



# Convalida del design nello sviluppo digitale di User Experience e Service Design

Un caso studio nei servizi connessi all'automobile

Riccardo Peretti





**Politecnico  
di Torino**

Laurea magistrale in Design Sistemico  
A.a 2023/2024  
Sessione di Laurea Febbraio 2024

# Convalida del design nello sviluppo digitale di User Experience e Service Design

Un caso studio nei servizi connessi all'automobile

Candidato: **Riccardo Peretti**

Relatore: Andrea Di Salvo

Alla mia famiglia, ai loro sacrifici per  
rendermi felice  
Ad Alessia, mio porto sicuro nelle giornate  
tempestose.  
A chi se né andato, ma continua ad essere al  
mio fianco.  
A tutti coloro senza i quali non sarei qui oggi.

# Indice

## Introduzione

### 1. Stato dell'arte

- 1.1 Definizione e classificazione dei veicoli autonomi
- 1.2 I livelli e le funzionalità di assistenza alla guida
- 1.3 Obiettivi di un sistema di guida autonomo
- 1.4 Stato dell'arte dei veicoli autonomi
- 1.5 Il ruolo della fiducia per le auto a guida autonoma
- 1.6 Valutazione veicoli a guida autonoma, prove basate sullo scenario
- 1.7 Il ruolo dell'HMI nell'auto autonoma
- 1.8 I dispositivi di visualizzazione

### 2. Design interfaccia uomo-macchina

- 2.1 Principi
- 2.2 I fattori umani: fattori fisici e cognitivi legati all'HMI
- 2.3 User-centered design
- 2.4 Stato dell'arte del HMI
- 2.5 Infotainment
- 2.6 ADAS

### 3. Ambiti di impatto

- 3.1 Sicurezza stradale
- 3.2 Comportamento utente
- 3.3 Impatto sulla mobilità e sull'ambiente
- 3.4 Prestazioni e funzionalità del sistema HMI
- 3.5 Linee guida per lo sviluppo dei sistemi HMI

### 4. Progettazione e realizzazione

- 4.1 Concept
- 4.2 Vehicle to vehicle
- 4.3 Vehicle to everything
- 4.4 Personas
- 4.5 Journey map
- 4.6 Casi studio
- 4.7 Moodboard
- 4.8 Processo
- 4.9 Prototipazione

### 5. Struttura e validazione del progetto

- 5.1 User Experience Questionnaire
- 5.2 Esempi di Usability test e UEQ
- 5.3 Valutazione casi studio
- 5.4 Realizzazione del questionario di valutazione dell'esperienza utente

## Conclusioni

## Bibliografia

# Abstract

La crescente automazione nel settore automobilistico ha portato a notevoli progressi, con l'auto a guida autonoma che emerge come uno dei settori chiave.

Questa ricerca esplora l'evoluzione di tale tecnologia, focalizzandosi sull'interazione tra utente e veicolo autonomo.

Con un crescente interesse da parte delle aziende e dei consumatori, la tesi affronta le sfide culturali legate alla fiducia nell'adozione diffusa di veicoli autonomi.

Basandosi su studi precedenti sull'interfaccia uomo-macchina (HMI), l'obiettivo principale è analizzare come la fornitura di informazioni sull'ambiente circostante possa influenzare l'esperienza di viaggio degli utenti, in termini di comfort e sicurezza.

Inoltre, la ricerca si concentra sulla progettazione di interfacce per migliorare la comunicazione tra veicoli, sfruttando la sensoristica

e i sistemi satellitari per garantire una circolazione più fluida e sicura.

L'approccio metodologico prevede la progettazione e la valutazione di diverse interfacce utente, con l'obiettivo di migliorare fiducia, consapevolezza, usabilità e ridurre il carico cognitivo.

I risultati ottenuti contribuiranno a delineare la quantità ottimale di informazioni sull'ambiente stradale da incorporare in un'interfaccia per veicoli completamente autonomi.

In conclusione, questa ricerca si propone di contribuire alla creazione di interfacce intuitive e comprensibili, promuovendo una guida autonoma più sicura ed efficiente e migliorando l'esperienza complessiva di guida.

# Introduzione

C'è un crescente interesse per il campo dell'automazione, soprattutto nella ricerca, che ha portato a notevoli progressi in vari settori. Uno dei settori che ha visto una notevole accelerazione è quello delle auto a guida autonoma.

Questa evoluzione ha avuto inizio negli anni '20 con la presentazione del primo veicolo radiocontrollato e continua ancora oggi grazie agli sforzi delle principali case automobilistiche e delle aziende tech di punta, tutte impegnate nella creazione di veicoli senza conducente. Secondo un rapporto di Intel e Strategy Analytics, ci si aspetta che questo settore raggiungerà un volume d'affari di 7 trilioni di dollari entro il 2050.

Harvey Cohen, presidente di Strategy Analytics, afferma che la tecnologia autonoma avrà un impatto significativo su una vasta gamma di settori e cambierà il panorama, inizialmente con un focus sul business-to-business. Questo cambiamento sarà evidente prima nei mercati sviluppati e rivoluzionerà i settori della consegna e del trasporto su lunghe distanze.

Intel ha coniato il termine "economia dei passeggeri" per descrivere questa trasformazione, sottolineando che segna la più grande rivoluzione nella mobilità da quando gli esseri umani hanno abbandonato i cavalli.

Le aziende stanno mostrando un crescente interesse nell'investire in questo settore automobilistico, motivato dai potenziali vantaggi dell'adozione su larga scala di veicoli a guida autonoma.

Tra questi vantaggi, la riduzione degli incidenti stradali è di particolare importanza, poiché gli incidenti stradali sono una delle principali

cause di morte nel mondo. I veicoli autonomi hanno la capacità di reagire più rapidamente e in modo affidabile rispetto agli esseri umani, il che potrebbe ridurre significativamente il numero di collisioni stradali. Secondo Strategy Analytics, questo potrebbe salvare almeno 585.000 vite umane sulle strade.

Inoltre, l'adozione di veicoli autonomi potrebbe ridurre la congestione stradale, consentendo una maggiore circolazione di veicoli senza la necessità di mantenerli a distanza di sicurezza tra loro. Migliorerebbe anche la gestione del traffico e risolverebbe il problema della scarsità di parcheggi, poiché i veicoli potrebbero accompagnare i passeggeri al loro destino e trovare autonomamente un posto auto.

Inoltre, i tempi di viaggio sarebbero più brevi grazie alla possibilità di viaggiare a velocità più elevate con minore probabilità di errori, consentendo ai passeggeri di dedicarsi ad altre attività durante il viaggio.

Tuttavia, nonostante il crescente interesse e i vantaggi potenziali, l'adozione diffusa dei veicoli autonomi presenta sfide significative, tra cui una sfida culturale.

I consumatori sono scettici riguardo alla fiducia nella tecnologia autonoma e sono preoccupati che i veicoli possano prendere decisioni senza il loro coinvolgimento. Gli incidenti mortali che coinvolgono veicoli autonomi e le lacune tecnologiche nei sistemi di guida autonoma hanno contribuito a questa diffidenza.

La fiducia è un elemento chiave per l'accettazione dei veicoli autonomi, e l'interfaccia uomo-macchina (HMI) svolge un ruolo cru-

ciale nell'instaurare questa fiducia. Jack West, Chief Architect dell'Autonomous Driving Group di Intel, ha condotto un esperimento per aumentare la fiducia degli utenti consentendo loro di sperimentare la guida autonoma [1].

Ha scoperto che l'interazione con il veicolo, tra cui l'inizio del viaggio, la gestione degli errori e delle situazioni di emergenza, e la possibilità di fermarsi e scendere dall'auto, ha contribuito ad aumentare la fiducia degli utenti.

Il presente lavoro di tesi si inserisce in questo contesto e mira a studiare l'effetto di fornire informazioni sull'ambiente circostante all'utente di un veicolo autonomo.

L'intenzione è quella di determinare se queste informazioni migliorano l'esperienza di viaggio dell'utente, ad esempio, aumentando il comfort o la sensazione di sicurezza, oppure se possono essere percepite come una distrazione [2].

Inoltre, un ulteriore obiettivo di tale lavoro è focalizzato sul rapporto del veicolo con gli altri veicoli e con l'ambiente circostante.

Avendo appurato che, con l'aumentare dell'automazione diventa cruciale migliorare la comunicazione tra veicoli per garantire una circolazione sicura e fluida, saranno progettate delle interfacce che forniscano informazioni chiare e pertinenti sulla situazione stradale grazie all'ausilio non solo della sensoristica del veicolo, ma anche del sistema satellitare che in anticipo e con effetto immediato consente all'IA del veicolo di conoscere eventuali alterazioni del percorso, consentendo, dunque, una maggiore consapevolezza del conducente automatizzato.

L'obiettivo finale è rendere l'interfaccia intuitiva e facilmente comprensibile, in modo che il conducente possa prendere decisioni migliori sulla base delle informazioni a sua disposizione e reagire prontamente a situazioni complesse, contribuendo ad una guida autonoma più sicura ed efficiente, promuovendo una migliore comunicazione tra veicoli e migliorando complessivamente l'esperienza di guida.

Per fare ciò, sono state progettate diverse interfacce utente, sviluppate per aumentare i livelli di fiducia, consapevolezza, usabilità e il carico cognitivo [3].

Questi principi sono stati identificati come cruciali nella progettazione di un'interfaccia utente efficace. I risultati ottenuti saranno utili per determinare la quantità di informazioni sull'ambiente stradale da includere in un'interfaccia per un veicolo completamente autonomo.



Figura 1 - Concept, il cruscotto del futuro

## 1.1 Definizione e classificazione dei veicoli autonomi

Secondo la definizione riportata nel dizionario, il termine "autonomo" si riferisce alla capacità di un oggetto o di un sistema di gestire sé stesso senza bisogno di un intervento diretto.

L'agenzia governativa statunitense per la sicurezza stradale, nota come **NHTSA** (National Highway Traffic Safety Administration), definisce un'auto autonoma come "un veicolo il cui funzionamento avviene senza richiedere un controllo diretto da parte del conducente per sterzare, accelerare e frenare, ed è progettato in modo che il conducente non debba costantemente monitorare la strada quando la modalità automatica è attiva" [4].

Per raggiungere un certo grado di **autonomia**, il veicolo utilizza tecnologie come il radar, il LIDAR, il GPS e i sensori per rilevare l'ambiente circostante.

L'interazione tra questi componenti e i sistemi di controllo avanzati all'interno del veicolo consente a quest'ultimo di prendere decisioni riguardo ai percorsi da seguire e di gestire eventuali ostacoli e segnali stradali.

Per valutare il livello di autonomia di un veicolo, esistono diverse classificazioni e standard.

Tra questi, i più riconosciuti e seguiti nella letteratura scientifica sono quelli definiti dall'**NHTSA** e dal **SAE** (un ente di normazione dell'industria automobilistica).

Nel settembre 2016, l'**NHTSA** ha adottato lo standard **SAE J3016** come riferimento, il

quale definisce sei livelli di guida autonoma basati sul grado di automazione del veicolo e sul coinvolgimento umano nella guida del veicolo [5].

- **Livello 0:** Nessuna autonomia. L'auto non ha una funzione di assistenza alla guida e il guidatore ne ha il pieno controllo;

- **Livello 1:** Assistenza alla guida. Questo livello di automazione prevede che il guidatore prenda le decisioni in merito a quando accelerare, decelerare o sterzare ma sia supportato a livello informativo da altri sistemi che possono indicare la presenza di minacce o condizioni ostili. L'auto si limita ad analizzare e rappresentare le situazioni sotto forma di alert visivi o acustici. Il guidatore ha la piena responsabilità del veicolo;

- **Livello 2:** Automazione parziale. In questo grado di automazione l'auto è in grado di gestire accelerazione e decelerazione attraverso sistemi di diverso genere come, per esempio, la frenata assistita e la frenata di emergenza anticollisione. La direzione e controllo traffico restano sotto il controllo del guidatore;

- **Livello 3:** Automazione condizionata. In questo livello l'auto inizia ad automatizzarsi: essa è in grado di gestire accelerazione, decelerazione e sterzata, mentre il guidatore interviene in situazioni problematiche come la guida su strada sterrata o laddove la gui-

da autonoma non sia permessa o sia troppo pericolosa, ad esempio in caso di maltempo. Il guidatore può, dunque, momentaneamente distogliere l'attenzione, ma deve acquisire rapidamente il controllo dell'auto se necessario;

- **Livello 4:** Alta automazione. Questo livello prevede la gestione autonoma di accelerazione, decelerazione, sterzata e controllo del traffico. L'auto provvede a gestire le tipiche situazioni dovute al traffico o alla percorrenza di strade urbane o extraurbane. In questa situazione l'auto è in grado di guidare in completa autonomia, ma è possibile per il guidatore riprendere il pieno controllo dell'auto, se egli lo richiede;

- **Livello 5:** Completa automazione. In questo livello, non è richiesto alcun intervento da parte del guidatore. L'auto guida esclusivamente in maniera autonoma gestendo completamente tutti gli aspetti tipici della guida ed in base ai compiti richiesti, si occupa in autonomia di individuare il percorso da seguire, prendere la giusta direzione, accelerare o decelerare in base alle condizioni di traffico o alle situazioni prossime.



Figura 2 - Classificazione veicoli autonomi

## 1.2 I livelli e le funzionalità di assistenza alla guida

Ogni livello di autonomia richiede una specifica tecnologia o funzionalità che il veicolo deve implementare, insieme a tipi specifici di sensori.

Al **livello 1**, vengono introdotte funzionalità come l'Adaptive Cruise Control (ACC) e il Lane Departure Warning System (LDWS). L'ACC è un sistema intelligente che può regolare automaticamente la velocità del veicolo in base al traffico, mantenendo sempre una distanza di sicurezza adeguata.

Il **LDWS** aiuta a prevenire uscite di corsia dovute, ad esempio, a sonnolenza o distrazione del conducente, avvisando quando il veicolo sta per attraversare le linee che delimitano la

corsia. Questi sistemi richiedono sensori ad ultrasuoni, radar a lunga distanza (LRR) e, talvolta, una videocamera per rilevare l'ambiente circostante.

Al **livello 2**, oltre alle funzionalità del livello 1, viene aggiunta la Lane Keep Assist (LKA), che aiuta il conducente a mantenere il veicolo nella corsia attraverso segnalazioni sonore e leggere correzioni di sterzata. Viene anche introdotto il Parking Assist (PA), che fornisce un avviso durante le manovre di parcheggio. Anche a questo livello vengono utilizzati gli stessi sensori del livello 1, insieme a radar per distanze ravvicinate (SRR) con un raggio operativo più breve rispetto ai LRR.



Figura 3 - Concept, funzionalità di un veicolo a guida autonoma

Vi è anche il sistema Automatic Emergency Braking (AEB), che aiuta a evitare collisioni imminenti o a ridurne la gravità riducendo la velocità del veicolo.

Il **livello 3**, secondo la definizione SAE, rappresenta il primo livello di vera autonomia. Oltre alle funzionalità dei livelli precedenti, introduce il Driver Monitoring (DM) e il Traffic Jam Assist (TJA). Il DM monitora l'attenzione e la stanchezza del conducente e può arrestare il veicolo in modo sicuro se necessario. Il TJA guida autonomamente il veicolo in situazioni di traffico congestionato a velocità inferiori a una certa soglia.

A partire da questo livello, aumenta il numero e la varietà dei sensori utilizzati per consentire una percezione più precisa dell'ambiente circostante.

Vengono introdotti sensori LIDAR (emettitori laser per la misurazione delle distanze), videocamere stereoscopiche, tecnologia Dead Reckoning per la navigazione stimata, e talvolta sensori infrarossi o termici.

Questi sensori consentono al veicolo di creare una mappa tridimensionale dell'ambiente circostante e di valutarne le distanze.

La principale differenza tra un veicolo autonomo di livello 3 e uno di **livello 4** è che il primo richiede ancora l'intervento del conducente in situazioni che non può gestire, mentre il secondo è in grado di affrontarle autonomamente.

Nonostante ciò, le tecnologie di sensor fusion (fusione di dati da sensori) e gli algoritmi di guida diventano più complessi al livello 4, consentendo una migliore comprensione dell'ambiente e decisioni più avanzate.

Al **livello 5**, l'auto è in grado di gestire qualsiasi situazione in qualsiasi condizione ambientale senza alcun intervento umano, poiché i sensori e le tecnologie lavorano insieme in modo perfettamente integrato per guidare in sicurezza lungo il percorso pianificato [4].

## 1.3 Obiettivi di un sistema di guida autonomo

Dalla classificazione precedente e dalle varie capacità che un veicolo autonomo mira a raggiungere a diversi livelli, è fattibile identificare e delineare gli scopi di un sistema di guida autonomo [6].

• **Percezione:** Il termine 'percezione' si riferisce alla capacità di un sistema autonomo di raccogliere informazioni ed estrarre da esse una comprensione significativa dell'ambiente circostante. In particolare, la percezione ambientale rappresenta una funzione fondamentale che i veicoli autonomi devono possedere, poiché fornisce loro informazioni sull'ambiente in cui operano, comprese le zone libere e quelle occupate da ostacoli, con la calcolazione della posizione, della velocità e persino della previsione dello stato futuro di tali ostacoli.

Questo compito di percezione ambientale viene realizzato sulla base dei dati raccolti da dispositivi come il LIDAR, le videocamere o dalla combinazione di informazioni provenienti da questi dispositivi.

Altri approcci possono includere l'utilizzo di radar e sensori ad ultrasuoni.

Indipendentemente dai sensori utilizzati, i due aspetti critici della percezione ambientale sono il rilevamento della superficie stradale e l'individuazione di oggetti situati su di essa. Inoltre, la percezione ambientale comprende il processo di localizzazione, che si riferisce alla capacità del sistema di determinare la

sua posizione nell'ambiente circostante. Tuttavia, è spesso difficile ottenere la posizione esatta (posizione e orientamento) del veicolo, quindi, il problema di localizzazione è spesso formulato come un problema di stima della posizione.

Uno dei metodi più comuni per la localizzazione coinvolge la combinazione di sistemi di navigazione satellitare, come il GPS e il GLO-NASS, con sistemi di navigazione inerziale che utilizzano accelerometri o giroscopi, insieme a tecniche di elaborazione del segnale per stimare l'orientamento del veicolo senza dover dipendere da infrastrutture esterne.

Tuttavia, l'inizializzazione dei sistemi inerziali senza l'uso di ulteriori sensori può risultare complicata e portare a errori che crescono nel tempo.

Allo stesso modo, l'efficacia dei sistemi satellitari dipende dalla qualità dei segnali ricevuti dai satelliti.

• **Pianificazione:** Con il termine 'pianificazione', ci riferiamo alla capacità del sistema di prendere decisioni cruciali per raggiungere un obiettivo di livello superiore, di solito quello di guidare l'auto da una posizione iniziale a una posizione finale desiderata, evitando ostacoli. Questo processo fa uso di algoritmi euristici che cercano una soluzione approssimata ma efficace per il problema.

La pianificazione comprende sia la pianifica-



Figura 4 - Sistema di percezione dello spazio di un veicolo a guida autonoma

zione del percorso, che coinvolge decisioni di alto livello come la selezione dei punti di partenza e di arrivo e la scelta delle strade da percorrere, sia la pianificazione del comportamento, che riguarda la capacità di prendere decisioni adeguate a interagire correttamente con altri elementi su strada, rispettando regole come quella di evitare di guidare sui marciapiedi o investire i pedoni.

La pianificazione del comportamento mira a raggiungere obiettivi locali come il cambio di corsia, i sorpassi o la decisione di avanzare in un incrocio. Infine, la pianificazione del movimento genera i percorsi appropriati e/o una serie di azioni necessarie per raggiungere obiettivi locali, tra cui il raggiungimento di un punto specifico senza entrare in collisione con ostacoli.

• **Controllo:** Con il termine 'controllo', ci riferiamo al processo mediante il quale le intenzioni e gli obiettivi stabiliti nella fase di pianificazione vengono trasformati in azioni

concrete. Il sistema di controllo ha il compito di tradurre in realtà le intenzioni pianificate dai processi di livello superiore fornendo gli input necessari agli attuatori che generano il movimento desiderato.

Ad esempio, consideriamo una situazione in cui un'auto autonoma è consapevole della necessità di rallentare in presenza di un semaforo rosso.

In questo caso, il sistema di controllo converte questa informazione nell'azione concreta di applicare i freni.

Tipici problemi che il modulo di controllo si propone di risolvere includono l'inseguimento di un percorso e l'inseguimento di una traiettoria.

Nel primo caso, l'obiettivo è far sì che l'auto raggiunga e segua un percorso specifico nello spazio tridimensionale, partendo da una posizione iniziale specifica all'interno o all'esterno del percorso.

L'algoritmo di controllo si basa su una de-

scrizione geometrica della traiettoria nel piano cartesiano, senza specificare una legge temporale precisa, ma mira principalmente a ridurre la distanza tra l'auto e la traiettoria. Nel secondo caso, l'obiettivo è far sì che l'au-

to raggiunga e segua una traiettoria specifica nello spazio tridimensionale, partendo da una posizione iniziale specifica all'interno o all'esterno della traiettoria stessa, seguendo una legge temporale predefinita.

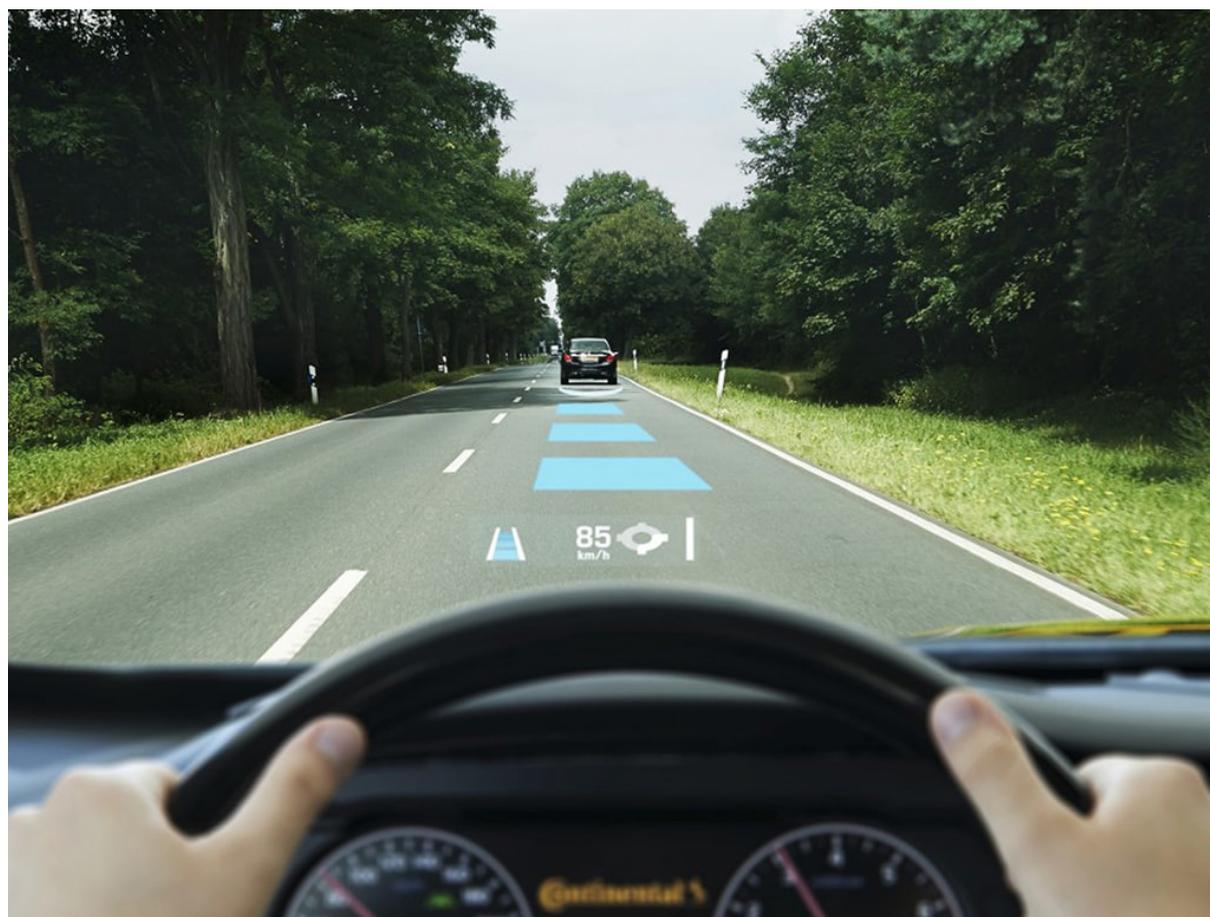


Figura 5 - Sistema di percezione degli altri utenti della strada di un veicolo a guida autonoma

## 1.4 Stato dell'arte dei veicoli autonomi

Gli obiettivi sopra menzionati, fondamentali per il funzionamento di un sistema autonomo, oggi sono raggiungibili grazie all'incremento della disponibilità e alla riduzione dei costi dei sensori e alla potenza di calcolo.

Negli ultimi dieci anni, abbiamo assistito a un rapido progresso e alla maturazione delle tecnologie di guida autonoma, consentendo la realizzazione di livelli di automazione sempre più avanzati.

Tuttavia, la tecnologia presenta ancora **sfide** significative.

Ad esempio, migliorare la percezione ambientale attraverso la fusione di dati provenienti da diversi sensori è un'area di ricerca in continua evoluzione, mirando a sfruttare appieno tutte le informazioni disponibili.

Inoltre, sebbene gli algoritmi di **deep learning** per la rilevazione di oggetti abbiano mostrato progressi notevoli, devono essere ulteriormente sviluppati per operare con dati provenienti da sensori multipli.

Anche se sono stati fatti progressi nella risoluzione del problema della localizzazione, il mapping a lungo termine rimane una sfida aperta, poiché richiede l'aggiornamento costante delle mappe per garantire la localizzazione precisa dell'auto nel tempo.

Nonostante i notevoli progressi nell'ambito degli algoritmi di pianificazione, si prevede che ci saranno ulteriori miglioramenti nella pianificazione in tempo reale in ambienti di-

namici.

Anche il campo del controllo ha fatto importanti progressi negli ultimi anni, ma molti dei risultati ottenuti sono stati validati solo in simulazione.

Garantire che il sistema autonomo segua le intenzioni dei processi decisionali di livello superiore è cruciale.

Inoltre, la cooperazione tra veicoli (V2V) ha dimostrato di poter migliorare le prestazioni nella percezione e nella **pianificazione**, ma è necessario sviluppare ulteriormente gli algoritmi di cooperazione multi-veicolo e stabilire uno standard per gli scambi di informazioni tra veicoli [6].

Tuttavia, le sfide tecnologiche rappresentano solo una parte del problema, poiché ci sono questioni normative ed etiche da considerare.

La questione normativa riguarda la necessità di regolamentare il settore e modificare il codice della strada per consentire la circolazione delle auto autonome [7].

Solo alcuni Paesi hanno aperto tratti stradali dedicati alla guida autonoma, ma la maggior parte delle nazioni deve ancora adottare leggi dettagliate in materia.

La questione etica-morale riguarda la responsabilità in caso di incidenti, compresa la decisione su chi incolpare e come l'auto deve gestire situazioni critiche, come scegliere tra salvare i passeggeri o evitare collisioni con

altri veicoli o pedoni. Inoltre, la **sicurezza** delle auto autonome è ancora una preoccupazione importante, con incidenti che sollevano domande sulla responsabilità e sulla fiducia dei consumatori. Molti sono ancora **scettici** riguardo alla guida autonoma, temendo la mancanza di controllo umano. In sintesi, oltre ai progressi tecnologici e commerciali, la guida autonoma deve affrontare sfide culturali significative.



Figura 6 - Interni della concept car Mercedes Classe S



Figura 7 - Interni Tesla Model 3



Figura 8 - Interni della concept car Audi Grandsphere

## 1.5 Il ruolo della fiducia per le auto a guida autonoma

Dallo stato attuale della tecnologia dei veicoli autonomi emerge che, nonostante notevoli progressi tecnologici, l'autonomia delle auto non è ancora del tutto **affidabile** e sicura. Questa affermazione trova conferma nella limitata automazione dei veicoli proposti dai produttori automobilistici sul mercato. Ciò significa che in situazioni in cui il sistema di guida automatica non riesce a operare in modo ottimale, ad esempio a causa di condizioni meteorologiche avverse che influiscono sul funzionamento dei **sensori**, il conducente deve riprendere il controllo del veicolo e sapersi comportare [2]. Pertanto, le limitazioni tecniche e il conseguente ritorno al controllo umano sollevano questioni rilevanti legate all'aspetto umano.

Inoltre, l'idea di un'auto autonoma, cioè un veicolo in grado di guidare senza intervento umano, suscita preoccupazione tra i consumatori a causa delle nuove tecnologie coinvolte e degli episodi negativi che hanno coinvolto alcuni produttori, alimentando il senso di scetticismo. Questo scetticismo è stato confermato da uno studio condotto da AAA, che ha evidenziato la diffidenza iniziale delle persone nell'accettare viaggi a bordo di auto autonome [9]. La fiducia è un elemento essenziale per favorire l'accettazione della nuova tecnologia tra i consumatori, come sottolineato da Jack Weast, ingegnere senior presso la divisione Guida Autonoma di Intel.

Anche se la tecnologia per i veicoli autonomi fosse perfetta dal punto di vista tecnologico, la sua adozione sarebbe compromessa se i consumatori non si sentissero psicologicamente sicuri nell'usarla. Pertanto, è fondamentale instaurare un rapporto di fiducia tra l'utente e il veicolo autonomo, in modo che quest'ultimo percepisca un senso di sicurezza e benessere sia fisico che psicologico [10]. La **fiducia** è un concetto complesso, con diverse definizioni nelle discipline come la psicologia, la sociologia, l'economia e la scienza dei fattori umani. In generale, si riferisce alla probabilità che una persona o un sistema completi con successo una determinata attività, tanto alta da rendere desiderabile un'interazione con la controparte.

Lee e See forniscono una definizione formale di fiducia come "l'attitudine di un agente a soddisfare la richiesta di un altro agente in una situazione caratterizzata da incertezza e vulnerabilità". La fiducia si basa su vari criteri, tra cui la volontà del "trust-giver" di concedere fiducia, la presenza di un "**trustee**" che riceve la fiducia, un incentivo per il "trustee" per eseguire un compito specifico e un certo grado di rischio coinvolto. La fiducia si sviluppa attraverso diverse fasi, dalla fiducia iniziale del "trust-giver" alla formazione di un'attitudine che porta a una certa intenzione e, infine, a un comportamento

che riflette l'affidabilità del "trust-giver".

Il processo di formazione della fiducia tra individui si basa su tre dimensioni: "predictability" (prevedibilità), "dependability" (affidabilità) e "faith" (fiducia).

Le prime due riguardano la capacità del "trust-giver" di eseguire azioni prevedibili e affidabili, mentre l'ultima si riferisce alla fiducia del "trustee" nel fatto che il "trust-giver" continuerà a comportarsi in un certo modo. Nel contesto della fiducia uomo-macchina, questi elementi vengono applicati in modo inverso, con "faith" che svolge un ruolo principale all'inizio, seguita da "dependability" e "predictability".

Per aumentare la fiducia, sono importanti tre costrutti: abilità (percezione delle competen-

ze del "trust-giver"), benevolenza (percezione dell'orientamento positivo del "trust-giver") e integrità (percezione che il "trust-giver" segua principi accettabili per il "trustee"). Questi costrutti si traducono in prestazione, scopo e processo nel contesto della fiducia tra l'essere umano e la macchina [11].

L'elaborazione dell'informazione da parte dell'utente è fondamentale nel processo di formazione della fiducia. L'informazione viene elaborata in tre modalità: analogica, affettiva ed analitica.

L'elaborazione analitica, basata sulla conoscenza esistente e sull'informazione sul sistema, offre il livello più elevato di fiducia. La fiducia spesso dipende dalla percezione



Figura 9 - Un elevato livello di fiducia nel veicolo consente all'utente di svolgere altre attività

dell'utente del sistema, più che dalla sua effettiva **affidabilità**.

La fiducia è influenzata da diverse variabili, tra cui la fiducia disposizionale (basata su aspettative personali), la decisione situazionale a fidarsi (influenzata da fattori situazionali) e la fiducia acquisita (basata su esperienze passate).

La prevedibilità, ossia la percezione che il "trust-giver" mantenga un comportamento coerente, è un elemento chiave nel processo di formazione della fiducia.

Lo studio condotto da Ekman et al. [3] rappresenta uno dei contributi più significativi in merito alla questione della fiducia nell'ambito delle auto autonome.

Sulla base dei risultati ottenuti dalle ricerche precedentemente citate, gli autori hanno sviluppato un quadro concettuale volto a fornire indicazioni generali per i progettisti delle interfacce uomo-macchina (HMI) destinate alle auto autonome.

Questo quadro concettuale identifica undici fattori chiave che influenzano la fiducia degli utenti:

- **Modello mentale:** Questo rappresenta una rappresentazione approssimativa delle funzionalità e delle competenze del sistema, aiutando gli utenti a comprendere le intenzioni e le decisioni del sistema.

- **Competenza/Rispettabilità:** Il sistema viene descritto come competente, magari attraverso un'interfaccia esteticamente gradevole.

- **Condivisione degli obiettivi:** Il sistema propone obiettivi agli utenti, come la possibilità di scegliere tra diversi stili di guida.

- **Apprendimento:** Gli utenti possono apprendere prima e dopo il primo utilizzo del veicolo autonomo, aumentando così la loro conoscenza delle funzionalità del sistema.

- **Antroporfismo:** Questo coinvolge l'attribuzione di caratteristiche umane al sistema, ad esempio dando al sistema un nome, un sesso o una voce umana.

- **Feedback:** Il sistema è in grado di fornire feedback continuo agli utenti, possibilmente indirizzato a più sensi sensoriali.

- **Automazione adattiva:** Il sistema può adattarsi alle condizioni fisiche e psicologiche degli utenti.

- **Personalizzazione:** Gli utenti hanno la possibilità di regolare alcune funzionalità non critiche del sistema in base alle loro preferenze. Questo è diverso dall'automazione adattiva, in cui il sistema apprende automaticamente dalle preferenze dell'utente.

- **Informazioni sul funzionamento non ottimale del sistema:** Gli utenti ricevono informazioni sulle situazioni in cui il sistema non è in grado di gestire in modo ottimale determinate condizioni, ad esempio, problemi con i sensori o il GPS.

- **Informazioni su come e perché:** Gli utenti ricevono informazioni sulle azioni future che il sistema sta per intraprendere. Le informazioni "come" descrivono come il sistema intende svolgere determinate attività, mentre le informazioni "perché" spiegano il motivo per cui il sistema sta per intraprendere determinate azioni.

• **Informazioni sugli errori del sistema:** Gli utenti ricevono informazioni in caso di errori o incidenti, al fine di comprendere perché si sono verificati e in che misura hanno influenzato le prestazioni del sistema. Questi fattori compongono un quadro completo per guidare lo sviluppo delle interfacce e delle strategie di comunicazione per veicoli autonomi, contribuendo a creare un ambiente in cui gli utenti possono sviluppare fiducia nel sistema.

## 1.6 Valutazione veicoli a guida autonoma, prove basate sullo scenario

Affinché i veicoli a guida autonoma (AV) possano essere ampiamente accettati sul mercato, i produttori devono rispettare i requisiti normativi e garantire la loro sicurezza. A tal fine, è essenziale sottoporre le tecnologie AV a test accurati e approfonditi. In particolare, per ottenere risultati coerenti, i programmi di test devono essere all'altezza delle funzioni AV dal punto di vista tecnologico e questo richiede l'implementazione di programmi di test AV che siano efficienti, affidabili, ripetibili, precisi e accurati. Le moderne funzioni di guida autonoma possono essere validate soltanto mediante test su scenari complessi, critici e rappresentativi.

Questi test devono coinvolgere numerosi oggetti dinamici in un ambiente controllato e ripetibile, in cui ogni aspetto sia attentamente sincronizzato e misurato con precisione. Durante lo sviluppo di veicoli con funzioni AV, è necessario integrare tecnologie come fotocamere, LIDAR o piattaforme basate su radar. In alternativa, i modelli dei sensori devono essere sottoposti a verifica e i test dei veicoli autonomi devono essere eseguiti in un contesto reale. Questo approccio è cruciale non solo per dimostrare la sicurezza dei veicoli autonomi, ma anche per instillare fiducia e accettazione tra gli utenti finali nei confronti dell'automobile a guida autonoma [39]. Tuttavia, la verifica delle funzioni di guida

autonoma attraverso scenari di test critici e rappresentativi è una sfida complessa; essa richiede un ambiente di test sicuro, completamente sincronizzato e sotto controllo. Effettuare valutazioni dei veicoli autonomi basate su scenari offre diversi vantaggi, tra cui:

1. Lo Sviluppo di tecnologie AV sicure che garantiscono la sicurezza delle funzioni delle auto a guida autonoma grazie all'impiego della tecnologia, degli strumenti e dei metodi di prova specifici.
2. L'ottimizzazione del processo di prova attraverso l'implementazione di un flusso di lavoro sicuro, che produce risultati precisi e affidabili.
3. La dimostrazione delle prestazioni garantite e l'aumento dell'accettazione di mercato tramite test che convalidano le prestazioni delle funzioni AV o dei modelli di sensori.
4. Gli indipendenti test condotti da TÜV SÜD aumentano la fiducia dei clienti nella sicurezza della guida autonoma e nei modelli di sensori.
5. Anticipare ed essere pronti a rispondere ai requisiti dei nuovi standard, testando le funzioni AV in conformità con i requisiti di omologazione internazionale e l'omologazione

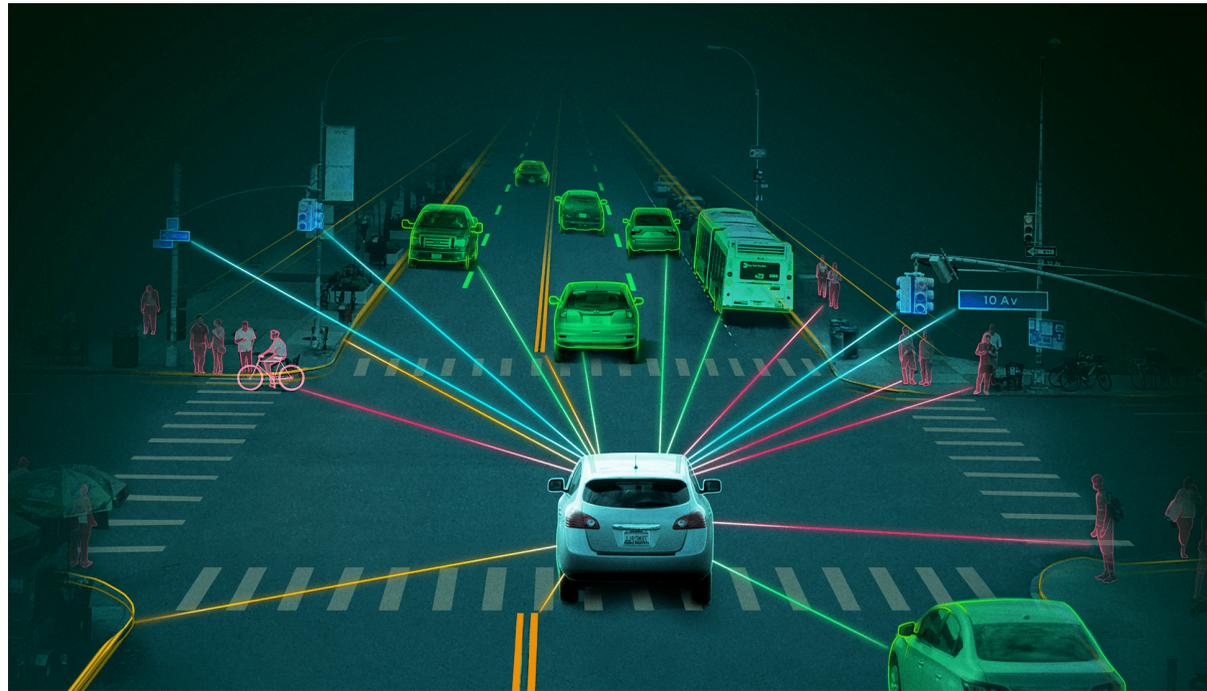


Figura 10 - Scenario urbano

SAE da L3 a L5.

Durante il processo di prova, sia gli oggetti in movimento che quelli statici, nonché il veicolo autonomo in fase di valutazione e i veicoli circostanti, che rappresentano i potenziali scenari critici, devono essere collegati attraverso una connessione a bassa latenza.

I veicoli circostanti devono essere in grado di adattare dinamicamente la loro traiettoria in base alla strategia applicata al veicolo in fase di valutazione, in quanto le moderne funzioni AV potrebbero mostrare comportamenti non deterministici.

I risultati di tali test sono stati riportati, tra gli altri, anche dal Gruppo formato da **PIARC Italia**, composto da esperti di diverse competenze professionali, che si è posto come obiettivo finale la creazione di un questionario da utilizzare in un sondaggio campionario rivolto alla popolazione per esaminare aspetti etici, sociali e di sicurezza legati alla guida

autonoma e alla sua **accettazione**.

Al fine di sviluppare un questionario ben strutturato che affrontasse le questioni etiche, sociali e di sicurezza legate alla guida autonoma e che rispondesse alle aspettative degli utenti, PIARC Italia ha lanciato un sondaggio nel mese di marzo 2020.

Questo **sondaggio** è stato diffuso attraverso i canali social sotto il tema "Guida Autonoma, Percezione e Accettazione Sociale". L'obiettivo del sondaggio era ottenere input, idee e desideri dai partecipanti per la creazione di un questionario mirato alla percezione e all'accettazione della guida autonoma.

Il sondaggio è stato ampiamente distribuito non solo in Italia ma anche in tutto il mondo grazie alla vasta rete di PIARC, che comprende 122 Paesi membri.

Le domande del sondaggio sono state suddivise in varie categorie, tra cui informazioni demografiche sui partecipanti (come genere

ed età), domande sulle modalità di spostamento quotidiane, e interrogativi specifici sulla conoscenza attuale dei veicoli autonomi e delle loro funzionalità. Successivamente, il sondaggio si è concentrato sulla disponibilità dei partecipanti a rispondere a un questionario sulla guida autonoma, sulla loro volontà di promuoverlo e sulla loro disposizione a proporre idee e domande da includere.

Tuttavia, è necessario tenere in considerazione che, mentre i sondaggi online presentano numerosi vantaggi, come la velocità di raccolta dati e l'accesso a un vasto pubblico, ci sono anche alcune criticità da considerare nella valutazione dei risultati.

Tra i punti di forza ci sono la possibilità di monitorare continuamente lo stato del sondaggio e l'analisi dei dati in tempo reale.

Ma, è importante notare che i partecipanti ai sondaggi online tendono a essere più tecnologicamente competenti, e l'autoselezione dei partecipanti potrebbe non garantire una rappresentazione equa per quanto riguarda le caratteristiche demografiche e geografiche (età, genere, residenza) della popolazione,

compromettendo l'eterogeneità del campione. [35]

Un totale di 338 persone ha scelto di partecipare al sondaggio online lanciato sui canali social, di cui 83 erano donne, 248 uomini, 4 non hanno specificato il loro genere e 3 non hanno fornito alcuna informazione in merito. La maggioranza dei partecipanti rientrava nella fascia d'età compresa tra i 18 e i 25 anni, che contava 151 persone (pari al 45,1% del totale).

Seguivano le fasce d'età 35-50 anni, con 73 partecipanti (21,8%), 50-65 anni con 55 partecipanti (16,4%), e 25-35 anni con 46 partecipanti (13,7%).

Le fasce d'età con la rappresentatività più bassa erano quelle dei minori di 18 anni e degli over 65, con rispettivamente 1 e 9 risposte, che insieme rappresentavano il 3% del totale (vedi Figure 11 e 12 per ulteriori dettagli).

Riguardo alla domanda sui mezzi di trasporto utilizzati per gli spostamenti quotidiani, sono state fornite diverse opzioni consentendo risposte singole o multiple, considerando la possibilità di combinare mezzi diversi du-

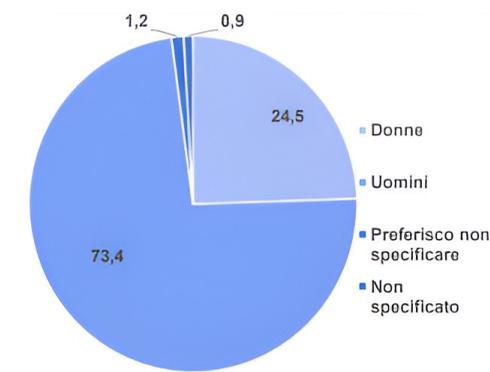


Figura 11 - Genere

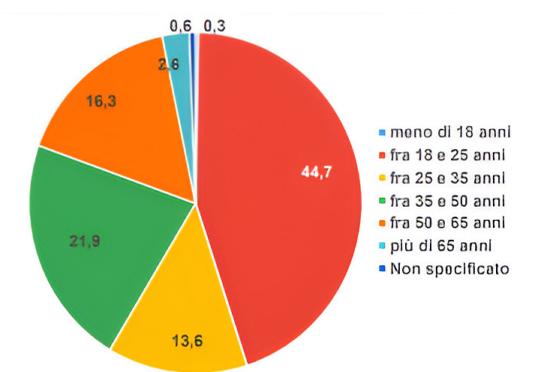


Figura 12 - Età

rante il percorso. Come previsto, l'opzione più comune per gli spostamenti giornalieri, in particolare per andare al lavoro o tornare a casa, è l'automobile, scelta dal 63,9% dei partecipanti. Seguono il trasporto pubblico locale (11,5%), la bicicletta (6,8%) a parità di voti con lo scooter a motore tradizionale o elettrico (6,8%), e infine lo spostamento a piedi (4,1%).

Sono emerse anche combinazioni interessanti di mezzi di trasporto, come l'uso combinato di auto e trasporto pubblico o mezzi di mobilità dolce come la bicicletta o il camminare. Da notare che il monopattino è entrato

nella classifica dei mezzi utilizzati (vedi Figura 13 per ulteriori dettagli).

I risultati ottenuti confermano che l'auto privata è il mezzo di trasporto preferito, in linea con il fatto che l'Italia ha uno dei tassi di motorizzazione più elevati in Europa, con oltre 655 autovetture e 868 veicoli ogni mille abitanti nel 2019, un dato in crescita rispetto al 2018.

Inoltre, la vendita di biciclette e biciclette elettriche è aumentata del 7% nel 2019 rispetto all'anno precedente, con una crescente diffusione delle e-bike, cresciute del 13% (da

173.000 a 195.000 unità vendute) per un totale di 1,7 milioni di unità.

Anche l'uso di altre forme di micromobilità elettrica, in particolare i monopattini (si stima che ne siano in circolazione circa 100.000 in Italia), è aumentato, con un'equiparazione legale alle biciclette ai fini della circolazione stradale (legge di Bilancio n.160 del 27 dicembre 2019 - comma 75).

Come riportato sul Disengagement Reports elaborato dal Department of Motor Vehicles della California, nel 2022 sono stati effettuati oltre ottomila test da ventiquattro differenti case produttrici, distribuiti come riportato in figura 14. [36]

I seguenti dati sono stati raccolti con lo scopo di indicare un eventuale grado di disagio da parte del test driver o del passeggero specificando alcuni dettagli, tra cui la capacità del veicolo di operare anche senza la presenza di un guidatore, la conseguente presenza o meno di un conducente, il luogo di inizio della situazione di disagio e l'eventuale motivo.

Come mostrato nei grafici a seguire, sugli oltre ottomila test sono stati registrati 7279 casi in cui il disagio è stato rilevato dal test driver, contro i 934 casi in cui è stato invece rilevato dal sistema interno del veicolo a guida autonoma.

