti è lo sviluppo e la diffusione dei sistemi di guida autonoma. Di fatto, lo scopo delle tecnologie digitali nell'auto si può riassumere con il miglioramento dell'esperienza d'uso offrendo molte interazioni (personalizzazioni, servizi e funzioni) prima inesistenti, votate ad accomodare gli utenti in un luogo comodo e di privacy con cui affrontare gli spostamenti. Contemporaneamente esse stanno contribuendo a facilitare le operazioni di guida e spesso sollevare l'essere umano dall'eseguire manualmente diverse operazioni mentre può usufruire delle feature messe a disposizione.

Si è voluto, quindi, esplorare la percezione di utenti con profili d'utilizzo dell'auto differente in merito alla prospettiva della diffusione della tecnologia di guida autonoma. La percezione del pubblico rappresenta un fattore chiave per il successo di questo nuovo prodotto. Dai risultati ottenuti, l'attitudine verso il veicolo autonomo è per lo più positiva. Questa è risultata essere maggiormente influenzata dall'esperienza dei rispondenti con gli attuali sistemi di guida autonoma poiché porta ad averne più fiducia in futuro in merito all'affidabilità in determinati contesti. Questi risultati, nei limiti del campione, seppur con note di scetticismo tipiche della fase molto sperimentale in cui si trova il veicolo autonomo, ne denotano comunque molte potenzialità. Queste possono essere un fattore rilevante che potrebbe spingere all'adozione in quanto, nei limiti di quanto emerso, il veicolo autonomo può presentarsi come soluzione a diversi problemi attuali riscontrati dai rispondenti.

L'elemento principale emerso è la risoluzione degli attuali problemi di sicurezza stradale. Nonostante gli i dubbi circa il funzionamento di una tecnologia innovativa, questo fattore è stato attribuito al veicolo a guida autonoma da molti rispondenti.

Questa indagine ha il limite di essere a carattere qualitativo ed i risultati si basano l'output delle interviste del campione. Pertanto, questi risultati possono rappresentare una base di partenza, validata attraverso interviste semi-strutturate, da cui possono derivare analisi statisticamente robuste, eventualmente estendendo l'indagine ad utenti che hanno avuto esperienze con veicoli a guida autonoma.

## BIBLIOGRAFIA

- Ahangar, M. Nadeem, et al. "A survey of autonomous vehicles: Enabling communication technologies and challenges." *Sensors* 21.3 (2021): 706.
- Athanasopoulou, Alexia, et al. "The disruptive impact of digitalization on the automotive ecosystem: a research agenda on business models, platforms and consumer issues." (2016).
- Bento, Cesar AC, Victor Vinha, and Vanderli C. Prieto. "Stakeholders influence in the innovation process of the automotive industry: An exploratory case study." *2015 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)*. IEEE, 2015.
- Betancur, J. Alejandro, et al. "Research topics and implementation trends on automotive head-up display systems." *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)* 12 (2018): 199-214.
- Braun, Michael, et al. "A design space for conversational in-vehicle information systems." *Proceedings of the 19th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*. 2017.
- Chang, Hsinwen, and Liping Li. "Smart and Seamless: Investigating User Needs and Recognition for Smartphone-Automobile Interactive Features." *HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems. Automated Driving and In-Vehicle Experience Design: Second International Conference, MobiTAS 2020, Held as Part of the 22nd HCI International Conference, HCII 2020, Copenhagen, Denmark, July 19–24, 2020, Proceedings, Part I* 22. Springer International Publishing, 2020.
- Chung, Sorim. "Interface-Driven Customer Experience: Redefining User Interface (UI) Design for Automotive Infotainment System." *IEEE Consumer Electronics Magazine* 12.1 (2022): 12-20.
- Coppola, Riccardo, and Maurizio Morisio. "Connected car: technologies, issues, future trends." *ACM Computing Surveys (CSUR)* 49.3 (2016): 1-36.
- E. Tiotto. *Analisi dei requisiti di un sistema digitale e delle interazioni tra questo e l'utente*, Politecnico di Torino. 2022.
- Fraga-Lamas, Paula, and Tiago M. Fernández-Caramés. "A review on blockchain technologies for an advanced and cyber-resilient automotive industry." *IEEE access* 7 (2019): 17578-17598.
- Frigerio, Alessandro, Bart Vermeulen, and Kees GW Goossens. "Automotive architecture topologies: Analysis for safety-critical autonomous vehicle applications." *IEEE Access* 9 (2021): 62837-62846.
- Giacosa, Elisa, Francesca Culasso, and Edoardo Crocco. "Customer agility in the modern automotive sector: how lead management shapes agile digital companies." *Technological Forecasting and Social Change* 175 (2022): 121362.
- Grieger, Marcus, and André Ludwig. "On the move towards customer-centric business models in the automotive industry-a conceptual reference framework of shared automotive service systems." *Electronic Markets* 29 (2019): 473-500.
- Haeuhschmid, Renate, Bastian Pflöging, and Florian Alt. "A design space to support the development of windshield applications for the car." *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 2016.
- Halder, Subir, Amrita Ghosal, and Mauro Conti. "Secure over-the-air software updates in connected vehicles: A survey." *Computer Networks* 178 (2020): 107343.
- Hylving, Lena, and Ulrike Schultze. "Evolving the modular layered architecture in digital innovation: The case of the car's instrument cluster." (2013).