Per quanto riguarda i luoghi, oltre il 50% dei

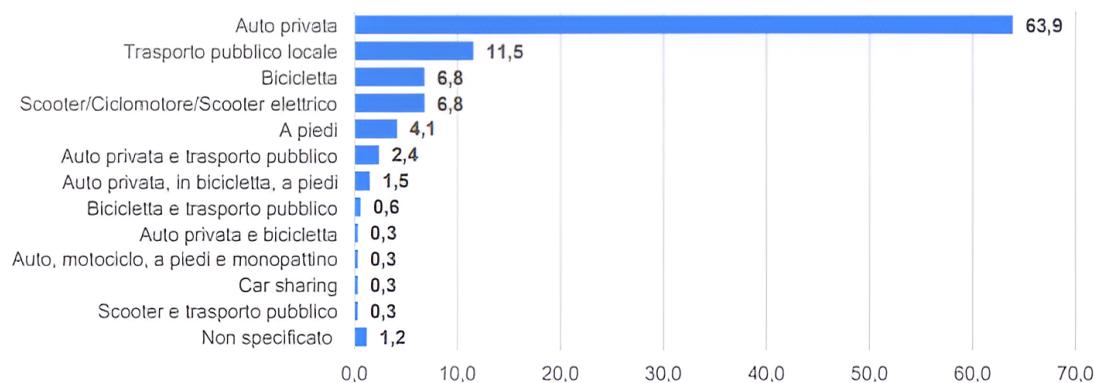
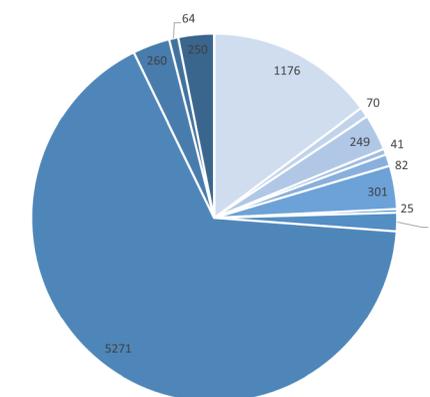


Figura 13 - Mezzi utilizzati per gli spostamenti



- During the lane change the test vehicle could have got too close to another vehicle in the target lane. Root cause: object detection issue. Conditions: Non-inclement weather
- Weather (Sunny)
- Planning
- Perception
- Unnecessary lane change
- Driver disengagement due to safety monitor notification
- Inaccurate mapping
- Precautionary takeover
- ADS incorrectly prediction
- The AV Test Driver took control from the autonomous system due to undesirable lane placement
- Other road user
- Lane detection or map issue

Figura 14 - Disengagement Report

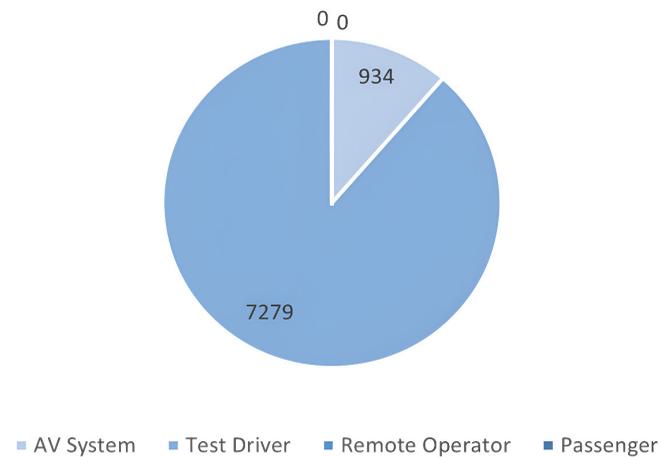


Figura 15 - Disengagement Report, cause



Figura 16 - Disengagement Report, indipendenza del veicolo

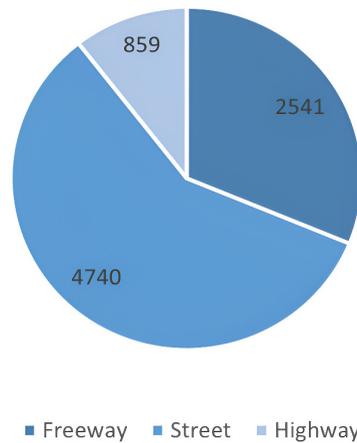


Figura 17 - Disengagement Report, luogo

casi di disengagement è stata registrata durante un test su strada, seguito dal quasi 31% dei casi in autostrada per poi passare, infine, al 10,46% dei casi in superstrada.

Inoltre, nella totalità dei casi è stata registrata la presenza di un conducente, dato che solo nello 0,04% dei casi il veicolo è stato ritenuto idoneo di operare senza la presenza di quest'ultimo.

Alla luce dei test di guida condotti dagli utenti all'interno dei veicoli a guida autonoma, l'analisi dei risultati ha rivelato una serie di casi di disengagement che possono essere attribuiti a una molteplicità di fattori.

In primo luogo, in condizioni di tempo soleggiato, si sono verificati episodi di disagio in cui il conducente ha preferito riprendere il controllo per evitare incidenti di qualunque tipo.

Questo fenomeno può essere spiegato da una pianificazione del percorso non sempre adeguata, che ha causato inconvenienti nella

percezione del veicolo rispetto all'ambiente circostante. Inoltre, si sono registrati disengagement dovuti a cambi di corsia non necessari, in cui il conducente ha preferito assumere il controllo del veicolo in risposta a segnalazioni del monitor di sicurezza.

La mappatura imprecisa e la ripresa precauzionale sono stati ulteriori fattori che hanno contribuito ai casi di disengagement, insieme a previsioni errate dell'Advanced Driver Assistance System (ADS).

Altri episodi sono stati dovuti a situazioni in cui il conducente del test AV ha preso il controllo a causa di un posizionamento indesiderato nella corsia, interazioni con altri utenti della strada, problemi di rilevamento della corsia o della mappatura e problemi di rilevamento degli oggetti.

Questi risultati sottolineano le sfide cruciali da affrontare nel perfezionamento e nell'adozione diffusa dei veicoli a guida autonoma.

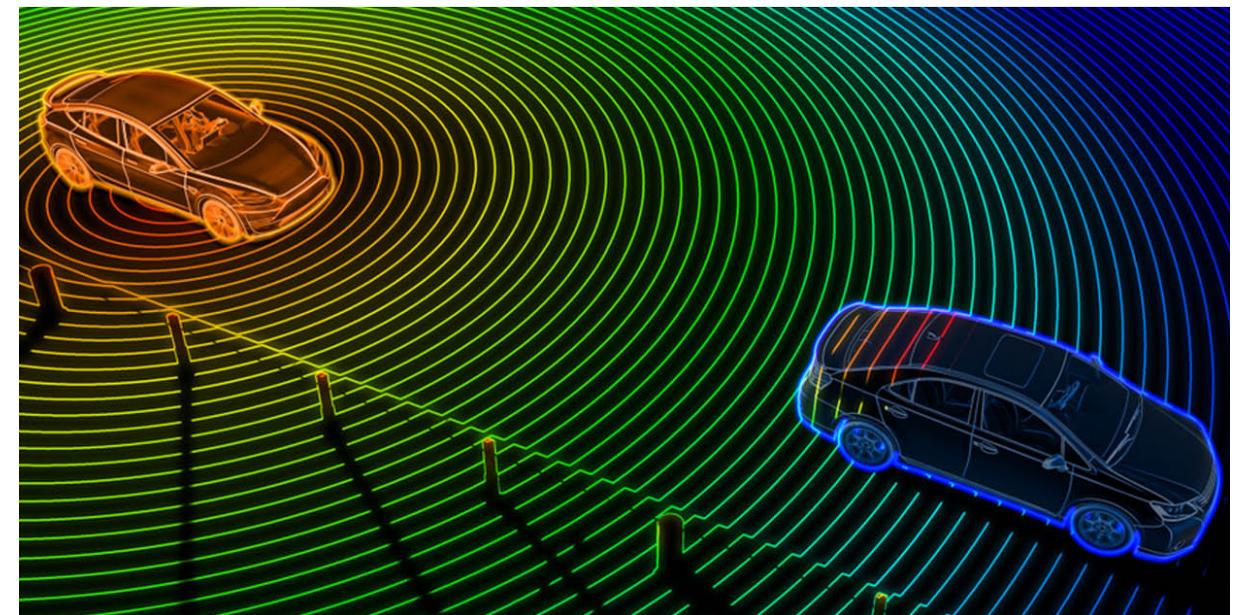


Figura 18 - Mappatura del sistema di guida autonoma

## 1.7 Il ruolo dell'HMI nell'auto autonoma

Un secondo elemento essenziale per favorire l'adozione della tecnologia di guida autonoma da parte dei consumatori è l'interfaccia uomo-macchina, come evidenziato nello studio sulla fiducia condotto da Ekman et al. [3]. L'importanza della **"human-machine interface"** è rilevante sia nel contesto attuale che in quello futuro.

Nel contesto attuale, l'HMI gioca un ruolo critico nei veicoli semi-autonomi di livello 2 e 3, poiché funge da punto di comunicazione tra il sistema automatico e il conducente.

In questi livelli, il conducente non può permettersi distrazioni dal compito di guida e

deve mantenere un'attenzione costante sulla strada, pronto a intervenire in caso di necessità, come nel caso di un malfunzionamento del pilota automatico.

Di conseguenza, durante i periodi in cui il sistema ha il controllo dell'auto, l'HMI deve impegnare il conducente nell'attività di guida autonoma e mantenerlo consapevole dello stato dell'auto sia internamente che esternamente (il conducente rimane "in-the-loop").

**L'interfaccia** deve chiaramente comunicare il livello di automazione e le limitazioni del veicolo in modo ergonomico, visibile e facilmente monitorabile, al fine di prevenire il fenome-



Figura 20 - Esempio di Human-Machine Interface

no di "automation surprise".

È cruciale che l'HMI mantenga il giusto livello di consapevolezza situazionale nel conducente per evitare che quest'ultimo esca dallo stato di attenzione ("out-of-the-loop"), il che comporterebbe una perdita di reattività in caso di malfunzionamento del pilota automatico.

In situazioni del genere, l'HMI deve comunicare **tempestivamente** al conducente di riprendere il controllo dell'auto, cercando un equilibrio tra tempestività e impegno mentale richiesto al conducente.

Guardando al futuro, l'importanza dell'HMI si evolverà ulteriormente nei veicoli ad alto livello di autonomia, come quelli di livello 4 e 5.

In queste situazioni, il ruolo del conducente si trasforma da **"conducente"** a **"passeggero"**, e ciò richiederà una riprogettazione dell'interfaccia per garantire un'esperienza di viaggio confortevole per gli occupanti del veicolo.

Tuttavia, non si prevede una completa sostituzione degli standard attuali, come la presenza dello sterzo o del cruscotto, ma piuttosto un loro adattamento alle nuove esigenze senza stravolgerli e mantenendo una certa continuità con le convenzioni esistenti. Ad esempio, nel concept Symbioz di Renault, menzionato in precedenza, durante l'attivazione del pilota automatico, il volante e il cruscotto si ritraggono per ottimizzare lo spazio davanti al conducente, consentendogli di dedicarsi ad attività diverse.

Nel contesto dell'interfaccia uomo-macchina (HMI) per veicoli autonomi, sono state identificate sei questioni interconnesse che si influenzano reciprocamente in modo complesso.

Queste questioni riguardano la consapevolezza situazionale, il fenomeno della confusione delle modalità, l'usabilità, la perdita



Figura 19 - Esempio di Human-Machine Interface

delle capacità di guida, il carico cognitivo e la fiducia.

La consapevolezza situazionale è la percezione degli elementi e degli eventi ambientali nel tempo e nello spazio, la comprensione del loro significato e la previsione del loro stato futuro in base a variabili come il tempo o eventi previsti.

In termini più informali, si tratta di essere consapevoli di ciò che sta accadendo nelle vicinanze.

Questo coinvolge la percezione, la comprensione e la proiezione da parte del conducente rispetto allo stato interno ed esterno del veicolo.

È di particolare importanza quando il sistema autonomo deve restituire il controllo al conducente.

Il fenomeno della confusione delle modalità si verifica quando la consapevolezza della situazione è inferiore a quanto ottimale.

In questa situazione, c'è una discrepanza tra ciò che il conducente percepisce riguardo al funzionamento del veicolo e ciò che il veicolo sta effettivamente facendo.

Questo può portare a decisioni errate basate su convinzioni scorrette riguardo allo stato dell'automazione del veicolo.

**L'usabilità** è strettamente correlata alla trasparenza del sistema, alla sua semplicità ed accessibilità.

È essenziale che il sistema presenti le informazioni in modo comprensibile per l'utente, ad esempio attraverso un design di display chiaro ed intuitivo.

La perdita delle capacità di guida si riferisce al peggioramento delle abilità di guida del

conducente, che diventa passivo a causa della sua eccessiva fiducia nel sistema o a causa del grado di automazione del veicolo che lo rende incapace di comprendere immediatamente il funzionamento del sistema.

Il **carico cognitivo** rappresenta il rapporto tra l'impegno mentale richiesto per completare un compito e le risorse mentali del conducente.

È collegato all'abilità del conducente di comprendere ciò che accade intorno a lui.

Mentre un sistema automatico dovrebbe ridurre il carico cognitivo del conducente in condizioni non critiche, ciò può comportare una riduzione della consapevolezza situazionale.

Al contrario, un alto livello di automazione può aumentare il carico cognitivo se richiede una supervisione continua.

La gestione del carico cognitivo richiede il design di interfacce che forniscano informazioni all'utente al momento giusto e in modo comprensibile.

Infine, la questione della fiducia è stata precedentemente esaminata ed è legata all'interfaccia uomo-macchina, poiché una buona progettazione dell'HMI può aumentare la fiducia dell'utente e favorire l'accettazione della tecnologia.

Sulla base dei fattori che influenzano l'HMI, sono stati condotti studi per determinare come progettare in modo efficace.

Ad esempio, Ferati et al. enfatizzano l'importanza di un'interfaccia usabile nei veicoli autonomi per promuoverne l'adozione e suggeriscono un approccio multimodale per co-

municare informazioni all'utente.

Debernard et al. hanno utilizzato la "**Cognitive Work Analysis**" per identificare le informazioni cruciali per rendere il sistema trasparente e hanno formulato principi per la loro presentazione.

Benderius et al. hanno proposto un'interfaccia minimalista ma informativa attraverso un tablet touchscreen posizionato al centro della plancia del veicolo per mostrare lo stato dello stesso e informazioni di navigazione quando il pilota automatico è attivo.

## 1.8 I dispositivi di visualizzazione

Un aspetto cruciale relativo all'interfaccia uomo-macchina (**HMI**) riguarda la scelta della modalità attraverso cui trasmettere le informazioni all'utente.

La modalità visiva è la principale e ampiamente utilizzata in tutte le interfacce per veicoli, costituendo il canale di comunicazione predominante.

Pertanto, risulta interessante valutare l'efficacia dei diversi dispositivi di visualizzazione, sia nell'ambito dell'automotive in generale, sia nel contesto delle auto autonome.

Esistono diverse categorie di dispositivi di vi-

sualizzazione che possono essere impiegati all'interno di un veicolo, ma fondamentalemente possono essere suddivisi in due categorie principali.

I display di tipo "head-down" (HDD) consentono all'utente di visualizzare informazioni senza bloccare la vista del mondo reale, ma richiedono che l'utente distolga lo sguardo dalla strada per poterli osservare.

D'altro canto, i display di tipo "head-up" (HUD) permettono all'utente di accedere alle informazioni necessarie mantenendo lo sguardo rivolto verso il contesto stradale. Tuttavia, i



Figura 21 - HDD



Figura 22 - HUD

display HUD presentano alcune sfide pratiche, come la visibilità limitata in condizioni di luce diretta e la possibilità che gli elementi del mondo reale siano coperti dagli elementi virtuali proiettati sul parabrezza.

Nel campo della letteratura, sono stati condotti diversi studi comparativi, in particolare focalizzati sul confronto tra gli **HUD (Heads-Up Display)** e gli **HDD (Head-Down Display)** nell'ambito della guida manuale. Per esempio, Doshi et al. [12] hanno condotto uno studio utilizzando il parabrezza come schermo per l'HUD e hanno utilizzato simboli di realtà aumentata per inviare avvisi al conducente quando superava il limite di velocità. Gli autori hanno scoperto che i tempi di reazione degli utenti erano inferiori quando si utilizzava l'HUD rispetto all'HDD, con un tempo di reazione più breve di **1 secondo**.

Medenica et al. [13] hanno utilizzato un simulatore di guida per valutare le prestazioni de-

gli utenti con un HUD e un HDD che fornivano due tipi diversi di assistenza alla navigazione. Attraverso misurazioni con eye-tracking, gli autori hanno scoperto che i conducenti sono stati in grado di mantenere lo sguardo sulla strada per un periodo significativamente più lungo rispetto all'uso dell'HDD e hanno sperimentato una significativa riduzione del carico cognitivo.

Altri esperimenti condotti da Charissis et al. [13] hanno dimostrato che un HUD in realtà aumentata può causare un numero significativamente inferiore di collisioni in condizioni di visibilità ridotta rispetto a un HDD.

Allo stesso modo, Kim & Dey [14] hanno dimostrato sperimentalmente che l'uso di un HUD può portare a un numero minore di errori di navigazione e di guida rispetto a un HDD standard.

In sintesi, gli studi condotti indicano che gli HUD offrono prestazioni superiori rispetto agli HDD in termini di sicurezza e efficienza

nella guida manuale.

Dalla letteratura emerge che l'utilizzo di un HUD può comportare vantaggi evidenti.

Tuttavia, è importante considerare anche il modo in cui l'HUD visualizza le informazioni all'utente.

Queste informazioni possono essere presentate in modo spazialmente separato rispetto all'ambiente reale, il che significa che un avviso viene visualizzato sul display, ma il conducente deve comunque impiegare del tempo per individuare l'oggetto a cui si riferisce. Un'alternativa consiste nel mostrare le informazioni in modo spazialmente integrato con il mondo reale, ad esempio attraverso avvisi di tipo "contact-analog" o "conformal".

I principi della psicologia della Gestalt suggeriscono che due stimoli, uno virtuale e uno fisico, vengono compresi più facilmente e rapidamente quando sono posizionati vicino l'uno all'altro nello spazio.

Nel contesto della guida, è stato dimostrato che gli automobilisti traducono un collega-

mento spaziale in un collegamento logico, il che porta a tempi di reazione più brevi, anche se può generare distrazione a causa della presenza di simboli potenzialmente posizionati ovunque nella visione periferica del conducente. Una possibilità per presentare all'utente informazioni che siano spazialmente correlate all'oggetto a cui si riferiscono è rappresentata dalla tecnologia della realtà aumentata.

Quindi, una via per mostrare informazioni all'utente che siano strettamente legate spazialmente all'oggetto di interesse è rappresentata dalla realtà aumentata.

Per quanto invece riguarda l'HUD in realtà aumentata applicato al contesto della guida autonoma, la ricerca nella letteratura sugli **AR-HUD** utilizzati in contesti di guida manuale o semiautomatica evidenzia i benefici derivanti dall'uso di tali dispositivi.

Tuttavia, la ricerca sull'utilizzo degli AR-HUD nella guida autonoma è meno attiva.

Un esempio significativo è lo studio condot-

to da Drezet & Colombel [16], che ha integrato un AR-HUD nel progetto di un'interfaccia uomo-macchina (HMI) per un'auto autonoma di livello 4. Questo HUD mostra all'utente informazioni sul contesto stradale e sulle intenzioni e decisioni del sistema autonomo, allo scopo di aumentare la fiducia dell'utente nel sistema.

Un altro studio di rilievo è stato condotto da Lungaro et al. [17], il quale ha presentato una piattaforma innovativa per la progettazione di un'interfaccia orientata all'uomo, proponendo due tipi di interfacce **AR** in grado di aiutare gli utenti a individuare con precisione i potenziali ostacoli nell'ambiente. Queste interfacce potrebbero essere implementate tramite HUD.

Uno studio di validazione del sistema ha mostrato risultati iniziali positivi, evidenziando un aumento della fiducia dei partecipanti nel sistema grazie alla visualizzazione di informazioni allineate alla posizione degli ostacoli. Gli autori stanno anche considerando

modalità aggiuntive di comunicazione, come il **feedback uditivo**.

Bonte [18], CEO e Vicepresidente presso ABI Research, un istituto leader nella ricerca tecnologica e innovazione, ha sottolineato l'importanza della tecnologia AR all'interno delle auto autonome.

Ha affermato che l'AR può rendere l'esperienza di guida più intuitiva e aiutare i consumatori nella transizione verso le auto senza pilota.

In particolare, l'AR può essere utilizzato per fornire istruzioni di navigazione intuitive e integrarsi con i sistemi avanzati di assistenza alla guida, mostrando informazioni rilevanti quando i sensori rilevano situazioni come la presenza di pedoni o veicoli di emergenza.

La chiave, secondo ABI, è presentare queste informazioni in modo che gli utenti sviluppino fiducia nelle capacità e nelle prestazioni delle vetture automatiche.

Tuttavia, Bonte ha avvertito che è importante evitare l'abuso della tecnologia AR, poiché un sovraccarico di informazioni può diventare pericoloso, specialmente se si mescolano informazioni di contesto e sicurezza con contenuti commerciali e di intrattenimento.

La penetrazione dei display AR-HUD nei veicoli a guida autonoma è incerta, poiché la tecnologia richiede un alto grado di precisione e sofisticati software di elaborazione delle immagini per proiettare con precisione informazioni tridimensionali nel campo visivo del conducente, e ciò rappresenta una sfida significativa per la commercializzazione di questi dispositivi.

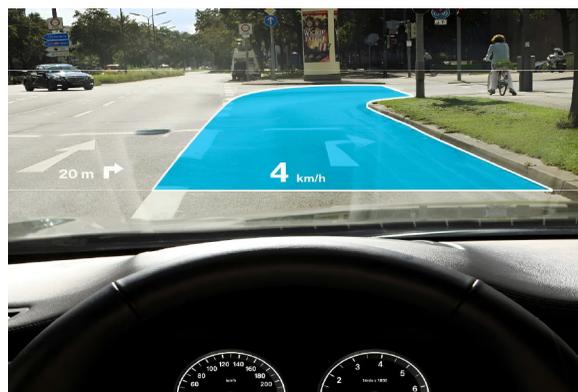


Figura 23 - HUD in modalità contact-analog



Figura 24 - HUD non in modalità contact-analog



Figura 25 - Feedback uditivo

## 2.1 Principi

Il termine "interfaccia uomo-macchina" o "pannello operatore" (HMI) si riferisce all'interazione tra l'operatore umano e la macchina. Nei veicoli a guida semi-autonoma/autonoma, questa interfaccia è cruciale e richiede particolare attenzione durante il processo di progettazione. Secondo Flemisch, et al. (2008), è essenziale considerare l'uomo e l'automazione come due sistemi interdipendenti. Essi propongono il concetto di **automazione cooperativa**, superando l'approccio tradizionale [52].

La Figura 26 presenta un modello che descrive la cooperazione tra l'operatore umano e la macchina. L'operatore utilizza diverse interfacce, come display o altri dispositivi di input/output, per essere informato sullo stato del sistema. L'informazione viene decodificata dall'operatore, che la utilizza per prendere decisioni. Le azioni desiderate vengono poi impartite attraverso controlli come pulsanti, joystick o tastiere. Il sistema decodifica queste richieste agisce e comunica il nuovo stato al conducente [53].

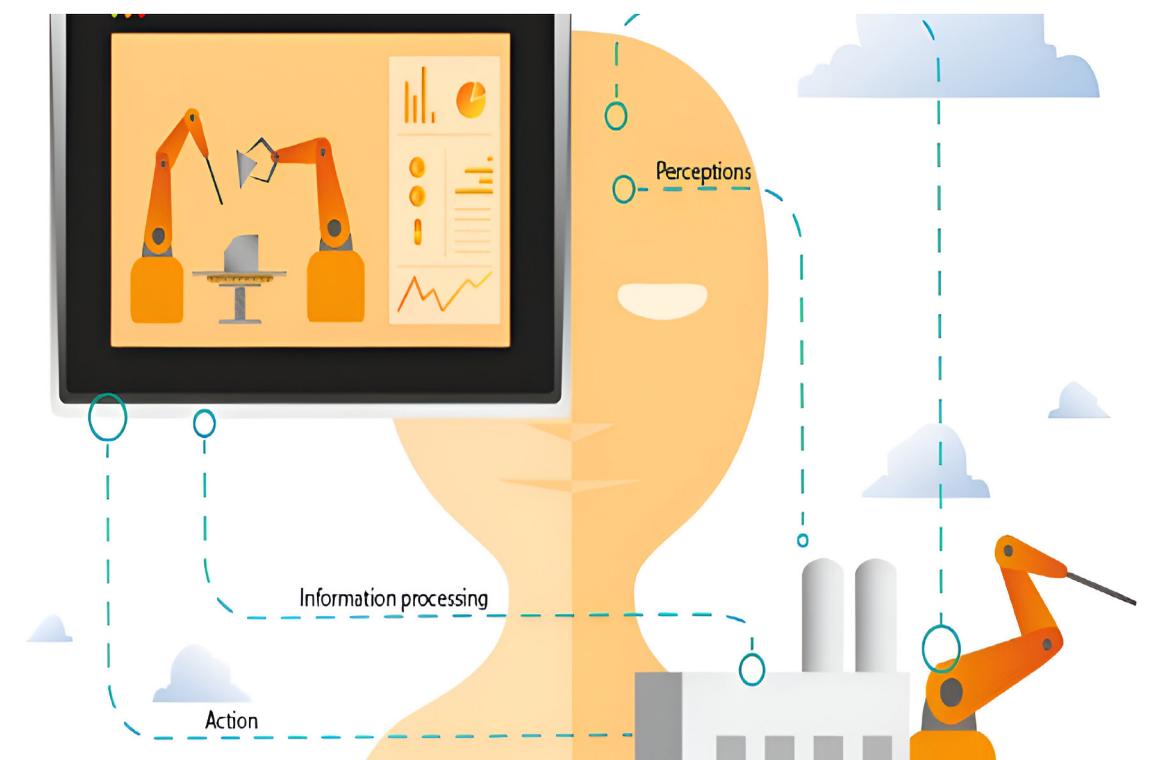


Figura 26 - Cooperazione uomo-macchina

È comune dare per scontata un'interfaccia ben progettata quando l'interazione procede senza intoppi.

Tuttavia, un'interfaccia mal progettata può rendere l'interazione stressante, lunga e non intuitiva, con **potenziali rischi** per la sicurezza, soprattutto nel settore automobilistico. La progettazione dell'interfaccia deve prioritariamente considerare l'ottimizzazione delle sue funzioni nelle diverse situazioni durante la guida, con l'obiettivo principale di garantire la sicurezza [54].

L'interfaccia svolge un ruolo critico nella sicurezza, evitando sovraccarichi o sottocarichi informativi che potrebbero influenzare negativamente la percezione della situazione da parte dell'utente. Deve stimolare un adeguato livello di attenzione, bilanciando il carico di lavoro mentale dell'utente. La sicurezza rimane l'obiettivo primario durante la guida, specialmente con l'aumento delle richieste di incarichi secondari [55].

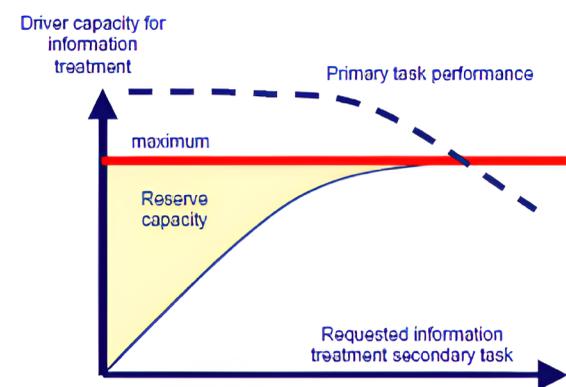


Figura 27 - Carico cognitivo

Don Norman, nel suo libro "The Design of Everyday Things", evidenzia due caratteristiche fondamentali di un buon design: rilevanza e comprensione. La progettazione di interfacce usabili richiede il coinvolgimento degli utenti nelle fasi di progettazione e valutazione, rispettando principi come il mapping, il feedback, l'affordance, la visibilità e i modelli mentali [56].

L'introduzione del concetto di **ergonomia cognitiva**, che mira a migliorare l'interazione tra il sistema cognitivo umano e gli strumenti di elaborazione delle informazioni, diventa cruciale. Alcuni principi psicologici fondamentali per la progettazione di interfacce includono il mapping univoco, il **feedback immediato**, l'affordance, la visibilità e la considerazione dei modelli mentali degli utenti [32].

L'analisi della qualità dell'interfaccia dal punto di vista dell'ergonomia cognitiva si basa su criteri come usabilità, distrazione e approvazione dell'utente [57].

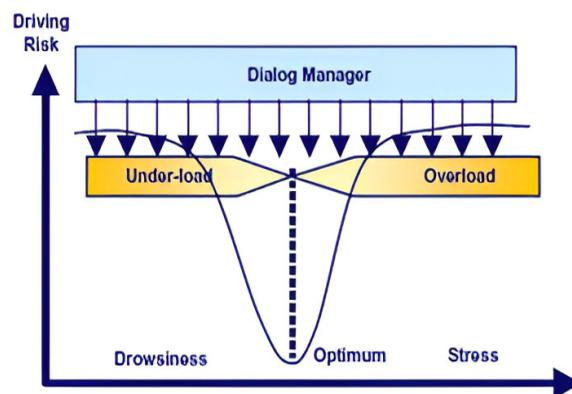


Figura 28 - Carico informativo ottimale

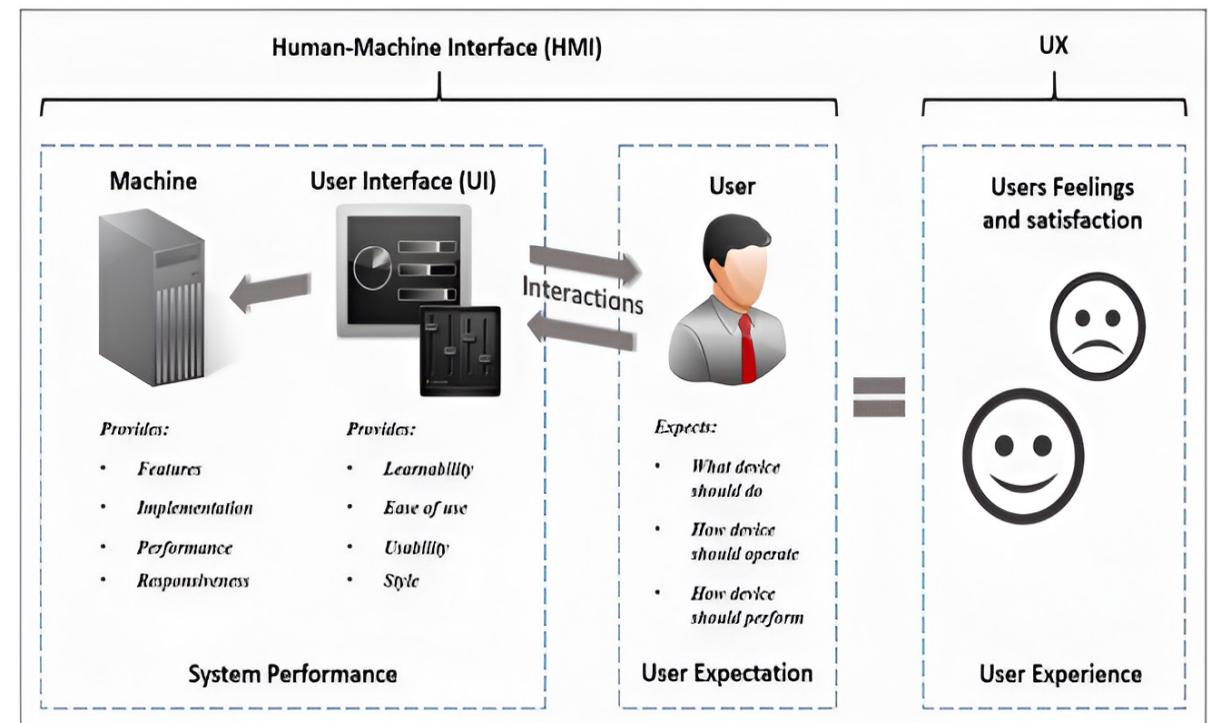


Figura 29 - Schema ergonomia cognitiva

Criteria di qualità HMI	Attributi	Descrizione
Usabilità	Apprendibilità	L'HMI deve consentire all'utente di imparare come usarlo al primo utilizzo
	Efficienza	L'HMI deve consentire all'utente di compiere l'azione corretta
	Memorabile	L'HMI deve consentire all'utente di ricordare come usarlo dopo un periodo di non utilizzo
	Errori	L'uso dell'HMI non deve implicare errori e deve consentire un facile ripristino da un errore
	Soddisfazione	L'uso dell'HMI deve essere piacevole
Distrazione	Fisica	L'HMI deve ottimizzare i movimenti necessari per eseguire un'attività
	Cognitiva	L'HMI deve ridurre il carico di lavoro cognitivo richiesto per eseguire un'attività
Approvazione dell'utente	Utilità percepita	Il grado in cui una persona ritiene che l'uso dell'HMI sia utile e ne esalti la prestazione
	Facilità d'uso percepita	Il grado in cui una persona ritiene che l'uso dell'HMI sia esente da sforzi fisici e cognitivi
	Attitudine	I sentimenti degli utenti riguardo l'esecuzione dell'attività per mezzo dell'HMI

Figura 30 - Criteri di qualità HMI

## 2.2 I fattori umani: fattori fisici e cognitivi legati all'HMI

I fattori fisici che consentono l'interazione con il sistema includono i sensi umani, tra cui vista, udito e tatto, che sono fondamentali nella progettazione delle interfacce nel settore automobilistico. La combinazione di questi sensi dà origine a un'interfaccia multimodale, la quale può avere un impatto positivo o negativo sul carico di lavoro cognitivo.

Una comprensione approfondita del funzionamento dei sensi permette una progettazione efficace dei sistemi di feedback, che costituiscono la base per lo sviluppo di un'interfaccia. Il feedback in ambito automobilistico si riferisce alla capacità di un sistema dinamico di adeguare le sue caratteristiche in base ai risultati ottenuti.

In termini semplici, rappresenta l'effetto prodotto dal sistema in risposta alle azioni compiute dall'utente. I sistemi di feedback mostrano quindi gli effetti generati sul sistema dopo un'azione dell'utente.

L'assenza di un sistema di feedback potrebbe impedire al conducente di sapere se le sue azioni hanno avuto successo o se si sono verificati problemi.

Il feedback derivante dall'interazione tra l'utente e il sistema è di vitale importanza per una corretta interpretazione e apprendimento dell'attività e del comportamento di un sistema automatizzato, rappresentando un elemento chiave per il processo di feedback continuo.

Per quanto riguarda il **feedback visivo**, la vista consente alle persone di percepire forme, colori, luce, distanza e movimento. La vista umana può essere suddivisa in foveale, che copre un angolo di circa 1° dalla "line of sight", e extrafoveale.

La vista extrafoveale è ulteriormente suddivisa in vista centrale, con un angolo di circa 30°, e vista periferica, che supera i 30° [58].

La vista foveale è la più dettagliata e permette il riconoscimento degli oggetti, mentre la vista centrale fornisce indicazioni sulla posizione e la presenza di un oggetto.

La visione periferica è essenziale per l'orientamento nello spazio e la percezione dei segnali di movimento.

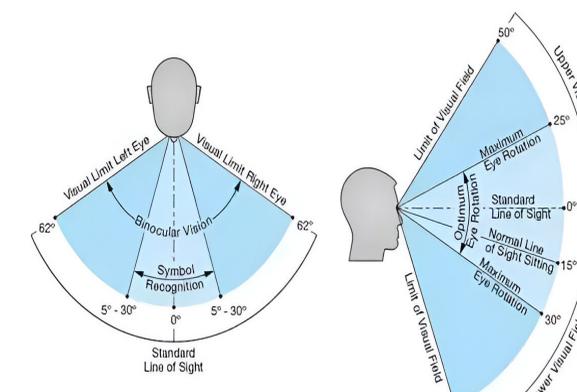


Figura 31 - Ampiezza campo visivo

La rotazione della testa consente di modificare l'orientamento del campo visivo, ma presenta limiti per evitare deviazioni dal campo visivo nella direzione di marcia.

Poiché la guida è un'attività principalmente visiva, la vista svolge un ruolo di primaria importanza.

Di conseguenza, la maggior parte delle interfacce nei veicoli si basa sul senso della vista, trasmettendo informazioni attraverso luci, video/animazioni, testi o icone.

I segnali luminosi risultano particolarmente efficaci poiché possono essere facilmente notati dal campo visivo periferico, consentendo ai conducenti di mantenere la loro attenzione sulla strada.

Per incrementare la quantità di informazioni trasmesse, i segnali luminosi possono essere combinati con icone grafiche o testi [58].

Il feedback uditivo, secondo Brewster (2003) [59], a differenza del feedback visivo, che è limitato al campo visivo, può essere udito dall'utente provenendo da qualsiasi direzione.

In molte circostanze, sono le orecchie che guidano gli occhi nella direzione corretta. Il vantaggio del feedback uditivo risiede nella sua capacità di catturare l'attenzione, risultando più difficile da ignorare rispetto a una scelta di non guardare un segnale visivo. Inoltre, il suono può essere impiegato per alleviare il carico sul sistema visivo e ridurre la quantità di informazioni proiettate su uno schermo.

Tonalità morbide sono consigliate per fornire un feedback positivo, mentre suoni più intensi dovrebbero essere riservati a situazioni di pericolo, e quindi utilizzati con parsimonia.

Brewster evidenzia anche alcuni svantaggi del feedback uditivo, come la difficoltà nel

comunicare dati precisi e il rischio di risultare fastidioso per il conducente. Spesso si ricorre all'utilizzo di "icone uditive", che facilitano l'interpretazione rapida e semplice del messaggio contenuto nel segnale uditivo, dato che il suono scompare dopo l'emissione.

Gli avvisi acustici, di solito emessi dagli altoparlanti del veicolo, sono udibili da tutte le persone nell'abitacolo, rendendo il feedback onnidirezionale, senza specificare la direzione del pericolo. Un'alternativa è l'utilizzo di un suono direzionale (spazialmente adattato), proiettato verso il guidatore dalla direzione del pericolo.

Frequenza e intensità del suono sono importanti, poiché possono aumentare temporaneamente all'avvicinarsi del pericolo o in caso di mancato riconoscimento del messaggio da parte del conducente. Tali accorgimenti rendono il feedback uditivo efficace nel catturare l'attenzione del conducente, con l'avvertenza che l'intensità del suono deve essere sufficientemente elevata da essere chiaramente percepita senza tuttavia sorprendere l'automobilista.

Secondo quanto esposto da Hinckley (2003) [60], il feedback tattile può essere definito come l'applicazione di una forza o stimolo vibrotattile per comunicare all'utente un segnale. Un vantaggio significativo di questa modalità è che la percezione non è vincolata alla focalizzazione dell'attenzione visiva del conducente. Ciononostante, sorge il problema di mantenere costantemente il contatto fisico tra l'individuo e il veicolo affinché i segnali siano percepiti. Di conseguenza, ciò limita le aree in cui la modalità tattile può essere utilizzata, focalizzandosi sugli strumenti costantemente a contatto con il corpo del

conducente, come il volante, il sedile, i pedali e la cintura di sicurezza [58].

Conformemente a quanto esposto da Flemish, et al. (2008) [52], un altro vantaggio è la possibilità di trasmettere il segnale attraverso uno strumento che richieda una risposta da parte del conducente.

Ad esempio, una vibrazione nel volante può indicare la necessità di effettuare una manovra, e la trasmissione del segnale può anche indicare il tipo di risposta richiesta, ad esempio applicando una leggera forza sterzante nella direzione desiderata.

Meng e Spence (2015) [61] sostengono che i segnali vibrotattili dinamici risultano più efficaci e promettenti rispetto a quelli statici. È essenziale che l'impulso vibrazionale non sia così forte da causare fastidio, soprattutto se utilizzato per segnalare eventi molto frequenti. In conclusione, Lange, et al. (2015) [62], enfatizzano l'importanza che il conducente debba essere consapevole dello stato cor-

rente del sistema e delle imminenti modifiche senza richiedere sforzi significativi. Questo obiettivo può essere raggiunto attraverso una costante osservazione dell'ambiente utilizzando diversi canali sensoriali.

Anche in un veicolo parzialmente automatizzato, il conducente non dedicherà costantemente la sua attenzione al display per lungo tempo al fine di ottenere aggiornamenti sullo stato attuale del sistema.

Invece, l'utente si affiderà ad altri dispositivi di feedback, oltre a quelli visivi, per mantenere consapevolezza dello stato di guida e del comportamento degli altri veicoli. La guida del veicolo dovrebbe essere progettata in modo tale che il conducente possa percepire ciò che sta accadendo senza la necessità di osservare costantemente l'interfaccia.

Gli avvisi devono essere rapidamente rilevati, e per garantire che siano notati dai conducenti, è fondamentale utilizzare contemporaneamente diverse modalità sensoriali nella

Entry

Gesture

Speech

Touch



Presentation

Vision

Sound

Haptic

Figura 32 - Schema input output

loro presentazione, creando una ridondanza del messaggio. Ad esempio, è possibile associare avvisi sia visivi che uditivi, garantendo così che il messaggio non venga ignorato anche se il conducente ha la sua attenzione focalizzata sulla guida o è impegnato in un'attività secondaria.

La letteratura dimostra che attraverso un feedback multimodale, i tempi di reazione per eventi critici sono più rapidi e l'attenzione viene attirata in modo più efficace rispetto a un feedback unimodale [58].

In sintesi, oltre alla trasmissione bidirezionale di informazioni tra l'utente e il sistema, è fondamentale che l'utente elabori queste informazioni attraverso la modalità cognitiva. Questa elaborazione consente al conducente di comprendere le informazioni presentate dal sistema e di prendere decisioni adeguate in risposta a tali informazioni. Il trasferimento di informazioni tra utente e sistema avviene attraverso diverse modalità di interazione al fine di evitare di aumentare il carico cognitivo [63].



Figura 33 - Feedback multimodale

## 2.3 User-centered design

Con l'avvento dell'automazione nel mondo automobilistico, l'interfaccia ha cominciato a svolgere un ruolo cruciale nel facilitare la cooperazione tra l'utente e il veicolo.

Per lo sviluppo di questa tecnologia, si adotta un approccio che si discosta dalla tradizionale progettazione di prodotti automobilistici, concentrandosi invece sui bisogni degli utenti e coinvolgendoli direttamente nelle fasi di progettazione e valutazione.

Gli utenti finali, oltre a essere gli utilizzatori del prodotto, hanno aspettative e necessità che devono essere considerate secondo la

logica del design centrato sull'utente (noto anche come user-experience design).

Il processo di sviluppo è descritto come iterativo dalla ISO 9241-210 [57], con l'obiettivo di eliminare le incertezze riscontrate durante le fasi di sviluppo. Questo processo iterativo si articola in tre fasi principali:

- **Analisi:** comprende la comprensione del contesto di utilizzo e la specifica dei requisiti dell'utente.

- **Design Concept:** fase creativa della progettazione.

- **Valutazione del Concept:** valutazione del concept attraverso il coinvolgimento degli utenti.

Eason (1995) [64] ha identificato tre livelli di coinvolgimento degli utenti nello sviluppo del prodotto:

- **Design per gli utenti (for users)**
- **Design con gli utenti (with users)**
- **Design da parte degli utenti (by users)**

tomazione modificherà il suo ruolo.

Nelle fasi più avanzate, sono effettuati test di usabilità e questionari sulla **soddisfazione** degli utenti durante l'utilizzo dell'artefatto.

In conclusione, nonostante l'automazione, l'utente rimane fondamentale come utilizzatore finale del prodotto, e il sistema HMI (Human-Machine Interface) deve soddisfare requisiti minimi per comunicare in modo costante e chiaro con gli esseri umani.

Il prossimo capitolo esplorerà le strumentazioni tecnologiche e i sistemi di assistenza e automazione alla guida in un'interfaccia uomo-macchina.

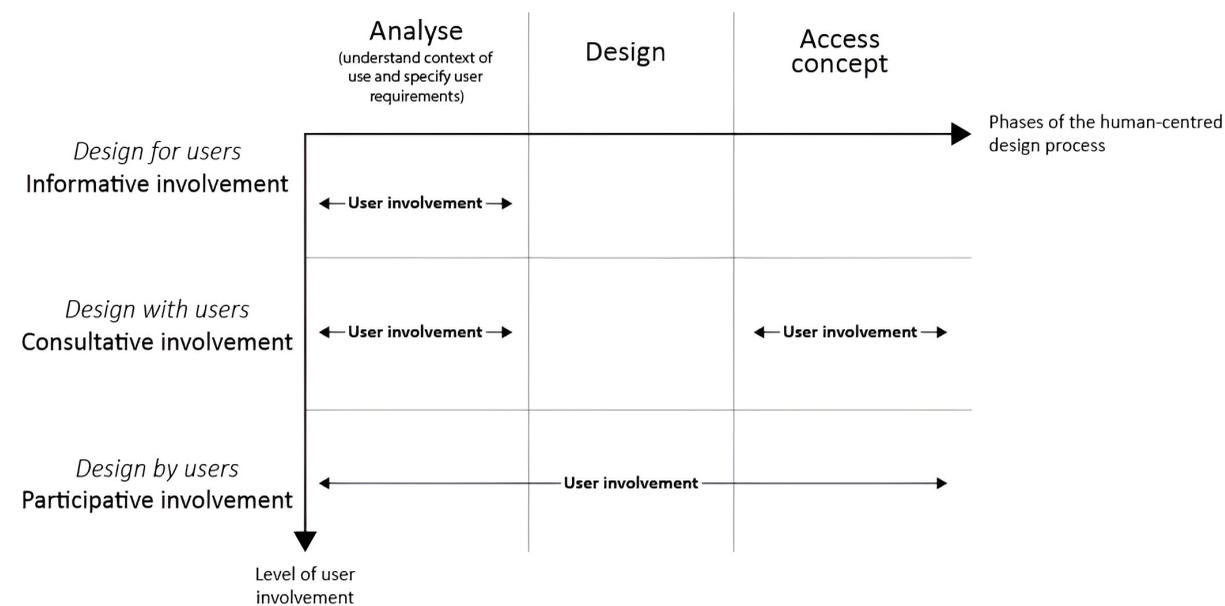


Figura 34 - Feedback audiovisivi

## 2.4 Stato dell'arte del HMI

In questo capitolo, dopo aver introdotto le tecnologie dei sistemi HMI e le loro funzionalità, si esamineranno i diversi **livelli di automazione** della guida autonoma, analizzando le caratteristiche che li distinguono. Si discuterà anche di come la progettazione dei sistemi HMI si sia evoluta con l'avanzare dell'automazione nel **settore automobilistico**. Attualmente, la tecnologia rappresenta un punto chiave di vendita per i nuovi veicoli. Mentre in passato i consumatori davano maggior importanza alle prestazioni su strada, oggi sono le prestazioni dell'elettronica a influenzare le decisioni di acquisto, e questa tendenza sembra inarrestabile.

L'abitacolo dei veicoli sta subendo un'evoluzione grazie alle innovazioni tecnologiche, con una transizione dalla meccanica all'elettrificazione dei componenti.

I principali costi di sviluppo nell'industria automobilistica includono i costi legati alle componenti meccaniche, ai sottosistemi meccatronici ed elettronici, nonché ai software [65]. La Figura 35 evidenzia l'aumento dei costi dell'elettronica e dei software, rappresentati come percentuale del costo totale di sviluppo del veicolo, dal dopoguerra ad oggi. Si prevede che nei prossimi 10-20 anni, i costi delle componenti elettroniche e informatiche costituiranno tra il 60% e l'80% dei costi totali di

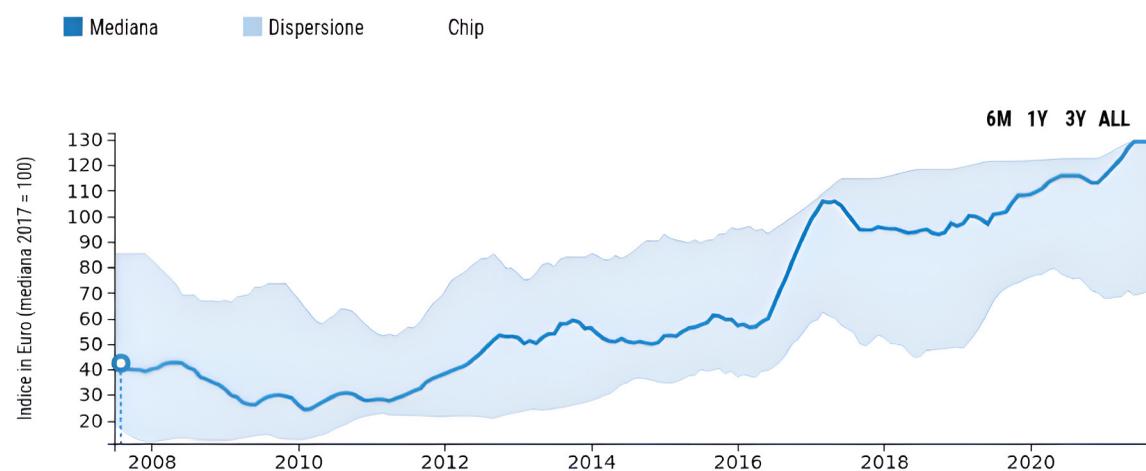


Figura 35 - Aumento dei costi di elettronica e dei software

produzione di un'auto.

L'interfaccia, realizzata tramite componenti elettroniche e informatiche, svolge un ruolo cruciale nell'informare e intrattenere gli utenti (infotainment), rendendo l'esperienza di guida più coinvolgente e divertente, sempre nel rispetto del primario obiettivo di sicurezza.

Le tecnologie **ADAS** (Advance Driver Assistance System) e **IVIS** (In-Vehicle Information System) sono fondamentali nell'HMI dei veicoli attuali e futuri, differenziando i vari marchi automobilistici.

L'integrazione delle diverse tecnologie e il loro funzionamento sinergico sono concetti chiave.

Il progetto **AIDE** (Adaptive Integrated Driver-vehicle interfacE), finanziato dalla Comunità Europea, si propone di massimizzare i benefici per la sicurezza offerti dai sistemi ADAS, di ridurre il carico di lavoro e la distrazione causati dai sistemi IVIS e dai dispositivi nomadi durante la guida, e di integrare e adattare tali sistemi in diverse situazioni di guida [66].

L'obiettivo è progettare un'interfaccia generica che sia integrata, con tutti i sistemi di input e output coordinati tramite comandi condivisi a bordo del veicolo, e adattabile, in grado di variare la quantità e il formato delle informazioni fornite al conducente in base alla situazione.

## 2.5 Infotainment

Il sistema di **infotainment** è un sistema di controllo e monitoraggio che gestisce le funzioni necessarie per l'intrattenimento, il comfort e la sicurezza.

Gli **IVIS** (In-Vehicle Infotainment System) sono basati su menu che consentono l'integrazione di molte funzioni secondarie in un unico sistema e sono accessibili tramite un'unica interfaccia basata su uno schermo. Questo approccio riduce l'aspetto disordinato del cruscotto tradizionale, caratterizzato da diversi pulsanti e quadranti, ognuno dedi-

cato a una specifica funzionalità, dando vita a un nuovo layout del cruscotto che diventa un "identificatore del marchio".

Gli IVIS sono progettati per migliorare l'esperienza di guida, consentendo agli utenti di svolgere attività secondarie durante la guida. Tuttavia, l'usabilità di un IVIS è influenzata dall'interfaccia uomo-macchina, che determina come un conducente può inserire gli input, ricevere e comprendere i segnali di output e monitorare lo stato del sistema. Nonostante l'aspetto estetico migliorato gra-



Figura 36 - Struttura interna dell'abitacolo con la strumentazione a supporto dell'utenza



Figura 37 - Dispositivo di visualizzazione touchscreen

zie all'interfaccia basata su schermo, ci sono una serie di problemi di usabilità associati all'integrazione di così tante funzioni in un unico sistema. Ad esempio, alcune funzioni che tradizionalmente potevano essere gestite tramite comandi diretti sul cruscotto ora sono "sepolte" all'interno di una complessa struttura multilivello che richiede diversi passaggi per poter operare [63].

Gli IVIS rappresentano una sfida in quanto non solo l'usabilità del sistema deve essere attentamente considerata, ma anche l'interazione tra l'IVIS e la prestazione di guida, affinché l'utilizzo delle funzioni secondarie non comprometta la sicurezza dell'attività primaria.

I progettisti devono massimizzare i vantaggi offerti dalle funzioni secondarie senza sacrificare l'usabilità e le esigenze del conducente. L'abitacolo ospita un mix di strumentazione per l'infotainment che può variare considerevolmente tra i diversi produttori.

Nella Figura 36 è rappresentato un esempio di come sarà la tendenza della struttura interna dell'abitacolo con la strumentazione a

supporto dell'utenza [67].

Le diverse funzionalità possono comprendere:

- Una spaziosa console centrale posizionata sul cruscotto, solitamente dotata di uno schermo LCD a colori.
- Un'unità di strumentazione digitale integrata nel tachimetro con funzionalità ADAS.
- Controlli touchscreen, che possono includere controlli separati o interruttori dedicati.
- Funzionalità di attivazione e controllo vocale.
- Connettività USB e Bluetooth per telefoni cellulari e altri dispositivi portatili.
- Supporto per AM, FM, trasmissione audio digitale, controlli radio satellitare.
- Presenza di un hotspot Wi-Fi all'interno del veicolo.

- Comunicazioni telematiche per chiamate di emergenza e altri servizi.
- Sistema di navigazione GPS e integrazione di mappe.
- Display per telecamere posteriori.
- Avvisi e operazioni eseguite dai sistemi ADAS (Advanced Driver Assistance Systems).

La successiva evoluzione degli input e output nella strumentazione della prossima generazione includerà ancora manopole, quadranti e pulsanti. Tuttavia, poiché la quantità di informazioni da fornire all'interno dell'abitacolo aumenterà, le funzioni di **input/output** si svi-

lupperanno ulteriormente. Alcune delle nuove funzioni di output comprenderanno:

- Display per le telecamere che sostituiranno gli specchietti laterali e il retrovisore, ampliando la visibilità del conducente e migliorando l'aerodinamica e l'efficienza del carburante. Inoltre, tecniche di filtraggio dell'immagine consentiranno una visione posteriore più chiara durante le ore di tramonto/alba o durante le ore notturne con scarsa luminosità.
- Regolazione della luce: i sensori di rilevamento della luce miglioreranno la sicurezza regolando automaticamente la luminosità dello schermo in base alle condizioni esterne. Strumentazioni che emettono output



Figura 38 - Esempio di realtà aumentata

visivi con colori e luminosità adattabili consentiranno al conducente di percepire rapidamente il messaggio attraverso il campo visivo periferico, con l'oscuramento locale per aumentare ulteriormente la leggibilità ed estetica visiva.

- **Realtà aumentata:** utilizzando gli HUD (Head-Up Display), si proietteranno flussi di informazioni sulla vista del conducente, consentendo di mantenere l'attenzione sulla strada.

Questa realtà aumentata migliorerà la sicurezza di guida, fornendo informazioni in tempo reale come il rilevamento e l'avvertimento di pedoni, punti ciechi, visione notturna, frenata di emergenza e indicazioni per la navigazione.

Il "contact analog HUD" (cHUD) o "augmented reality HUD" (AR-HUD) [68] rappresenta un'evoluzione del tradizionale Head-Up Display (HUD).

Questa tecnologia consente la proiezione di informazioni virtuali sull'intero parabrezza, ampliando così la visualizzazione dell'ambiente di guida reale.

A differenza dell'HUD convenzionale, le informazioni nel cHUD sono sovrapposte in modo corretto all'ambiente di guida reale fin dall'inizio.

Ciò riduce lo sforzo mentale necessario per interpretare l'ambiente esterno, aumentando contemporaneamente la consapevolezza della situazione, la sicurezza e il comfort durante la guida.

- **Abbaglianti automatici [69]:** In genere, spetta al conducente disattivare le luci abba-

glianti di notte quando si avvicina un veicolo in direzione opposta, al fine di evitare di accecare gli altri guidatori. Tuttavia, quando non ci sono veicoli davanti, è possibile riattivare automaticamente le luci abbaglianti. Questa tecnologia impiega una fotocamera frontale per rilevare le luci degli altri veicoli e l'illuminazione stradale, consentendo l'attivazione/disattivazione automatica.

- **Controllo del clima e qualità dell'aria:** I sistemi di riscaldamento, ventilazione e aria condizionata (HVAC - Heating, Ventilation and Air Conditioning) possono variare da un sistema di base che mantiene solo la temperatura impostata a uno che si regola automaticamente in base alla temperatura esterna e all'umidità.

Alcuni sistemi incorporano sensori infrarossi per monitorare la temperatura superficiale degli occupanti dell'abitacolo. Un'evoluzione di questi sistemi include la gestione della qualità dell'aria, particolarmente utile in ambito urbano.

Questo sistema è caratterizzato da un indice di qualità dell'aria (Air Quality Index - AQI), che indica l'impatto sulla salute misurato dalla concentrazione di gas e particelle nocive nell'aria. Se l'indice supera una certa soglia, l'aria viene continuamente filtrata fino a raggiungere valori accettabili.

Nuove funzioni di input:

- **Monitoraggio del conducente tramite tracciamento degli occhi (eye-tracking):** Rappresenta un efficace metodo per comprendere le esigenze e le intenzioni del con-

ducente, fornendo informazioni pertinenti in tempo reale.

Ad esempio, il movimento degli occhi di un conducente che sposta lo sguardo dallo specchietto retrovisore allo specchietto laterale potrebbe indicare l'intenzione di cambiare corsia, permettendo al veicolo di allertare il guidatore sulla presenza imminente di un'auto nella corsia desiderata.

• **Riconoscimento dei gesti:** Consentire ai conducenti di controllare varie funzionalità mediante gesti offre la possibilità di gestire i sistemi con la minima distrazione.

Semplici movimenti della mano o rotazioni del dito consentono ai conducenti di controllare i sistemi con comodità e praticità, mantenendo lo sguardo sulla strada.

I veicoli di prossima generazione integreranno il controllo vocale con il riconoscimento dei gesti, offrendo una selezione intuitiva delle funzioni.

• **Monitoraggio della salute (bio-health monitoring):** Attraverso strumentazione dedicata, è possibile rilevare segni di stress e affaticamento, stimolando proattivamente il conducente a ridurre il rischio di incidenti. Questa tecnologia può anche personalizzare le varie funzioni per rendere il viaggio il più piacevole possibile e offrire applicazioni specifiche per ogni situazione.

## 2.6 ADAS

I sistemi avanzati di assistenza alla guida (ADAS - Advanced Driver Assistance Systems) sono progettati per assistere il conducente nel compito di guida. Quando dotati di un'interfaccia uomo-macchina efficiente (HMI), possono migliorare la sicurezza dei veicoli e contribuire alla sicurezza stradale complessiva.

La sicurezza, sia attiva che passiva, costituisce un ambito di ricerca intensiva e rappresenta un settore in cui le case automobilistiche possono distinguersi. La sicurezza attiva comprende sistemi di assistenza alla frenata,

controllo della trazione, sistemi elettronici di stabilità di marcia e i suddetti sistemi ADAS, mentre la sicurezza passiva include elementi come le cinture di sicurezza, gli airbag e i sistemi di resistenza agli urti.

I sistemi di sicurezza attiva riducono la probabilità di incidenti e, in alcuni casi, possono addirittura prevenirli completamente, mentre i sistemi di sicurezza passiva contribuiscono a minimizzare le conseguenze di un incidente per gli occupanti del veicolo [70].

Nel 2012, il mercato globale dei sistemi ADAS era stimato intorno a 16,6 miliardi di dollari

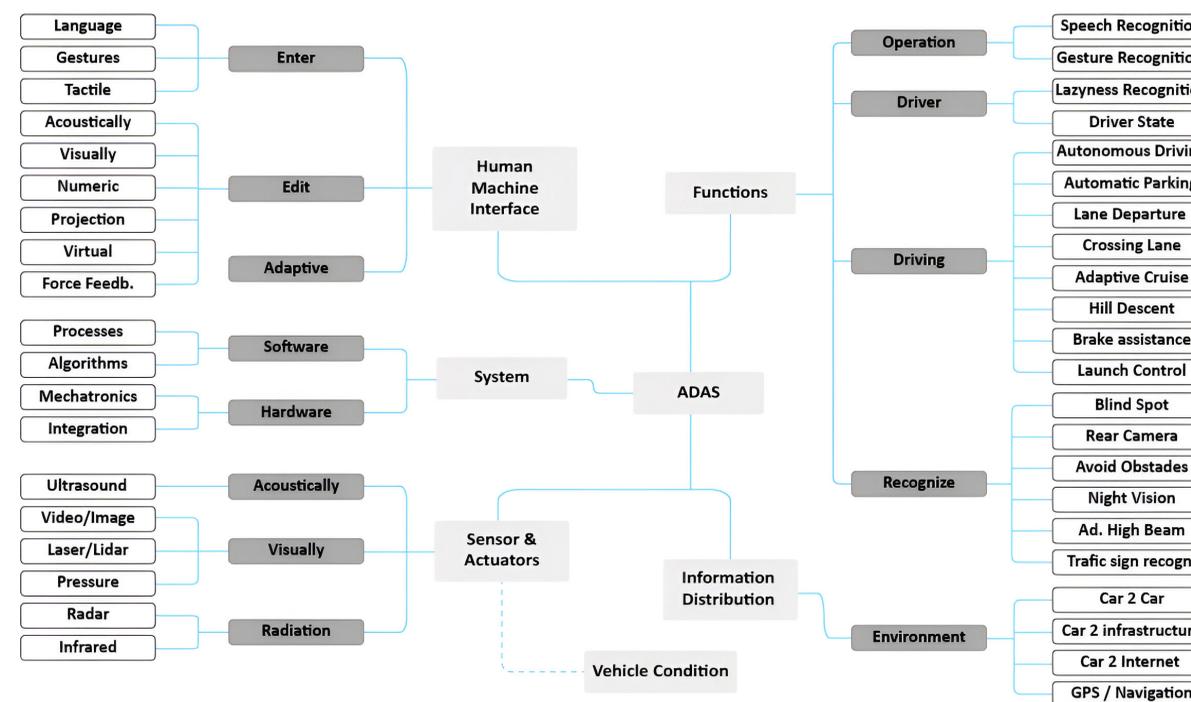


Figura 39 - Tecnologie di assistenza alla guida

statunitensi, con le previsioni degli analisti di “ABI Research” che indicavano un aumento del mercato a oltre 261 miliardi di dollari entro la fine del 2020 [71].

Le funzioni chiave delle avanzate tecnologie di assistenza alla guida, che costituiscono la base per lo sviluppo della guida autonoma, sono illustrate nella Figura 39.

La maggior parte dei sistemi ADAS è progettata per migliorare la sicurezza e, di solito, ciò non richiede una ristrutturazione del tradizionale sistema HMI.

Con l'avanzare dell'intelligenza artificiale nel settore automobilistico, si prevede che i veicoli completamente autonomi saranno di-

sponibili sul mercato nei prossimi 15/20 anni. Questo cambierà radicalmente il modo in cui concepiamo lo spazio interno dei veicoli e il ruolo dell'interfaccia.

Nella **tabella** seguente sono elencati i principali sistemi ADAS, indicando se richiedono o meno una modifica dell'interfaccia uomo-macchina.

L'introduzione dei sistemi ADAS nei veicoli contemporanei ha rivoluzionato significativamente l'equilibrio dei rischi associati al compito di guida. Se da un lato gli ADAS giocano un ruolo attivo nell'incrementare la sicurezza, d'altro lato emergono nuove categorie di rischi [72].

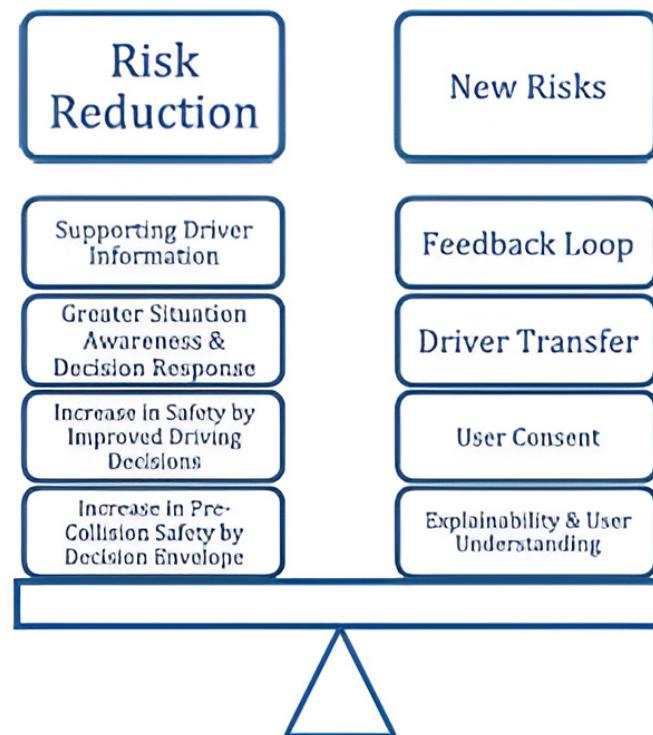


Figura 40 - Rischi

Figura 41 - Tecnologie ADAS

ADAS Type	Description	Changes on Conventional HMI
Adaptive light control and glare-free high beam	Smart optical systems to provide good visibility for a human driver	No change
Automotive navigation system	Provides route planning	No change
Automotive night vision	Uses a thermographic camera to provide good visibility for a human driver in darkness or poor weather conditions	Modification for conventional HMI
Blind spot monitor	Detects other vehicles located to the driver's side and rear, and sends warnings to a human driver	Depends on warning signal type
Collision avoidance system	Avoids forward collision	No change
Crosswind stabilization	Stabilizes vehicle when it experiences cross wind	No change
Driver drowsiness detection	A camera watching the driver's face to detect drowsiness of a driver	No change
Driver monitoring system	The system monitors driver attentiveness via infrared sensors	No change
Intersection assistant	The system monitors cross traffic and prompts a driver to start emergency braking	Depends on warning signal type
Hill descent control	A controlled hill descent without the driver pushing the brake pedal	No change
Lane departure warning system	alerts a driver when the vehicle begins to move out of its lane	Depends on warning signal type
Surround view system	provides a bird view visibility for a human driver	Modification for conventional HMI
Anti-lock braking system (ABS)	Prevents the wheels from locking up	No change
Tire pressure monitoring	Monitors tire pressure	No change
Automatic parking	An autonomous car-maneuvering system that moves a vehicle from a traffic lane into a parking spot	Modification for conventional HMI
Adaptive cruise control	Speed control is based on either a radar or laser sensor or cameral sensor or combination of them	Modification for conventional HMI

Il sistema HMI svolge un ruolo cruciale nell'interazione tra il guidatore e il veicolo automatizzato.

La sua funzionalità principale consiste nella **cooperazione** con il guidatore, fornendo informazioni mirate per raggiungere l'obiettivo comune di giungere in modo sicuro a una destinazione prestabilita. In questo contesto, il sistema HMI influisce su vari aspetti, tra cui la sicurezza stradale, il comportamento dell'utente, la mobilità collettiva, l'ambiente, l'intrattenimento e il comfort di guida.

Nel processo di risposta alle domande introdotte, sono state esaminate diverse variabili e fattori chiave.

Nel capitolo successivo, saranno proposte **linee guida** specifiche al fine di fornire indicazioni pratiche per la progettazione di un sistema HMI dedicato ai veicoli automatizzati. Queste linee guida mirano a garantire che le caratteristiche e le funzionalità del sistema siano attentamente considerate, al fine di ottimizzare l'esperienza complessiva di guida, garantire la sicurezza e massimizzare l'efficienza del veicolo **automatizzato**.

## 3.1 Sicurezza stradale

Il concetto di sicurezza si riferisce alla protezione da rischi e incidenti casuali che potrebbero compromettere l'incolumità o la salute degli individui. La sicurezza non coinvolge solo gli utenti dei veicoli, ma anche i partecipanti "deboli" alla circolazione, come pedoni, ciclisti e motociclisti, i quali sono più suscettibili a subire danni gravi in caso di incidente stradale.

Gli incidenti stradali generano costi significativi per lo Stato e hanno un impatto notevole sia dal punto di vista economico che sociale. Secondo uno studio del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 2010, il costo sociale in Italia è stimato intorno a 28,5 miliardi di euro.

Fino al 1970, l'aumento costante della motorizzazione ha portato a un incremento della mortalità legata agli incidenti stradali.

Tuttavia, successivamente si è verificata una leggera ma continua diminuzione sia del numero che della gravità degli incidenti, grazie alle nuove politiche europee e alle misure at-

tive e passive di mitigazione adottate dalle case automobilistiche e dagli operatori delle infrastrutture.

Gli incidenti stradali rappresentano un problema significativo di salute pubblica, sebbene spesso trascurato.

Secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità [73], costituiscono la nona causa di morte nel mondo tra gli adulti, la prima tra i giovani di età compresa tra i 15 e i 19 anni, mentre la seconda per i ragazzi dai 10 ai 14 e dai 20 ai 24 anni.

Senza adeguate contromisure, si stima che entro il 2020 diventeranno la terza causa globale di morte e disabilità. Questo problema è distribuito in modo disuguale, contribuendo a una crescente disparità tra i diversi Paesi e accentuando gli svantaggi socioeconomici delle categorie di persone più vulnerabili.

È stata poi eseguita un'analisi dei dati ISTAT degli incidenti stradali avvenuti nell'anno 2022, al fine di individuare le cause principa-

li e capire quali funzionalità del sistema HMI possano mitigare il rischio di eventi incidentali [74]:

L'anno 2022 ha visto una marcata ripresa della mobilità, con conseguente aumento dell'incidentalità stradale, in contrasto con gli anni precedenti dominati dalla fase acuta della pandemia.

Rispetto al 2021, si è registrato un **incremento** complessivo degli incidenti e degli infortunati, con maggiore concentrazione di aumenti nei mesi da gennaio a luglio. Questo periodo coincide con la persistenza delle misure di limitazione del traffico e degli spostamenti implementate nel 2021 per contenere

la diffusione del virus.

A partire da agosto, si è osservato un calo degli infortunati e degli incidenti rispetto all'anno precedente, mentre le vittime hanno continuato a registrare aumenti anche ad agosto, ottobre e dicembre.

Nel corso del 2022, in Italia, il numero di morti in incidenti stradali è salito a 3.159 (+9,9% rispetto al 2021), i feriti sono aumentati a 223.475 (+9,2%), e gli incidenti stradali sono stati 165.889 (+9,2%).

Sebbene si sia verificato un incremento rispetto al 2021, tali valori sono ancora inferiori al confronto con il 2019 per quanto riguarda incidenti e feriti, con una diminuzione rispettivamente del 3,7% e del 7,4%. Il numero

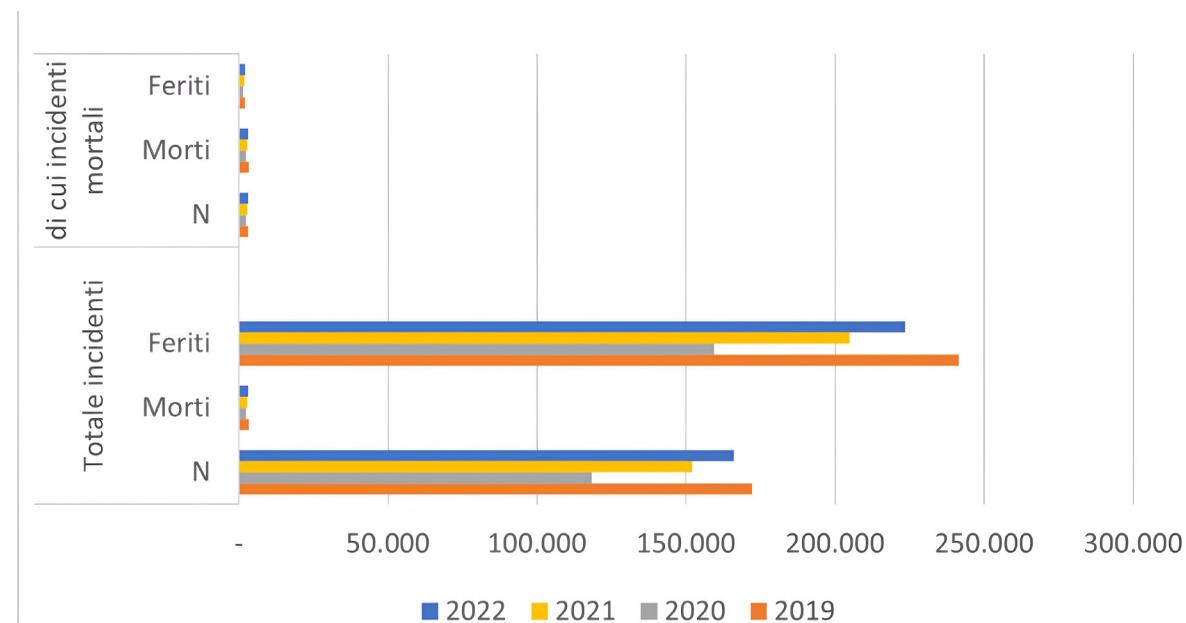


Figura 42 - Numero incidenti stradali per anno

di vittime è rimasto pressoché stabile, registrando una leggera diminuzione (-0,4%) rispetto al 2019.

Le vittime sono aumentate per tutti gli utenti della strada rispetto al 2021, ad eccezione di ciclisti e occupanti di autocarri.

In particolare, si sono contate 1.375 vittime tra gli occupanti di autovetture (+15,4%), 781 tra i motociclisti (+12,4%), 70 tra i ciclomotoristi (+4,5%), 485 tra i pedoni (+3,2%).

Gli occupanti di autocarri hanno registrato 166 decessi (-1,8%), mentre le vittime su biciclette elettriche sono diminuite rispetto al 2021.

Tuttavia, è aumentato il numero di infortunati tra gli utenti di monopattini elettrici.

Gli **incidenti stradali**, le vittime e i feriti sono aumentati in tutti gli ambiti stradali rispetto al 2021, ma rimangono al di sotto dei livelli pre-pandemia, ad eccezione delle vittime su strade urbane.

Nel confronto con il 2021, su autostrade si

registra un aumento del 9,7% degli incidenti e del 19,9% delle vittime; su strade urbane +9,8% per gli incidenti e +5,5% per le vittime, su strade extraurbane +7,2% per i sinistri e +12,2% per i decessi.

A livello europeo (Ue27), il numero di vittime aumenta nel 2022 (+3,7% rispetto all'anno precedente) dopo la significativa riduzione durante i due anni di pandemia (-9,1% rispetto al 2019).

Complessivamente, nel 2022, le vittime sono 20.669, contro 19.932 del 2021 e 22.761 del 2019. Ogni milione di abitanti conta 46 morti per incidente stradale nella Ue27 e 54 nel nostro Paese, che passa dal 13° al 19° posto nella graduatoria europea.

Tra i comportamenti errati alla guida, distrazione, mancato rispetto della precedenza e velocità eccessiva rimangono i più frequenti, rappresentando il 38,1% dei casi (82.857), con

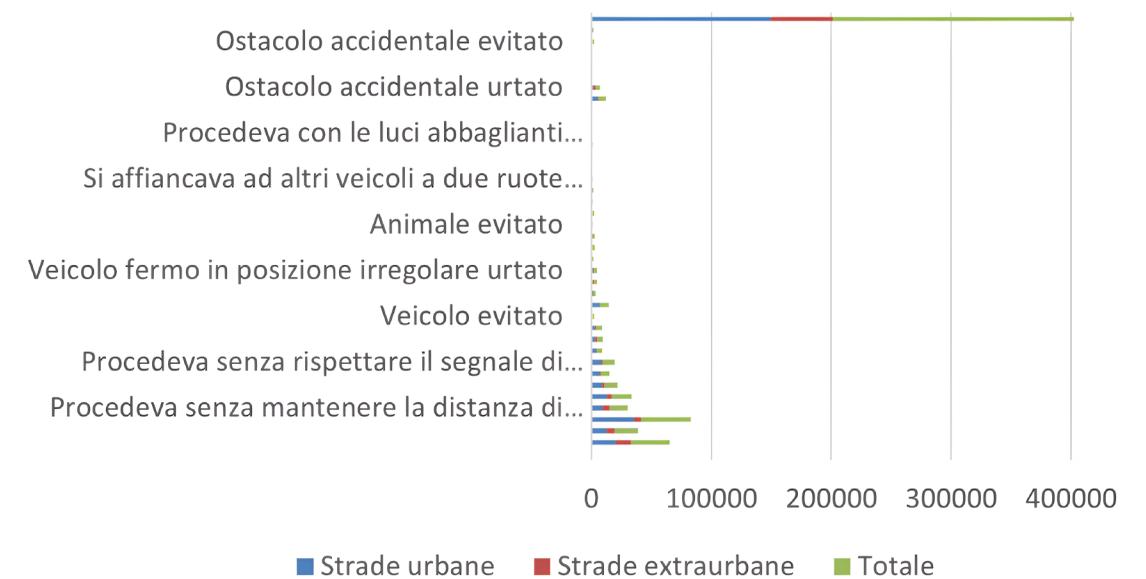


Figura 43 - Cause accertate o presunte

la guida troppo veloce come comportamento più frequentemente sanzionato (38,7% del totale).

Le sanzioni per l'uso improprio di dispositivi in auto aumentano, mentre diminuiscono quelle per il mancato uso di cinture di sicurezza, sistemi di ritenuta per bambini e mancato uso del casco.

In termini di mercato dell'auto, si osserva una netta flessione nel 2022, con una diminuzione del 12,1% delle prime iscrizioni di autovetture rispetto al 2021.

Le percorrenze medie annue dei veicoli sulla rete autostradale registrano una crescita del 10,7% rispetto al 2021 e un calo dell'1,4% rispetto al 2019.

Di seguito è possibile osservare l'infografica ufficiale del sito ISTAT inerente ai dati sopra citati.

Figura 44 - Dati ISTAT

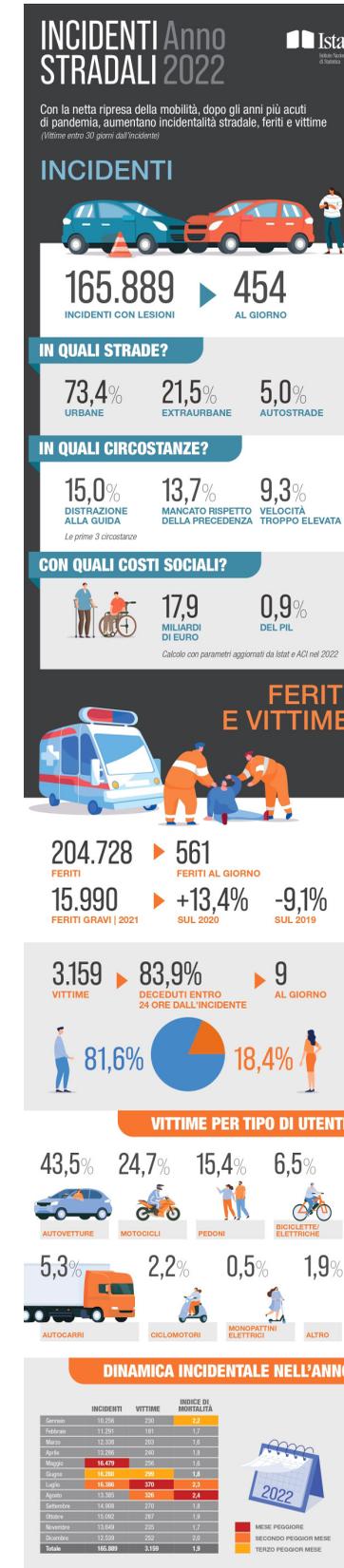


Figura 45 - Dati ISTAT



## 3.2 Comportamento utente

I comportamenti di guida rappresentano atti motori che coinvolgono un complesso processo decisionale e un'attività psicofisica. Una guida ottimale richiede la costante monitoraggio del proprio stato di salute e delle abilità di guida, in continua interazione con l'ambiente circostante e il veicolo.

Il comportamento stradale è profondamente influenzato dall'approccio culturale della società in cui l'individuo opera.

Il mancato rispetto delle regole, la carenza di educazione stradale e la scarsa considerazione civica contribuiscono a generare comportamenti a rischio.

Il **"fattore umano"** emerge come uno degli elementi più rilevanti nel causare incidenti stradali.

I fattori cognitivi coinvolti nella guida includono l'attenzione selettiva, che implica la capacità di concentrarsi sull'oggetto di interesse, la vigilanza e la **percezione** del rischio per monitorare eventi poco frequenti nel tempo, il senso di controllo che si attiva durante la pianificazione e la correzione di errori, nonché la presa di decisione, fondamentale per esaminare la situazione e adottare comportamenti flessibili e adattivi verso l'ambiente.

Le scelte comportamentali durante la guida sono influenzate da fattori come lo stress, le condizioni di urgenza, le azioni automatiche e il contesto urbano con un'elevata concentrazione di stimoli percettivi.

Durante l'attività di guida, si osserva il fenome-

meno noto in psicologia come **"stenografia percettiva"**, dove le scelte immediate sono guidate dal campo visivo.

La velocità degli spostamenti cittadini e l'elevato carico di stimoli uditivi e visivi nell'ambiente urbano inducono le persone a ottimizzare i tempi di attenzione, causando alterazioni cognitive che diminuiscono la concentrazione dell'automobilista.

Gli stati d'animo intensi, positivi o negativi, emergono come cause significative di possibili incidenti stradali.

Uno studio condotto dal Dipartimento di Psicologia dell'Università La Sapienza di Roma [75] ha analizzato il comportamento di un ampio campione di automobilisti, identificando sei diverse **categorie di conducenti**, ognuna caratterizzata da specifiche attitudini e comportamenti durante la guida:

- **Soggetto prudente alla guida:** aderisce al codice della strada, mostra altruismo e ha un atteggiamento positivo verso il rispetto delle regole e delle norme morali. Non manifesta emozioni di rabbia nei confronti degli altri conducenti o di fronte agli ostacoli. Crede che gli incidenti stradali siano il risultato di fattori controllabili e sostiene che l'uso di alcol e sostanze stupefacenti influenzino negativamente il comportamento alla guida.

- **Guidatore a rischio:** non aderisce completamente al Codice della Strada, manifesta atteggiamenti e comportamenti egocentrici

giustificando le sue azioni trasgressive. Sperimenta emozioni di rabbia e attribuisce gli incidenti stradali a fattori al di fuori del suo controllo, considerandoli casi fortuiti. Crede che l'alcol possa avere un impatto positivo sul comportamento alla guida o che non abbia alcun effetto significativo.

- **Guidatore aggressivo:** considera il Codice della Strada come un impedimento alla guida, manifesta comportamenti egoisti, cerca l'adrenalina e giustifica le sue azioni trasgressive. Sperimenta emozioni di rabbia nei confronti degli altri conducenti, guida in modo aggressivo e mostra tolleranza verso l'alta velocità. È consapevole che l'alcol ha un impatto negativo sulla guida.

- **Guidatore iper-sicuro:** non ritiene il Codice della Strada come una guida utile. Ha una fiducia elevata nelle proprie abilità di guida e crede di poter gestire in modo ottimale qualsiasi situazione, anche quelle più rischiose. Secondo questo automobilista, gli incidenti stradali possono essere evitati e controllati. Riconosce che l'alcol ha un impatto negativo sul comportamento di guida, ma mostra tolleranza verso l'alta velocità.

- **Guidatore distratto:** cerca di rispettare le regole e le norme morali, ma è spesso disattento, distratto e smemorato durante la guida. Crede erroneamente che sia possibile svolgere diverse attività contemporaneamente mentre si è al volante, trascurando l'importanza di concentrarsi sulla guida e sulla strada. È consapevole che l'alcol può compromettere la capacità di guida.

- **Guidatore ansioso-arrabbiato:** rispetta il Codice della Strada, ritenendolo una guida utile e necessaria. Sperimenta ansia, ma guida in modo aggressivo e mostra tolleranza verso l'alta velocità. Manifesta emozioni di rabbia nei confronti degli altri conducenti o in presenza di ostacoli. Crede che gli incidenti stradali siano evitabili e comprende l'effetto negativo dell'alcol sul comportamento di guida.

Inoltre, analizzando nuovamente i dati ISTAT del 2022 sui comportamenti errati di guida [74], emerge che la distrazione, il mancato rispetto delle regole di precedenza o del semaforo e la velocità eccessiva rappresentano le prime tre cause di incidenti, costituendo complessivamente il 38,1% dei casi (82.857). Si sottolinea che la rilevazione dell'Istat considera solo le circostanze accertate o presunte per i conducenti dei primi due veicoli coinvolti nell'incidente, mentre gli incidenti che coinvolgono tre o più veicoli rappresentano circa il 9% del totale.

Tra le altre ragioni significative, la mancanza di distanza di sicurezza (15.233 casi), la manovra irregolare (16.782), la mancanza di precedenza al pedone (7.185) da un lato e il comportamento scorretto del pedone dall'altro (dato non disponibile) rappresentano rispettivamente il 9,2%, il 6,9% e il 3,3% delle cause di incidente.

In riferimento alla tipologia di strada, il mancato rispetto delle regole di precedenza o semaforiche è la principale causa di incidenti sulle strade urbane (17,0%), mentre sulle strade extraurbane prevale la guida distratta o con andamento indeciso (20,1%). Seguono la guida con velocità troppo elevata (14,0%) e la mancanza di distanza di sicurezza (13,8%).

Per colmare le lacune informative riguardo agli incidenti stradali correlati ad alcol e droga, sono state consultate fonti aggiuntive.

Il Comando Generale dell'Arma dei Carabinieri e il Servizio della Polizia Stradale del Ministero dell'Interno, responsabili della rilevazione di circa un terzo degli incidenti con lesioni, hanno fornito dati sulle sanzioni elevate in seguito a incidenti stradali.

Secondo questi dati, su un totale di 201.081 incidenti, più di 5.000 coinvolgevano almeno un conducente in stato di ebbrezza e circa 2.000 erano sotto l'effetto di stupefacenti.

L'8,7% e il 3,2% degli incidenti rilevati da Carabinieri e Polizia Stradale sono correlati ad alcol e droga, registrando un aumento rispetto al 2017 (7,8% e 2,9%). Tra i conducenti sottoposti a controllo con etilometro nel 2018, il 5,1% è risultato positivo.

Le principali violazioni al codice della strada confermano l'inosservanza del rispetto della segnaletica (art. 146), il mancato uso di cinture di sicurezza e sistemi di ritenuta per bambini (art. 172), in aumento nelle città, e il mancato uso di lenti o l'uso improprio di telefoni cellulari o cuffie (art. 173).

Nonostante rimanga tra le infrazioni più comuni, l'uso improprio di telefoni cellulari diminuisce in media del 6%, forse grazie alla diffusione di veicoli dotati di connessione Bluetooth.

Tuttavia, un dato preoccupante riguarda i giovani, con il 21% dei guidatori al di sotto dei 19 anni coinvolti in incidenti mortali distratti dall'uso di telefoni cellulari.

Nel 2018, Polizia Stradale, Carabinieri e Polizie Locali dei Comuni capoluogo hanno contestato rispettivamente 39.208 (-5,5%) e 5.404 (+2,2%) violazioni.

Dai dati della Polizia Stradale emerge che a

essere multati per guida in stato di ebbrezza sono soprattutto i giovani conducenti di autovetture (tra 25 e 32 anni) nella fascia oraria notturna, durante la quale è stata elevata circa l'80% delle sanzioni.

L'invecchiamento della popolazione si riflette anche sui conducenti di veicoli e sul loro comportamento, poiché lo stato psicofisico presenta limitazioni rispetto a quello di un utente giovane.

Comparando i dati delle patenti attive all'inizio del 2018 con quelli di circa 10 anni prima, emerge un significativo aumento del numero di patentati con più di 65 anni di età, passando dal 13% al 21%.

Al contrario, diminuisce il numero di patentati giovani, soprattutto fino a 24 anni di età. Nel 2018, le vittime di incidenti stradali sono state 3.334, con 2.673 uomini e 661 donne. I conducenti deceduti sono stati 2.258 (2.034 uomini e 224 donne), i passeggeri 464 (249 uomini e 215 donne) e i pedoni 612 (390 uomini e 222 donne).

Le vittime maschili registrano picchi nelle classi di età 20-24, 40-44 e 55-59 anni, mentre per le donne, i livelli massimi si riscontrano tra i 70 e gli 84 anni, con un'elevata incidenza di vittime nel ruolo di pedoni.

Rispetto all'anno precedente, le vittime aumentano tra i giovani di 15-29 anni e gli individui di età compresa tra 70 e 74 anni, mentre diminuiscono tra i bambini (0-14 anni).

Tuttavia, nonostante un decremento, non è stato raggiunto l'obiettivo di "vision zero" riguardo alle vittime tra i bambini, come stabilito nel Piano Nazionale della Sicurezza Stradale 2020.

I feriti, in maggioranza giovani, soprattutto nella classe di età 20-29 anni, sono stati prevalentemente colpiti dagli incidenti.

CAUSE ACCERTATE O PRESUNTE DI INCIDENTE	Strade urbane	Strade extraurbane	Totale
Procedeva con guida distratta o andamento indeciso	20.159	12.542	32.701
Procedeva con eccesso di velocità	12.455	7.150	19.605
Circostanza imprecisata	35.086	6.496	41.582
Procedeva senza mantenere la distanza di sicurezza	8.750	6.483	15.233
Manovrava irregolarmente	12.572	4.216	16.788
Procedeva senza rispettare lo stop	9.204	1.596	10.800
Procedeva senza dare la precedenza al veicolo proveniente da destra	6.762	896	7.658
Procedeva senza rispettare il segnale di dare precedenza	8.523	1.232	9.755
Svoltava irregolarmente	4.014	585	4.599
Procedeva contromano	3.113	1.786	4.899
Sorpassava irregolarmente	2.974	1.425	4.399
Veicolo evitato	703	527	1.230
Non dava la precedenza al pedone sugli appositi attraversamenti	7.025	160	7.185
Procedeva senza rispettare le segnalazioni semaforiche o dell'agente	1.506	121	1.627
Procedeva non in prossimità del margine destro della carreggiata	1.308	955	2.263
Veicolo fermo in posizione irregolare urtato	1.882	504	2.386
Procedeva senza rispettare i limiti di velocità	431	280	711
Procedeva senza rispettare i segnali di divieto di transito o accesso	1.115	232	1.347
Caduta di persona da veicolo per discesa da veicolo in moto	1.138	309	1.447
Animale evitato	160	333	493
Caduta di persona da veicolo per essersi aggrappata o sistemata inadeguatamente	804	161	965
Caduta di persona da veicolo per apertura di portiera	208	28	236
Frenava improvvisamente con conseguenza ai trasportati	728	67	795
Si affiancava ad altri veicoli a due ruote irregolarmente	233	75	308
Veicolo fermo senza che sia stato collocato il prescritto segnale urtato	92	24	116
Fuoriusciva dalla carreggiata investendo il pedone	120	30	150
Urtava con il carico il pedone	169	21	190
Procedeva con le luci abbaglianti inrocando altri veicoli	5	5	10
Usciva senza precauzione da passo carrabile investendo il pedone	57	5	62
Attraversava imprudentemente il passaggio a livello	-	-	-
Comportamento scorretto del pedone	5.328	571	5.899
Ostacolo accidentale urtato	1.884	1.552	3.436
Animale domestico o d'affezione, da reddito, da lavoro urtato	-	-	-
Animale selvatico urtato	-	-	-
Buca urtata	-	-	-
Ostacolo accidentale evitato	614	670	1.284
Buche, ecc. evitato	334	508	902
<b>Totale</b>	<b>149.516</b>	<b>51.565</b>	<b>201.081</b>

Figura 46 - Dati ISTAT per luogo

MESI	Fino a 5 anni		6 - 9		10 - 14		15 - 17		18 - 20	
	Maschi	Femmine	Maschi	Femmine	Maschi	Femmine	Maschi	Femmine	Maschi	Femmine
MORTI										
Gennaio	-	-	-	-	-	-	3	-	7	-
Febbraio	-	-	-	-	-	-	3	-	4	-
Marzo	-	-	-	-	-	-	2	1	8	2
Aprile	-	-	-	-	-	-	2	1	12	-
Maggio	-	-	-	-	-	-	3	-	6	1
Giugno	-	-	-	-	-	-	2	-	5	-
Luglio	-	-	-	-	1	-	5	1	9	-
Agosto	-	-	-	-	1	-	6	-	8	-
Settembre	-	-	-	-	-	-	1	-	5	-
Ottobre	-	-	-	-	-	-	6	1	9	-
Novembre	-	-	1	-	3	-	2	-	8	-
Dicembre	-	-	-	-	1	-	4	-	7	-
<b>Anno</b>	-	-	<b>1</b>	-	<b>6</b>	-	<b>39</b>	<b>4</b>	<b>88</b>	<b>3</b>
FERITI										
Gennaio	-	-	2	-	26	3	187	30	425	83
Febbraio	-	-	-	-	45	6	273	46	527	126
Marzo	-	-	3	2	48	8	335	57	609	131
Aprile	-	-	4	-	68	13	334	61	672	170
Maggio	2	2	10	1	124	26	459	102	617	236
Giugno	3	-	9	1	104	19	507	109	732	206
Luglio	3	-	11	4	63	19	486	104	615	191
Agosto	2	-	8	5	62	11	383	76	699	176
Settembre	2	2	16	2	116	21	506	82	751	187
Ottobre	-	-	6	3	111	16	579	108	738	187
Novembre	-	-	3	-	70	14	415	82	643	169
Dicembre	1	1	2	1	55	8	312	56	529	143
<b>Anno</b>	<b>13</b>	<b>5</b>	<b>74</b>	<b>19</b>	<b>892</b>	<b>164</b>	<b>4.776</b>	<b>913</b>	<b>8.017</b>	<b>●●●●●</b>

Figura 47 - Dati ISTAT per età

MESI	21-24		25-29		30-44		45-54		55-59	
	Maschi	Femmine								
MORTI										
Gennaio	6	2	6	3	26	7	23	2	13	-
Febbraio	6	-	10	1	30	1	22	-	9	3
Marzo	8	-	11	1	31	3	19	1	5	3
Aprile	5	3	11	3	25	1	32	1	15	-
Maggio	12	-	11	-	42	3	31	2	26	3
Giugno	12	1	22	2	42	7	30	1	17	1
Luglio	13	4	25	2	51	6	35	5	25	-
Agosto	13	2	12	-	39	5	38	5	21	2
Settembre	10	2	17	2	31	2	33	3	14	1
Ottobre	5	2	14	1	27	5	26	5	22	3
Novembre	7	-	13	1	29	2	24	6	14	2
Dicembre	5	2	10	-	26	3	23	1	8	1
<b>Anno</b>	<b>102</b>	<b>18</b>	<b>162</b>	<b>16</b>	<b>399</b>	<b>45</b>	<b>336</b>	<b>32</b>	<b>189</b>	<b>19</b>
FERITI										
Gennaio	622	231	718	299	1836	717	1263	525	568	243
Febbraio	727	246	786	313	1957	905	1369	621	570	231
Marzo	782	273	910	367	2.018	953	1551	679	701	260
Aprile	872	307	921	375	2.389	1.016	1.688	695	728	283
Maggio	1.028	387	1.190	487	2.838	1.207	2.050	883	928	403
Giugno	1.025	366	1.178	435	2.857	1.091	2.103	761	1.014	350
Luglio	1.076	381	1.221	410	2.904	951	2.201	748	1.049	300
Agosto	932	303	955	302	2.351	761	1.717	621	846	252
Settembre	865	315	988	405	2.358	997	1.815	763	855	336
Ottobre	934	368	1.001	388	2.413	1.011	1.838	744	866	304
Novembre	822	284	891	388	2.219	1.040	1.503	756	729	313
Dicembre	787	318	828	368	2.102	943	1.501	642	633	256
<b>Anno</b>	<b>●●●●●</b>	<b>3.779</b>	<b>●●●●●</b>	<b>4.535</b>	<b>●●●●●</b>	<b>●●●●●</b>	<b>●●●●●</b>	<b>8.438</b>	<b>9.487</b>	<b>3.551</b>

Figura 48 - Dati ISTAT per età

### 3.3 Impatto sulla mobilità e sull'ambiente

Molti veicoli circolano quotidianamente sulle strade globali, generando problemi quali incidenti stradali, consumo eccessivo di energia, inquinamento ambientale e congestione urbana.

Per avanzare verso una **mobilità più sicura** e sostenibile, l'industria automobilistica sta orientandosi verso un'epoca caratterizzata da basse emissioni di carbonio, basata sull'informazione e sull'intelligenza artificiale [76].

L'introduzione dei veicoli a guida autonoma sul mercato avrà sicuramente un impatto significativo sulla mobilità attuale, specialmente nel contesto del traffico urbano ed extraurbano.

Le aree extraurbane sono sempre più soggette a congestioni, le quali non solo rallentano il flusso del traffico e prolungano i tempi di percorrenza, ma hanno anche notevoli ripercussioni sull'economia globale, costando circa il 2% del PIL annuo dei paesi economi-

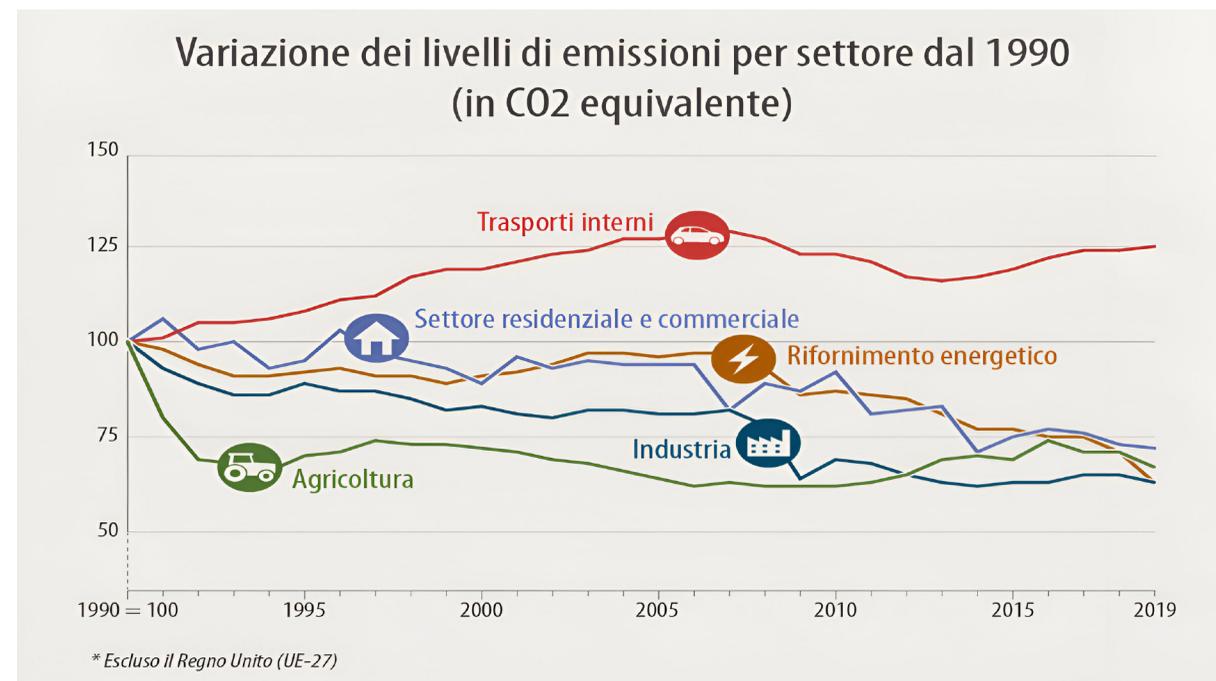


Figura 49 - Emissioni nell'UE

camente sviluppati (World Bank).

Il settore dei trasporti è responsabile del 30% delle emissioni totali di CO2 in Europa, con il 72% di queste generato solo dal trasporto su strada.