- Kanthavel, Dhaya, S. K. B. Sangeetha, and K. P. Keerthana. "An empirical study of vehicle to infrastructure communications-an intense learning of smart infrastructure for safety and mobility." *International Journal of Intelligent Networks 2* (2021): 77-82.
- Kenjić, Dušan, and Marija Antić. "Connectivity challenges in automotive solutions." *IEEE Consumer Electronics Magazine* (2022).
- Kuruvinashetti, Kiran, et al. "Perspective—application of micro photosynthetic power cells for iot in automotive industry." *Journal of The Electrochemical Society* 167.3 (2020): 037545.
- La Manna, Michele, et al. "Performance evaluation of attribute-based encryption in automotive embedded platform for secure software over-the-air update." *Sensors* 21.2 (2021): 515.
- Lopez-Vega, Henry, and Jerker Moodysson. "Digital Transformation of the Automotive Industry: An Integrating Framework to Analyse Technological Novelty and Breadth." *Industry and Innovation* 30.1 (2023): 67-102.
- Mikusz, Martin, et al. "Transforming the connected car into a business model innovation." *2017 IEEE 19th Conference on Business Informatics (CBI)*. Vol. 1. IEEE, 2017.
- Miller, James. "The dematerializing interface." *Westminster papers in communication and culture* 10.1 (2015).
- Möller, Timo, et al. "The future of interior in automotive." *future* (2021).
- Orlovska, Julia, et al. "Mixed-method design for user behavior evaluation of automated driver assistance systems: An automotive industry case." *Proceedings of the Design Society: International Conference on Engineering Design*. Vol. 1. No. 1. Cambridge University Press, 2019.
- Pfleging, Bastian, Maurice Rang, and Nora Broy. "Investigating user needs for non-driving-related activities during automated driving." *Proceedings of the 15th international conference on mobile and ubiquitous multimedia*. 2016.
- Piccinini, Everlin, et al. "Transforming industrial business: the impact of digital transformation on automotive organizations." (2015).
- Pop, Liviu Dorin. "Digitalization of the system of data analysis and collection in an automotive company." *Procedia Manufacturing* 46 (2020): 238-243.
- Rahim, Md Abdur, et al. "Evolution of IoT-enabled connectivity and applications in automotive industry: A review." *Vehicular Communications* 27 (2021): 100285.
- Ransikarbum, Kasin, et al. "A highway-driving system design viewpoint using an agent-based modeling of an affordance-based finite state automata." *IEEE Access* 6 (2017): 2193-2205.
- Riasanow, Tobias, Gabriela Galic, and Markus Böhm. "Digital transformation in the automotive industry: towards a generic value network." (2017): 3191.
- Sardjono, Wahyu, et al. "Connectivity as a Future of Customer Experience Management in Automotive Industry in Industrial Revolution 4.0."
- Schwarting, Wilko, Javier Alonso-Mora, and Daniela Rus. "Planning and decision-making for autonomous vehicles." *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems* 1 (2018): 187-210.

Siegel, Joshua E., Dylan C. Erb, and Sanjay E. Sarma. "A survey of the connected vehicle landscape—Architectures, enabling technologies, applications, and development areas." *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 19.8 (2017): 2391-2406.

Souweidane, Naseeb, and Brett Smith. "State of ADAS, Automation, and Connectivity." (2023).

Tadjine, Hamma, Daniel Goehring, and Hadj Hamma. "Acoustic/Lidar Sensor Fusion for Car Tracking in City Traffic Scenarios." *Freie Universit Berlin, Berlin* (2015).

Yang, Fangchun, et al. "Architecture and key technologies for Internet of Vehicles: a survey." *Journal of communications and information networks* 2.2 (2017): 1-17.

Yang, Hyunseung, et al. "How Hyundai UX Team Develops." *Adjunct Proceedings of the 14th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*. 2022.

Yin, Kaiou, et al. "Analyzing the impact of product configuration variations on advanced driver assistance systems with search." *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference*. 2021.

Yoo, Youngjin, Ola Henfridsson, and Kalle Lyytinen. "Research commentary—the new organizing logic of digital innovation: an agenda for information systems research." *Information systems research* 21.4 (2010): 724-735.