Per affrontare questa problematica, l'Unione Europea ha stabilito l'obiettivo di ridurre entro il 2030 le **emissioni** dei trasporti del 60% rispetto ai livelli del 1990. Tuttavia, questo obiettivo ambizioso è difficile da raggiungere, considerando il recente rallentamento nel tasso di riduzione delle emissioni.

Mentre altri settori hanno ridotto le emissioni dal 1990, l'aumento della mobilità ha contribuito ad un aumento delle emissioni di CO2 nel settore dei trasporti.

Nonostante gli sforzi per migliorare l'efficien-

za energetica dei nuovi veicoli, anche questi hanno subito un rallentamento.

Nel 2019, dopo un periodo di declino costante delle emissioni di CO2, si è verificata una controtendenza: le nuove auto hanno emesso in media 0,4 grammi in più di CO2 rispetto a quelle immatricolate nell'anno precedente. Per contrastare questa tendenza, l'Unione Europea ha introdotto nuovi obiettivi sulle emissioni di CO2, mirando a ridurre gli impatti ambientali negativi causati da auto e furgoni appena immatricolati.

Le emissioni di CO2 nel settore del trasporto passeggeri variano a seconda della modalità di trasporto (su strada, ferroviario, aereo e marittimo).

Nel contesto del trasporto su strada in Europa, le autovetture rappresentano una delle

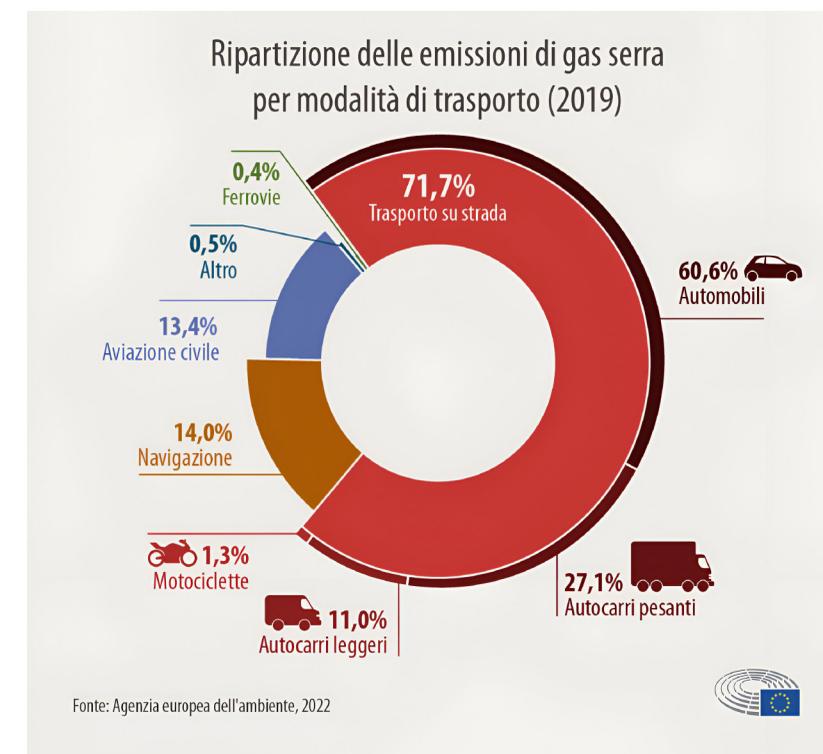


Figura 50 - Emissioni prodotte in UE per fonte di provenienza

fonti principali di inquinamento, contribuendo al 71,7% delle emissioni totali di CO<sub>2</sub>.

Tuttavia, esiste la possibilità che le auto diventino una modalità di trasporto più sostenibile se fossero condivise da più passeggeri anziché viaggiare con un solo occupante.

Attualmente, con una media di 1,7 passeggeri per auto in Europa, altre alternative di trasporto, come gli autobus, risultano essere opzioni più **ecologiche**.

Esistono due approcci principali per ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> provenienti dalle automobili: rendere i veicoli più efficienti o cambiare la fonte di alimentazione.

Attualmente, la maggior parte delle auto è alimentata a benzina (52%), nonostante l'aumento della popolarità delle auto elettriche. Anche se costituiscono solo circa l'1,5% delle nuove immatricolazioni di veicoli passeggeri, le auto elettriche hanno visto una crescita costante delle vendite in Europa, registrando un aumento del 51% nel 2017 rispetto all'anno precedente.

È importante considerare le emissioni di CO<sub>2</sub> non solo durante l'uso del veicolo ma anche durante la produzione e lo smaltimento dello stesso.

Attualmente, la produzione e lo smaltimento

di un'auto elettrica risultano meno sostenibili rispetto a quelle con motori a combustione interna.

Tuttavia, le emissioni di CO<sub>2</sub> delle auto elettriche variano anche in base al mix energetico utilizzato per produrre l'elettricità.

Considerando il mix medio in Europa, le auto elettriche si sono dimostrate più ecologiche rispetto a quelle alimentate a benzina o con altri carburanti derivati dal petrolio.

Con l'aspettativa di una crescita nell'uso di energia elettrica da fonti rinnovabili, le auto elettriche potrebbero diventare ancora più ecologiche [77].

L'introduzione dei sistemi di trasporto intelligenti (**ITS**) che sfruttano la comunicazione veicolo-infrastruttura (V2X) può avere impatti positivi sulla mobilità collettiva.

Consentendo ai veicoli di comunicare tra loro e con l'infrastruttura, i sistemi ITS migliorano la qualità delle informazioni disponibili per i conducenti riguardo alle condizioni di guida e all'ambiente circostante.

Questo scambio di informazioni, con una velocità dell'ordine dei millisecondi, contribuisce a creare un ambiente di guida sicuro e confortevole.

I sistemi di comunicazione **V2X** possono evitare congestioni del traffico, ridurre i tempi

di percorrenza e migliorare l'efficienza complessiva del sistema di trasporto. Ciò ha un impatto significativo sull'ambiente, consentendo la riduzione dell'inquinamento e il controllo delle emissioni veicolari, limitando così i danni causati dai gas nocivi.

Inoltre, nuove filosofie di proprietà dei veicoli e cambiamenti nelle politiche governative possono contribuire a mitigare gli effetti negativi della congestione.

Ad esempio, l'adozione diffusa di sistemi automatizzati può semplificare il car-sharing. Grazie alle funzionalità dell'Human-Machine Interface (HMI), la mobilità collettiva può diventare più efficiente, informando i conducenti in tempo reale sulle condizioni del traffico e sui consumi in relazione al proprio stile di guida.

**L'interfaccia**, come canale di comunicazione tra veicolo e conducente, consapevolizza quest'ultimo sugli impatti generati sulla mobilità degli altri utenti e sull'ambiente circostante.

Questi aspetti sono stati presi in considerazione per rispondere al terzo quesito nel capitolo successivo (punto 4.3).

## 3.4 Prestazioni e funzionalità del sistema HMI

In merito alla progettazione di un buon sistema di interfaccia uomo-macchina, un fattore da tenere in forte considerazione è il comportamento dell'utente durante la guida. Le decisioni durante la guida sono infatti influenzate da fattori come lo stress, l'umore, l'urgenza, le azioni automatiche e le condizioni della strada.

Tra i rischi della circolazione, la distrazione emerge come la causa più comune.

Mantenere un atteggiamento efficiente aiuta a mantenere la concentrazione durante la guida.

La concentrazione, a sua volta, consente una pronta reazione e fornisce quei preziosi istanti in più che possono permettere di evi-

tare improvvisi ostacoli o pericoli, minimizzandone le conseguenze.

Il tempo di reazione, ovvero il periodo necessario per trasformare una percezione in movimento nelle condizioni psicofisiche ottimali, si attesta mediamente a 7/10 di secondo; a una velocità di 100 km/h, ciò corrisponde a percorrere 27,7 metri in un secondo.

La Figura 51, a titolo esemplificativo, illustra lo **spazio richiesto** per fermare un veicolo con frenata a ruote bloccate, modulata e con ABS [78].

La distrazione e il tempo di reazione sono anche influenzati dall'età del conducente, richiedendo quindi una considerazione della li-

mitata psicomotricità nelle persone anziane, la cui popolazione sta crescendo rapidamente.

La libertà di spostamento degli anziani deve essere garantita in modo sicuro attraverso l'utilizzo di veicoli adatti.

Inoltre, comportamenti di guida errati causati da alterazioni psicofisiche dovute ad alcol e droghe persistono ed è possibile evitarli grazie all'adozione di tecnologie che possono essere integrate nei veicoli, pur mantenendo la responsabilità del controllo nelle mani dei conducenti.

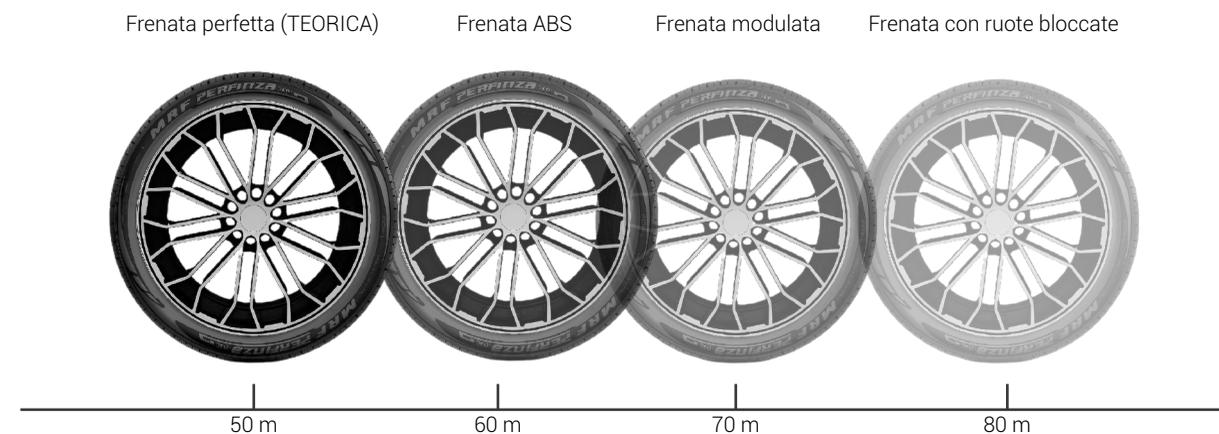


Figura 51 - Spazio di arresto per tipologia di frenata

### 3.5 Linee guida per lo sviluppo di sistemi HMI

La fase successiva è stata stilare delle linee guida con lo scopo di proporre orientamenti per la progettazione dei sistemi Human-Machine Interface (HMI) considerando il fattore comportamentale precedentemente citato. Utilizzando tecnologie già esistenti, l'obiettivo è quello influenzare positivamente il comportamento di guida, riducendo il rischio di incidenti causati da distrazione, stress, stanchezza e alterazioni psicofisiche [79].

• **Linea guida 1:** integrazione di dispositivi esterni.

La maggioranza degli utenti possiede dispositivi personali portatili come smartphone o tablet, i quali rappresentano la principale fonte di distrazione quando vengono utilizzati durante la guida.

L'introduzione e l'integrazione sicura di questi dispositivi all'interno dell'ambiente di guida sono cruciali, poiché fungono da ponte tra l'ambiente domestico, lavorativo e l'automobile. Utilizzando connessioni già consolidate (come la porta USB) o senza fili (Wi-Fi o Bluetooth), le funzionalità del dispositivo portatile possono essere visualizzate sia attraverso i già esistenti sistemi In-Vehicle Infotainment System (IVIS) a bordo che direttamente dal dispositivo stesso.

Per migliorare l'esperienza di guida, la scelta dell'architettura di integrazione adeguata è fondamentale.

Integrare i dispositivi con i sistemi di interfaccia già presenti a bordo offre il vantaggio di sfruttare le funzionalità del dispositivo portatile attraverso vari canali di input e output.



Figura 52 - Interazione con dispositivi esterni

• **Linea guida 2:** interfaccia per il sistema di monitoraggio del comportamento utente. Stanno emergendo tecnologie in fase di sviluppo che consentono il monitoraggio dell'utente, avvisandolo sui rischi derivanti da comportamenti scorretti, sia volontari che involontari.

Dotando i veicoli automatizzati di tali dispositivi (livelli 2 e 3), il conducente riceve informazioni sul suo stato psicofisico e sull'impatto di quest'ultimo sul suo modo di guidare, ricevendo avvisi in caso di pericolo. Alcune di queste tecnologie potenziali includono:

- Il tracciamento facciale o del movimento degli occhi, finalizzato al riconoscimento facciale e allo stato emotivo dell'utente.

Questo metodo monitora l'attenzione del conducente, controllando fattori come sonnolenza e affaticamento, noti per essere tra le principali cause di incidenti stradali.

Vengono rilevati parametri quali la posizione della testa, l'orientamento dello sguardo, la dilatazione della pupilla e la frequenza del

battito delle ciglia [80].

- I sensori biometrici possono acquisire caratteristiche fisiche e comportamentali del conducente attraverso il contatto con le mani, identificando tracce di alcol e misurando la frequenza cardiaca (utile per individuare possibili problemi cardiaci o segnali di sonnolenza) [80].

- Strumentazione per l'analisi dei parametri di movimento del veicolo, come velocità, brusche accelerazioni e decelerazioni, e sbandamento, che permette di individuare comportamenti scorretti dovuti a uno stato emozionale stressato, aggressivo o influenzato da alcol e sostanze stupefacenti.

Il sistema Human-Machine Interface (HMI) deve avvisare il conducente dei pericoli derivanti dal suo comportamento scorretto

attraverso un messaggio multimodale "visivo-uditivo" o "visivo-vibrotattile", in quanto più efficace. In assenza di una risposta da parte dell'utente, è necessaria l'attivazione di sistemi capaci di ridurre la velocità al di sotto di una soglia predefinita e, successivamente, di arrestare il veicolo in modo sicuro.

• **Linea guida 3:** Interfaccia modificabile in base alle limitazioni psicomotorie degli utenti anziani.

Nello sviluppo del sistema Human-Machine Interface (HMI) per supportare il comportamento di guida degli anziani, è essenziale considerare l'accessibilità, l'usabilità e l'adattabilità.

Per un'interfaccia visiva efficace, è cruciale semplificare la visualizzazione delle informazioni attraverso l'uso di contrasti cromatici,

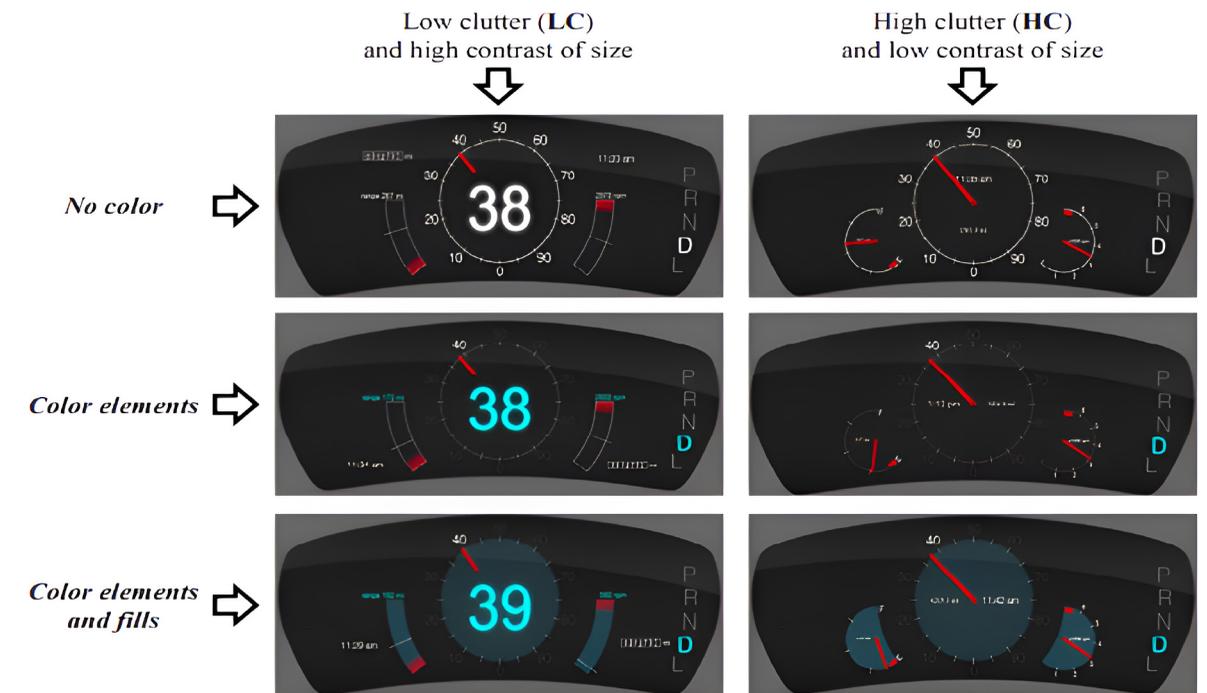


Figura 53 - Interfaccia modificabile in base alle limitazioni psicomotorie[81]

con particolare enfasi su colori più facilmente distinguibili come il giallo e il verde rispetto al blu e al rosso.

Inoltre, le dimensioni dei caratteri e un adeguato livello di luminosità devono essere ottimizzati per migliorare la chiarezza visiva.

Per quanto riguarda gli avvisi con modalità tattile e acustica, è essenziale che siano sufficientemente intensi per catturare l'attenzione degli anziani, considerando la loro solita ridotta sensibilità alle vibrazioni e ai suoni.

Con l'avvento dei veicoli a guida completamente automatizzata (livello 5), la popolazione anziana e gli individui con disabilità visive rappresenteranno una considerevole porzione di potenziali utenti.

Pertanto, è fondamentale dotare il veicolo di un'interfaccia con input tattili/vocali e output tattili/uditivi per garantire che il veicolo sia accessibile e utilizzabile per questa specifica fascia di popolazione.

• **Linea guida 4:** interfaccia "sociale" per migliorare comportamento utente.

La crescente voglia umana di connessione sociale si riflette nell'espansione dei social network, anche all'interno delle automobili grazie ai dispositivi mobili.

Tuttavia, a causa delle necessità di sicurezza del veicolo, l'integrazione completa di tali reti nell'ambiente di guida è limitata.

I sistemi di cooperazione Vehicle-to-Vehicle

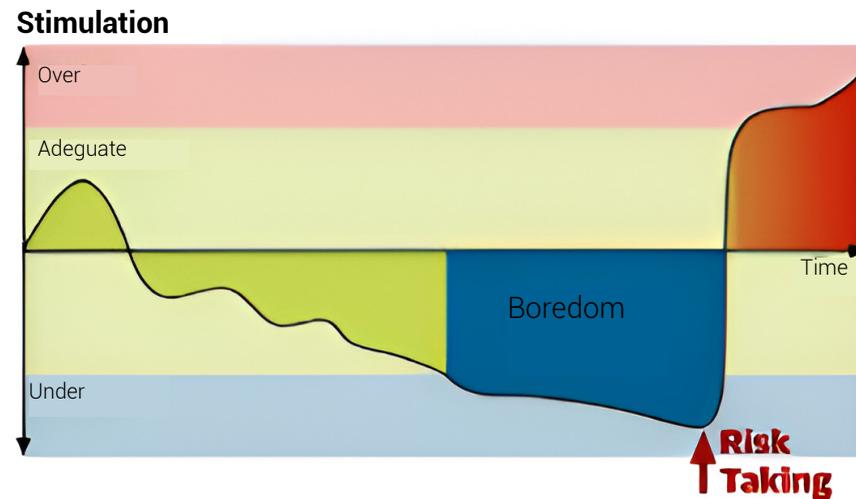


Figura 54 - Grafico delle stimolazioni



Figura 55 - Valutazione della situazione generale attraverso dispositivi e interfacce visive.

(V2V) possono introdurre nuovi servizi che consentono ai conducenti nelle vicinanze di condividere e scambiare informazioni.

La pressione sociale si dimostra particolarmente efficace nel plasmare i comportamenti di guida. L'utilizzo congiunto dei sistemi di comunicazione V2X e HMI potrebbe supportare i conducenti nel:

- Adottare pratiche di guida più responsabili, ad esempio favorendo uno stile di guida ecologicamente sostenibile;
- Ridurre l'aggressività dei conducenti, promuovendo comportamenti di guida socialmente positivi;
- Mitigare i rischi associati ai comportamenti di guida dei giovani conducenti.

La visualizzazione di informazioni sociali ha il potenziale di ottimizzare la mobilità, la sicurezza stradale e l'impatto ambientale. Interagendo con altri utenti della strada, tale approccio stimola l'attenzione del conducente, prevenendo situazioni di stanchezza o noia che potrebbero contribuire a eventi incidentali.

L'impiego di interfacce, come ad esempio gli Head-Up Display (HUD), può **amplificare la consapevolezza** sociale proiettando informazioni direttamente nel campo visivo del conducente, contribuendo a migliorare la percezione dell'ambiente di guida.

Nella Figura 56 è presentato un esempio di

interfaccia di tipo "sociale" [82].

Come è possibile osservare in Figura 55, quando il conducente si avvicina a un incrocio urbano trafficato, riceve supporto nel processo decisionale e nella valutazione della situazione generale attraverso dispositivi e interfacce visive.

I sensori specifici, indossati dagli utenti della strada (V2P), installati nelle infrastrutture (V2I) e montati sui veicoli (V2V), riconoscono una vasta gamma di informazioni sul contesto di guida e forniscono spunti socialmente utili.

Nell'illustrazione, il pedone (A) cerca di stabilire un contatto visivo agitando la mano verso il conducente.

L'auto gialla (B) sta per svoltare a destra, mentre l'auto rossa (D), guidata da un neopatentato, può comunicare con altri veicoli attraverso la tecnologia V2V.

Il ciclista (E) sta segnalando l'intenzione di svoltare a sinistra.

Allo stesso tempo, i sensori all'interno dell'abitacolo (C, F, H) monitorano continuamente il comportamento del conducente, elaborando informazioni condivise con gli altri utenti della strada attraverso adeguate interfacce.

Queste interfacce possono essere costituite da sistemi di feedback vibrotattile montati sul volante (G), messaggi visivi sovrapposti al parabrezza tramite la tecnologia AR-HUD

(Augmented Reality – Head Up Display) o dispositivi indossabili.

Nella tabella sottostante sono riportate le indicazioni proposte per la progettazione di sistemi HMI al fine di garantire le massime performance comportamentali da parte dell'utente.

Seguendo queste quattro linee guida, ho identificato le funzionalità del sistema HMI in grado di ottimizzare il comportamento umano.

In particolare, tali funzionalità, offerte da diverse tecnologie già disponibili o in fase di sviluppo, includono l'integrazione di dispositivi mobili nell'interfaccia, essenziale per prevenire distrazioni potenzialmente pericolose. Attraverso l'impiego di tecnologie avanzate come il tracciamento oculare, i sensori biometrici e l'analisi interna dei parametri di

guida, il conducente può essere avvisato in caso di comportamenti errati, riducendo così i rischi.

Le tecnologie V2X consentono al conducente di comunicare con gli altri utenti della strada in contesti urbani, permettendo un adattamento del proprio stile di guida alle condizioni critiche dell'ambiente circostante.

Tuttavia, il comportamento dell'utente durante la guida non è l'unico aspetto a risentire positivamente degli effetti delle prestazioni e delle funzionalità di un buon sistema HMI. Due ambiti di impatto da tenere in forte considerazione sono rispettivamente:

- L'impatto sulla mobilità e sull'ambiente
- L'intrattenimento e il comfort

Per quanto riguarda il primo, è da considerare come il modo in cui si guida abbia un impatto



Figura 56 - Interfaccia "sociale"

Linea guida n°	Oggetto
1	Integrazione dispositivi nomadi
2	Interfaccia per sistemi di monitoraggio comportamento utente
3	Interfaccia adattabile alla psicomotricità limitata dell'utenza anziana
4	Interfaccia "sociale" per migliorare comportamento utente

Figura 57 - Linee guida

diretto sulla mobilità collettiva e sull'ecosistema circostante.

Il sistema di interfaccia svolge un ruolo cruciale nel fornire al conducente informazioni essenziali sullo stato della navigazione, quali le condizioni del traffico, lo stato delle infrastrutture, i tempi di percorrenza, i consumi e i servizi disponibili lungo il tragitto, come parcheggi, stazioni di rifornimento, punti di ristoro, officine, eccetera.

Il navigatore satellitare è la tecnologia chiave che rende accessibili tali informazioni.

Da un punto di vista ambientale, è fondamentale informare il conducente su come il suo stile di guida influisca sui consumi e su come tali consumi abbiano un impatto sull'ambiente circostante.

Naturalmente, in questo caso, le linee guida da seguire cambiano, adattandosi al tema in questione.

Qui di seguito ecco alcune indicazioni per la progettazione di sistemi di interfaccia finalizzati a massimizzare le prestazioni in termini di mobilità e impatto ambientale, sfruttando le funzionalità di navigazione e monitoraggio dei consumi del veicolo.

• **Linea guida 1:** Ottimizzazione delle funzionalità e dei sistemi HMI per la navigazione. Le avanzate caratteristiche della tecnologia attuale migliorano l'efficienza del sistema di navigazione attraverso nuove funzionalità e modalità di interazione con il conducente. I sensori integrati nel veicolo e i sistemi di comunicazione V2X trasmettono dati rilevanti

al software di bordo, che li elabora e traduce per renderli accessibili attraverso il sistema di interfaccia. Le informazioni predittive supportano le decisioni di guida degli utenti e potenziano le funzionalità del veicolo, integrandosi in modo sinergico con i sistemi ADAS e le soluzioni di guida altamente automatizzate [83].

Gli aggiornamenti in tempo reale possono essere inviati in anticipo al veicolo e presentati al conducente, consentendogli di reagire tempestivamente alle variazioni nelle condizioni di guida.

Gli utenti hanno accesso a informazioni costantemente aggiornate attraverso servizi che forniscono dettagli sul traffico, segnalano potenziali rischi sulla strada (come buche, presenza di ghiaccio o veicoli in avaria), indicano la segnaletica stradale e segnalano la disponibilità di parcheggi.

L'obiettivo principale è garantire al conducente informazioni precise e immediate per prendere decisioni informate.

Le informazioni che un sistema di interfaccia per la navigazione deve presentare includono:

- Informazioni sul traffico in tempo reale: Fornisce al conducente la situazione attuale del traffico, calcolando i ritardi stimati e suggerendo percorsi alternativi per evitare congestioni.

La qualità del sistema deve garantire basse latenze, migliore copertura e precisione della posizione, visualizzando messaggi di frenata

d'emergenza e offrendo dati precisi sul flusso di traffico, anche su strade secondarie.

- Avvisi di pericolo: Trasmette al conducente informazioni quasi in tempo reale sui potenziali pericoli lungo il tragitto, inclusi incidenti ed eventi meteorologici estremi, come strade scivolose e visibilità ridotta.

- Segnali stradali: Offre informazioni quasi in tempo reale sulla segnaletica stradale, inclusi limiti di velocità permanenti e temporanei (ad esempio, per cantieri stradali), utili sia per il conducente che per le funzionalità del veicolo automatizzato dotato di sistemi ADAS, come l'Adaptive Cruise Control (ACC).

- Informazioni sul parcheggio: Fornisce dettagli sulle strade in cui il parcheggio è consentito, sulla probabilità di trovare un posto disponibile, sulla stima del tempo necessario per parcheggiare in una determinata zona, e sulle condizioni di parcheggio (a pagamento, gratuito, fasce orarie).

La modalità di presentazione delle informazioni può avvenire attraverso comandi vocali, visualizzazioni (HUD o display tradizionali) o feedback vibrotattile mediante pulsazioni sul sedile del conducente.

• **Linea guida 2:** informazioni sui consumi  
La maggior parte dei veicoli dotati di funzionalità automatizzate sarà alimentata da trazione elettrica.

I veicoli elettrici presentano una serie di innovazioni e tecnologie non familiari ai conducenti, e diventa essenziale per i produttori automobilistici garantire un'esperienza di guida positiva e appagante.

I conducenti di veicoli elettrici si troveranno di fronte a concetti completamente nuovi rispetto ai veicoli a combustione interna tradizionali, come le procedure e la durata della ricarica delle batterie.

Inoltre, gli utenti dovranno affrontare alcune caratteristiche uniche rispetto alle auto convenzionali, come l'autonomia limitata per un ciclo di carica completa, la bassa rumorosità del veicolo, le forti accelerazioni, il recupero di energia durante la frenata o la discesa, e l'effetto dello stile di guida sull'autonomia energetica disponibile nelle batterie [39].

È fondamentale che il conducente comprenda come massimizzare le potenzialità di un veicolo a trazione elettrica, e ciò può essere conseguito solo attraverso una progettazione accurata del sistema HMI.

Nell'immagine sottostante, viene presentato un esempio di sistema di interfaccia visiva progettato per ottimizzare la percezione dei consumi da parte del conducente.

Le informazioni visibili comprendono:

- La distanza percorsa prima dell'esaurimento del carburante ("Distance To Empty").

- Il livello di carica della batteria. ("State of Charge").

- Un indicatore ecologico ("Ecometer") che rappresenta sia i consumi istantanei che quelli cumulati in un intervallo spaziale.

- Il consumo elettrico ("Electric Consumption") dei dispositivi aggiuntivi, come ad esempio il sistema di ventilazione/aria condizionata, i sedili riscaldabili, lo sbrinatorio del parabrezza e il sistema audio, indicando

quali sono attivi e come influiscono sul consumo delle batterie, espresso come stima del numero di chilometri di autonomia persi.

• **Linea guida 3:** incentivazione del gioco.

Derivato dall'inglese "gamification", l'uso di meccaniche di gioco per incentivare comportamenti virtuosi può costituire un valido stimolo.

L'applicazione di elementi ludici dovrebbe concentrarsi su attività come la pianificazione dei viaggi, il rispetto delle norme stradali e la guida ecologica.

L'obiettivo è educare i conducenti a utilizzare in modo efficace ed efficiente il proprio veicolo, riducendo l'impatto ambientale e ottimizzando la mobilità collettiva, il tutto trasformando l'esperienza in una sfida personale, spesso senza che il conducente ne sia consapevole.

Ecco alcuni esempi applicativi [85], [86]:

- Chevrolet ha implementato la gamification con la Bolt EV, consentendo ai proprietari di "competere" e confrontarsi riguardo agli stili di guida, determinando così chi guida in modo più efficiente.

- Ford ha introdotto il sistema "Efficiency Leaves," integrato direttamente nel cruscotto del veicolo, che fornisce feedback visivi sotto forma di una "pianta virtuale". Il comportamento di guida che induce a un consumo efficiente di carburante o energia elettrica è rappresentato dalla "crescita" della pianta virtuale.

- Con la Nissan Leaf, i tecnici giapponesi, impossibilitati ad implementare dinamiche attive in tempo reale per evitare il rischio di distrazione alla guida, hanno adottato la meccanica di gioco chiamata "ranking".

È stata introdotta una leaderboard che sti-

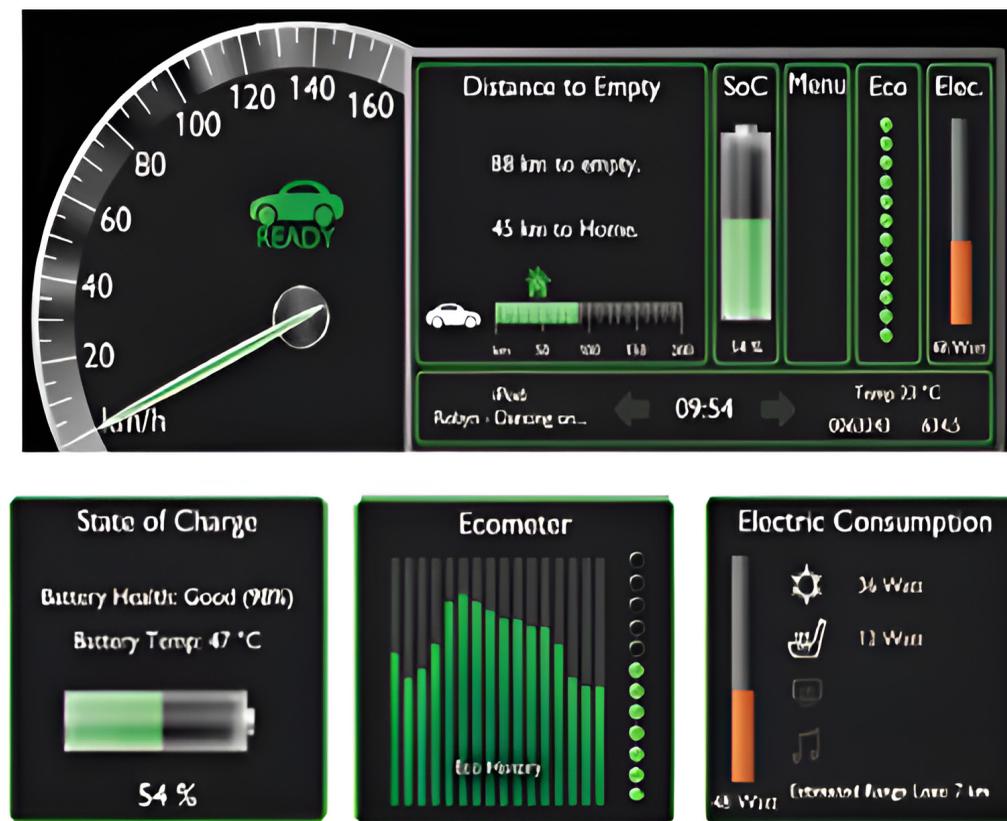


Figura 58 - Esempio interfaccia stato batteria

mola ulteriormente l'utilizzo sostenibile del veicolo, aggiungendo una dimensione di sfida.

Vi è una personalizzazione a livello nazionale e mondiale, consentendo ai conducenti di confrontare il proprio punteggio, basato sul consumo di energia per miglio, con quello degli altri proprietari a livello nazionale o mondiale.

Il sistema assegna trofei ai primi quattro classificati (bronzo, argento, oro e platino) su base giornaliera, mostrando anche graficamente l'andamento della classifica nel tempo

(vedi Figura 59).

Per quanto riguarda invece l'intrattenimento e il comfort, è da evidenziare come nel settore dell'intrattenimento, vengono integrati diversi sistemi che assistono il conducente nel controllo e nella fruizione di contenuti multimediali, nonché nell'utilizzo di strumenti di comunicazione, il tutto con il minimo sforzo e, soprattutto, senza compromettere la sicurezza durante la guida.

Ad esempio, i comandi al volante consentono al conducente di gestire il sistema multimediale del veicolo riducendo al minimo il

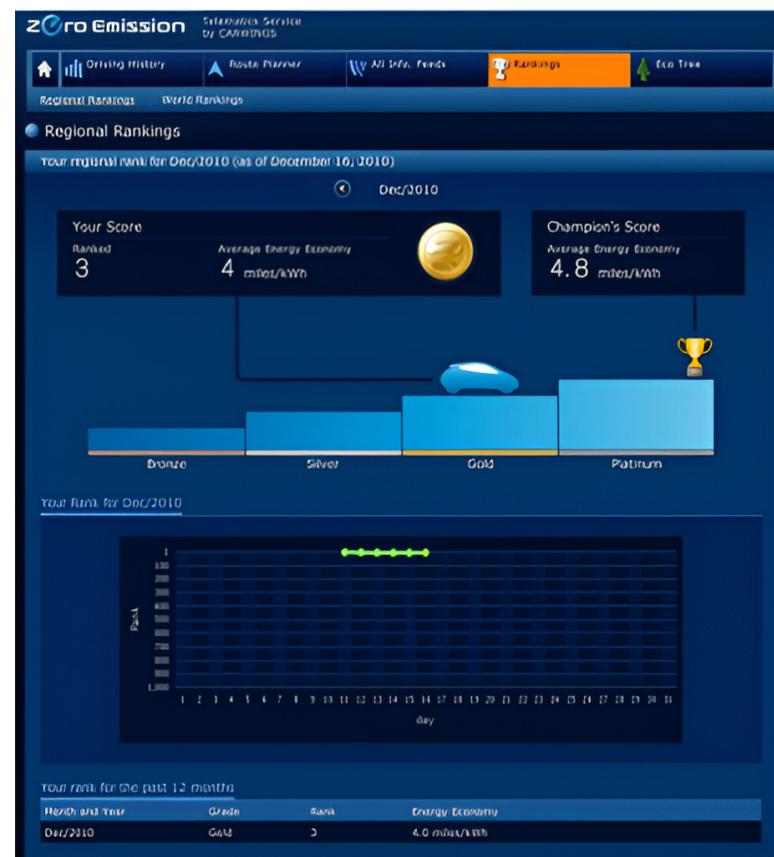


Figura 59 - Esempio interfaccia di "gioco" della Nissan Leaf

rischio di distrazione durante la guida.

Fino a pochi anni fa, le auto di serie erano dotate principalmente di autoradio con lettore CD e funzione radio AM/FM, senza particolari sistemi di intrattenimento.

Tuttavia, recenti progressi tecnologici hanno fornito strumenti che semplificano notevolmente l'accesso a contenuti multimediali.

Guardando al futuro, l'abitacolo di un'auto completamente autonoma si prospetta come un "salotto" o un "ufficio" mobile, dove la progettazione svolge un ruolo chiave nell'identità del veicolo.

Il comfort, i dispositivi di comunicazione come display di grandi dimensioni, i sistemi audio e di illuminazione eccezionali, la continuità delle attività pre e post-viaggio tramite la connettività, oltre all'estetica e alla cura dei materiali, saranno caratteristiche chiave nello sviluppo degli interni e dei sistemi di interfaccia per veicoli connessi e autonomi.

Inoltre, in un contesto di veicoli condivisi, la personalizzazione diventa un requisito aggiuntivo: diverse persone utilizzano la stessa auto in fasce orarie e situazioni diverse, o gruppi di persone coinvolte in attività differenti con preferenze specifiche che condividono lo stesso viaggio.

Questo presenta sfide tecniche significative nello sviluppo di sistemi di interfaccia, come quelli legati all'audio, all'intrattenimento e al comfort termico.

Con la trasformazione dei veicoli tradizionali in auto autonome, connesse e condivisibili, più settori industriali e società di servizi saranno coinvolti nella progettazione di sistemi di interfaccia rivoluzionari, dando vita a una nuova generazione di architetture abitative facili da usare, confortevoli e coinvolgenti. Il veicolo diventerà un nuovo servizio, un'"estensione" dei luoghi quotidiani dove lavora-

re, rilassarsi o essere intrattenuti.

In questo caso le linee guida individuate e da seguire sono:

• **Linea guida 1:** interfaccia adattabile alle diverse caratteristiche, esigenze e preferenze dei conducenti.

Il sistema HMI deve adattarsi alle diverse tipologie di utenti e agli scenari di guida attraverso la configurazione di un'interfaccia digitale, mettendo al primo posto la visualizzazione delle informazioni essenziali. Un sistema HMI all'avanguardia dovrebbe offrire la possibilità di personalizzazione per ciascun conducente, consentendo la scelta della disposizione delle funzionalità di intrattenimento e comfort in base alle preferenze individuali [87].

In aggiunta, l'impiego della tecnologia "eye-tracking" consente l'identificazione della persona seduta al volante, permettendo di conseguenza la memorizzazione e l'applicazione automatica delle impostazioni personalizzate relative alla posizione del sedile, alla regolazione degli specchietti e all'impianto di ventilazione.

• **Linea guida 2:** integrazione con funzionalità V2H (Vehicle to Home).

Sistema di comunicazione tra il veicolo e la residenza del proprietario.

Attraverso uno scambio di informazioni, il veicolo è in grado di rilevare eventuali situazioni di carenza energetica e può agire come supporto restituendo energia all'abitazione, anche in situazioni di emergenza. Inoltre, i conducenti possono attivare dispositivi come illuminazione, riscaldamento, sistemi di intrattenimento o apertura del garage prima di arrivare fisicamente a casa.

• **Linea guida 3:** controllo del clima e qualità dell'aria.

I sistemi di riscaldamento, ventilazione e aria condizionata (HVAC - Heating, Ventilation and Air Conditioning) possono variare da un sistema di base che mantiene semplicemente la temperatura impostata a uno che si regola automaticamente in base alle condizioni esterne di temperatura e umidità.

L'utilizzo di sensori infrarossi consente anche di monitorare la temperatura superficiale degli occupanti dell'abitacolo.

Una versione avanzata del tradizionale controllo del clima comprende un sistema di gestione della qualità dell'aria, particolarmente utile in contesti urbani.

Questo sistema è caratterizzato da un indice di qualità dell'aria (Air Quality Index - AQI) che indica l'impatto sulla salute, misurato in base alla concentrazione di gas e particelle nocive presenti nell'aria.

Se il valore dell'indice supera una determinata soglia, il sistema filtra continuamente l'aria al fine di ripristinare valori considerati accettabili.

• **Linea guida 4:** nuove funzionalità per auto a guida autonoma di livello 5 condivisa.

Con la trasformazione dei veicoli convenzionali in auto completamente autonome, connesse e condivisibili, si verificheranno significativi cambiamenti nelle architetture degli interni del veicolo.

Questo richiederà la creazione di nuovi servizi destinati ai passeggeri, che potranno viaggiare da soli o condividere l'esperienza con altri utenti. Sarà essenziale progettare nuovi ambienti ergonomici all'interno del veicolo, tenendo conto di vari scenari di utilizzo, con l'obiettivo di intrattenere e rendere il viaggio un'esperienza piacevole e produttiva.

Alcune delle caratteristiche di intrattenimento e comfort di un veicolo di livello 5 possono includere:

- Configurazione variabile dell'abitacolo per creare nuovi spazi funzionali, come ad esempio un "ufficio" o un "cinema".
- Creazione di spazi insonorizzati per fornire "bolle" audio individuali.
- Controllo personalizzato del clima.
- Personalizzazione individuale dei sistemi HMI per l'intrattenimento.
- Monitoraggio della salute degli occupanti.

## 4.1 Concept

Il progetto si concentra sulla progettazione di un'interfaccia per dispositivi di visualizzazione per veicoli con un livello di automazione al livello quattro, cercando di creare un sistema che renda l'esperienza di guida più intuitiva e sicura in un contesto di guida altamente automatizzato.

Il principale obiettivo è focalizzato sul rapporto del veicolo con gli altri veicoli e con l'ambiente circostante.

Avendo appurato che, con l'aumentare dell'automazione diventa cruciale migliorare la comunicazione tra veicoli per garantire una circolazione sicura e fluida, sto proget-

tando un'interfaccia che fornisca informazioni chiare e pertinenti sulla situazione stradale grazie all'ausilio non solo della sensoristica del veicolo, che consente di "catturare" elementi presenti su strada come la sussistenza di cartelli o eventuali ostacoli, ma anche del sistema satellitare che in anticipo e con effetto immediato consente all'IA del veicolo di conoscere eventuali alterazioni del percorso, consentendo, dunque, una maggiore consapevolezza del conducente automatizzato.

Concentrando l'attenzione, in particolare modo, su aspetti come l'indicazione delle intenzioni del veicolo, la presenza di altri veicoli



Figura 60 - Comunicazione uomo-macchina

nelle vicinanze e l'interazione con gli ostacoli sulla strada, si evidenzia come il sistema di avviso avanzato della distrazione del conducente sarà in grado di utilizzare sia un segnale di avviso visivo che un avviso acustico per informare prontamente il conducente in caso di comportamenti che attivino tale sistema. L'avviso visivo sarà posizionato in modo visibile sia di giorno che di notte, evitando possibili confusioni da parte del conducente. In condizioni normali, l'avviso visivo sarà fisso, ma diventerà lampeggiante in caso di imminente problematica.

L'avviso acustico, progettato per essere facilmente riconoscibile dal conducente, emetterà suoni in un range di frequenze compreso tra 200 e 8 000 Hz e con un'ampiezza variabile tra 50 e 90 dB, rispettando le specifiche del Regolamento Delegato (UE) 2023/2590 Della Commissione del 13 luglio 2023 [90]. È importante notare che il costruttore del veicolo ha la possibilità di adeguare l'ampiezza

dell'avviso acustico in base al livello di rumore ambientale circostante. Questo assicurerà che l'avviso acustico sia udibile e distintivo, contribuendo così a garantire la sicurezza del conducente.

L'obiettivo finale è rendere l'interfaccia intuitiva e facilmente comprensibile, in modo che il conducente possa prendere decisioni migliori sulla base delle informazioni a sua disposizione e reagire prontamente a situazioni complesse, contribuendo ad una guida autonoma più sicura ed efficiente, promuovendo una migliore comunicazione tra veicoli e migliorando complessivamente l'esperienza di guida, con la speranza che questo progetto possa influenzare positivamente il futuro della mobilità automatizzata.

## 4.2 Vehicle to Vehicle

Le interfacce Vehicle-to-Vehicle (V2V) rappresentano una componente cruciale nella trasformazione del settore automobilistico verso un ecosistema più sicuro e connesso. Queste tecnologie sfruttano la comunicazione wireless, in particolare il Wi-Fi dedicato (802.11p), per consentire uno scambio diretto di informazioni tra veicoli nelle vicinanze. L'obiettivo principale delle interfacce V2V è migliorare la sicurezza stradale, trasformando i veicoli in nodi comunicanti in grado di condividere dati critici sulla dinamica di guida.

Questi dati includono informazioni sulla velocità, sull'accelerazione e sulla posizione, permettendo ai veicoli di avvertire reciprocamente situazioni di emergenza o di pericolo imminente.

Al di là degli aspetti tecnici, le interfacce V2V sono una risposta tangibile alla crescente complessità del traffico stradale e alla necessità di mitigare il rischio di incidenti.

La loro implementazione contribuirebbe in modo significativo a ridurre gli incidenti stradali, migliorare la gestione del traffico e rendere più sicura l'esperienza di guida com-



Figura 61 - Comunicazione vehicle to vehicle

plessiva.

La questione della standardizzazione riveste un ruolo chiave, poiché la coerenza nei protocolli di comunicazione è essenziale per garantire un'interoperabilità efficace tra veicoli di diversi produttori.

In parallelo, occorre affrontare le sfide legate alla privacy e alla sicurezza dei dati scambiati, adottando misure robuste di crittografia e protezione.

L'integrazione delle interfacce V2V con altri sistemi avanzati di assistenza alla guida, come il controllo automatico della velocità e il mantenimento della corsia, rappresenta un passo verso una guida sempre più autonoma e sicura.

Questo sinergismo tra tecnologie non solo migliora la sicurezza, ma contribuisce anche a creare un ecosistema di mobilità più intelligente ed efficiente.



Figura 62 - Comunicazione vehicle to vehicle

## 4.3 Vehicle to X

Il concetto di **V2X**, ovvero **Vehicle-to-Everything**, abbraccia una vasta gamma di sistemi di comunicazione, compresi V2V (Vehicle-to-Vehicle), V2I (Vehicle-to-Infrastructure), V2P (Vehicle-to-Pedestrian), V2D (Vehicle-to-Device), V2G (Vehicle-to-Grid) e V2M (Vehicle-to-Motorist).

Fin dai primi tempi, le automobili sono state centri di comunicazione, da segnalazioni di guasti attraverso spie sul cruscotto a segnalazioni tra conducenti tramite fari e frecce. L'evoluzione tecnologica ha introdotto dispositivi connessi, sensori avanzati e sistemi di guida autonoma, ampliando gli scenari di comunicazione.

Ad esempio, l'implementazione di sistemi

V2X migliora la precisione del posizionamento GNSS (Global Navigation Satellite System) attraverso misurazioni V2X delle OnBoard Units (OBU) e delle Roadside Units (RSU) statiche. Questa tecnologia, supportata da algoritmi dead-reckoning, garantisce una geolocalizzazione affidabile anche in condizioni sfavorevoli [92].

I sistemi V2I potrebbero fornire suggerimenti sulla velocità ottimale per raggiungere un semaforo verde, contribuendo a ridurre consumi ed emissioni, e migliorando la produttività, soprattutto nei contesti di guida autonoma.

Gli standard, come l'IEEE 1609 per le comunicazioni veicolari, e le specifiche come la IEEE

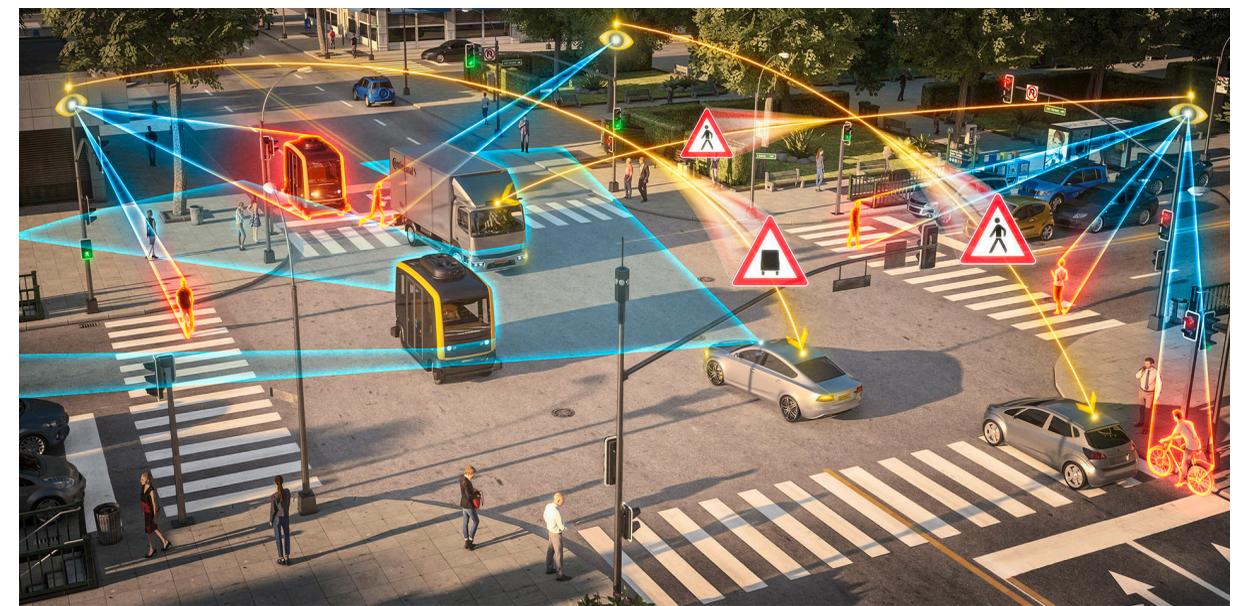


Figura 63 - Comunicazione vehicle to everything

802.11p DSRC, forniscono la base per la comunicazione V2X.

Il SAE J2945/1 stabilisce requisiti di sicurezza per le comunicazioni V2V, mentre il SAE J2735 definisce il Basic Safety Message (BSM), fondamentale per lo sviluppo di applicazioni e dispositivi intelligenti.

Prevedendo un aumento significativo nell'adozione di tecnologie DSRC e V2X, si stima che il 70% delle vetture vendute nel 2027 farà uso di tali soluzioni.

Soluzioni come i chipset V2X SECTON e CRATON2, sviluppati in collaborazione con Autotalks, offrono flessibilità e sicurezza, posizionandosi come opzioni all'avanguardia per i costruttori automobilistici.

## 4.4 Personas

La creazione delle personas si rivela essenziale nel contesto di un progetto focalizzato sui veicoli a guida autonoma, concentrandosi, in special modo, sulle interfacce utente dei dispositivi di visualizzazione di tali veicoli.

In questo contesto, la costruzione accurata delle personas è un pilastro fondamentale per plasmare un'esperienza coinvolgente in cui l'utente diventa il protagonista centrale.

L'elaborazione di queste personas è stata avviata mediante una ricerca approfondita, basata su aspetti fisici, psicologici e sociali dell'essere umano.

Tale indagine ha attinto da fonti quali pubblicazioni scientifiche, testi di psicologia e sociologia, e interviste a individui reali.

L'obiettivo principale è stato quello di creare profili il più possibile fedeli a individui reali, incorporando dati anagrafici, emozioni, paure e abitudini quotidiane.

Questo approccio consente di immaginare le personas come utenti ipotetici all'interno del progetto.

Nel dettaglio, sono stati ideati tre profili distinti, tenendo conto di variabili come età, sesso, impiego e abitudini.

Questa diversificazione mira a garantire che le interfacce concepite possa rispondere positivamente a un'ampia gamma di utenti, rispettando l'obiettivo del brief di rendere l'esperienza accessibile e unica per tutti i visitatori.

In questo modo, le personas non solo incarnano una rappresentazione delle caratteristiche umane, ma fungono anche da strumento strategico per adattare l'interfaccia utente alle molteplici esigenze e preferenze degli utilizzatori potenziali del sistema di guida autonoma.

# About

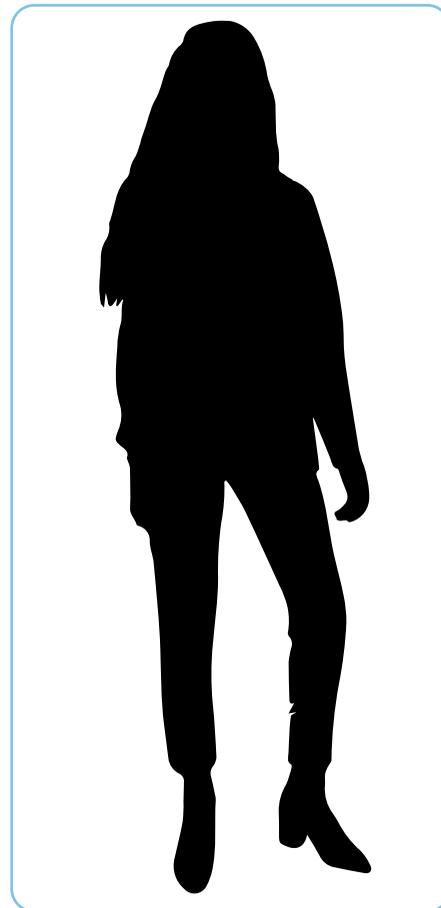
## Camilla

Camilla è una studentessa di medicina che vive con i genitori e la sorella in un appartamento nel centro di Torino. È una persona metodica, ordinata e indipendente. Ha una routine quotidiana fissa che a volte la annoia, a cui aggiunge il lavoro nelle ore serali del fine settimana. La sua quotidianità nei giorni infrasettimanali è scandita da ore di studio in vari punti della città, tra lezioni all'università e poco tempo dedicato a sé stessa e alla sua vita sociale.

Durante il giorno, quando non è all'università, predilige recarsi in biblioteca per studiare serenamente, dato che in casa condivide la stanza con la sorella e ognuna di loro ha un proprio spazio di lavoro.

Nonostante sia tendenzialmente una persona puntuale, certe volte fa fatica a gestire gli spostamenti poiché dovrebbe svolgere diverse attività contemporaneamente, per questo motivo le piace utilizzare veicoli a guida autonoma per spostarsi, ad esempio, dall'università alla biblioteca.

Specialmente la mattina, per riuscire ad essere a lezione in orario senza però trascurare l'aspetto estetico, ha la necessità di truccarsi in auto, cosa che non può fare in un classico veicolo a guida manuale.



# Camilla

## ABOUT

Età: 19 anni

Residenza: Torino

Occupazione: Studente lavoratore

## PERSONALITY



## DAILY ROUTINE

7 am • • 10 am • • 1 pm • • 3 pm • • 5 pm • • 8 pm • • 11 pm

Svegliarsi

Lezioni  
all'università

Pranzo a  
casa

Studiare in  
biblioteca

Lavorare in  
un pub

Torna a casa

## MOTIVATIONS

- Conciliare studio, lavoro e vita sociale
- Crescita personale
- Alta qualità di vita

## FRUSTRATIONS

- Dipendenza dalla famiglia
- Monotonia della routine quotidiana
- Condividere l'auto con la madre



# About

## Javier

Javier è uno studente spagnolo trasferitosi in Italia per l'Erasmus.

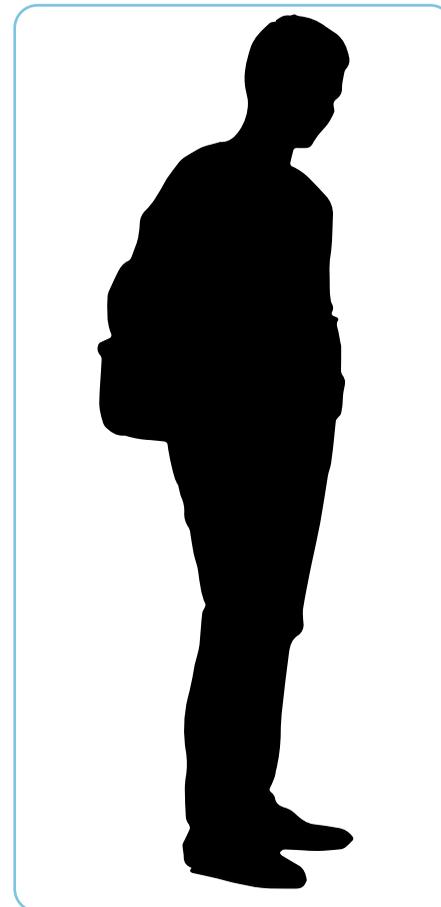
È una persona socievole, empatica e sempre attiva, che si impegna in molti tipi di attività diverse, lasciando spesso da parte lo studio.

Le sue giornate si alternano tra le lezioni, che lo impegnano per poche ore alla settimana, lo studio, gli allenamenti e le uscite con gli amici, la maggior parte dei quali ha conosciuto nella residenza universitaria in cui vive, in particolare con i ragazzi con cui condivide la stanza.

Per spostarsi in città, Javier predilige utilizzare veicoli a guida autonoma per diverse ragioni.

Il motivo principale è che ha un po' di paura a guidare in una città che non conosce molto bene, preferendo la semplicità dell'impostare la destinazione su un display e lasciando fare tutto al veicolo.

In secondo luogo, gli piace molto condividere il veicolo sia con i suoi amici che con degli sconosciuti, così da conoscere sempre nuove persone.



# Javier

## ABOUT

Età: 24 anni

Nazionalità: Spagnolo

Residenza: Torino

Impiego: Studente

Stato: Single

## PERSONALITY



## DAILY ROUTINE

8 am • • 10 am • • 1 pm • • 3 pm • • 5 pm • • 8 pm • • 11 pm

Lezioni  
all'università

Fare  
shopping

Pranzo in  
residenza

Studiare in  
biblioteca

Allenamento  
in palestra

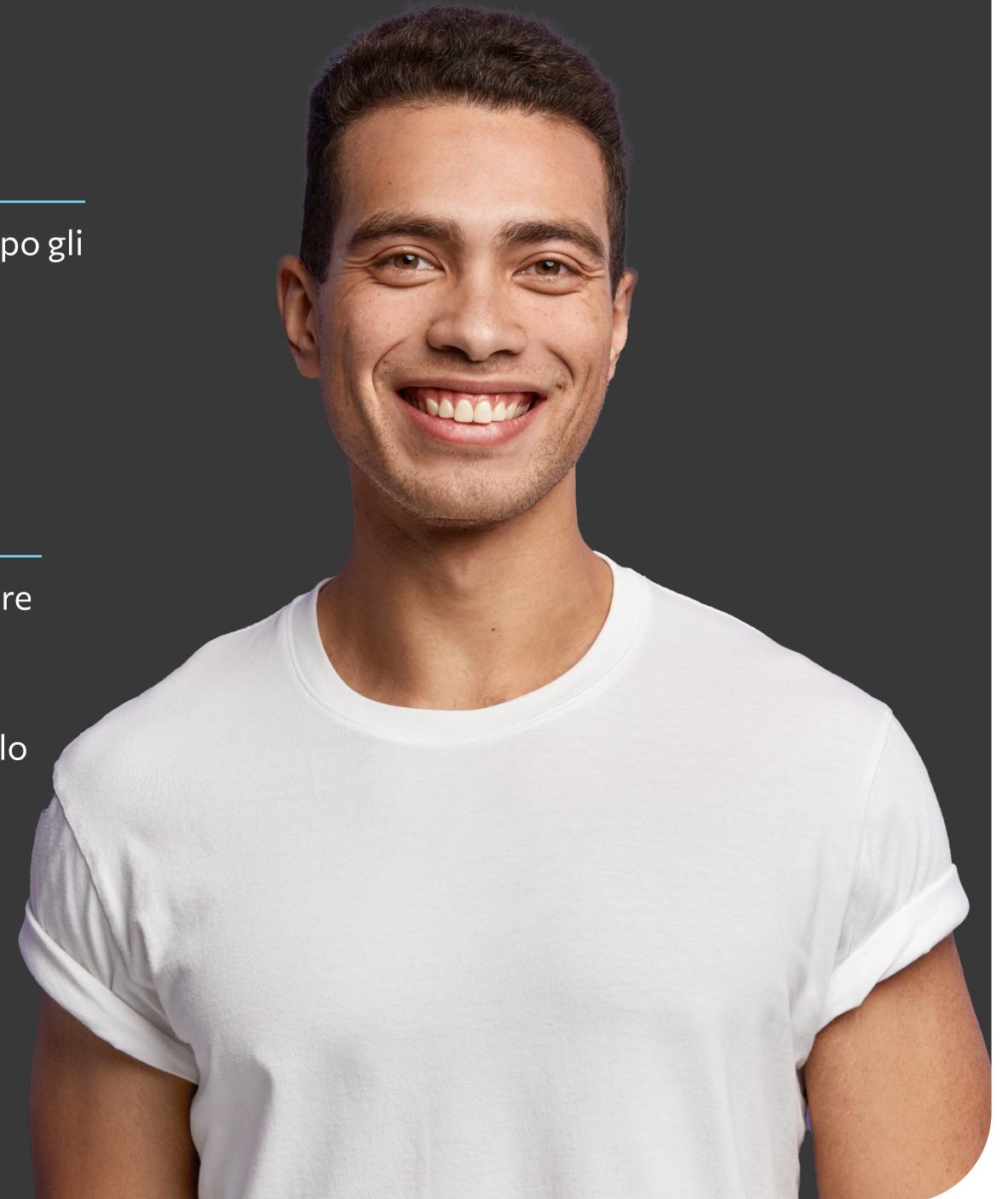
Cena fuori  
con gli amici

## MOTIVATIONS

- Trovare un lavoro e stabilirsi in Italia dopo gli studi
- Conoscere nuove persone e culture
- Viaggiare

## FRUSTRATIONS

- Condividere gli spazi quotidiani con altre persone
- Impossibilità di praticare un'attività sportiva a livello agonistico a causa dello studio
- Guidare in una città che non conosce



# About

## Fabio

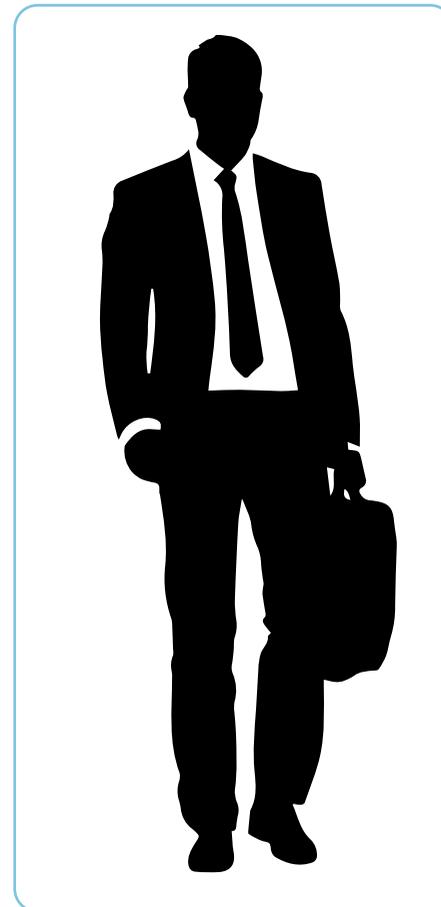
Fabio è un ingegnere libero professionista di Milano, il lavoro è di gran lunga l'attività che caratterizza la sua routine.

Anche se spesso è pesante e molto stressante, gli piace la vita che conduce, poiché ama il suo lavoro.

Infatti, non molto tempo dopo la laurea, ha deciso di mettere a frutto le sue competenze lavorando in proprio, ma recentemente si è trovato anche a collaborare in uno studio della sua città.

Le sue giornate passano veloci davanti al computer, sia che si tratti di quello dell'ufficio sia di quello personale che utilizza in casa per continuare a lavorare una volta rientrato nel monolocale in cui vive, uno spazio che inizialmente aveva destinato solo al lavoro, ma che poi è diventato anche un luogo in cui si rilassa leggendo il giornale.

Abitando a circa un'ora dall'ufficio, gli piace utilizzare veicoli a guida autonoma per guadagnare del tempo prezioso da dedicare al lavoro, così da essere più libero di rilassarsi durante la sera.



# Fabio

## ABOUT

Età: 45 anni

Nazionalità: Italiana

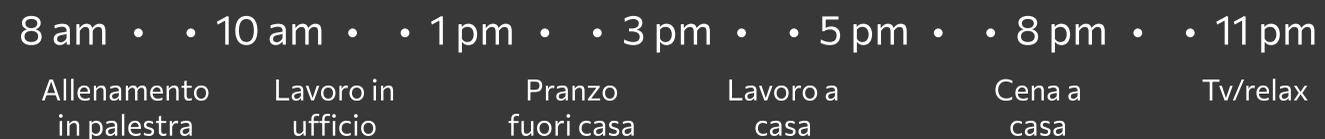
Residenza: Torino

Lavoro: Ingegnere libero professionista

## PERSONALITY



## DAILY ROUTINE



## MOTIVATIONS

- Successi aziendali
- Trovare più tempo per allenarsi in palestra
- Visitare più spesso la sua famiglia

## FRUSTRATIONS

- Fare la spesa e cucinare
- Lavorare nei fine settimana
- Guidare nel traffico



## 4.5 Journey map

Alla definizione delle tre personas è seguita la creazione della Journey Map [93].

La customer Journey map, o mappa del percorso del cliente, illustra in ordine cronologico l'interazione dell'utente con l'oggetto preso in esame, in questo caso, dai primi momenti in cui l'utente apprende dell'esistenza dei veicoli a guida autonoma fino al momento in cui esce dal veicolo dopo averlo utilizzato. Questo percorso è stato suddiviso in diverse tappe e successivamente trasformato in una rappresentazione visiva.

Per ogni tappa, sono state definite le azioni compiute dagli utenti, le emozioni provate, i punti di contatto (touch points) e i punti di difficoltà (pain points).

# 4.5 Journey map

	Scoperta					Prima			
	Primo contatto	Scoperta	Prova	Acquisto	Consegna	Registrazione	Apertura veicolo	Entrare nel veicolo	Personalizzazione
Attività	Attraverso i social, parlando con conoscenti	Informazioni sul veicolo o il sistema	Utilizzo del veicolo	Personalizzazione e acquisto del veicolo	Ritiro del veicolo	Inserimento informazioni personali	Apertura portiera	Entrare nel veicolo e allacciare le cinture	Regolazioni hardware e software
Touchpoints	Social media, media tradizionali, amici	Sito web o negozio	Negozio	Sito web o negozio	Negozio	Cellulare, Sito web	Chiavi, Maniglia	Veicolo, IA	Dashboard, IA, veicolo
Painpoints	Fake news, disinformazione	Dubbi sulla sicurezza	Paura della guida autonoma	Diffidenza nell'acquisto online	Ritardi nella consegna	Insicurezza sulla privacy	Problemi di ergonomia	Malfunzionamento dei servizi digitali	Malfunzionamento dei servizi digitali
Opportunità	Possibilità di raggiungere un ampio pubblico	Creazione di un servizio di informazione	Creare fiducia tramite i feedback di altri utenti	Diversi sistemi di pagamento	Facile da ritirare	Possibilità di avere un profilo personalizzato	Portiera facile da aprire	Migliore comfort	Migliore comfort e ambiente di guida personalizzato
Camilla	Interessante	Questo è il futuro				Così non troverò la macchina fredda		Wow, c'è una IA	Posso personalizzarla come piace a me
Javier	Figo	Wow, funziona bene				Bello, posso personalizzare l'auto dal telefono molto comoda		Posso interagire facilmente	
Fabio	Molto utile	È proprio quello che mi serve				Mi sembra una funzionalità molto comoda		Posso interagire facilmente	

		Durante				Dopo		
	Inserire destinazione	Partenza	Avviare navigazione autonoma	Attività non correlate	Arrivo	Parcheggio	Scendere dal veicolo	Chiudere le portiere
Attività	Digitare la destinazione	Guida	Fare click sul pulsante	Parlare, guardare video, fare chiamate, ascoltare musica, leggere, lavorare	L'utente riprende il controllo della guida e cerca un parcheggio	Parcheggio automatico	Togliete le cinture di sicurezza e scendete fuori dall'auto	Chiudere la portiera del veicolo
Touchpoints	HDD, IA, Cellulare	Pulsante di avvio	Tasto dedicato	Dashboard	Veicolo	Veicolo, IA, Dashboard	Veicolo	Chiavi, Cellulare
Painpoints	Le indicazioni non sono chiare	Problemi di feedback	Malfunzionamento del supporto digitale	Malfunzionamento del supporto digitale	Le indicazioni non sono chiare	Errori dei sensori	Problemi di ergonomia	Malfunzionamento tecnico
Opportunità	Indicazioni stradali chiare, mostra posizione esatta	Funzioni intuitive	Costruzione di un ambiente rassicurante	Creare infografiche per renderle più intuitive e veloci	Funzioni intuitive	Calma e sensazione rassicurante	Comode azioni di uscita	Facile chiusura della porta
Camilla		Finalmente inizio a usarlo	Non devo più guidare	Ora chiamerò mia sorella		Non devo nemmeno più pensare al parcheggio	Questo è il futuro	
Javier		Speriamo che funzioni bene	Wow, funziona davvero	Guarderò un film			Finalmente mi sento rilassato dopo un guida	
Fabio		Forza, proviamo	Vediamo se può essere davvero utile per me	Invierò alcuni feedback ai miei colleghi			Non vedo l'ora di partire per il prossimo viaggio di lavoro	Ho speso bene i miei soldi

## 4.6 Casi studio

In questo paragrafo, esploreremo una variegata selezione di casi studio, accuratamente scelti tra i veicoli autonomi attualmente disponibili sul mercato e concept innovativi in fase di sviluppo.

L'analisi si concentrerà su diversi aspetti chiave, tra cui il grado di autonomia di guida raggiunto da ciascun veicolo o concept, l'efficacia dell'interfaccia e la sua interazione con l'utente, l'estetica visiva che caratterizza il loro design dando inoltre un rapido sguardo all'applicazione e l'efficienza dell'intelligenza artificiale integrata.

Ogni caso studio sarà esaminato in modo approfondito, consentendo una comprensione dettagliata delle peculiarità e delle prestazioni di ciascun veicolo o concept in esame.

# Audi



Modello	Anno	Autonomia
<b>Q6 E-tron</b>	<b>2022</b>	<b>Livello 3</b>

## Trust

- Avvisi sonori per informare il conducente.
- Sezione blu lampeggiante dello schermo per segnalare informazioni importanti.
- Indicatore del limite di velocità.

## Caratteristiche

### Colori



### Linguaggio visivo

Dashboard 3D  
Display secondario: Icone  
2D, 3D

## Interazioni

Dotato di intelligenza artificiale di base, con anche funzionalità vocali; fornisce feedback attraverso brevi segnali sonori.

Interazione tattile tramite tablet (display secondario) posizionato lateralmente.

## Informazioni generali

Propulsione: Elettrica  
Autonomia: 510 km  
Categoria: SUV  
Display principale: Un ampio display che mostra le principali funzioni del sistema Multimediale.  
Display secondario: Utilizzato per il controllo dell'auto e per le funzioni multimediali.

# Chrysler



Modello	Anno	Autonomia
<b>Portal</b>	<b>2021</b>	<b>Livello 4</b>

## Trust

In luogo degli specchi tradizionali, sono presenti telecamere panoramiche a 360°, con l'output visualizzato su schermo.

## Caratteristiche

000000  
EE4346

## Linguaggio visivo

Icone 2D/3D

## Interazioni

Assistente vocale non dedicato (senza IA)  
Riconoscimento del volto e impostazione del profilo in base all'utente che utilizza l'auto (preferenze musicali, illuminazione ambientale, temperatura)

## Informazioni generali

Sistema di propulsione: Elettrico  
Autonomia: 402 km  
Categoria: Veicolo per famiglie numerose  
Display principale: Ampio display suddiviso in due sezioni che incorporano le principali funzionalità del cockpit e del sistema multimediale.

# Peugeot



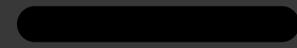
Modello	Anno	Autonomia
<b>Instinct</b>	<b>2017</b>	<b>Livello 4</b>

## Trust

- Prospettiva tridimensionale del veicolo
- Indicatore luminoso per la funzione di guida autonoma sul volante
- Sistema di allarme per gli ostacoli.

## Caratteristiche

### Colori

	5FAD7F
	000002
	2D8BC2

### Linguaggio visivo

Icone 2D/3D  
Luci LED

## Interazioni

Pannello strumenti esteso con touchscreen posizionato accanto al conducente. Funzionalità di controllo vocale basate sull'intelligenza artificiale. Volante con comandi globali dell'automobile. Controllo mediante tocco tramite un dispositivo posizionato lateralmente rispetto al conducente.

## Informazioni generali

Informazioni generali  
Propulsione: Elettrica  
Categoria: Media compatta  
Display principale: Display ampio che visualizza la mappa e altre informazioni multimediali.  
Display secondario: Schermo olografico per visualizzare informazioni sulla mappa e dati generali del veicolo.

# Tesla



Modello	Anno	Autonomia
<b>X</b>	<b>2021</b>	<b>Livello 2</b>

## Trust

- Avvisi sonori per informare il conducente.
- Sezione blu lampeggiante dello schermo per segnalare informazioni importanti.
- Icona rossa se l'intervento umano è richiesto.
- Indicatore del limite di velocità.
- Possibilità di selezionare la distanza desiderata dall'auto precedente.
- Simbolo per indicare l'attivazione della guida autonoma.
- Vista tridimensionale di ciò che accade nell'ambiente circostante.

## Caratteristiche

### Colori



### Linguaggio visivo

Dashboard 3D  
Display secondario: Icone 2D, 3D

## Interazioni

Dotato di intelligenza artificiale di base, ma privo di funzionalità vocali; fornisce feedback attraverso brevi segnali sonori.  
L'attivazione avviene tramite un pulsante.  
Interazione tattile tramite tablet (display secondario) posizionato lateralmente.

## Informazioni generali

Propulsione: Elettrica  
Autonomia: 536 km  
Categoria: SUV  
Display principale: Un ampio display suddiviso in due parti che riflettono le principali funzioni del Cockpit e del sistema Multimediale.  
Display secondario: Utilizzato per il controllo dell'auto e per le funzioni multimediali.

# 4.7 Moodboard



## 4.8 Processo

Nel contesto sempre più pervasivo delle tecnologie digitali, la progettazione dell'interfaccia riveste un ruolo cruciale nella definizione dell'esperienza dell'utente.

In particolare, il tema che emerge come fulcro di questa progettazione è il rapporto tra il veicolo e gli altri veicoli su strada e, in generale, tra il veicolo e tutto ciò che lo circonda, senza però trascurare aspetti cruciali come la fiducia (trust) dell'utente nei confronti dell'auto.

La fiducia rappresenta un elemento cardine nell'interazione tra utente e sistema, influenzando direttamente il grado di accettazione, utilizzo e soddisfazione dell'utente nei confronti dell'interfaccia.

Questo concetto assume un'importanza crescente in un panorama in cui la tecnologia permea sempre più sfaccettature della vita quotidiana, spingendo, dunque, alla progettazione di un'interfaccia che superi i confini tradizionali della semplice usabilità per abbracciare una dimensione più ampia, basata sulla costruzione e mantenimento della fiducia dell'utente.

Ma quali informazioni dovrebbe fornire un'interfaccia di fiducia per creare un'esperienza di guida sicura e affidabile?

Un'interfaccia di fiducia per i veicoli autonomi dovrebbe fornire una serie di informazioni per creare un'esperienza di guida sicura e affidabile. Tra cui:

**1. Stato del veicolo:** L'interfaccia dovrebbe mostrare lo stato del veicolo, ad esempio se è in modalità autonoma o richiede l'intervento del conducente.

**2. Percorso pianificato:** L'interfaccia potrebbe mostrare il percorso pianificato dal veicolo, in modo che il conducente possa avere un'idea chiara di dove sta andando.

**3. Rilevamento degli ostacoli:** L'interfaccia potrebbe segnalare la presenza di ostacoli rilevati dal sistema di sensori del veicolo, in modo che il conducente sia consapevole dei potenziali pericoli lungo la strada.

**4. Livello di fiducia nel sistema:** L'interfaccia potrebbe fornire informazioni sul livello di fiducia del sistema di guida autonoma, ad esempio se è altamente affidabile o se richiede ancora l'intervento umano.

**5. Avvisi e notifiche:** L'interfaccia potrebbe fornire avvisi e notifiche importanti al conducente, ad esempio quando è necessario prendere il controllo del veicolo o quando si verificano situazioni di emergenza.

**6. Feedback sul comportamento del veicolo:** L'interfaccia potrebbe fornire feedback sul comportamento del veicolo, ad esempio se sta seguendo le regole della strada o se sta mantenendo una distanza di sicu-

rezza dagli altri veicoli.

Il progetto prevede la realizzazione di un sistema di Realtà Aumentata Heads-Up Display (AR-HUD) concepito per attirare l'attenzione del conducente su potenziali pericoli come veicoli o ostacoli, o per avvisarlo di un cambio nello stile di guida in relazione alla zona o al limite di velocità.

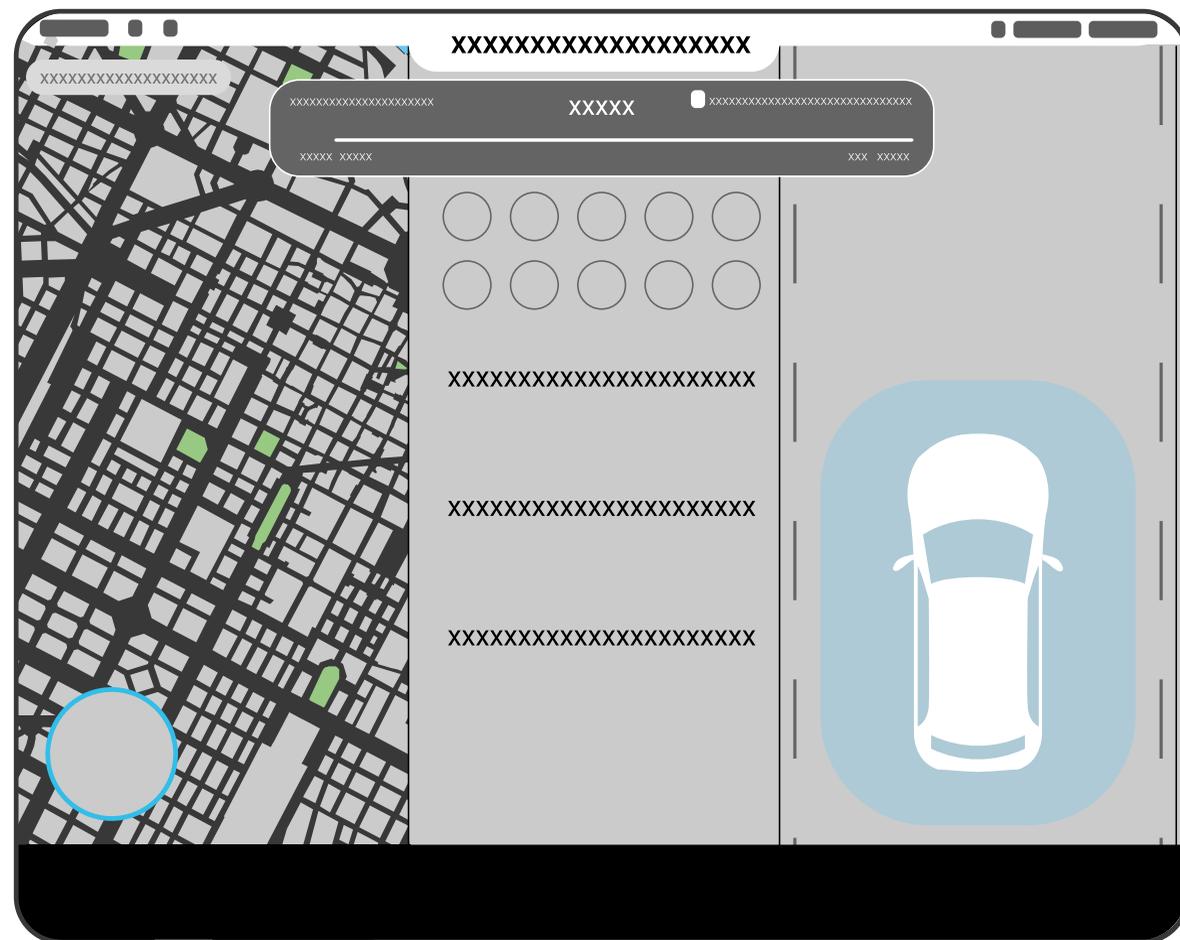
Questo sistema userà un'iconografia dedicata per comunicare al conducente la distanza dal soggetto in questione.

Gli elementi visibili sul parabrezza avranno funzioni specifiche: allontanandosi, l'icona sarà più piccola, mentre avvicinandosi si ingrandirà entro un certo intervallo.

Inoltre, il sistema mira a mettere in evidenza situazioni di pericolo, segnali di cambio di limite di velocità e segnaletica stradale dell'itinerario.

## 4.9 Prototipazione

### UX e Wireframe HDD: Guida autonoma



Durante la fase di guida autonoma, l'interfaccia del HDD è stata pensata per presentare gli elementi che seguono.

Sulla parte superiore della fascia sinistra, immediatamente al di sotto della top bar bianca, sarà presente la barra di impostazione della destinazione, seguita dall'itinerario con mappa con vista satellitare e, infine, da un elemento inerente alla velocità.

Più precisamente, mostrerà la velocità "live" del veicolo e il limite di velocità posizionato sulla circonferenza.

Inoltre, per incrementare la consapevolezza sulla velocità al momento della rilevazione, la cifra varierà colore a seconda della vicinanza al limite, passando dal verde ad un rosso acceso in caso di superamento del limite.

Per la stessa ragione, la velocità attuale sarà accompagnata da un elemento grafico mobile che, oltre a cambiare colore, cambierà anche dimensione a seconda della vicinanza al limite, avvicinandosi in caso di avvicinamento al limite e viceversa.

Per quanto riguarda la fascia centrale, sulla top bar bianca in alto sarà presente un avvi-

so che mostrerà la tipologia di guida, questo rimarrà sempre fisso e senza avviso sonoro, tranne in caso di cambio di modalità.

In generale, la parte superiore è dedicata all'itinerario che mostra i km percorsi in relazione a quelli totali del viaggio programmato, l'orario di partenza e quello di arrivo stimato e alle spie, disposte orizzontalmente, di elementi quali luci anabbaglianti, fendinebbia, abbaglianti, ricarica batteria, cinture allacciate, frecce direzionali, rilevamento ostacolo, rilevamento problema legato al veicolo, rilevamento problema legato alla batteria.

La parte centrale mostrerà messaggi di testo volti a fornire il maggior numero possibile di informazioni all'utente tra i quali lo stato del veicolo, avvisi e notifiche e feedback sul comportamento del veicolo o il grado di attenzione del conducente.

La fascia destra, come da concept, sarà dedicata al rapporto del veicolo con gli altri veicoli presenti su strada e, in generale, con l'ambiente circostante.

### Interazioni



Touch screen

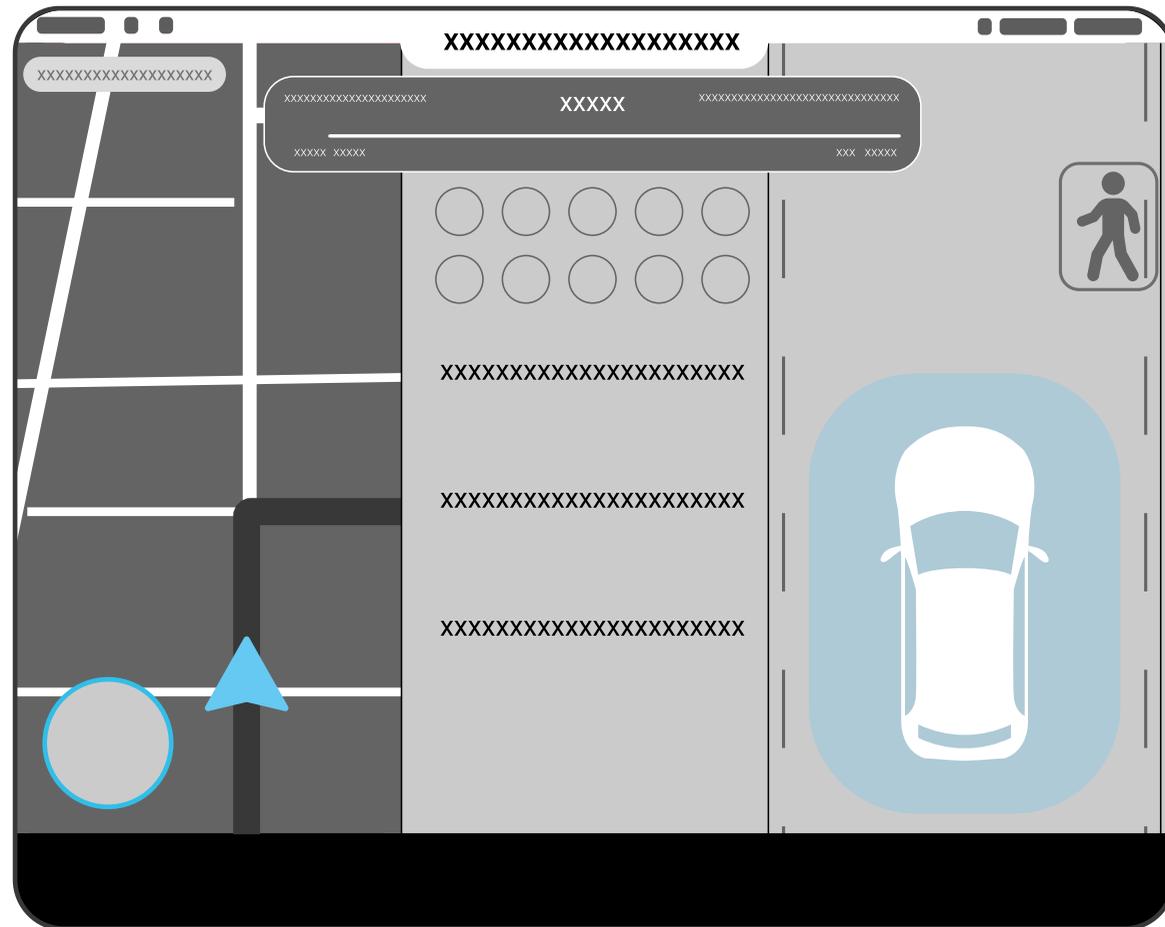


Voice control



Game pad

## UX e Wireframe HDD: Transitional



Durante la fase di transizione dalla guida autonoma a quella manuale, l'interfaccia del HDD è stata pensata per presentare gli elementi che seguono.

Sulla fascia sinistra l'itinerario passerà dalla visuale satellitare a quella "auto" e manterrà nella parte inferiore l'elemento inerente la velocità che è stato citato precedentemente.

Al centro, sulla top bar bianca in alto sarà presente un avviso che mostra la tipologia di guida.

In caso di cambio imminente di modalità, l'indicazione sarà lampeggiante e sarà accompagnato da un avviso sonoro (per un tempo definito dalla casa madre) fino al passaggio alla guida manuale.

In generale, la parte superiore è dedicata all'itinerario che mostra i km percorsi in relazione a quelli totali del viaggio programmato, l'orario di partenza e quello di arrivo stimato e alle spie, disposti orizzontalmente, di elementi quali luci anabbaglianti, fendinebbia, abbaglianti, ricarica batteria, cinture allacciate, frecce direzionali, rilevamento ostacolo, rilevamento problema legato al veicolo, rilevamento problema legato alla batteria.

La parte centrale mostrerà messaggi di te-

sto volti a fornire il maggior numero possibile di informazioni all'utente tra i quali lo stato del veicolo, avvisi e notifiche e feedback sul comportamento del veicolo o il grado di attenzione del conducente.

In caso di situazione ritenuta pericolosa, informazioni come lo stato del veicolo varieranno dimensione in base alla situazione, in questo caso l'avviso sarà accompagnato da un segnale uditivo in modo da ottenere una maggiore attenzione da parte dell'utente.

La fascia destra, come da concept, sarà dedicata al rapporto del veicolo con gli altri veicoli presenti su strada e, in generale, con l'ambiente circostante.

L'elemento su strada, una volta entrato nel raggio d'azione dei sensori, verrà contornato da una Bounding box, in questo modo il sistema farà capire all'utente di aver rilevato l'elemento e ottenendo come effetto un aumento del livello di fiducia nel veicolo.

Anche in questo caso, l'elemento rilevato sarà rappresentato con un colore variabile sulla base di dati come la distanza e la velocità dall'auto.

## Interazioni



Touch screen

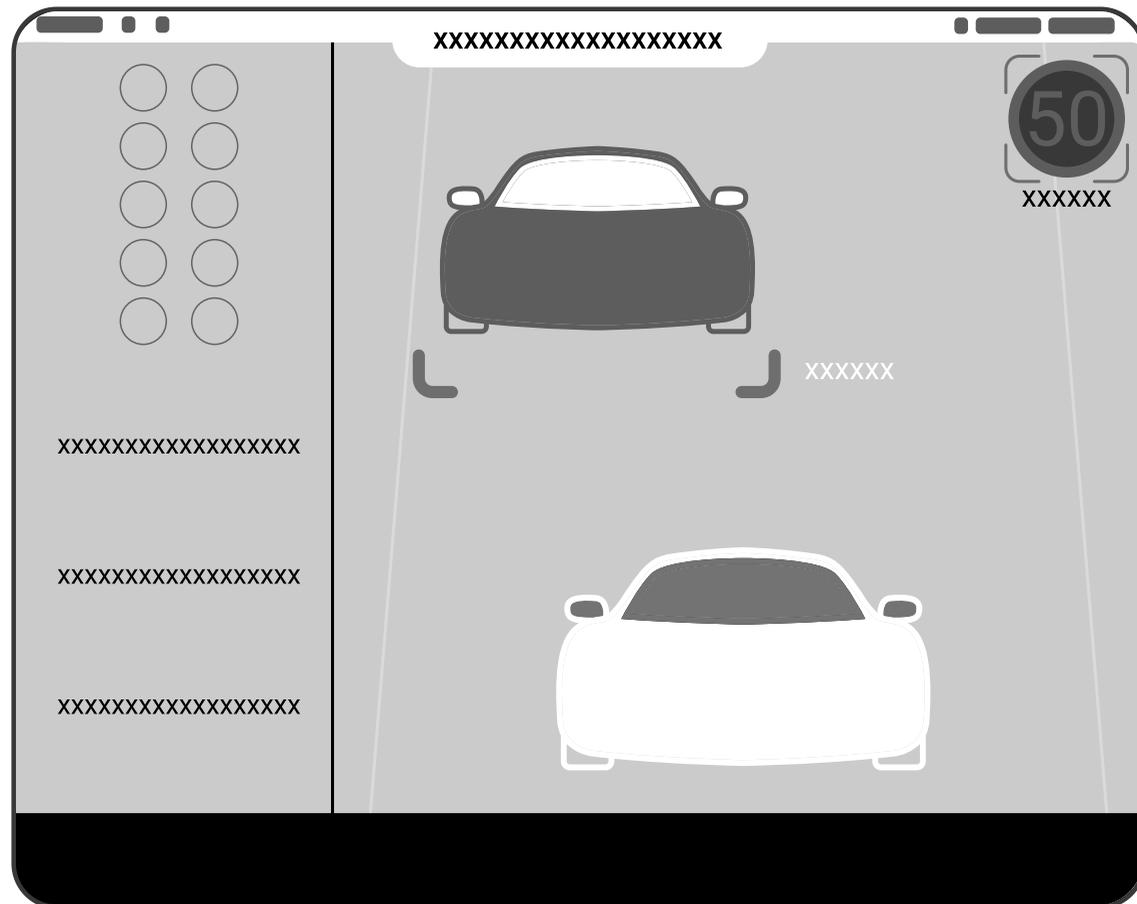


Voice control



Game pad

## UX e Wireframe HDD: Guida manuale e rapporto V2X



Durante la fase di guida manuale, l'interfaccia del HDD è stata pensata per presentare gli elementi che seguono.

La fascia sinistra sarà dedicata alle spie, disposte verticalmente, di elementi quali luci anabbaglianti, fendinebbia, abbaglianti, ricarica batteria, cinture allacciate, frecce direzionali, rilevamento ostacolo, rilevamento problema legato al veicolo, rilevamento problema legato alla batteria. E ai messaggi di testo tra i quali lo stato del veicolo, avvisi e notifiche e feedback sul comportamento del veicolo.

In questo caso, i due terzi del display manterranno il focus del concept del progetto, la visuale relativa al rapporto V2X sarà di dimensioni decisamente maggiori rispetto ai primi due casi presi in esame, in modo che con un rapido sguardo l'utente possa vedere ciò che sarà segnalato sull'HUD e dal segnale sonoro che avviserà in caso di ostacolo rilevato,

fornendo informazioni come, ad esempio, la distanza dall'ostacolo.

Nella parte inferiore, posta centralmente, sarà visibile la sagoma dell'auto, questa volta da una visuale posteriore.

L'elemento su strada, una volta entrato nel raggio d'azione dei sensori, verrà contornato da una Bounding box, in questo modo il sistema farà capire all'utente di aver rilevato l'elemento e ottenendo come effetto un aumento del livello di fiducia nel veicolo.

Anche in questo caso, l'elemento rilevato sarà rappresentato con un colore variabile sulla base di dati come la distanza e la velocità dall'auto.

## Interazioni



Touch screen

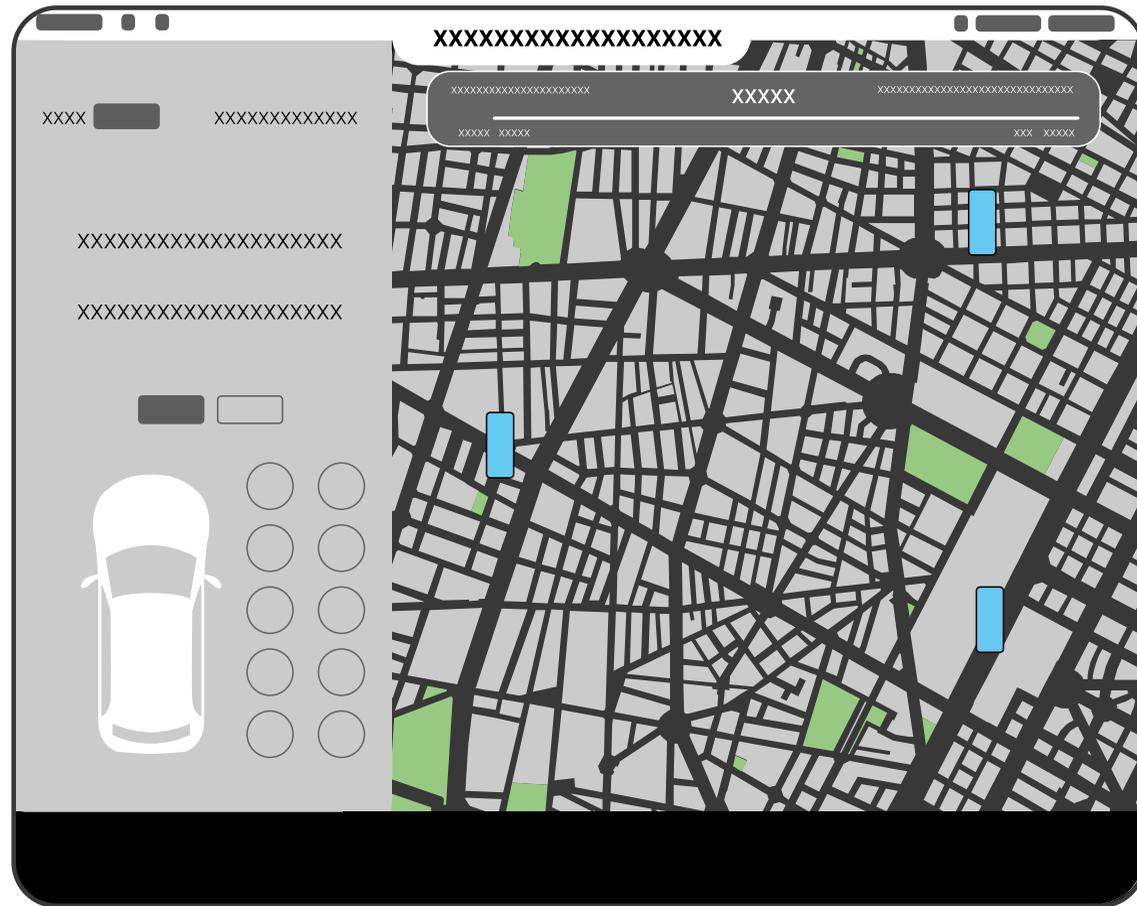


Voice control



Game pad

## UX e Wireframe HDD: Avviso batteria scarica



Questa interfaccia è stata progettata ipotizzando uno scenario in cui il veicolo avverte l'utente che la percentuale della batteria è scesa al di sotto di una certa soglia (pensata per il 50%).

Durante la fase di guida manuale, l'interfaccia mostrerà sulla fascia sinistra la percentuale della batteria in dimensioni decisamente maggiori rispetto alla top bar, accompagnata dall'autonomia residua del veicolo.

A seguire ci saranno dei messaggi di testo tra

i quali lo stato del veicolo, avvisi e notifiche e feedback sul comportamento del veicolo.

In questo caso, dopo aver richiamato l'attenzione dell'utente tramite avviso audio-visivo, l'IA chiederà automaticamente all'utente se desidera cambiare la destinazione verso la torretta di ricarica più vicina.

La modalità di interazione varierà a seconda della tipologia di guida, passando da un'interazione touchscreen in caso di guida autonoma, ad una interazione vocale in caso di

guida manuale.

A seguire è presente la sagoma con vista superiore del veicolo per segnalarne lo stato, accompagnata dalle spie, disposte verticalmente.

Sul lato destro è presente la mappa in visuale satellitare con l'itinerario del viaggio e, even-

tualmente, raffigurante anche i punti di ricarica più vicini.

Nella parte superiore della mappa è presente l'itinerario che mostra i km percorsi in relazione a quelli totali del viaggio programmato, l'orario di partenza e quello di arrivo stimato.



## Interazioni



Touch screen

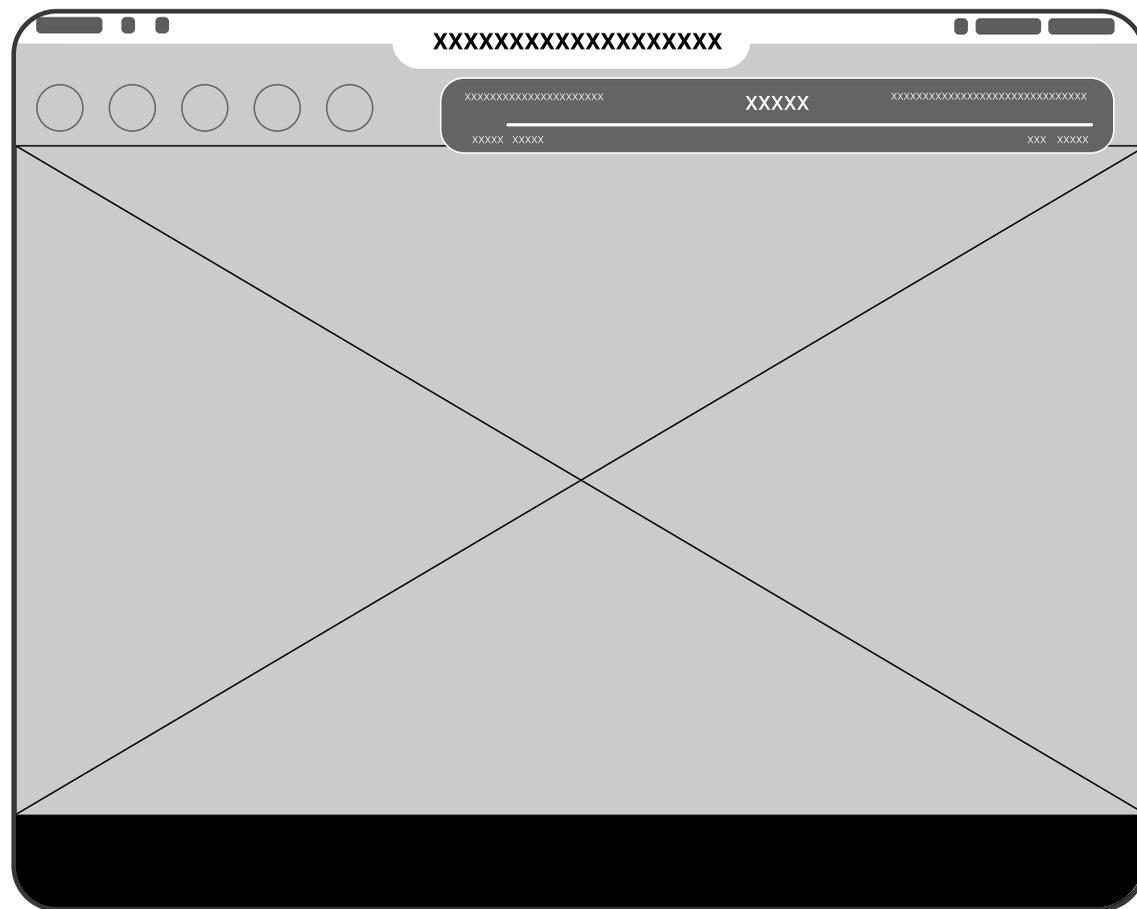


Voice control



Game pad

## UX e Wireframe HDD: Infotainment



Questa interfaccia è stata progettata ipotizzando uno scenario in cui l'utente, durante la guida autonoma, desidera impiegare l'HDD per il proprio intrattenimento, in questo caso la UX varierà leggermente in base all'app scelta.

L'unica costante sarà una top bar di colore scuro in cui saranno presenti elementi quali le spie che attestano lo stato del veicolo conforme, le frecce direzionali e spie di malfunzionamento del veicolo o pericolo rilevato, tutte poste sulla sinistra della top bar, mentre nella parte a destra della stessa sarà mostrato l'itinerario di viaggio, i km percorsi in relazione a quelli totali del viaggio programmato, l'orario di partenza e quello di arrivo stimato.

Tutto ciò è stato pensato in questo modo in modo da mantenere alcune tra le funzioni "classiche" di un'automobile.

Per completezza, sono stati ipotizzati tre differenti scenari, rispettivamente:

Uno in cui l'utente utilizzerà app legate a musica o podcast come, ad esempio, Spotify;

Uno in cui l'utente vorrà intrattenersi con la

visione di un video o film, in questo caso a parte la top bar scura l'intero display sarà occupato dalla fonte di intrattenimento, con opzioni quali pausa, play, shuffle ecc. che appariranno facendo tap sullo schermo attraverso un'interazione touchscreen.

L'ultimo scenario è legato ad una interfaccia di gioco in fase di guida autonoma.

In questo caso sono state progettate rispettivamente l'interfaccia di scelta del titolo che si desidera giocare e una seconda in cui si sta effettivamente giocando.

Anche in questo caso l'intera interfaccia è dedicata al videogame, per un'esperienza più immersiva.

### Interazioni



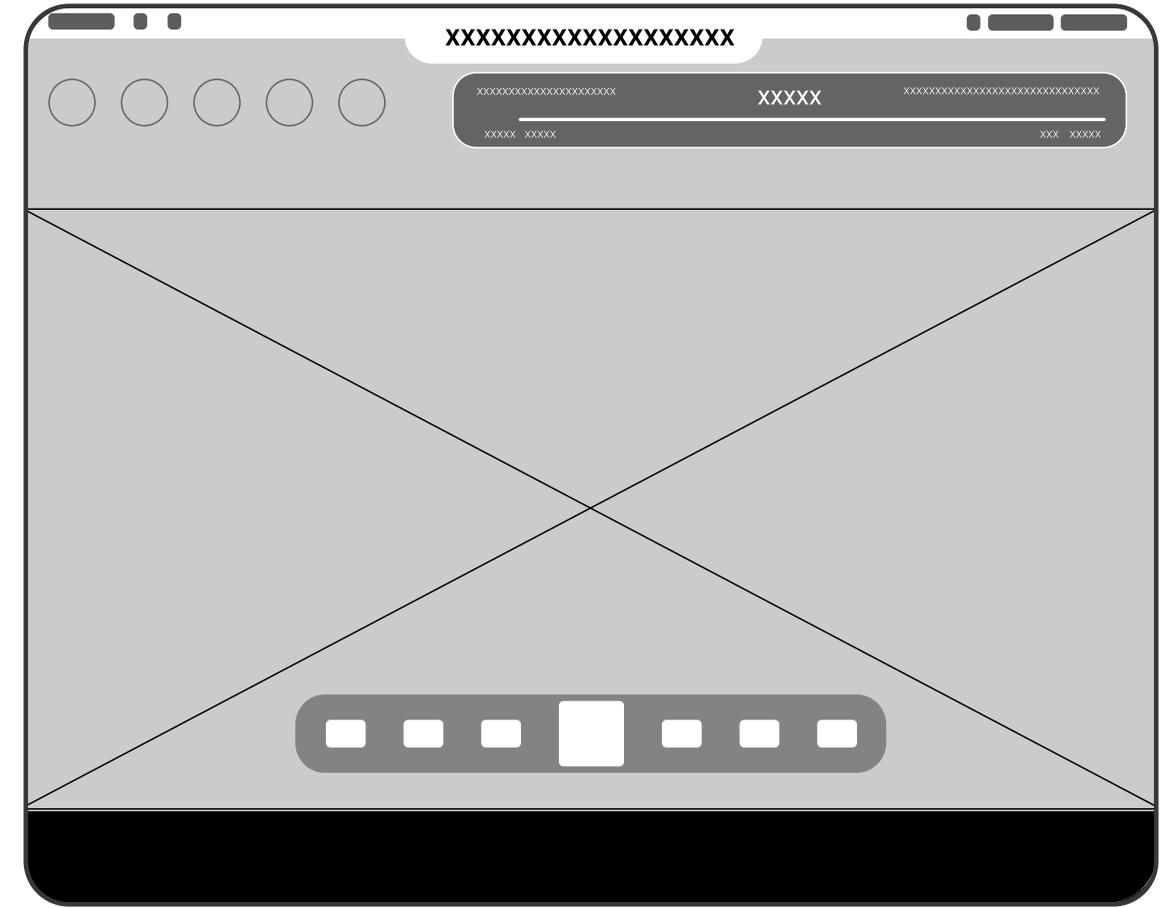
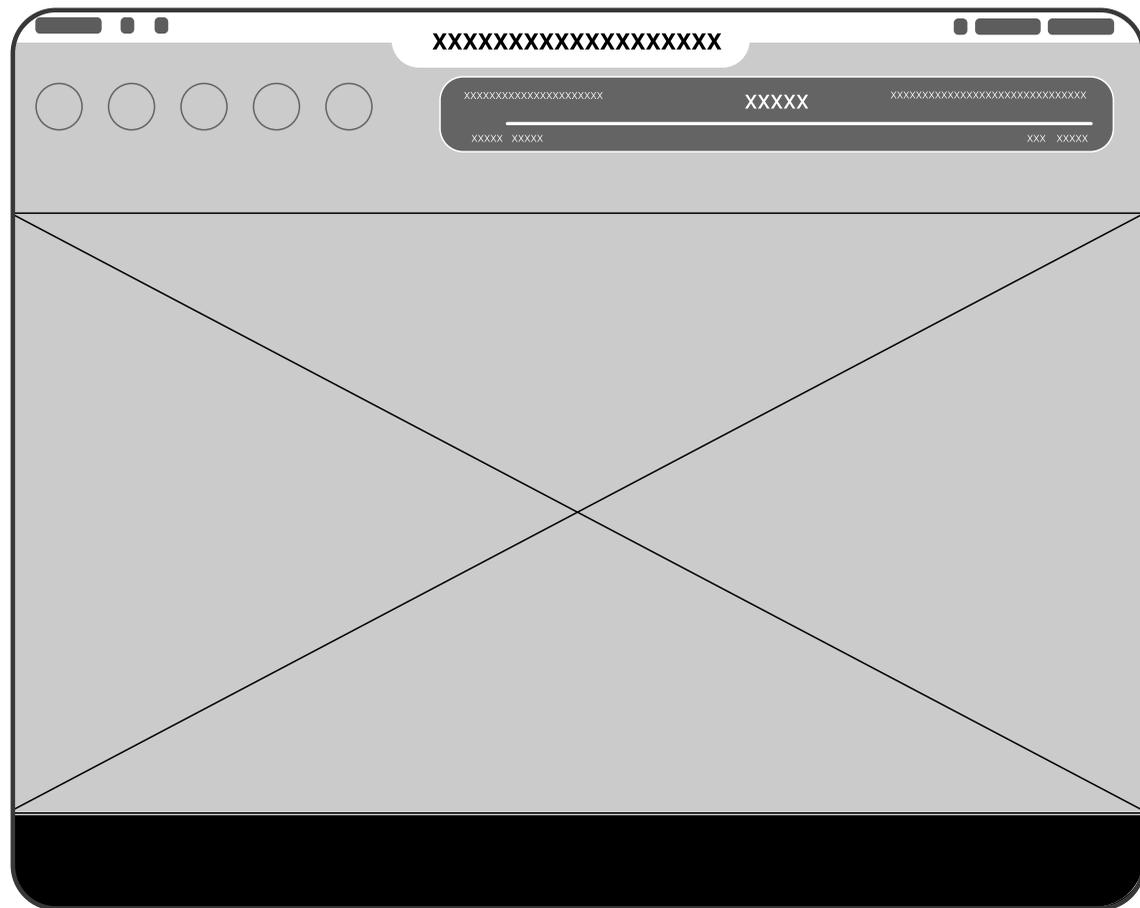
Touch screen



Voice control



Game pad



### Interazioni



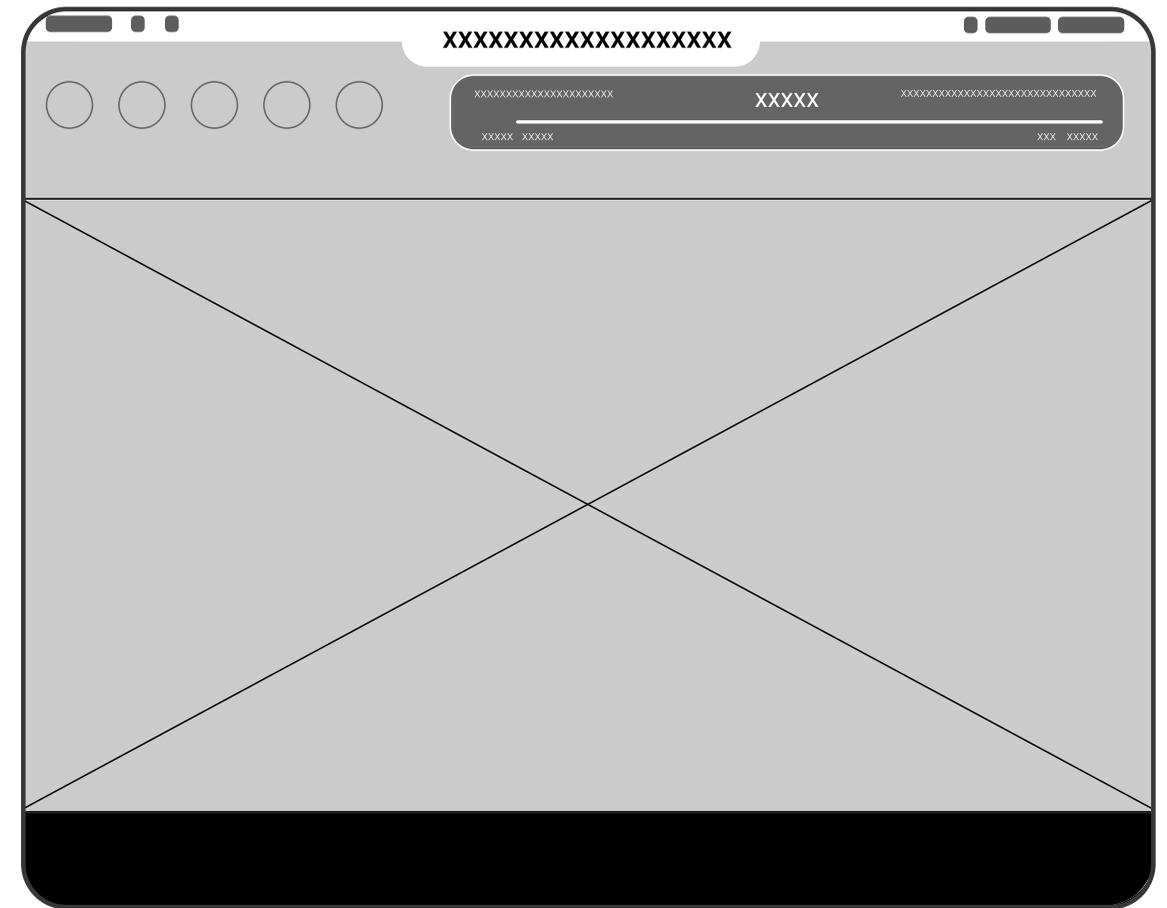
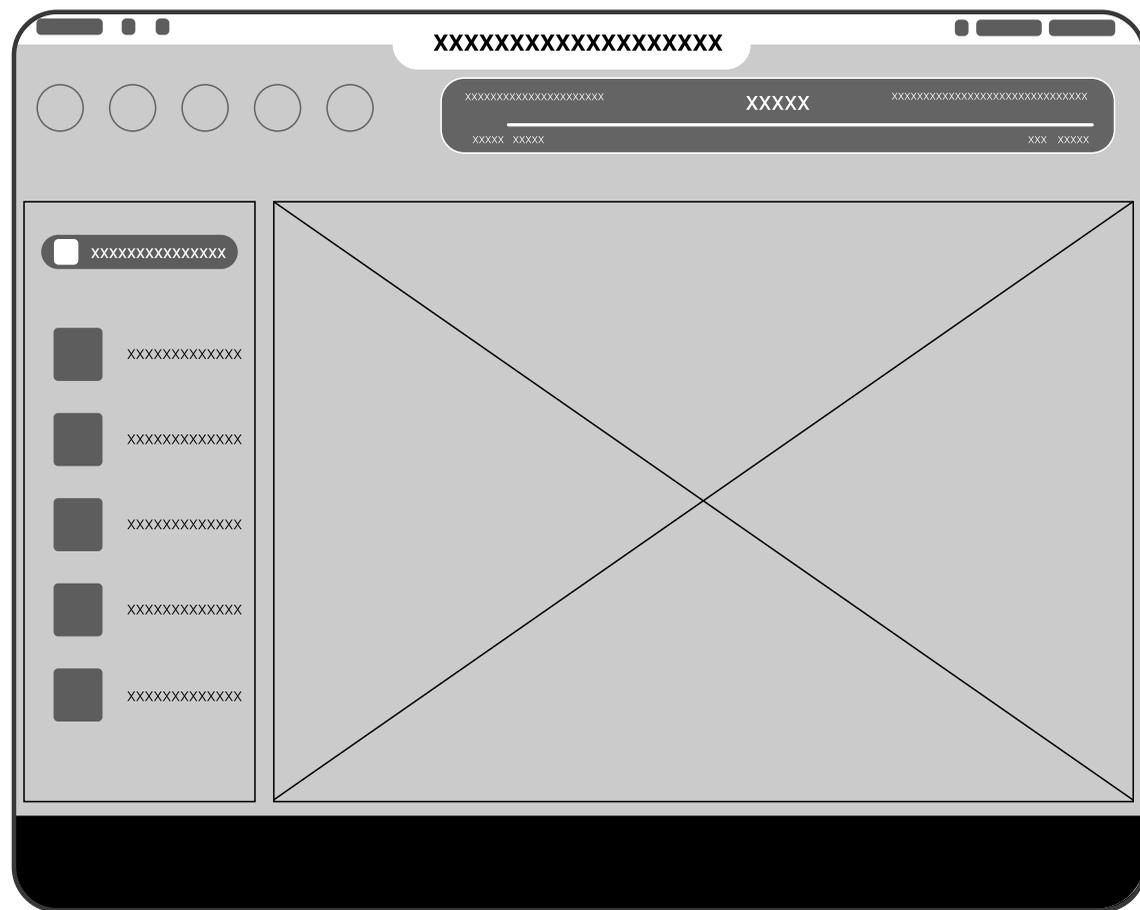
Touch screen



Voice control



Game pad



## Interazioni



Touch screen

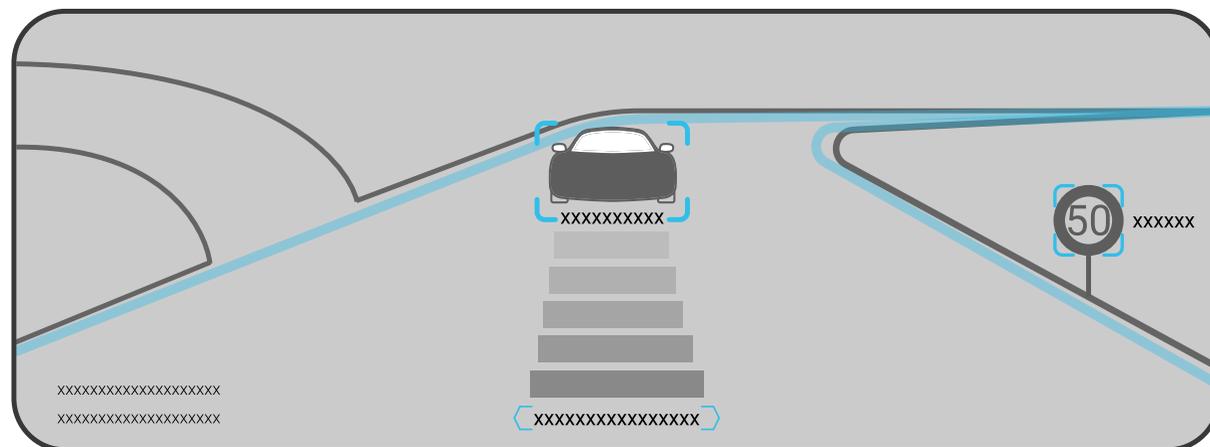


Voice control



Game pad

## UX e Wireframe HUD: Guida autonoma



Durante la fase di guida autonoma, l'Head-Up Display dovrebbe fornire poche e pertinenti informazioni per consentire al conducente (o agli occupanti) di comprendere lo stato del veicolo e del sistema di guida autonoma. In questa modalità, la quantità di informazioni darà certamente ridotta rispetto alla modalità di guida manuale, dato che il conducente non ne necessita ai fini di un migliore o più sicuro stile di guida.

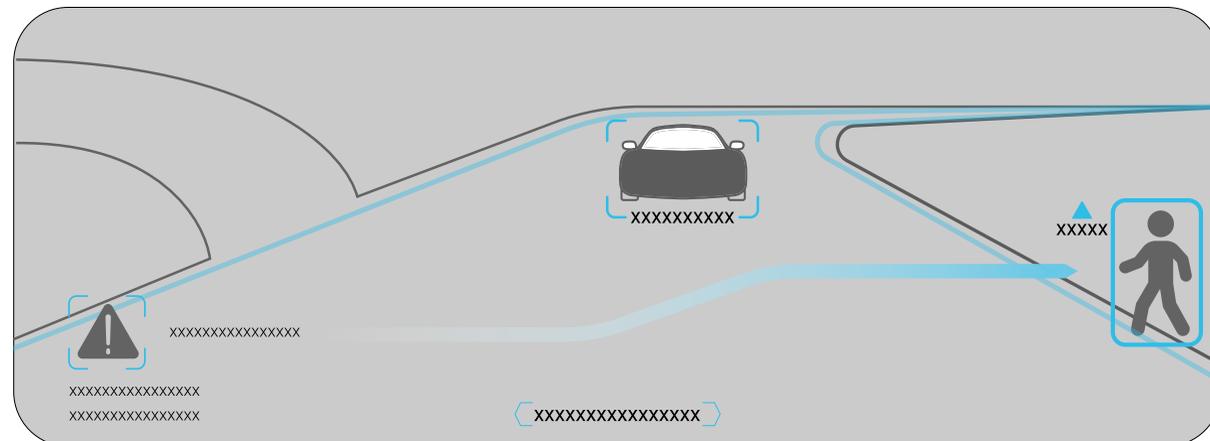
Indicare il percorso che il veicolo seguirà tramite delle guide direzionali posizionate in AR sulla strada può aiutare il conducente a comprendere il percorso seguito, aumentando il livello di fiducia tra uomo e macchina. A tal fine sono state inserite anche altre informazioni quali lo stato del sistema di guida autonoma per aumentare la consapevolezza del conducente.

Tutti gli elementi presenti su strada o sul bordo strada saranno contornati da una Bounding box affiancata da una nota in cui verrà indicata la distanza del veicolo dall'elemento, in questo modo il sistema farà capire all'utente di aver rilevato l'elemento e ottenendo come effetto un aumento del livello di fiducia nel veicolo.

Inoltre, il rapporto V2V sarà arricchito di un ulteriore elemento di visualizzazione volto a rendere più intuitiva l'interfaccia, delle bande orizzontali di dimensioni decrescenti e di colori differenti con opacità al 60%, adeguata affinché i dati siano visibili senza però ostruire la visibilità.

Lo scopo è quello di rappresentare la distanza tra il veicolo e ciò che si trova di fronte, con un breve messaggio testuale posto nella parte bassa al centro del parabrezza.

## UX e Wireframe HUD: Transitional



Quando il sistema di guida autonoma rileva la presenza di un ostacolo nelle immediate vicinanze dell'auto, con una distanza inferiore ai 150 metri, entra in azione una serie di avvisi proattivi per garantire la massima consapevolezza al conducente.

In particolare, il sistema evidenzierà immediatamente l'ostacolo individuato mediante l'utilizzo di una Bounding Box, che delinea chiaramente la sua posizione nell'ambiente circostante.

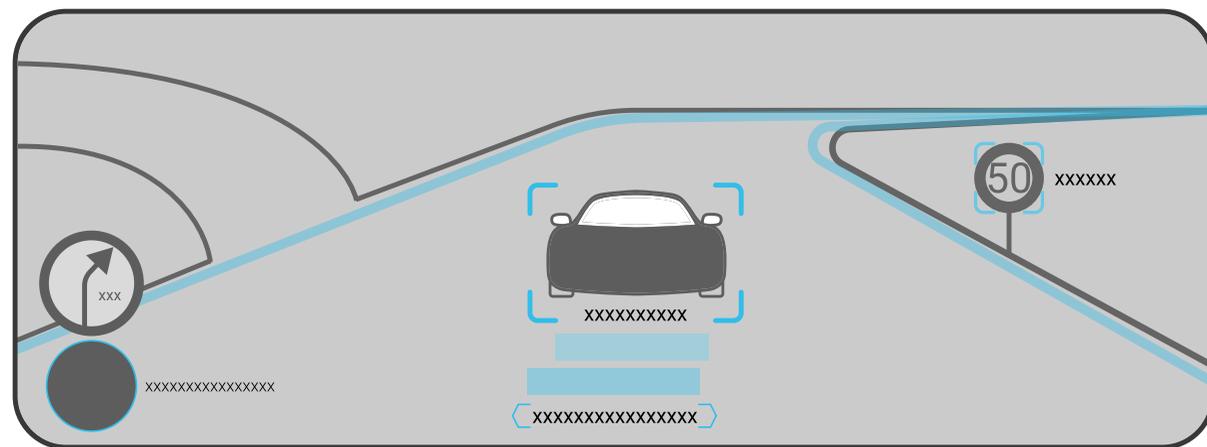
Questa Bounding Box sarà accompagnata da un'icona lampeggiante per attirare l'attenzione visiva del conducente e da suoni ripetuti con frequenza per fornire un avviso uditivo. Questo approccio mira a creare una percezione multi-sensoriale dell'ostacolo imminente, contribuendo a garantire che il conducente sia informato della situazione critica. È importante sottolineare che il sistema è

progettato in modo tale che la posizione specifica dell'ostacolo, che potrebbe trovarsi anche sulla destra del parabrezza, non diventi un ostacolo alla consapevolezza del conducente.

Al contrario, è progettato per attirare l'attenzione del conducente attraverso altri elementi visivi e sonori posti sul lato del guidatore, consentendo al conducente di prendere prontamente il controllo del veicolo.

Durante questa transizione verso la guida manuale, vengono eseguiti una serie di passaggi che forniscono al conducente il tempo necessario per intervenire in modo sicuro ed efficace. In questo modo, si cerca di garantire la massima sicurezza e reattività del conducente di fronte a situazioni di emergenza imminente.

## UX e Wireframe HUD: Guida manuale



Dopo aver effettuato la transizione alla guida manuale, l'interfaccia dell'Head-Up Display (HUD) si adatterà in modo dinamico per fornire al conducente informazioni rilevanti e utili durante la guida attiva. In particolare, la presenza delle Bounding Box sarà mantenuta per evidenziare gli elementi rilevati sulla strada o lungo il bordo strada, assicurando al conducente una chiara percezione dell'ambiente circostante.

In aggiunta, sul lato sinistro dell'HUD verranno integrate ulteriori informazioni per migliorare la navigazione e la consapevolezza del conducente.

Queste informazioni includeranno la prossima indicazione stradale con la distanza dalla svolta corrispondente. Queste indicazioni si affiancheranno alle guide direzionali posizionate in Realtà Aumentata (AR) sulla strada, offrendo al conducente un supporto visivo completo per la navigazione.

Un elemento chiave aggiuntivo sarà dedicato alla gestione della velocità. Sulla parte sinistra dell'HUD, verrà visualizzato il limite di ve-

locità attuale, garantendo al conducente una costante consapevolezza delle restrizioni di velocità sulla strada percorsa.

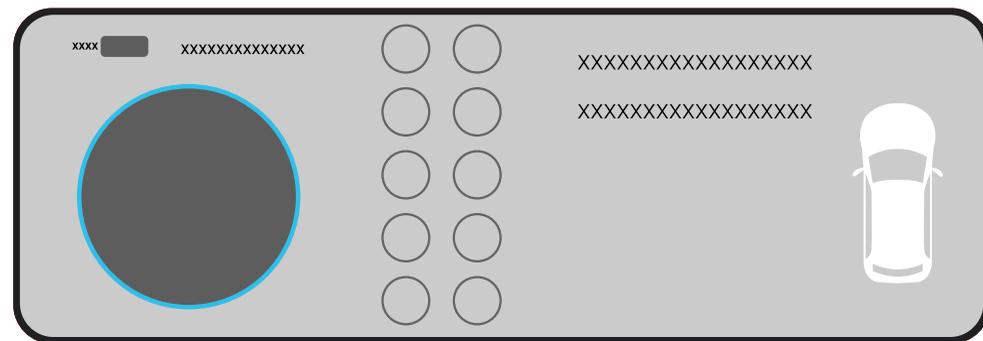
Allo stesso tempo, sarà indicata la velocità "live" del veicolo, evidenziando visivamente l'aderenza alle limitazioni di velocità. In particolare, la rappresentazione visiva della velocità "live" varierà di colore in base alla conformità al limite di velocità.

Un colore verde indicherà una guida nel rispetto dei limiti, mentre una transizione verso il rosso avverrà in caso di superamento del limite consentito.

Questo elemento dinamico influirà sull'approccio di guida del conducente, incoraggiando una maggiore aderenza ai limiti di velocità e contribuendo a promuovere una guida più sicura e responsabile.

In questo modo, l'HUD personalizzato fornisce al conducente informazioni chiare e immediate per migliorare l'esperienza di guida, con un'attenzione particolare alla sicurezza stradale.

## UX e Wireframe Dashboard: Guida autonoma o manuale



Sono state ipotizzate delle interfacce da inserire in una dashboard che sarà posizionata davanti al volante. Quest'ultima è stata progettata in modo da fornire il maggior numero di informazioni utili possibili seppur in uno spazio decisamente più contenuto rispetto al HDD. Più precisamente, ipotizzando uno scenario di guida autonoma o manuale priva di problemi, sono stati inseriti sulla sini-

stra elementi quali la percentuale di batteria, l'autonomia residua e l'elemento inerente la velocità. Spostando l'attenzione alla destra di tali elementi, saranno presenti le classiche icone disposte verticalmente, messaggi di testo tra i quali lo stato del veicolo, avvisi e notifiche e feedback sul comportamento del veicolo e, infine, ad essi legati sarà presente la sagoma con vista superiore del veicolo per segnalarne lo stato.

### Interazioni



Touch screen

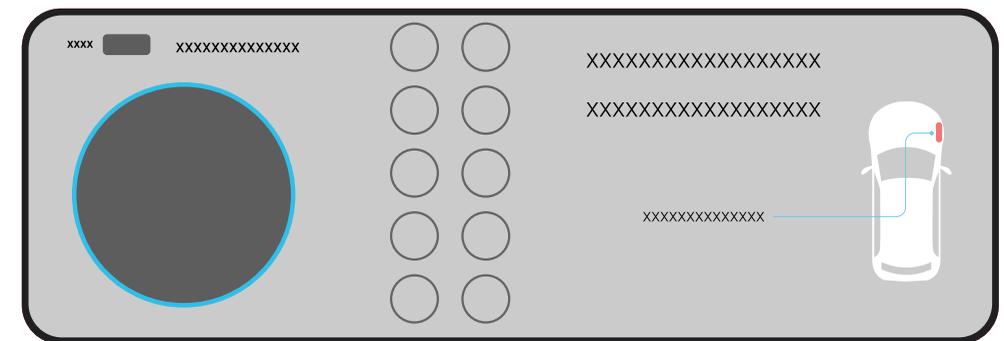


Voice control



Game pad

## UX e Wireframe Dashboard: Rilevamento problema



Ipotizzando uno scenario di guida autonoma in cui tuttavia il veicolo rileva un problema di stato, in questo caso identificato in un coperitone forato, segnalato sia testualmente sezione dei messaggi, sia graficamente sull'icona posta a destra della dashboard. Le parti relativamente a sinistra e centrale della dashboard mostreranno elementi quali

la percentuale di batteria, l'autonomia residua e l'elemento inerente alla velocità. Per poi trovare le classiche icone disposte verticalmente poste alla destra di tali elementi.

### Interazioni



Touch screen



Voice control



Game pad

## UX e Wireframe Dashboard: Transitional



Ipotizzando uno scenario di transizione dalla guida autonoma a quella manuale, è stata progettata una interfaccia che mostra pochi elementi chiave tra cui:

La percentuale di batteria, l'autonomia residua e l'elemento inerente la velocità posti sulla sinistra della dashboard;

Il segnale audio-visivo di rilevamento di un ostacolo caratterizzato da un colore rosso acceso e accompagnato da un breve messaggio di testo posto nella fascia centrale;

Un messaggio di testo che avverte l'utente dell'imminente cambio della tipologia di guida posto sulla destra.

### Interazioni



Touch screen

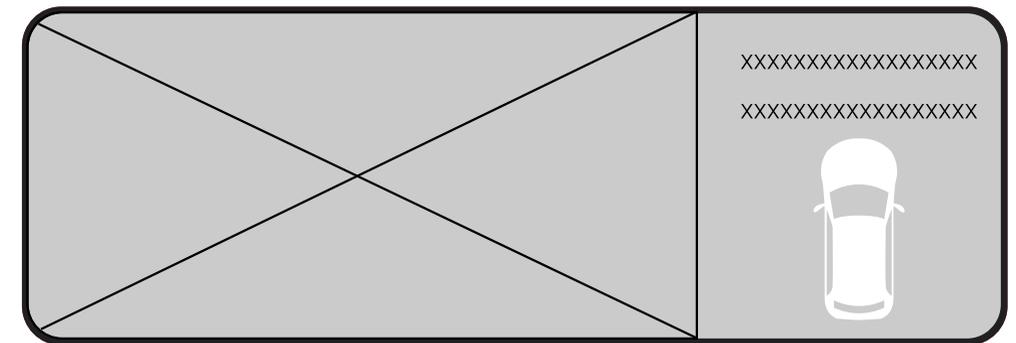


Voice control



Game pad

## UX e Wireframe Dashboard: Infotainment



Questa interfaccia è stata progettata ipotizzando uno scenario in cui l'utente, durante la guida autonoma, desidera impiegare la dashboard per il proprio intrattenimento, in questo caso la UX varierà leggermente in base all'app scelta.

L'unica costante sarà la fascia di destra che manterrà elementi quali messaggi di testo tra i quali lo stato del veicolo, avvisi e notifiche e feedback sul comportamento del veicolo e, infine, ad essi legati sarà presente la sagoma con vista superiore del veicolo per segnalarne lo stato.

Mentre la restante parte del display sarà impiegata per la fruizione di contenuti come video o fonti audio.

In caso di condivisione della fonte di intrat-

tenimento, l'audio verrà emesso dagli altoparlanti presenti in auto, per un'esperienza immersiva e avvolgente.

Invece, nel caso di fonti di intrattenimento differenti, come ad esempio Film sulla dashboard e Spotify sul display 2 (HDD), l'interazione del secondo (tipicamente il passeggero) avverrà tramite altoparlanti fortemente direzionali presenti sul poggiatesta del sedile, in questo modo l'esperienza a bordo sarà piacevole e senza disturbi di alcun tipo.

L'interazione avverrà tramite comandi vocali per, ad esempio, mettere in pausa la fonte di intrattenimento, interrompere la visione o spostarla dal Display 1 (Dashboard) al Display 2 (HDD).

### Interazioni



Touch screen

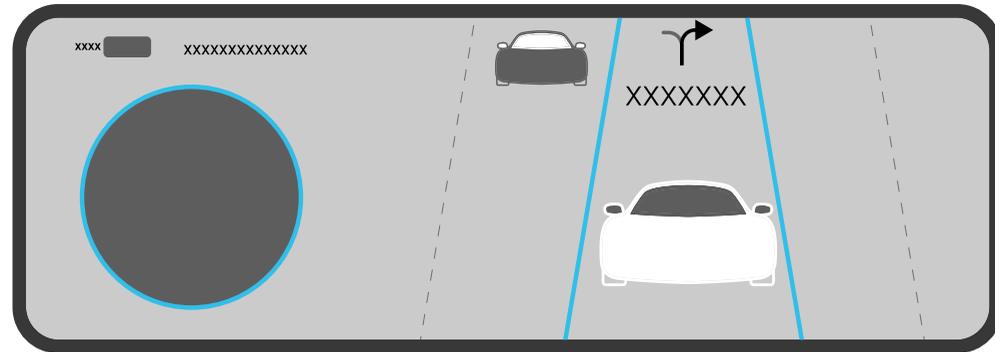


Voice control



Game pad

## UX e Wireframe Dashboard: Guida manuale e rapporto V2X



Ipotizzando uno scenario di guida manuale in cui l'utente desidera un focus sul rapporto V2X.

In questo caso, i due terzi del display manterranno il focus del concept del progetto, la visuale relativa al rapporto V2X sarà di dimensioni decisamente minori rispetto alle corrispettive posizionate sull'HDD seppur rimanendo efficaci in modo che con un rapido sguardo l'utente possa vedere ciò che sarà segnalato sull'HUD e dal segnale sonoro che avviserà in caso di ostacolo rilevato, fornendo informazioni come, ad esempio, la distanza dall'ostacolo.

L'elemento su strada, una volta entrato nel raggio d'azione dei sensori, verrà contornato da una Bounding box, in questo modo il sistema farà capire all'utente di aver rilevato l'elemento e ottenendo come effetto un aumento del livello di fiducia nel veicolo.

Anche in questo caso, l'elemento rilevato sarà rappresentato con un colore variabile sulla base di dati come la distanza e la velocità dall'auto.

Mentre sulla fascia sinistra saranno sempre presenti elementi quali la percentuale di batteria, l'autonomia residua e l'elemento inerente alla velocità.

### Interazioni



Touch screen

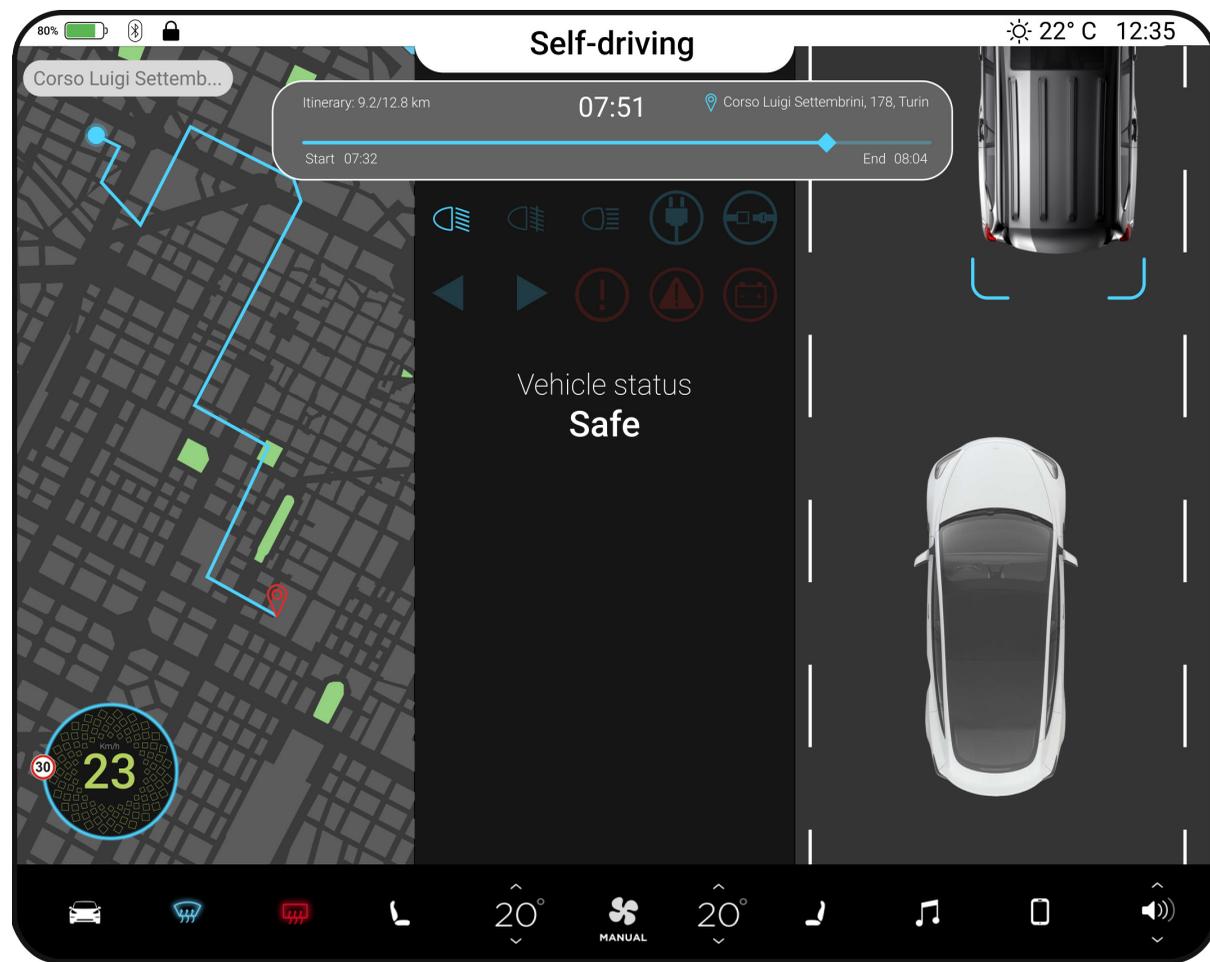


Voice control

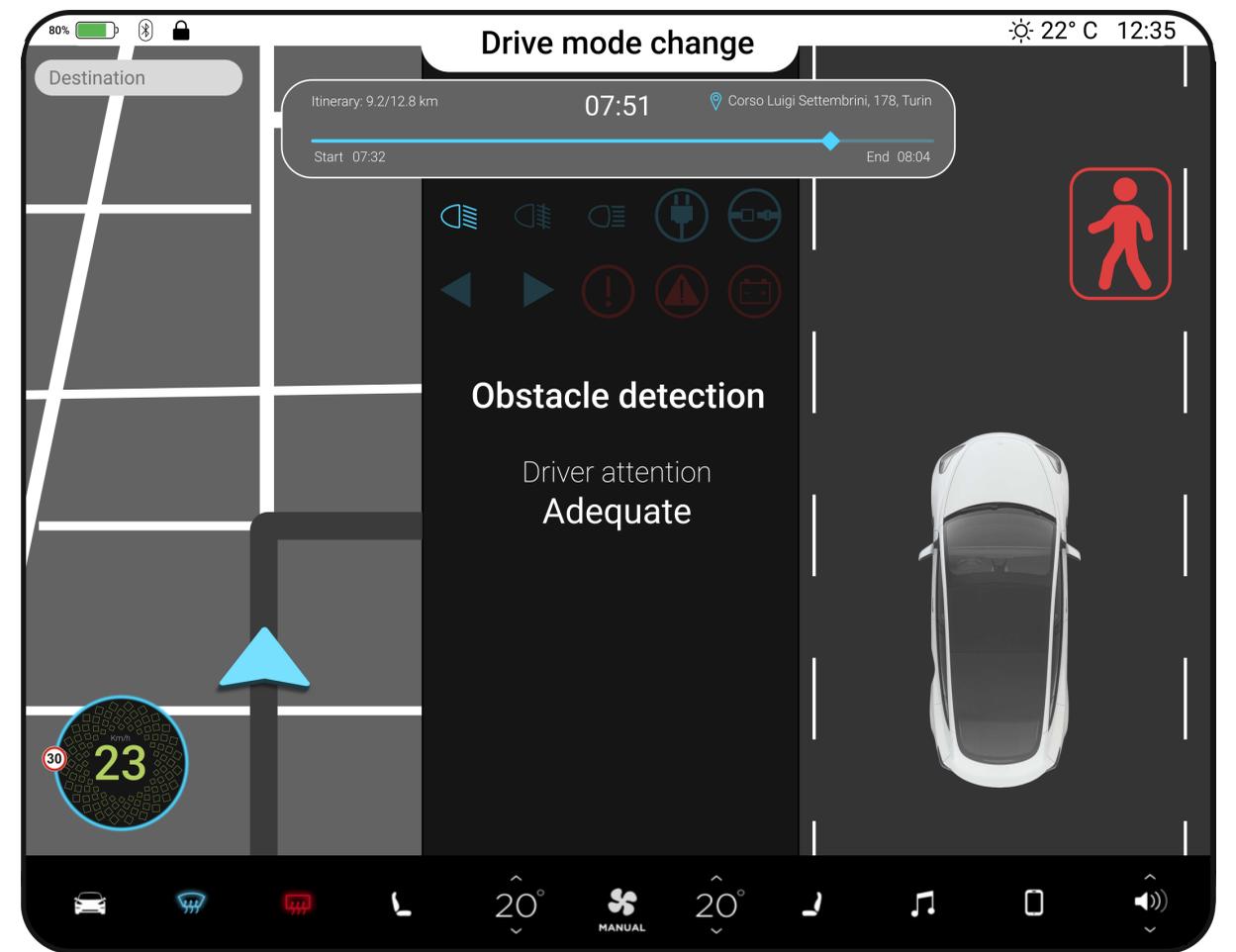


Game pad

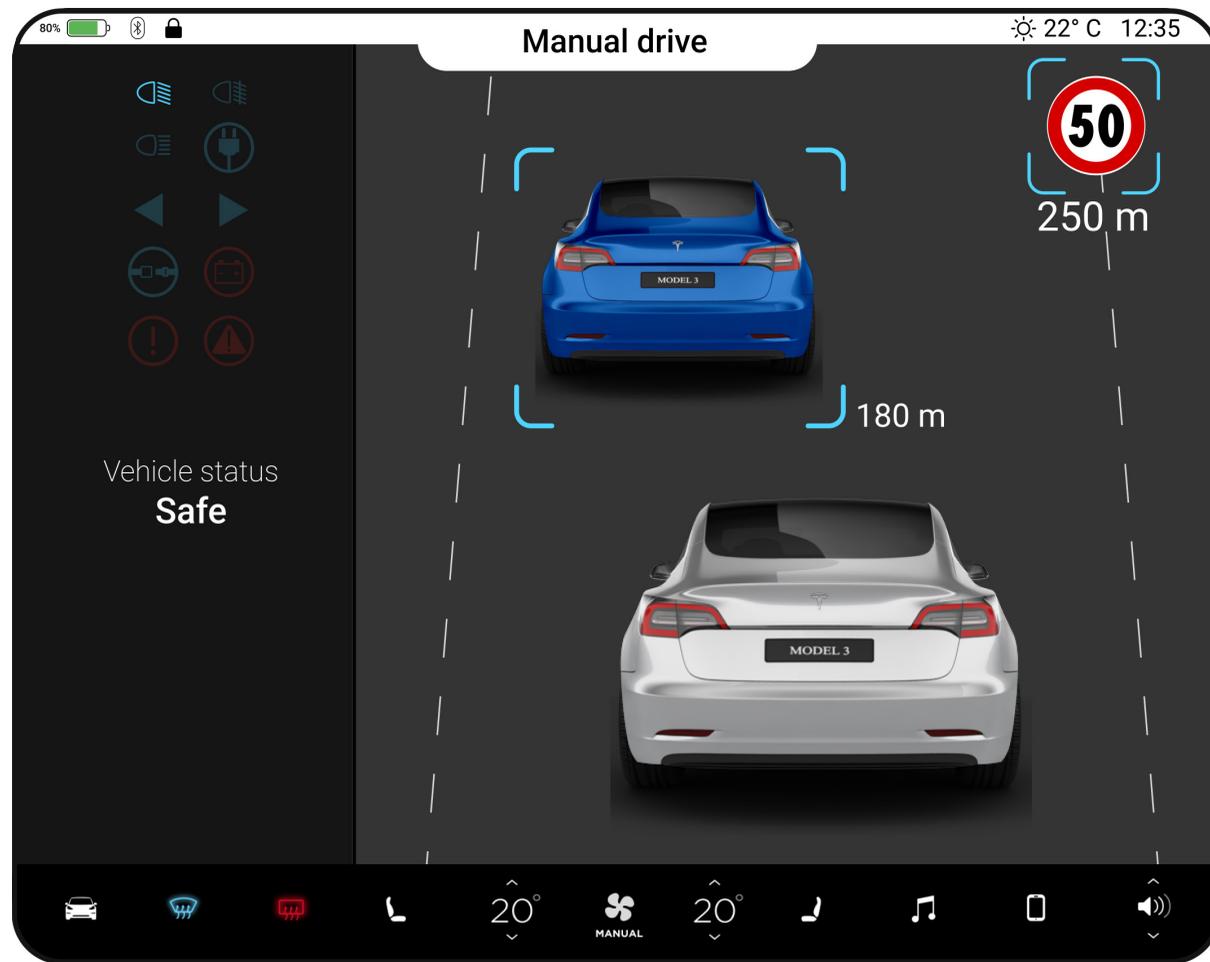
## UI HDD: Guida autonoma



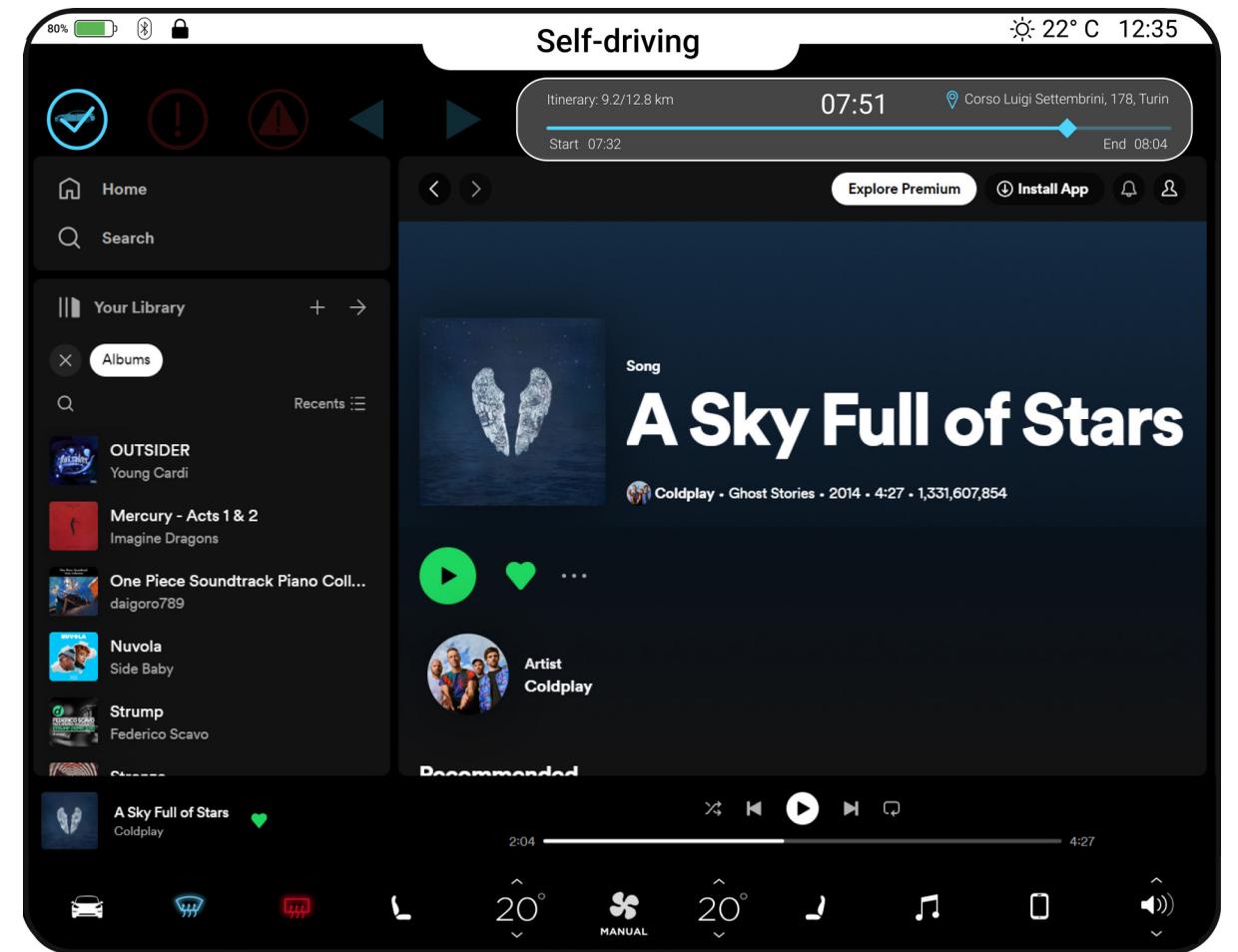
## UI HDD: Transitional



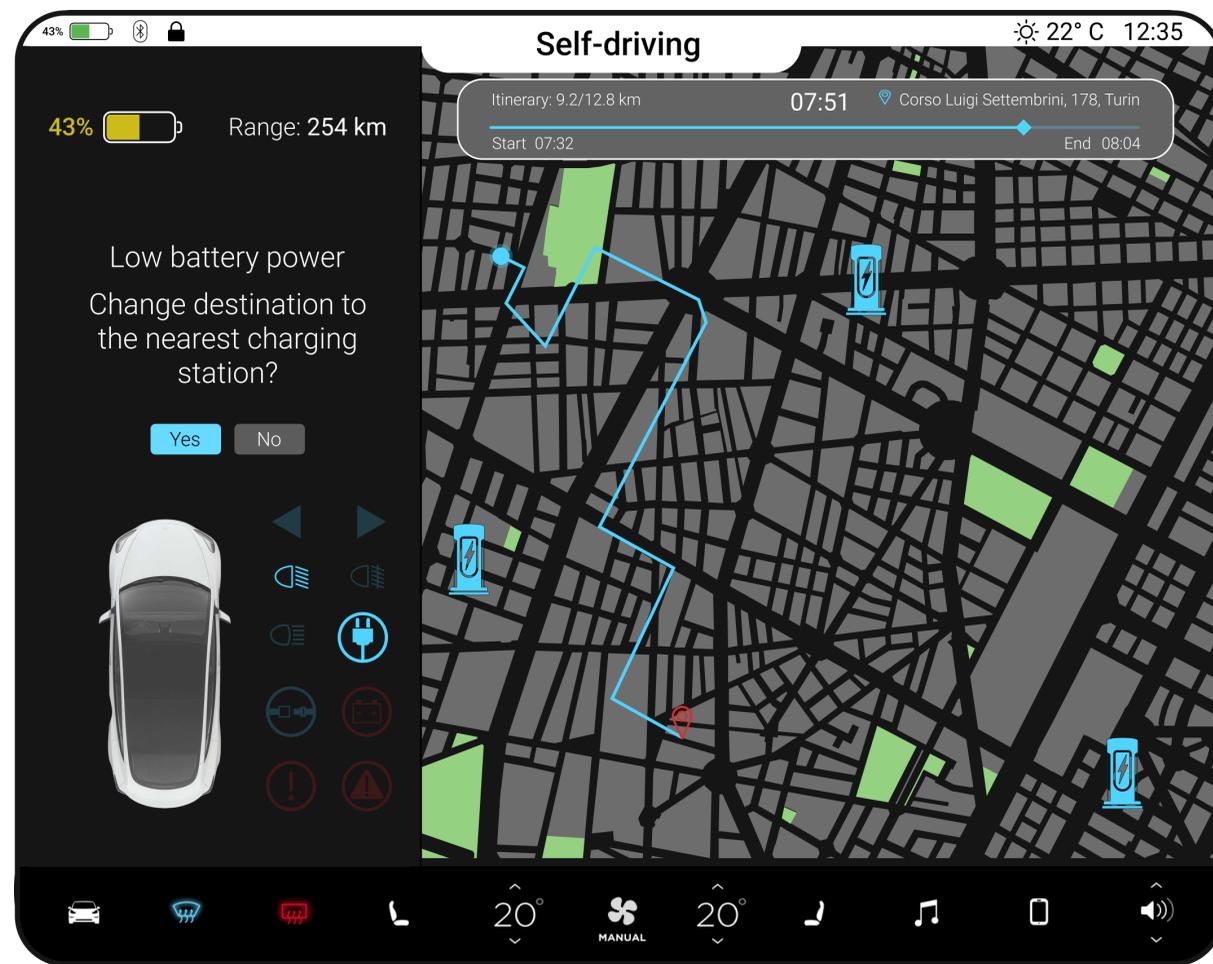
UI HDD: Guida manuale e rapporto V2X



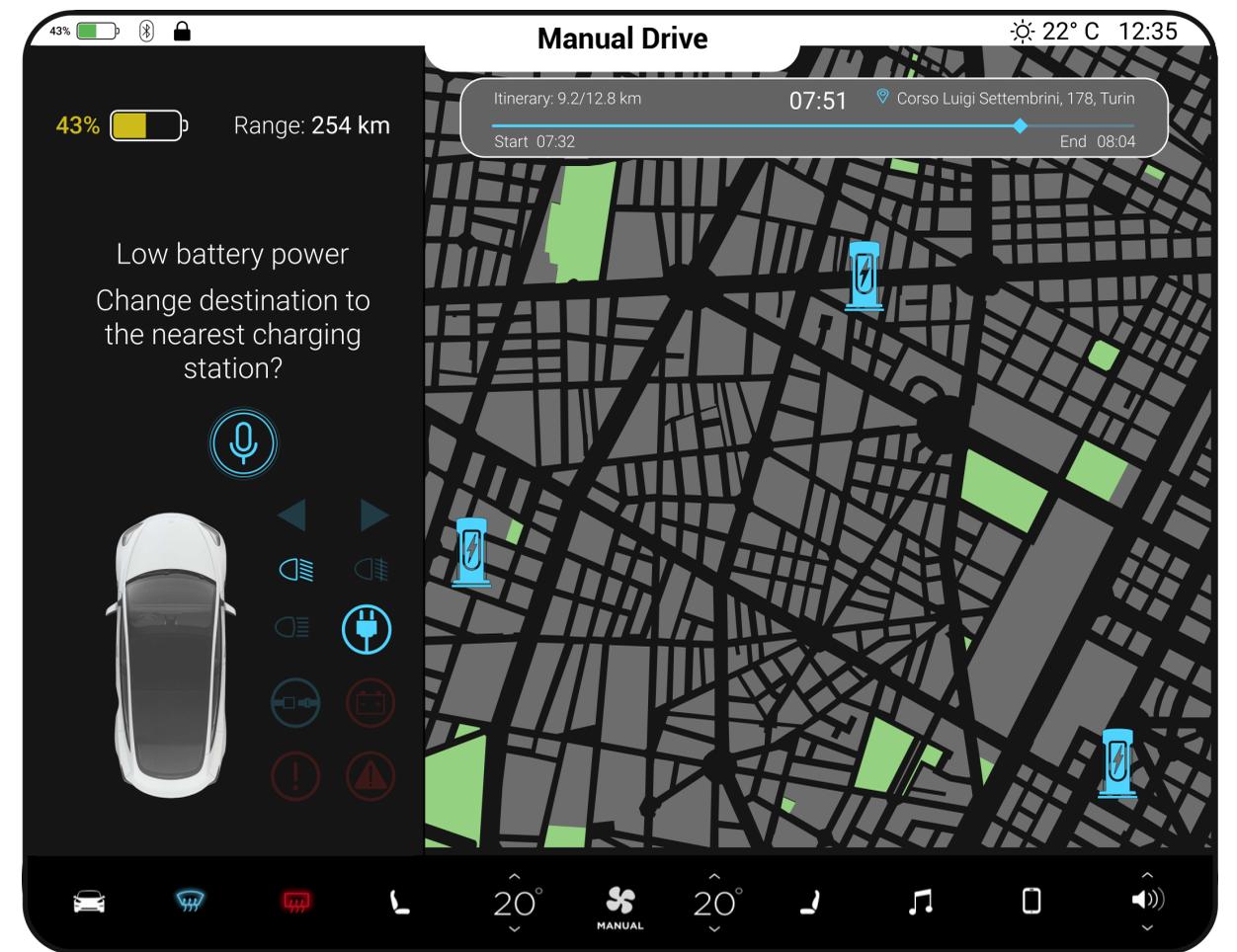
UI HDD: Infotainment Spotify



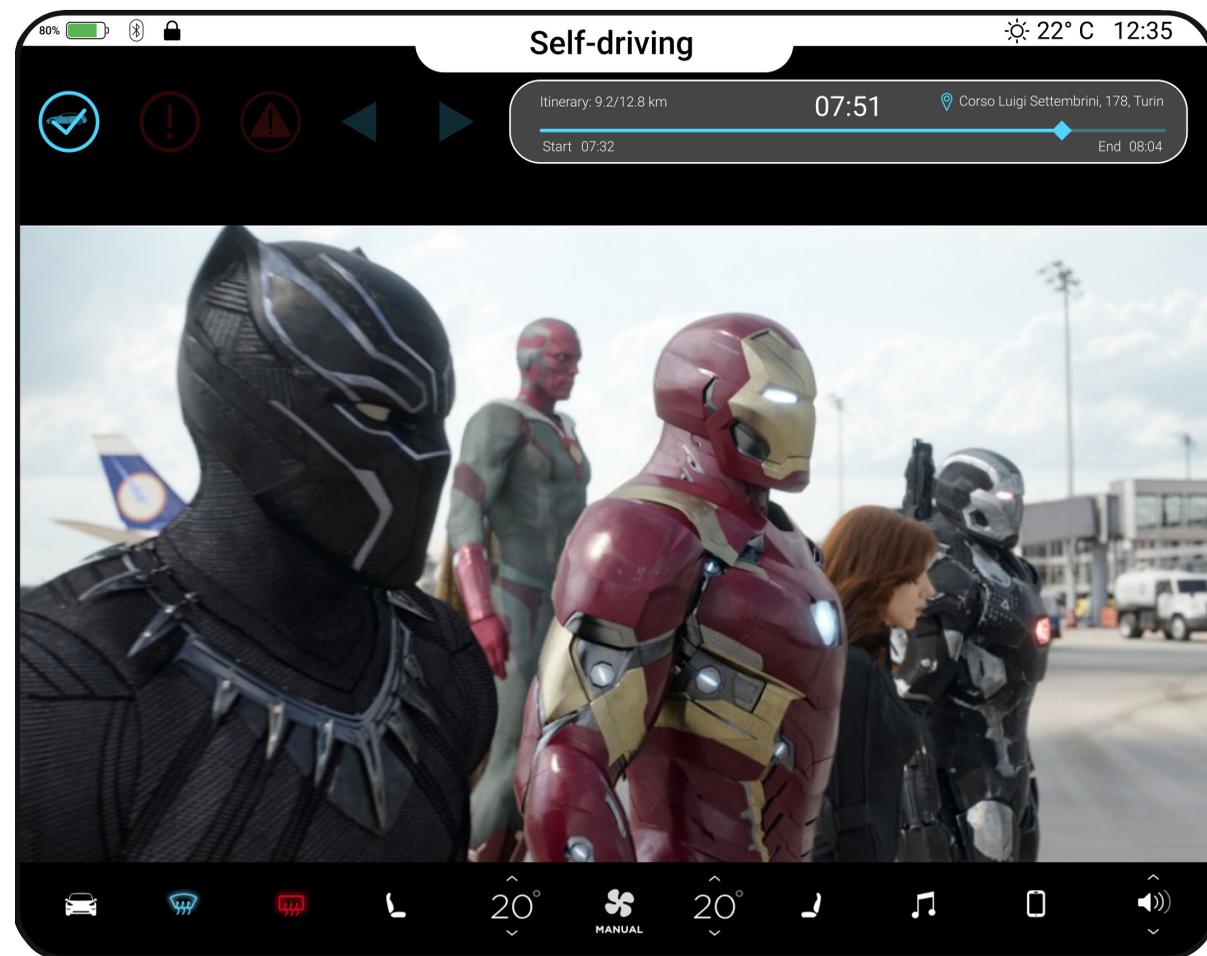
## UI HDD: Guida autonoma e avviso di batteria scarica



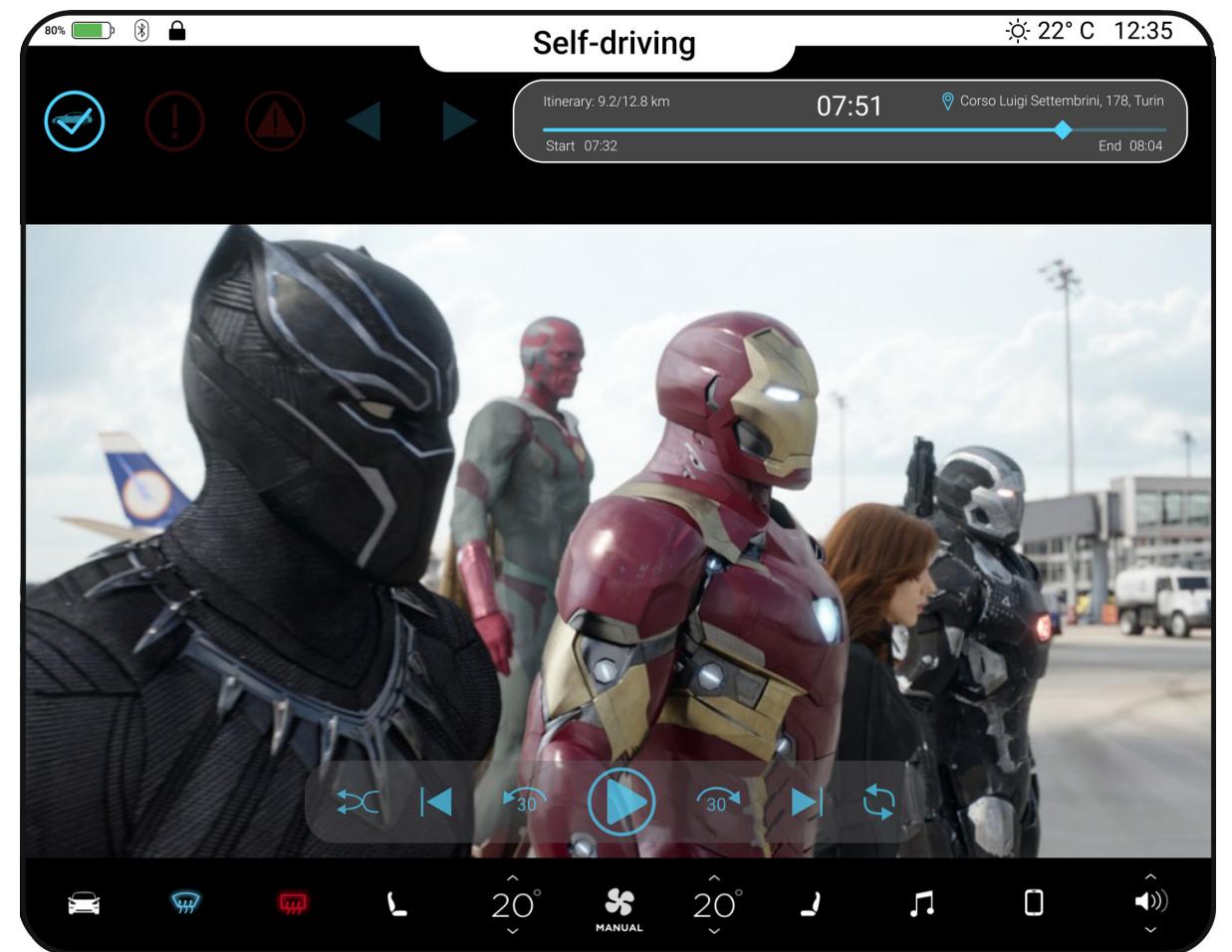
## UI HDD: Guida manuale e avviso di batteria scarica



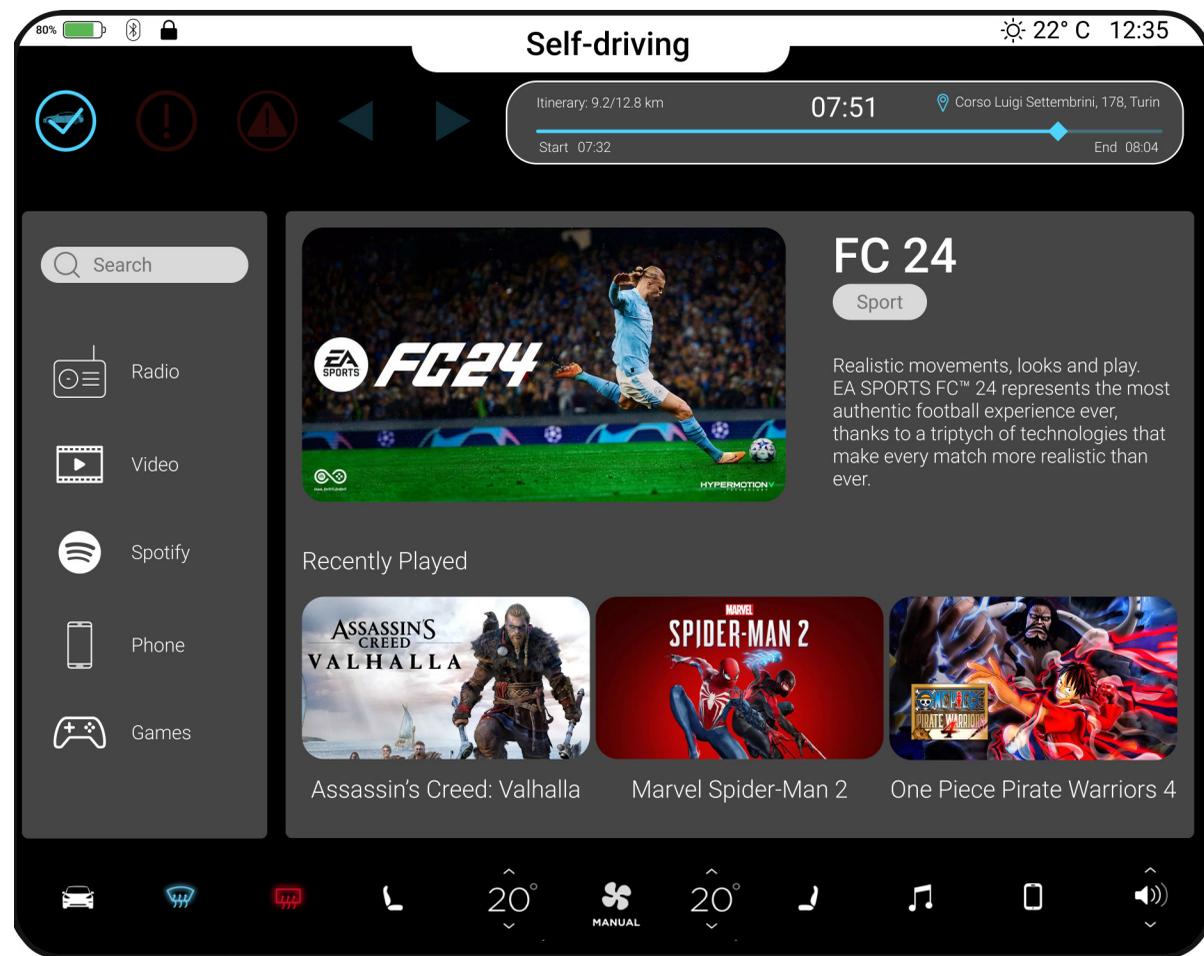
UI HDD: Infotainment Film



UI HDD: Infotainment Film



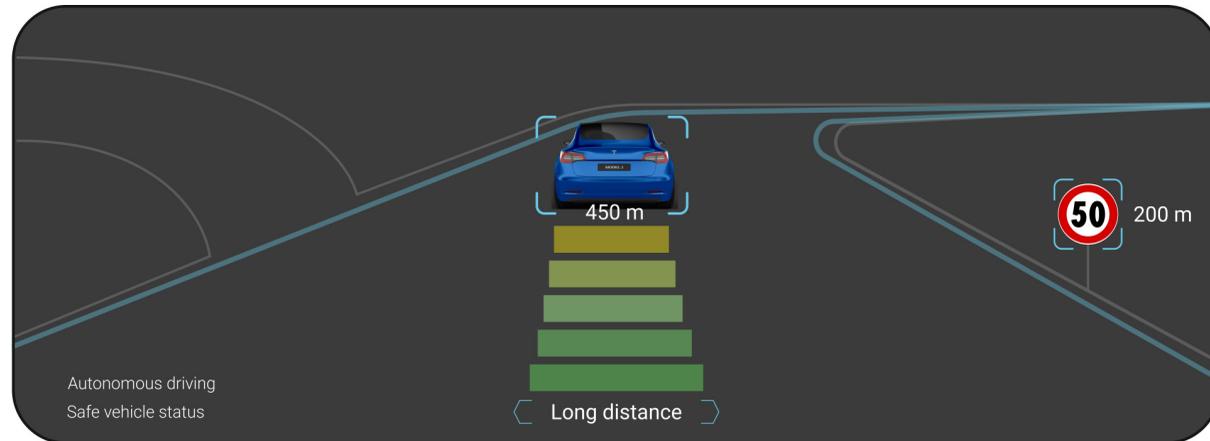
## UI HDD: Infotainment Videogioco



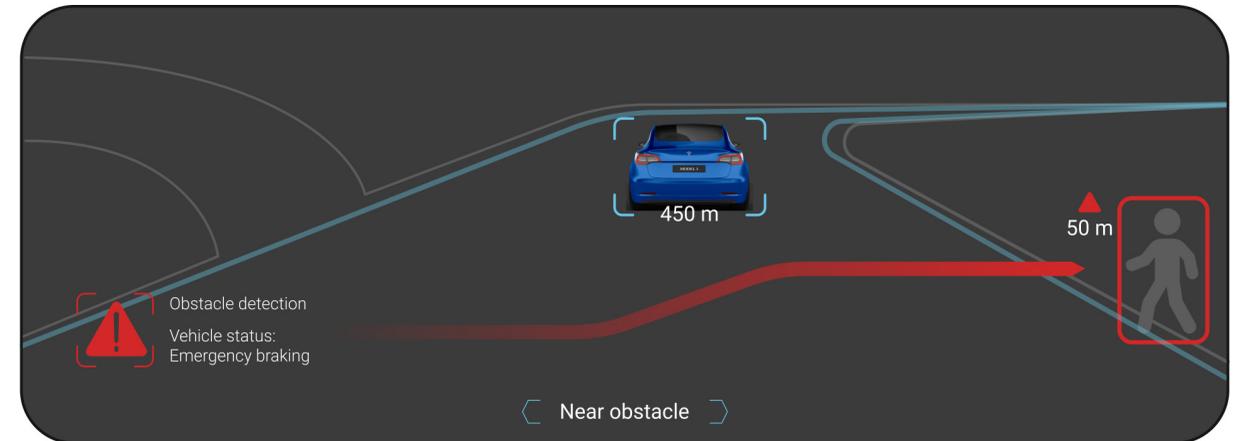
## UI HDD: Infotainment Videogioco



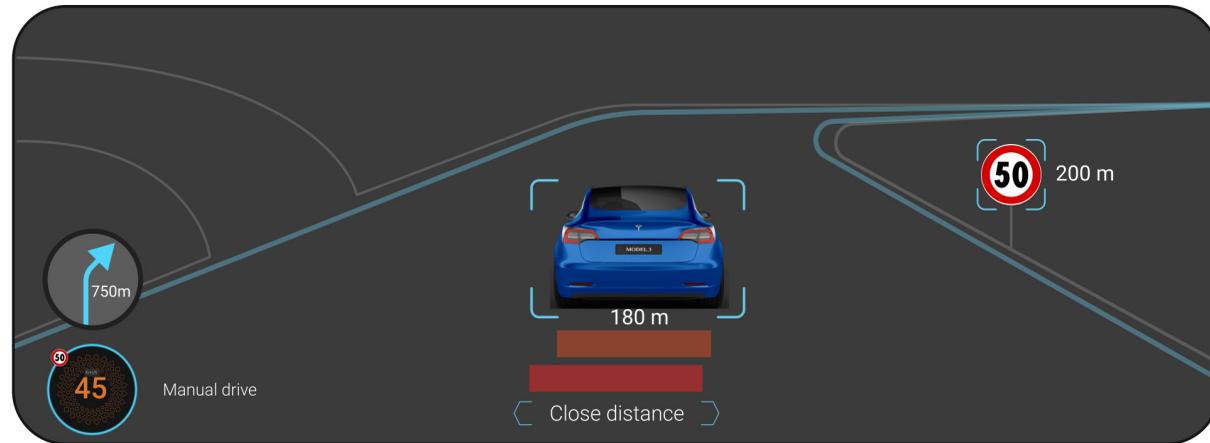
## UI HUD: Guida autonoma



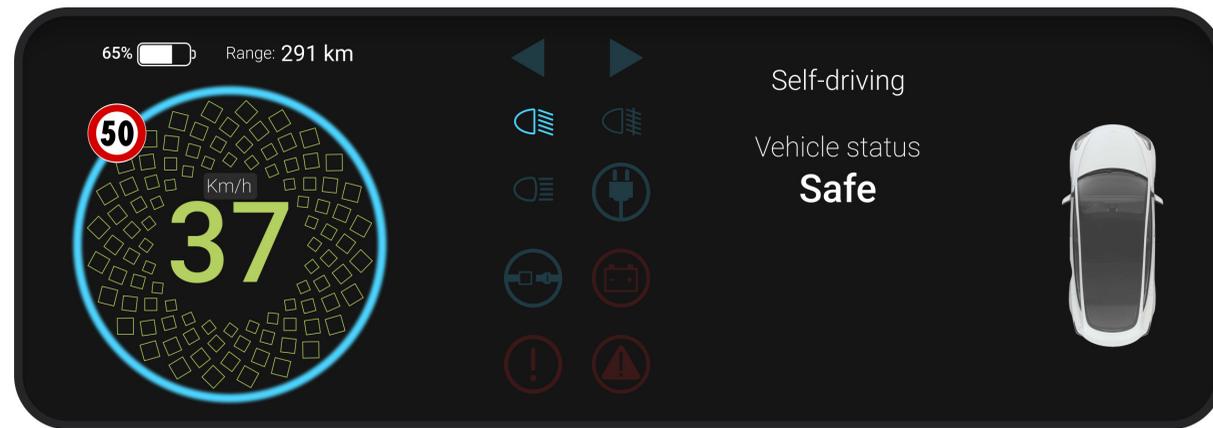
## UI HUD: Transitional



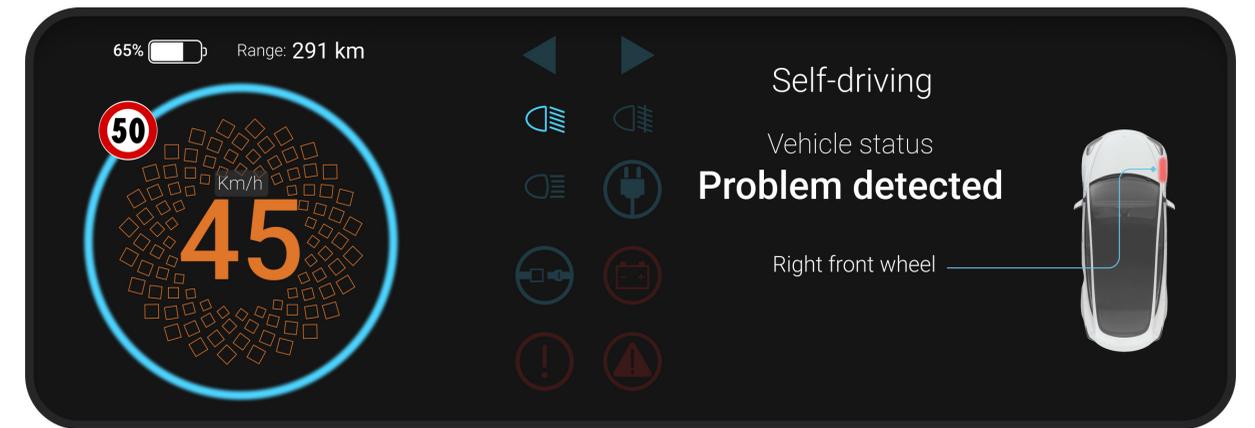
## UI HUD: Guida manuale



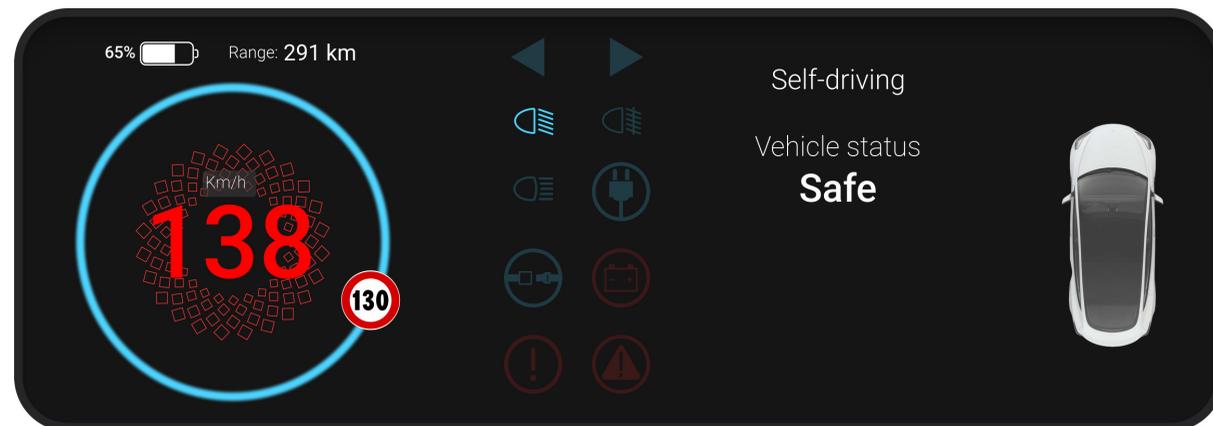
UI Dashboard: Guida autonoma



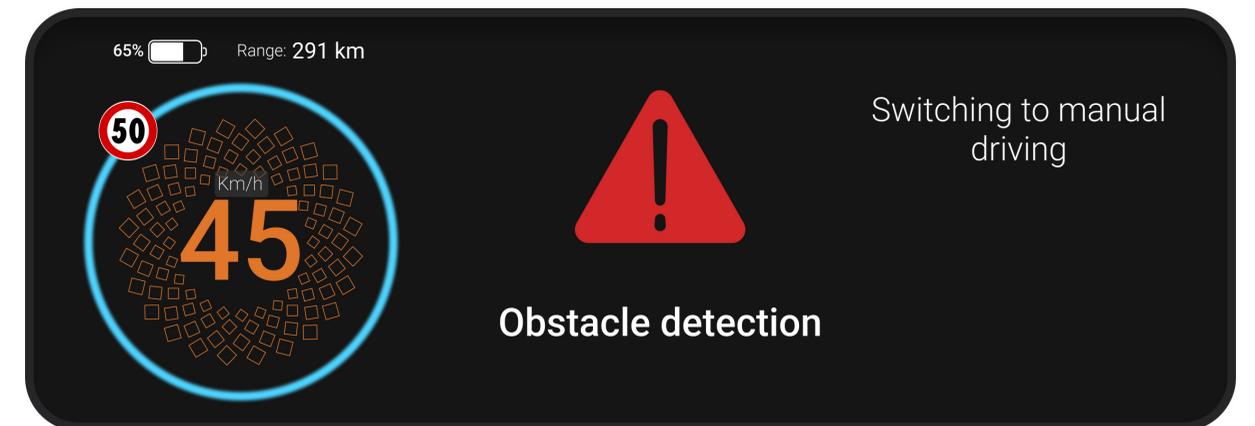
UI Dashboard: Rilevamento problema



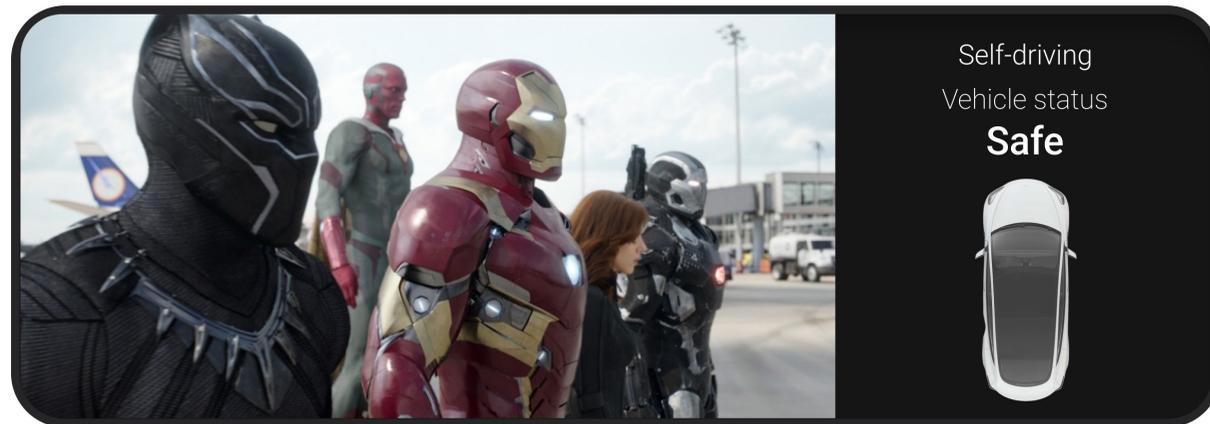
UI Dashboard: Guida manuale



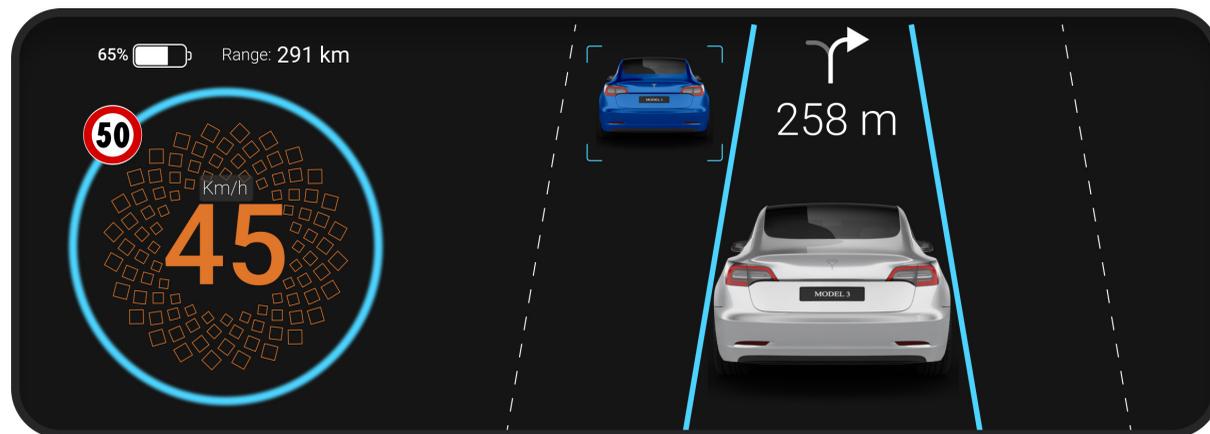
UI Dashboard: Transitional



## UI Dashboard: Infotainment



## UI Dashboard: Guida manuale e rapporto V2X



## Render



# Render



# Struttura e validazione del progetto

## 5.1 User Experience Questionnaire

Un elemento cruciale per migliorare l'usabilità è la valutazione dell'esperienza dell'utente attuale.

Per misurare l'esperienza dell'utente, ci sono diverse modalità, che vanno dalla somministrazione di brevi questionari per valutare la soddisfazione generale dell'utente all'interno del veicolo, fino alla realizzazione di rapide interviste per indagare l'opinione dell'utente su aspetti specifici.

Tra queste metodologie, è possibile menzionare l'UEQ (User Experience Questionnaire), un questionario che mira a misurare i sentimenti e le impressioni che emergono durante l'interazione con i dispositivi digitali presenti nel veicolo, valutando aspetti come efficienza, chiarezza, affidabilità e originalità dei contenuti.

La versione originale in tedesco dell'UEQ è stata creata nel 2005.

È stato utilizzato un approccio analitico dei dati per garantire la pertinenza pratica delle scale costruite, cioè le scale sono state derivate da dati relativi a un insieme più ampio di item.

Ogni scala descrive un aspetto distinto della qualità di un prodotto interattivo.

Durante le sessioni di brainstorming con gli esperti di usabilità, è stato creato un insieme iniziale di 229 potenziali domande relative all'esperienza dell'utente. Questa serie di "item" è stata poi ridotta a una versione

grezza di 80 item mediante una valutazione di esperti.

Gli item hanno la forma di un differenziale semantico, ossia ogni item è rappresentato da due termini con significati opposti. L'ordine dei termini è randomizzato per ogni item, cioè la metà degli item di una scala inizia con il termine positivo e l'altra metà degli item inizia con il termine negativo.

L'UEQ contiene 6 fasi con 26 item:

- Attrattività: Impressione complessiva del prodotto. Agli utenti piace o non piace il prodotto?
- Perspicuità: è facile familiarizzare con il prodotto? È facile imparare a usare il prodotto?
- Efficienza: Gli utenti possono risolvere i loro compiti senza sforzi inutili?
- Affidabilità: L'utente si sente in controllo dell'interazione?
- Stimolazione: L'uso del prodotto è eccitante e motivante?
- Novità: il prodotto è innovativo e creativo? Il prodotto cattura l'interesse degli utenti?

## 5.2 Esempi di Usability test e UEQ

**Esempio 1:** UEQonline.org [42] riporta il seguente questionario:  
Inserisca per favore il Suo giudizio

Per valutare il nuovo prodotto La invitiamo a compilare il seguente questionario. Si tratta di coppie di caratteristiche, in antitesi tra loro, che il prodotto può avere.  
Con questa valutazione Lei dichiara di stima-

re il prodotto più attraente che non attraente. Scelga in modo spontaneo senza troppi ragionamenti.  
Non esiste una risposta "giusta" o "sbagliata", ma è importante la Sua opinione personale! Ora inserisca per favore la Sua valutazione del prodotto. Per ogni coppia di aggettivi è possibile dare una sola risposta.

Esempio:

attraente	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	non attraente				
-----------	-----------------------	----------------------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	---------------

	1	2	3	4	5	6	7		
fastidioso	<input type="radio"/>	piacevole	1						
incomprensibile	<input type="radio"/>	comprensibile	2						
creativo	<input type="radio"/>	privo di fantasia	3						
facile da apprendere	<input type="radio"/>	difficile da apprendere	4						
di grande valore	<input type="radio"/>	di poco valore	5						
noioso	<input type="radio"/>	appassionante	6						
non interessante	<input type="radio"/>	interessante	7						
imprevedibile	<input type="radio"/>	prevedibile	8						
veloce	<input type="radio"/>	lento	9						
originale	<input type="radio"/>	convenzionale	10						
ostruttivo	<input type="radio"/>	di supporto	11						
buono	<input type="radio"/>	scarso	12						
complicato	<input type="radio"/>	facile	13						
repellente	<input type="radio"/>	attraente	14						
usuale	<input type="radio"/>	moderno	15						
sgradevole	<input type="radio"/>	gradevole	16						
sicuro	<input type="radio"/>	insicuro	17						
attivante	<input type="radio"/>	soporifero	18						
conforme alle aspettative	<input type="radio"/>	non conforme alle aspettative	19						
inefficiente	<input type="radio"/>	efficiente	20						
chiaro	<input type="radio"/>	confuso	21						
non pragmatico	<input type="radio"/>	pragmatico	22						
ordinato	<input type="radio"/>	sovraccarico	23						
invitante	<input type="radio"/>	non invitante	24						
congeniale	<input type="radio"/>	ostile	25						
conservativo	<input type="radio"/>	innovativo	26						

Di seguito sono riportate le voci della versione breve del questionario sull'esperienza dell'utente (UEQ):

**Esempio 2:** Esempio 2: Il sito web Survey Sparrow [43] riporta il seguente questionario: Ecco le domande del sondaggio sulla User Experience (UX) da includere nel tuo questionario sull'UX:

1. Capisco cosa fa {nome del prodotto o dell'app}
2. So come utilizzare {nome del prodotto o dell'app}
3. Perché hai iniziato a utilizzare {nome del prodotto o dell'app}?

4. Quanto è utile il nostro prodotto per te?
5. Raccontaci la tua esperienza nell'uso di {nome del prodotto o dell'app}
6. Come valuteresti l'usabilità dell'interfaccia di {nome del prodotto o dell'app}?
7. Considerando che hai utilizzato la nostra interfaccia in modo approfondito, quanto è probabile che la raccomanderesti ai tuoi amici e colleghi?
8. Come descriveresti {nome dell'app o del prodotto} in una o più parole?
9. Se {nome dell'app o del prodotto} fosse una macchina, che tipo di macchina sarebbe?

Italian version

ostruttiva	<input type="radio"/>	di supporto						
complicato	<input type="radio"/>	facile						
inefficiente	<input type="radio"/>	efficiente						
confuso	<input type="radio"/>	chiaro						
noioso	<input type="radio"/>	appassionante						
non interessante	<input type="radio"/>	interessante						
convenzionale	<input type="radio"/>	originale						
usuale	<input type="radio"/>	moderno						

10. Come si confronta {nome dell'app o del prodotto} con {concorrente}?

11. Se dovessi recensire {nome dell'app o del prodotto}, quale punteggio gli assegneresti da 1 a 10?

12. Cosa trovi più frustrante in {nome del prodotto o dell'app}?

13. Nel complesso, quanto è facile da usare {nome del prodotto o dell'app}?

14. Quali sono state le tue impressioni dell'esperienza iniziale all'interno dell'app?

15. Come valuteresti l'usabilità della nostra app? Perché?

16. Come valuteresti la tua esperienza complessiva sulla nostra app?

17. Quanto è difficile leggere i caratteri sullo schermo?

18. Qual è la tua opinione sull'organizzazione delle informazioni sullo schermo?

19. L'uso dei termini all'interno dell'app è coerente?

20. La posizione dei messaggi sullo schermo è coerente?

21. Le indicazioni visualizzate per gli input sono chiare?

22. La nostra app ti informa sul progresso di un'attività?

23. Gli errori visualizzati sono utili?

24. Questa app mi fa sentire:

25. Mi piace il modo in cui appare questa app.

26. Con quale frequenza utilizzi il nostro prodotto?

27. Cosa trovi di meglio nel nostro prodotto?

28. Come valuteresti l'affidabilità della nostra app?

29. Ci sono commenti o suggerimenti che possono aiutarci a migliorare l'esperienza dell'utente e l'interfaccia?

30. Come valuteresti la qualità dei contenuti forniti sullo schermo?

31. È facile trovare ciò che stai cercando nel menu di navigazione principale?

32. Come valuteresti la velocità della nostra app?

33. Come valuteresti il design dell'interfaccia della nostra app?

34. Gli elementi del menu hanno senso?

35. Quanto è facile navigare nell'app?

36. Se potessi migliorare una cosa nell'app, cosa sarebbe?

37. Cosa vorresti che l'app faccia che non fa già?

38. Su una scala da 1 a 10, come l'utilizzo della nostra app verrebbe influenzato da {funzionalità o aggiornamento}?

39. Cosa significa per te questa funzionalità?

40. C'è qualcosa che cambieresti nel modo in cui {funzionalità o aggiornamento} funziona?

41. Qual è la funzionalità più importante che pensi dovremmo aggiungere?

42. Quali dei nostri concorrenti hai considerato prima di sceglierci?

43. Perché ci hai scelto rispetto ai concorrenti?

44. Hai incontrato problemi nell'uso dell'interfaccia? Se sì, raccontaceli.

45. Quali funzionalità non potresti fare a meno?

46. Quali funzionalità potresti fare a meno?  
47. Cosa ti piace di meno in {nome del prodotto o dell'app}?

48. Cosa ti piace di più in {nome del prodotto o dell'app}?

49. Come possiamo migliorare {nome del prodotto o dell'app}? Invia i tuoi suggerimenti e idee.

50. Quali funzionalità utilizzi di più nell'app?

51. Esprimi il tuo accordo con la seguente affermazione: {funzionalità o aggiornamento} renderebbe il mio lavoro più facile.

52. Cosa ti viene in mente quando pensi a {nome del prodotto o dell'app}?

53. Se non sei soddisfatto di {nome del prodotto o dell'app}, cosa possiamo fare per farti tornare?

54. Qual è stata l'occasione in cui hai trovato la nostra app particolarmente soddisfacente?

55. Hai acquistato uno qualsiasi dei nostri prodotti o app?

56. Quali altri prodotti o strumenti utilizzi per compiere compiti simili e perché?

57. C'è qualcosa di sorprendente o inaspettato in questo prodotto?

58. Qual è il tuo obiettivo principale nell'uso di un prodotto come {nome del prodotto o dell'app}?

59. C'è qualcosa che cerchi in un {tipo di prodotto} che manca?

60. Qual è la parte più difficile nell'uso della nostra app?

61. Quali sono le attività che svolgi frequentemente nell'utilizzo del nostro prodotto?

62. C'è qualcos'altro che desideri condividere o esternare?

**Esempio 3:** Tesi di laurea Magistrale dal titolo "Interfacce Uomo-macchina per Veicoli a Guida Autonoma: Studio della User Experience in Scenari Virtuali" [44] riporta il seguente questionario:

#### A.1 Domande Personali

1. Età
  2. Sesso
- Quanto spesso utilizzi/hai utilizzato:
- 3 Strumenti per la realtà virtuale immersiva (ad es. Oculus Rift, HTC Vive ecc.)? (mai, raramente, qualche volta, spesso, ogni giorno)
  - 4 Simulatori di guida (ad es. Assetto Corsa, rFactor ecc.)? (mai, raramente, qualche volta, spesso, ogni giorno)
  - 5 Sarei disposto a partecipare ad un'esperienza di guida autonoma a bordo di un'auto reale (decisamente no, no, non saprei, sì, decisamente sì)

#### A.2 Autovalutazione dello stato di salute pre-simulazione

- Quanto sei affetto dai seguenti sintomi in questo momento? (per nulla, lievemente, moderatamente, intensamente)
6. Malessere in generale
  7. Affaticamento
  8. Mal di testa
  9. Occhi affaticati
  10. Difficoltà di messa a fuoco
  11. Salivazione aumentata
  12. Sudorazione
  13. Nausea
  14. Difficoltà di concentrazione
  15. Visione sfocata
  16. Capogiro con occhi aperti
  17. Capogiro con occhi chiusi
  18. Vertigini
  19. Fastidio allo stomaco

#### A.3 Autovalutazione dello stato di salute post simulazione

- Quanto sei affetto dai seguenti sintomi in questo momento? (per nulla, lievemente, moderatamente, intensamente)
20. Malessere in generale
  21. Affaticamento
  22. Mal di testa
  23. Occhi affaticati
  24. Difficoltà di messa a fuoco
  25. Salivazione aumentata
  26. Sudorazione
  27. Nausea
  28. Difficoltà di concentrazione
  29. Visione sfocata
  30. Capogiro con occhi aperti
  31. Capogiro con occhi chiusi
  32. Vertigini
  33. Fastidio allo stomaco

#### A.4 Senso di immersione e presenza (completamente in disaccordo, in disaccordo, né in disaccordo né d'accordo, d'accordo, completamente d'accordo)

34. Le informazioni sensoriali fornite dall'applicazione di Realtà Virtuale, e dalle tecnologie utilizzate, mi hanno fatto sentire di essere immerso nell'ambiente virtuale (di trovarmi in un luogo diverso da quello in cui mi trovo fisicamente)
35. La qualità dell'immagine mostrata dal display ha ridotto il mio senso di immersione e presenza nel mondo virtuale
36. Sono riuscito a percepire correttamente la scala, le proporzioni e le dimensioni degli ambienti/oggetti nel mondo virtuale
37. Vedere le mie mani, e le gambe, mi ha aiutato a sentirmi presente nell'ambiente virtuale
38. La presenza della piattaforma inerziale mi ha aiutato a sentirmi presente nell'ambiente

virtuale

39. In generale valuteresti il tuo senso di immersione e presenza come: per nulla soddisfacente (1), poco soddisfacente (2), mediamente soddisfacente (3), soddisfacente (4), molto soddisfacente (5)?

#### A.5 Fedeltà della simulazione (completamente in disaccordo, in disaccordo, né in disaccordo né d'accordo, d'accordo, completamente d'accordo)

40. Ho trovato la simulazione accurata
41. Gli oggetti nell'ambiente virtuale si sono mossi in modo naturale
42. La simulazione sembrava bloccarsi o fermarsi a tratti
43. La percezione che ho avuto degli oggetti virtuali è stata realistica
44. L'esperienza nel mondo virtuale mi è sembrata coerente con quella che avrei potuto vivere nel mondo reale
45. Il movimento della piattaforma inerziale è stato realistico
46. In generale valuteresti la fedeltà della simulazione come: per nulla soddisfacente, poco soddisfacente, mediamente soddisfacente, soddisfacente, molto soddisfacente?

#### A.6 Valutazione della simulazione di guida autonoma (completamente in disaccordo, in disaccordo, né in disaccordo né d'accordo, d'accordo, completamente d'accordo)

47. L'auto autonoma ha mostrato delle adeguate capacità decisionali
48. L'auto autonoma è andata in difficoltà in caso di cambiamenti inaspettati dell'ambiente
49. L'auto autonoma ha commesso errori
50. Quali? (risposta aperta)
51. L'auto autonoma mi è sembrata intelligente

52. In generale valuteresti la simulazione di guida autonoma come: per nulla soddisfacente, poco soddisfacente, mediamente soddisfacente, soddisfacente, molto soddisfacente?

#### A.7 Valutazione dell'interfaccia HUD

In questa sezione vogliamo valutare in generale quanta l'interfaccia (display HUD) sia stata efficace dal punto di vista dell'utilità e della fiducia. Le domande riguarderanno fattori rilevanti nello studio dell'HMI (human-machine interface).

53. Quale versione di HUD hai testato?  
(a) HUD omnicomprensivo  
(b) HUD selettivo

##### A.7.1 Modello mentale

Le informazioni mostrate dal sistema HUD hanno reso chiare le intenzioni e le decisioni dell'auto autonoma durante: (completamente in disaccordo, in disaccordo, né in disaccordo né d'accordo, d'accordo, completamente d'accordo)

54. La presa in carico di un semaforo
55. La presa in carico di un segnale stradale
56. La presa in carico di un ostacolo
57. La presa in carico di un'auto condizionale ai fini della guida autonoma
58. L'applicazione delle regole di precedenza
59. In circostanze diverse da quelle appena menzionate, pensi che le intenzioni dell'auto autonoma siano state poco chiare?
60. In quali circostanze? (risposta aperta)
61. In generale, le informazioni visualizzate tramite HUD hanno reso chiare le intenzioni e le decisioni dell'auto autonoma

##### A.7.2 Informazioni di tipo Why

62. Durante la simulazione, le informazioni mostrate dal sistema HUD, mi hanno aiutato

to a capire perché l'auto stesse effettuando una determinata azione (ad es. fermarsi, ripartire ecc.) (completamente in disaccordo, in disaccordo, né in disaccordo né d'accordo, disaccordo, completamente d'accordo)

#### A.7.3 Competenza del sistema

63. Durante la simulazione, ho avuto la percezione, grazie alle informazioni mostrate dal sistema HUD, che l'auto avesse tutto sotto controllo (completamente in disaccordo, in disaccordo, né in disaccordo né d'accordo, d'accordo, completamente d'accordo)

#### A.7.4 Carico cognitivo

(completamente in disaccordo, in disaccordo, né in disaccordo né d'accordo, d'accordo, completamente d'accordo)

64. Ho trovato faticoso (impegnativo) individuare le informazioni di mio interesse sul sistema HUD

65. Ho trovato frustrante (stressante, irritante) individuare le informazioni di mio interesse sul sistema HUD

66. Le informazioni mostrate dal sistema HUD risultano (1 = decisamente fastidiose, 2 = fastidiose, 3 = né fastidiose né gradevoli, 4 = gradevoli, 5 = decisamente gradevoli)

### A.8 Consapevolezza della situazione

#### A.8.1 Qualità delle informazioni

L'informazione fornita dal sistema HUD tramite/circa i seguenti oggetti si è rivelata utile ai fini dell'esperienza di viaggio in guida autonoma: (decisamente inutile, inutile, ne inutile ne utile, utile, decisamente utile)

A Questionario di valutazione dell'esperienza utente

67. Linea di pianificazione del percorso della tua auto

68. Linea di pianificazione del percorso delle auto del traffico

69. Linea di mezzeria

70. Bounding box per le auto del traffico

71. Bounding box per i semafori

72. Bounding box per i segnali stradali

73. Bounding box per potenziali ostacoli (ad es. pedoni, animali ecc.)

74. Etichette sui bounding box della auto e degli eventuali ostacoli (ad es. pedoni, animali)

75. L'etichetta (lampeggio) del semaforo

76. L'etichetta (lampeggio) dei segnali stradali

77. Indicazione del grado di pericolosità degli oggetti

78. Avviso sonoro in caso di pericolo

79. Avviso sonoro di presa in carico di un segnale stradale

80. Navigatore sul tablet centrale

81. In generale, l'informazione fornita dal sistema HUD si è rivelata utile ai fini dell'esperienza di viaggio in guida autonoma (comfort, serenità)

#### A.8.2 Quantità delle informazioni

Il numero di informazioni mostrate dal sistema HUD e risultato in: (quantità insufficiente, quantità adeguata, quantità eccessiva)

82. Linee di pianificazione del percorso delle auto del traffico

83. Bounding box per le auto del traffico

84. Etichette sui bounding box per le auto del traffico

85. Bounding box per i semafori

86. Etichette sui bounding box per i semafori (lampeggio)

87. Bounding box per i segnali stradali

88. Etichette sui bounding box per i segnali stradali

89. Bounding box per eventuali ostacoli (ad es. pedoni, animali ecc.)

90. Etichette sui bounding box per eventuali ostacoli (ad es. pedoni, animali ecc.)

91. Avviso sonoro in caso di pericoli

92. Avviso sonoro di presa in carico di un segnale stradale

93. In generale il numero di informazioni mostrate dal sistema HUD e risultato in:

#### A.9 Fiducia

94. Le informazioni e i feedback forniti dall'auto autonoma sono stati d'aiuto nello stabilire la fiducia nell'auto (decisamente inutile, inutile, ne inutile ne utile, utile, decisamente utile)

#### A.10 Domande Finali

95. Elenca tre aspetti positivi e tre aspetti negativi relativi all'esperienza appena vissuta (risposta aperta)

96. Dopo questa esperienza, sarei disposto a partecipare ad un'esperienza di viaggio in guida autonoma a bordo di un'auto reale (decisamente no, no, non saprei, sì, decisamente sì)



**Tabella 1. Prova a scrivere tu una proposta di quesito che ti piacerebbe trovare nel sondaggio sulla guida autonoma**

### GENERALE

Come impegneresti il tempo trascorso su una vettura a guida autonoma?  
Come sei venuto a conoscenza della guida autonoma?  
Compreresti un'auto a guida autonoma se l'assicurazione RCA fosse a costo quasi zero?  
Compreresti un'auto con guida autonoma? Perché?  
Conosci la differenza tra guida autonoma di livello 3 o 5?  
Convorrà avere la proprietà di un veicolo autonomo o è meglio che sia pubblico?  
Cosa ne pensi dei veicoli a guida autonoma?  
Cosa ne pensi della guida autonoma?  
Di quale servizio posso usufruire?  
E' per te un piacere o un peso guidare?  
Immagini che in alternativa ad una vera e propria guida autonoma potrebbe essere auspicabile un sistema di interazione veicolo-strada?  
La guida autonoma dovrebbe essere consentita sia su strade urbane che fuori dai centri abitati?  
La guida autonoma verrà concepita per utilizzi individuali o collettivi (car pooling)?  
Potresti pensare di acquistare o cambiare la tua macchina per una con guida autonoma appena testate e disponibili sul mercato?  
Quali pensi siano i benefici della guida autonoma?  
Quali sono gli effettivi vantaggi o le criticità di un veicolo autonomo?  
Quando pensi che si potrà vedere implementata la guida autonoma?  
Quando sarà accessibile a tutti?  
Quando saresti disposto ad acquistare (a parità di condizioni economiche, tecnologiche, sicurezza) un automezzo a guida autonoma?  
Quanto autonoma può diventare?  
Quanto saresti disposto a spendere di più per avere un'auto a guida autonoma rispetto ad un'auto tradizionale?  
Pensi che i veicoli a guida autonoma debbano avere sede propria

### ACCETTAZIONE

Cosa ne pensi sull'impatto che potrebbe avere sull'essere umano?  
Ritieni sia realmente utile l'implementazione della guida autonoma?  
Da 1 a 10, quanto realmente preferiresti che la guida autonoma venga introdotta nel mercato  
Fino a quale punto sei disposto a delegare il controllo dell'auto a dei sistemi?  
In previsione della futura diffusione dei veicoli autonomi, come evolverà il concetto di  
La presenza di automatismi sull'auto riduce la responsabilità del conducente?  
Quanta fiducia hai nella guida autonoma?  
Quanto ti sentiresti sicuro nel viaggiare con un veicolo a guida autonoma?  
Saresti disposto a guidare un veicolo autonomo?  
Sei favorevole ai veicoli a guida autonoma e perché?  
Si farebbe portare da n veicolo autonomo?  
Ti fideresti a provare un veicolo a guida autonoma?  
Useresti un mezzo a guida autonoma? Se sì, quale? (automobile, treno, tram, ecc)  
Favoriresti la guida autonoma in qualsiasi occasione?  
Gradiresti avere un'automobile a guida autonoma o preferiresti che la guida autonoma fosse

Hai mai pensato di provare la guida autonoma ed i suoi vantaggi?  
Pensi che la guida autonoma sia applicabile in tutti i paesi?  
Pensi che utilizzare un veicolo autonomo costituisca un'esperienza peggiore rispetto al  
Quali sono le tue eventuali perplessità riguardo tale tecnologia?  
Ritieni utile la guida autonoma?  
Se ne avessi la possibilità compreresti un veicolo autonomo?  
Vorresti provare una esperienza di trasporto a bordo di un veicolo a guida autonoma in un'ottica di effettivo futuro utilizzo da parte tua o sei del tutto disinteressato o contrario per ragioni che puoi qui esporre brevemente?  
La diffusione della guida autonoma richiede necessariamente l'approfondimento di scenari complessi e multidisciplinari tra di essi correlati (informatica, diritto, privacy, viabilità): prova a definire quale ritieni possa essere il vantaggio maggiore del ricorso alla guida autonoma.

### VEICOLO E SICUREZZA VEICOLO

Quanto dovrebbe costare questo dispositivo secondo voi?  
Ti senti più sicuro alla guida o su un mezzo guidati da altri?  
Pensi che siano necessari incentivi statali affinché la guida autonoma possa espandersi in  
Quanto saresti disposto a spendere per avere un'auto a guida autonoma?  
Saresti disponibile ad una prova su strada di un veicolo a guida autonoma?  
Il veicolo a guida autonoma permetterà più libertà o aumenterà solo la sicurezza?  
La Guida autonoma aumenta o diminuisce (livelli L3 ed L4) il rischio distrazione?  
La guida autonoma come optional o di serie è obbligatoria?  
La guida autonoma sarà applicata a tutti i mezzi (anche le moto)?  
Saresti disposto ad affrontare eventualmente una maggiore spesa per l'acquisto di un'auto a  
Pensi che una auto elettrica sia davvero meno inquinate di una a combustione interna  
Avresti fiducia a compiere un viaggio su un veicolo guidato autonomamente?  
Saresti disposto a condividere gli spostamenti in un veicolo autonomo di piccola dimensione?  
Sono interessato al funzionamento dei meccanismi informatici, elettrici e meccanici.  
Credi che un veicolo a guida autonoma possa essere attaccato dagli hacker?  
Le macchine con guida autonoma hanno comunque bisogno del intervento del conducente in determinate situazioni. E se proprio quando c'è bisogno il guidatore è distratto e non intervenga in tempo?  
Quanto ritieni sicura la guida autonoma?  
Ritieni che la guida autonoma (come apparato di elaborazione dati) possa essere più efficiente, meno soggetto a "distrazioni" e meno soggetto a fatica di un conducente umano?  
C'è garanzia assoluta che le auto a guida autonoma rispetteranno il codice della strada in  
Credi di poterti dedicare ad altro durante gli spostamenti, visto che il veicolo non ha bisogno  
Quanto ti sentiresti sicuro/a su un veicolo a guida autonoma?  
Se c'è la possibilità di rilevare emergenze nell'abitacolo  
Ti piacerebbe poter fare viaggi in totale sicurezza, assieme alla tua famiglia, godendo del relax  
Vorresti sempre poter intervenire nel controllo di un veicolo?

### SICUREZZA STRADALE

In quanto tempo tutto il sistema del traffico si adeguerà alla nuova concezione della guida  
Come suggeriresti di tutelare gli utenti vulnerabili della strada a fronte dei veicoli autonomi?  
Come ti trovi a guidare, se pensi che sia importante saper guidare in modo sicuro  
Cosa pensi che la guida autonoma migliorerà: qualità vita, sicurezza o altro?  
Il veicolo autonomo può aumentare la sicurezza?

Pensi che il paese in cui vivi sia tecnologicamente adeguato al trasporto autonomo?  
 Pensi che in Italia si potrà trovare una giusta via di mezzo tra guida autonoma e il tessuto  
 Pensi che la guida autonoma possa aumentare la sicurezza stradale?  
 Pensi sia sicura la guida autonoma?  
 Pensi sia sufficientemente avanzata l'analisi dei rischi derivanti dall'uso veicolo autonomi?  
 Preferiresti la guida autonoma solo su mezzi pubblici?  
 Quanto valuti importante la alta probabilità di ridurre traffico, inquinamento, morti sulla  
 Ritieni che le infrastrutture siano all'altezza di poter interfacciarsi con sistemi di guida  
 Ritieni che il volante debba essere mantenuto anche con la guida autonoma?  
 Rinunceresti a guidare in favore della sicurezza tua e degli altri? Se no, perché?  
 Quante e che tipo di "garanzie" vorreste avere prima di salire a bordo di un'auto autonoma?  
 Ritieni sicura la guida autonoma?  
 Quanto tempo passi alla guida ogni giorno? Quante volte ti viene voglia di usare il cellulare e  
 Riterresti utile un dispositivo automatico che inibisce la guida se percepisce che il conducente  
 Camminando a piedi ti sentiresti più sicuro se circolassero solo veicoli a guida autonoma?  
 Pensi che la guida autonoma possa diventare obbligatoria su ogni auto allo scopo controllare  
 la guida del pilota anche da disattivata e prevenire quindi incidenti?  
 Mentre giri a piedi, sapendo che i veicoli intorno a te sono autonomi, ti sentiresti più al  
 sicuro? Se fosse notte e con una scarsa illuminazione?

### PROFILAZIONE PSICOLOGICA E ACCETTAZIONE

Hai paura che le macchine a guida autonoma possano commettere errori?  
 Perché ti fidi?  
 Preferisci viaggiare su di un'auto a guida autonoma o su di un mezzo di trasporto (treno,  
 Quale sarebbe la tua paura più grande?  
 Quanta fiducia riporresti nella tua auto a guida autonoma?  
 Ti sentiresti a tuo agio nello spostarti con una macchina a guida totalmente autonoma?  
 Quanto ti piacerebbe vivere in un modo dove la quasi totalità dei veicoli è autonoma?  
 Ti fidi delle auto a guida autonoma?  
 Il trolley problem e le scelte etiche di un veicolo a guida autonoma: quali parametri  
 adatteresti per scegliere quale/i vita/e salvare in caso di incidente? Metti in ordine:  
 1=parametro principale di scelta; 5=parametro ultimo → Età - Stato di salute - N° di persone  
 coinvolte - Salvaguardia dell'occupante del veicolo - Altro

Hai paura della guida autonoma?  
 La guida autonoma può migliorare la qualità della tua vita?  
 Ti vedi bene alla guida di un veicolo autonomo?  
 Ritieni piacevole la guida nel traffico urbano?  
 Che livello di attenzione avresti, a bordo di un veicolo con guida autonoma?

### RESPONSABILITÀ

Quale la responsabilità in caso di sinistro?

### INTELLIGENZA ARTIFICIALE

Come previene incidenti?  
 Quali sono i requisiti di un veicolo a guida autonoma per te fondamentali?

### ETICA

Contemperare le scelte tecniche e quelle etiche dando però priorità a quelle etiche e sociali  
 La guida autonoma può avere profili etici?  
 Quale scelta fa la vettura in caso di pericolo? Chi tutela? Guidatore o passeggeri o chi?

Ritieni che la guida autonoma debba essere coordinata tra i vari governi, al fine di garantire

### SOCIALE

Che benefici attendi dall'impiego di veicoli a guida autonoma?  
 Come pensi possa cambiare la società?  
 La guida autonoma può migliorare la qualità della tua vita?  
 Pensi che la guida autonoma porterà dei miglioramenti alla mobilità?  
 Ritieni che l'introduzione dei veicoli a guida autonoma influirà sull'impatto ambientale?  
 Ritieni che l'introduzione dei veicoli a guida autonoma influirà sulla salute e sulla felicità delle  
 persone? Ritieni che l'introduzione dei veicoli a guida autonoma renderà la circolazione  
 Vorresti abolire i veicoli guidati dall'uomo?  
 Quale secondo te sarebbe il principale vantaggio dell'avere a disposizione mezzi a guida  
 Mezzo a guida autonoma condiviso? Sharing?  
 Ritieni che la guida autonoma possa migliorare la vita delle persone?

**Esempio 8:** Questionario proposto da Eileen Roesler nell'elaborato dal titolo "Trust towards Human vs. Automated Agents: Using a Multidimensional Trust Questionnaire to Assess The Role of Performance, Utility, Purpose, and Transparency" [46].  
 Lo studio ha lo scopo di validare un questionario sulla fiducia che valuta le dimensioni di prestazione, utilità, scopo e trasparenza della fiducia.

I risultati evidenziano l'importanza di considerare le diverse sottodimensioni della fiducia nello studio dell'interazione tra uomo e automazione.

#### Appendix Questionnaires

Table A1. Items of the original Wiczorek (2011) questionnaire. The original scale was "stimme nicht zu", "stimme eher nicht zu", "stimme eher zu", "stimme zu". Z corresponds to the performance subscale, N to the utility subscale, I to the purpose subscale, and T to the transparency subscale.

Items	
Z1	Das System arbeitet sicher.
N1u	Das System verlangsamt meine Arbeit.
I1	Die Intention des Systems ist positiv
Z2	Das System funktioniert gut.
T1	Die Arbeitsweise des Systems ist mir klar.
N2u	Das System erschwert meine Arbeit.
I2	Das System soll helfen, die Gesamtleistung zu verbessern.
Z3	Das System arbeitet genau.
T2	Ich weiß gut über das System Bescheid.
I3	Ich verfüge über alle erforderlichen Informationen zur Bedienung des Systems.
N3	Das System ist nützlich für meine Arbeit.
Z4u	Das System arbeitet zuverlässig.
T4	Ich verstehe wie das System funktioniert.
I4	Das System wurde mit dem Ziel implementiert, mir zu helfen.
N4	Ich empfinde das System als Unterstützung bei meiner Arbeit.

Table A2. Items of the adapted questionnaire. The scale is "Disagree", "Somewhat disagree", "somewhat agree", "Agree"

Items	
PE1	The system works safely.
PU1	The intention of the system is positive.
PE2	The system works well.
T1	The way the system works is clear to me.
U1r	The system makes my work more difficult.
PU2	The system is intended to help improve overall performance.
PE3	The system works accurately.
T2	I am well informed how the system works.
U2	The system is useful for my work.
T3	I understand how the system works.
PU3	The system was implemented to help me.
U3	I find that the system supports my work.

**Esempio 9:** Il documento è un articolo pubblicato su The Journal of Social Psychology [47] che esplora il concetto di fiducia nei sistemi automatizzati e presenta uno strumento per misurarlo, chiamato Trust of Automated Systems Test (TOAST). In esso è descritto lo sviluppo e la validazione iniziale

di questo questionario. Il TOAST è stato progettato per aiutare a comprendere come le persone percepiscono e si fidano dei sistemi automatizzati. Il documento presenta anche alcune implicazioni per la progettazione e l'implementazione di sistemi automatizzati in futuro.

**Table 2.** Revised multi-item scale.

System Understanding	System Performance
<ul style="list-style-type: none"> <li>• I understand what the system should do.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The system helps me achieve my goals.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• I understand the limitations of the system.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The system performs consistently.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• I understand the capabilities of the system.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• The system performs the way it should.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• I understand how the system executes tasks.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• I am rarely surprised by how the system responds.</li> <li>• I feel comfortable relying on the information provided by the system.</li> </ul>

**Esempio 10:** Il documento "Acceptance of Driverless Vehicles: Results from a Large Cross-National Questionnaire Study" [48] riporta i risultati di uno studio condotto su 10.000 partecipanti provenienti da 116 paesi diversi riguardo all'accettazione dei veicoli autonomi. Lo studio si concentra principalmente sui fattori che influenzano l'accettazione dei veicoli autonomi e sulle caratteristiche

sociodemografiche dei partecipanti. I risultati mostrano che la maggior parte dei partecipanti sarebbe disposta a utilizzare un veicolo autonomo e che l'accettazione varia in base a fattori come l'età, il genere e il livello di istruzione.

Al suo interno è anche presente il questionario utilizzato per la raccolta dei dati, riportato qui di seguito.

**TABLE 3:** Means (M) and Spearman rank-order correlations ( $\rho$ ) between sociodemographic characteristics and the general acceptance score (GAC) for the whole sample, for respondents within countries, and for the whole sample after partialling out the time to complete survey and whether respondents found instructions clear ( $N = 7,755$ ).

Item	M	$\rho$ with GAC (whole sample)	$\rho$ with GAC (within country)	$\rho$ with GAC (survey time & instructions clear partialled out)
Survey time ranking 0-1	0.54	0.20	0.14	—
Survey start time	—	0.05	0.02	0.05
Survey end time	—	0.05	0.02	0.05
Q2. The definitions given in the instructions are clear to me	5.36	0.22	0.26	—
Q3. What is your gender? 1 (female), 2 (male)	1.69	0.07	0.01	0.09
Q4. Year of birth (converted to age) (open question)	32.49	0.02	0.08	-0.02
Q7. Which of the following possibilities describe your current residential situation the most? 1 (Outside city in house in countryside) to 4 (In apartment in immediate city centre)	2.95	0.12	0.08	0.10
Q8. Number of people in household between 14 and 17 years (open question)	0.27	0.05	0.03	0.06
Q8. Number of people in household between 6 and 13 years (open question)	0.36	0.04	0.02	0.04
Q8. Number of people in household younger than 6 years (open question)	0.35	0.04	0.02	0.04
Q8. Number of people older than 18 years old (open question)	2.67	0.09	0.01	0.08
Q9. Distance between home and workplace, training post or school (in miles) (open question)	9.43	0.07	0.06	0.08
Q12. Net monthly household income 1 (<\$ 1,000) to 6 (>\$ 5,000)	2.45	-0.01	0.06	-0.01
Q13. Having valid driver license 1 (No), 2 (Yes)	1.80	0.03	0.05	0.02
Q15. Number of vehicles in household 1 (0), 2 (1), 3 (2), 4 (3), 5 (>3)	1.34	0.00	0.01	-0.01
Q16. Difficulty of finding parking space 1 (Not at all difficult) to 4 (Very difficult)	2.52	0.17	0.12	0.16

TABLE 3: Continued.

Item	M	$\rho$ with GAC (whole sample)	$\rho$ with GAC (within country)	$\rho$ with GAC (survey time & instructions clear partialled out)
Q17. Annual driving mileage as driver or passenger (in miles) (open question)	8,190	-0.00	0.07	-0.04
Q18. Involvement in accidents in last three years 1 (0), 2 (1), 3 (2), 4 (3), 5 (4), 6 (5), 7 (>5)	0.43	0.02	-0.01	0.04
Q19. Having monthly pass or annual travel card for public transport 1 (No), 2 (Yes)	1.34	0.11	0.07	0.13
Q20. Distance between home and nearest public transport stop (in min.) 1 (<5 min.), 2 (5-10 min.), 3 (10-20 min.), 4 (20-30 min.), 5 (>30 min.)	1.93	0.03	0.01	0.05
Q21. Number of carsharing memberships 1 (0), 2 (1), 3 (2), 4 (>2)	0.22	0.03	0.01	0.08
Q22. Frequency of walking more than 500 meters per trip 1 (Never or almost never) to 5 (Daily or almost daily)	3.96	0.08	0.08	0.07
Q23. Frequency of cycling 1 (Never or almost never) to 5 (Daily or almost daily)	2.14	0.06	0.06	0.09
Q24. Frequency of using moped or motorcycle as driver 1 (Never or almost never) to 5 (Daily or almost daily)	1.76	0.08	0.01	0.11
Q25. Frequency of using conventional vehicle as driver or passenger 1 (Never or almost never) to 5 (Daily or almost daily)	3.90	0.08	0.07	0.05
Q26. Frequency of using light transit (<100 km per one way) 1 (Never or almost never) to 5 (Daily or almost daily)	2.91	0.14	0.09	0.15
Q27. Frequency of using public transport (>100 km per one way) 1 (Never or almost never) to 5 (Daily or almost daily)	2.15	0.10	0.03	0.14
Q71. Severity of motion sickness 1 (I do not experience motion sickness), 2 (Moderate), 3 (Severe)	1.70	-0.09	-0.08	-0.05

Note. For a sample size of 7,755, correlations of 0.03 and higher, or -0.03 and lower, are statistically significantly different from zero,  $p < 0.01$ .

TABLE 1: Continued.

Semantic content	Item	M	SD	1	2	3	4	5	6
Satisfaction daily travel	Q31. Satisfied with possibilities available to cover daily travel needs.	4.36	1.28	272	442	886	2348	2189	1582
Usefulness	Q53. Think that DV would be more useful than existing travel.	4.35	1.30	308	391	948	2376	2033	1663
Liking of being in control	Q48. Would like to take over control from DV.	4.34	1.40	438	425	832	2314	1755	1940
Liking of being in control	Q70. Careful driver can prevent any accident on road.	4.33	1.40	322	600	1059	1865	1996	1886
Knowledge of mobility	Q87. Would like to use mobility flat-rate for mobility services in city.	4.33	1.12	191	296	731	3194	2036	1173
Social influence	Q63. People who are important to me would like it when I use DV.	4.33	1.18	221	328	896	2725	2193	1253
Intention to use	Q81. Would use SDVs together with passengers in public transport.	4.32	1.29	366	384	793	2505	2214	1453
Intention to use	Q80. Would like to buy SDV.	4.22	1.37	446	504	900	2452	1914	1504
Wish for car-free future	Q93. Roads be redesigned with bicycle lane that replaces car lane.	4.20	1.35	407	461	1077	2491	1741	1501
Trust	Q58. Trust DV to be safe and reliable in severe weather conditions.	4.15	1.34	384	532	1212	2346	1891	1354
Future orientation	Q83. SDVs will be legally accepted as independent drivers.	4.14	1.24	345	414	1122	2816	1935	1045
Intention to use	Q82. Would like to use SDVs in carsharing scheme.	4.09	1.27	402	492	1013	2807	1950	975
Miscellaneous	Q61. Prefer to keep physical distance between myself and strangers.	4.09	1.32	369	601	1193	2538	1797	1201
Trust	Q44. Would feel comfortable in vehicle without steering wheel, gas or brake pedals.	4.01	1.43	563	587	1388	2232	1581	1368
Knowledge of mobility	Q76. Friends and acquaintances often consult me on mobility options.	4.00	1.30	401	656	1208	2633	1883	929

TABLE 2: Component loadings.

Semantic content	Item	GAC	Component 1	Component 2	Component 3	Component 4	Component 5
Usefulness	Q49. Would use DV for daily travel because would be better and more convenient.	0.73	0.80	0.08	0.03	-0.03	-0.05
Usefulness	Q53. Think that DV would be more useful than existing travel.	0.72	0.75	0.15	-0.03	-0.01	-0.01
Ease of use	Q50. Think DV would be easier to use than existing travel.	0.71	0.77	0.14	-0.01	-0.02	-0.04
Ease of use	Q52. Think that learning to operate DV would be easy for me.	0.49	0.43	-0.12	0.30	-0.08	0.11
Pleasure	Q37. Think I would enjoy taking a ride in DV.	0.67	0.79	-0.11	0.18	-0.06	-0.11
Pleasure	Q39. Would find it important that DVs are aesthetic.	0.46	0.43	0.12	0.36	-0.05	-0.03
Social influence	Q63. People who are important to me would like it when I use DV.	0.66	0.57	0.20	0.02	0.03	0.09
Social influence	Q60. Would like to have friends or family adopt DV before I do.	0.29	0.28	0.49	0.21	-0.02	-0.13
Trust	Q56. Trust that DV can drive without assistance from me.	0.65	0.75	-0.03	-0.03	-0.07	-0.02
Trust	Q58. Trust DV to be safe and reliable in severe weather conditions.	0.58	0.64	0.18	-0.11	-0.07	0.02
Trust	Q44. Would feel comfortable in vehicle without steering wheel, gas or brake pedals.	0.56	0.65	0.10	-0.18	-0.02	-0.03
Trust	Q64. Would trust driving skills of DV more than own driving skills.	0.49	0.52	0.34	-0.22	0.08	-0.08
Intention to use	Q80. Would like to buy SDV.	0.65	0.62	0.10	-0.03	-0.02	0.09
Intention to use	Q38. Would use 100% electric DV.	0.61	0.69	-0.19	0.30	0.01	-0.15
Intention to use	Q43. Would use 100% EDV from train station to final destination.	0.59	0.67	-0.16	0.20	-0.02	-0.10
Intention to use	Q81. Would use SDVs together with passengers in public transport.	0.59	0.53	0.05	-0.06	0.07	0.06

TABLE 1: Continued.

Semantic content	Item	M	SD	1	2	3	4	5	6
Wish for car-free future	Q91. In cities, EVs will completely replace combustion engines within next 20-30 years.*	3.37	0.82	307	598	2284	3845		
Future orientation	Q84. SDVs will mostly be shared vehicles.*	3.36	0.85	338	671	2050	3796		
Enjoy manual	Q69. Like to learn to drive vehicles that exceed speed of 300 km/h.	3.27	1.72	1836	1011	1164	1604	1077	1014
Future orientation	Q85. SDVs will mostly be privately owned.*	3.22	0.93	426	1133	1870	3516		
Wish for car-free future	Q90. Roads in cities will be redesigned to privilege non-motorized travel.*	3.21	0.88	411	913	2590	3253		
Miscellaneous	Q67. Driving without accidents is mainly matter of luck.	3.16	1.53	1439	1445	1417	1849	989	575
Wish for car-free future	Q88. Many car-free neighborhoods with exceptional car use and no parking space.*	2.94	0.96	672	1258	2563	2226		
Wish for car-free future	Q89. City centers closed to car-traffic.*	2.89	0.99	789	1399	2439	2242		
Wish for car-free future	Q94. Think of your own neighbourhood. Which of following statements do you agree to most? Select only one option.*	1.83	0.82	3375	2302	2078			
Liking of being in control	Q46. Mind being transported by DV supervised by ECR?*	1.58	0.49	3136	4390				

Note. (E) DV = (electric) driverless vehicle, SDV = self-driving vehicle, and ECR = external control room.

TABLE 1: Continued.

Semantic content	Item	M	SD	1	2	3	4	5	6
Enjoyment of technology	Q72. Friends and acquaintances often ask for advice, when they have technical problem.	4.00	1.31	450	655	1066	2719	1886	921
Knowledge of mobility	Q78. Often provide others with information regarding mobility options.	4.00	1.30	396	662	1207	2670	1868	916
Knowledge of mobility	Q77. Often first to make people aware of new mobility.	4.00	1.33	428	656	1267	2542	1798	1014
Liking of being in control	Q68. When driver is involved in accident, (s)he did not drive properly.	3.92	1.41	471	877	1415	2100	1748	1099
Wish for car-free future	Q92. Would like to live in car-free neighbourhood.	3.88	1.48	703	730	1330	2236	1471	1238
Trust	Q64. Would trust driving skills of DV more than own driving skills.	3.80	1.47	732	803	1446	2060	1637	1019
Skeptical	Q42. DVs would take away the pleasure or enjoyment.	3.78	1.42	693	780	1340	2497	1477	920
Skeptical	Q57. Would feel uncomfortable entrusting safety of family to DV.	3.78	1.33	492	830	1621	2503	1461	806
Social influence	Q60. Would like to have friends or family adopt DV before I do.	3.77	1.30	520	740	1592	2676	1450	692
Intention to use	Q54. Indicate when you would use DV. Only most relevant option.*	3.74	1.15	221	768	2228	2555	1408	507
Satisfaction daily travel	Q28. Can organize my day flexibly with public transport.	3.73	1.49	884	821	1149	2308	1638	883
Intention to use	Q51. Even if more expensive than existing travel, would prefer DVs.	3.72	1.45	756	850	1537	2170	1504	904
Intention to use	Q41. Indicate when you would use DV. Only most relevant option.*	3.67	1.27	633	894	1399	2163	2573	
Skeptical	Q59. Would not use DV because technology can fail.	3.48	1.32	636	1128	1995	2429	946	594
Future orientation	Q86. SDVs will be normal part of everyday mobility.*	3.43	0.79	231	665	2102	4242		
Enjoy manual	Q66. Often feel like racing driver when driving manually.	3.40	1.55	1314	932	1388	2036	1250	687

TABLE 2: Continued.

Semantic content	Item	GAC	Component 1	Component 2	Component 3	Component 4	Component 5
Intention to use	Q82. Would like to use SDVs in carsharing scheme.	<b>0.57</b>	<b>0.47</b>	0.18	-0.08	0.06	0.13
Intention to use	Q51. Even if more expensive than existing travel, would prefer DVs.	<b>0.55</b>	<b>0.51</b>	<b>0.42</b>	-0.12	-0.03	0.08
Intention to use	Q41. Indicate when you would use DV. Only most relevant option.	<b>0.53</b>	<b>0.60</b>	-0.17	-0.09	-0.04	0.04
Intention to use	Q40. Would share DV with 6-8 fellow travelers with same route like.	<b>0.52</b>	<b>0.51</b>	0.00	0.11	0.03	-0.03
Intention to use	Q54. Indicate when you would use DV. Only most relevant option.	0.11	0.17	0.26	0.14	0.00	-0.20
Knowledge of mobility	Q87. Would like to use mobility flat-rate for mobility services in city.	<b>0.58</b>	0.38	-0.05	0.12	0.17	0.13
Knowledge of mobility	Q75. Often think about how mobility in city could be improved.	0.56	0.19	-0.07	0.12	0.13	<b>0.42</b>
Knowledge of mobility	Q78. Often provide others with information regarding mobility options.	<b>0.52</b>	-0.02	0.27	-0.10	0.03	<b>0.78</b>
Knowledge of mobility	Q77. Often first to make people aware of new mobility options.	<b>0.51</b>	-0.05	0.28	-0.12	0.02	<b>0.80</b>
Knowledge of mobility	Q76. Friends and acquaintances often consult me on mobility options.	<b>0.49</b>	-0.06	0.26	-0.08	0.02	<b>0.78</b>
Future orientation	Q83. SDVs will be legally accepted as independent drivers.	<b>0.56</b>	<b>0.52</b>	0.14	-0.10	0.03	0.08
Future orientation	Q86. SDVs will be normal part of everyday mobility.	<b>0.45</b>	0.31	0.04	0.02	0.23	0.00
Future orientation	Q84. SDVs will mostly be shared vehicles.	0.31	0.16	0.04	0.10	0.23	-0.03
Future orientation	Q85. SDVs will mostly be privately owned.	0.24	0.12	0.27	0.08	0.12	-0.02
Wish for car-free future	Q93. Roads be redesigned with bicycle lane that replaces car lane.	<b>0.47</b>	0.05	-0.01	0.04	<b>0.58</b>	0.08

TABLE 1: Continued.

Semantic content	Item	M	SD	1	2	3	4	5	6
Enjoyment of technology	Q72. Friends and acquaintances often ask for advice, when they have technical problem.	4.00	1.31	450	655	1066	2719	1886	921
Knowledge of mobility	Q78. Often provide others with information regarding mobility options.	4.00	1.30	396	662	1207	2670	1868	916
Knowledge of mobility	Q77. Often first to make people aware of new mobility.	4.00	1.33	428	656	1267	2542	1798	1014
Liking of being in control	Q68. When driver is involved in accident, (s)he did not drive properly.	3.92	1.41	471	877	1415	2100	1748	1099
Wish for car-free future	Q92. Would like to live in car-free neighbourhood.	3.88	1.48	703	730	1330	2236	1471	1238
Trust	Q64. Would trust driving skills of DV more than own driving skills.	3.80	1.47	732	803	1446	2060	1637	1019
Skeptical	Q42. DVs would take away the pleasure or enjoyment.	3.78	1.42	693	780	1340	2497	1477	920
Skeptical	Q57. Would feel uncomfortable entrusting safety of family to DV.	3.78	1.33	492	830	1621	2503	1461	806
Social influence	Q60. Would like to have friends or family adopt DV before I do.	3.77	1.30	520	740	1592	2676	1450	692
Intention to use	Q54. Indicate when you would use DV. Only most relevant option.*	3.74	1.15	221	768	2228	2555	1408	507
Satisfaction daily travel	Q28. Can organize my day flexibly with public transport.	3.73	1.49	884	821	1149	2308	1638	883
Intention to use	Q51. Even if more expensive than existing travel, would prefer DVs.	3.72	1.45	756	850	1537	2170	1504	904
Intention to use	Q41. Indicate when you would use DV. Only most relevant option.*	3.67	1.27	633	894	1399	2163	2573	
Skeptical	Q59. Would not use DV because technology can fail.	3.48	1.32	636	1128	1995	2429	946	594
Future orientation	Q86. SDVs will be normal part of everyday mobility.*	3.43	0.79	231	665	2102	4242		
Enjoy manual	Q66. Often feel like racing driver when driving manually.	3.40	1.55	1314	932	1388	2036	1250	687

TABLE 2: Continued.

Semantic content	Item	GAC	Component 1	Component 2	Component 3	Component 4	Component 5
Wish for car-free future	Q91. In cities, EVs will completely replace combustion engines within next 20–30 years.	0.43	0.08	−0.19	0.04	<b>0.60</b>	−0.02
Wish for car-free future	Q90. Roads and streets in cities will be redesigned to privilege non-motorized travel.	0.41	−0.06	−0.07	−0.04	<b>0.76</b>	0.01
Wish for car-free future	Q92. Would like to live in car-free neighbourhood.	<b>0.41</b>	0.01	−0.04	−0.04	<b>0.67</b>	0.00
Wish for car-free future	Q88. Many car-free neighborhoods with exceptional car use and no parking space.	0.39	−0.07	0.10	−0.10	<b>0.72</b>	0.04
Wish for car-free future	Q89. City centers closed to car-traffic.	0.32	−0.15	0.02	−0.10	<b>0.78</b>	−0.01
Wish for car-free future	Q94. Think of your own neighbourhood. Which of following statements do you agree to most? Select only one option.	0.14	−0.08	−0.27	−0.13	<b>0.46</b>	0.00
Enjoyment of technology	Q74. Fun to use electronic device.	<b>0.46</b>	0.19	−0.34	0.31	0.00	0.37
Enjoyment of technology	Q73. Rapidly and intuitively learn to handle unfamiliar electronic devices.	0.39	0.04	−0.27	0.22	−0.02	<b>0.53</b>
Enjoyment of technology	Q72. Friends and acquaintances often ask for advice, when they have technical problem.	0.33	−0.12	0.00	0.03	−0.03	<b>0.69</b>
Liking of being in control	Q70. Careful driver can prevent any accident on road.	0.31	0.08	0.19	0.20	0.09	0.15
Liking of being in control	Q36. Would like to have button inside DV.	0.27	0.28	−0.26	<b>0.58</b>	−0.01	−0.16
Liking of being in control	Q68. When driver is involved in accident, (s)he did not drive properly.	0.22	0.01	0.32	0.09	0.10	0.12
Liking of being in control	Q46. Mind being transported by DV supervised by ECR?	0.12	0.01	0.20	−0.04	0.06	0.08
Liking of being in control	Q48. Would like to take over control from DV when want this.	0.08	−0.02	0.17	<b>0.53</b>	−0.06	−0.03
Enjoy manual	Q30. Driving is especially fun for me.	0.19	0.01	0.19	<b>0.48</b>	−0.16	0.19
Enjoy manual	Q66. Often feel like racing driver when driving manually.	0.18	−0.05	<b>0.60</b>	0.10	−0.07	0.24

TABLE 2: Continued.

Semantic content	Item	GAC	Component 1	Component 2	Component 3	Component 4	Component 5
Enjoy manual	Q29. Need vehicle to be flexible.	0.17	0.19	-0.01	<b>0.43</b>	-0.22	0.04
Enjoy manual	Q69. Like to learn to drive vehicles that exceed speed of 300 km/h.	0.16	-0.05	<b>0.45</b>	0.05	-0.13	0.32
Satisfaction daily travel	Q28. Can organize my day flexibly with public transport.	0.22	0.12	0.11	0.10	0.22	-0.11
Satisfaction daily travel	Q31. Satisfied with possibilities available to cover daily travel.	0.11	0.05	0.13	<b>0.47</b>	0.01	-0.13
Skeptical	Q42. DVs would take away the pleasure or enjoyment.	-0.08	-0.26	0.30	<b>0.42</b>	-0.03	0.06
Skeptical	Q65. There will always be accidents, even with DVs on the road.	-0.09	-0.17	-0.10	<b>0.41</b>	0.07	-0.10
Skeptical	Q57. Would feel uncomfortable entrusting safety of family to DV.	-0.13	-0.34	0.29	0.39	0.10	-0.01
Skeptical	Q59. Would not use DV because technology can fail.	-0.35	<b>-0.58</b>	0.30	0.34	0.13	-0.02
Miscellaneous	Q61. Prefer to keep physical distance between myself and strangers.	-0.03	-0.09	0.19	0.37	0.05	-0.15
Miscellaneous	Q62. Environmental protection crucial for transportation.	<b>0.50</b>	0.26	0.06	0.18	0.21	0.10
Miscellaneous	Q67. Driving without accidents is mainly matter of luck.	0.05	-0.03	<b>0.54</b>	0.00	0.00	0.00

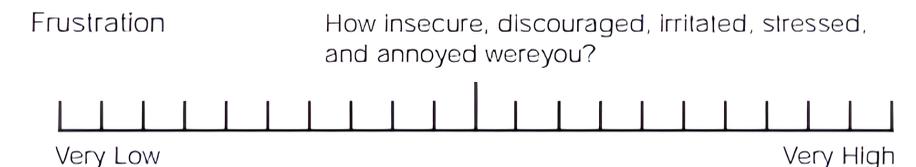
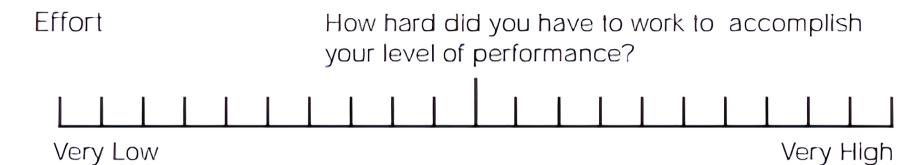
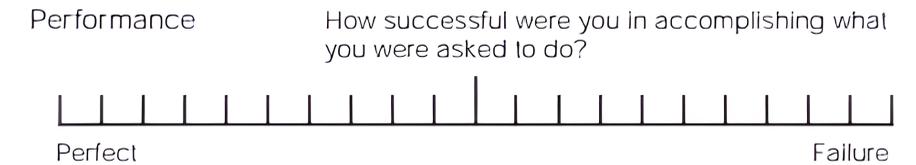
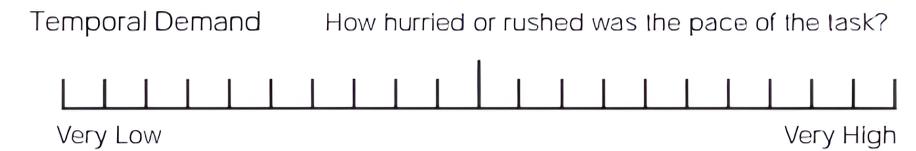
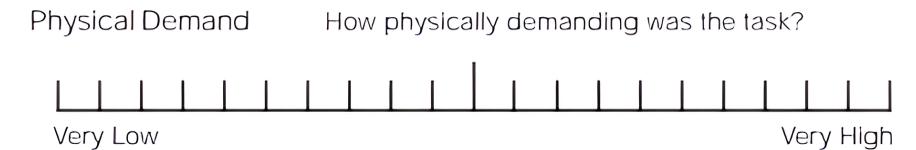
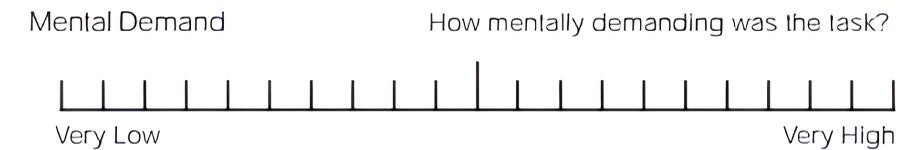
Note. DV = driverless vehicle; SDV = self-driving vehicle. The general acceptance component is the first principal component. Components 1-5 are the first five components, after Promax rotation. Component loadings of magnitude > 0.40 are listed in boldface.

TABLE 1: Means (M), standard deviations (SD), and distribution of questionnaire items on a scale from 1 (disagree strongly) to 6 (agree strongly), unless indicated otherwise\*.

Semantic content	Item	M	SD	1	2	3	4	5	6
Liking of being in control	Q36. Would like to have button inside DV.	5.18	1.15	146	144	297	1299	1532	4296
Intention to use	Q38. Would use 100% electric DV.	5.09	1.20	200	168	301	1316	1804	3924
Enjoyment of technology	Q74. Fun to use electronic device.	4.99	1.10	79	179	402	1656	2143	3261
Pleasure	Q37. Think I would enjoy taking a ride in DV.	4.90	1.22	226	213	350	1610	2213	3114
Enjoy manual	Q29. Need vehicle to be flexible.	4.77	1.38	294	355	601	1539	1700	3230
Ease of use	Q52. Learning to operate DV would be easy for me.	4.76	1.18	162	218	536	2015	2228	2535
Intention to use	Q43. Would use 100% electric DV from train station to final destination.	4.72	1.25	256	227	506	1965	2217	2546
Enjoyment of technology	Q73. Rapidly and intuitively learn to handle unfamiliar electronic devices.	4.67	1.17	136	255	605	2201	2304	2210
Miscellaneous	Q62. Environmental protection crucial for transportation.	4.64	1.21	143	291	697	2267	1999	2312
Knowledge of mobility	Q75. Often think about how mobility in city could be improved.	4.63	1.22	163	320	681	2179	2110	2268
Pleasure	Q39. Would find it important that DVs are aesthetic in terms of styling and design.	4.62	1.21	201	263	601	2252	2286	2101
Intention to use	Q40. Would share DV with 6-8 fellow travelers.	4.48	1.29	296	343	752	2235	2192	1905
Usefulness	Q49. Would use DV for daily travel because would be better and more convenient.	4.48	1.28	289	329	754	2293	2168	1894
Ease of use	Q50. Think DV would be easier to use than existing travel.	4.46	1.28	273	328	849	2280	2118	1879
Enjoy manual	Q30. Driving is especially fun for me.	4.44	1.45	458	445	741	1899	1812	2263
Skeptical	Q65. There will always be accidents, even with DVs on the road.	4.38	1.27	227	434	908	2463	1976	1698
Trust	Q56. Trust that DV can drive without assistance from me.	4.36	1.25	280	370	872	2456	2280	1479

**Esempio 11:** Il metodo NASA Task Load Index (TLX) di Hart e Staveland valuta il carico di lavoro su cinque scale a 7 punti. incrementi di stime alte, medie e basse per ogni punto si ottengono 21 gradazioni sulle scale [49].

Name	Task	Date
------	------	------



**Esempio 12:** Il Big Five Questionnaire-2 (BFQ-2) è un test di personalità basato sulla teoria dei Big Five, che individua cinque dimensioni fondamentali e dieci sottodimensioni per la descrizione e la valutazione della personalità [51].

### SCALE DI PERSONALITA'

Nome: \_\_\_\_\_ Cognome: \_\_\_\_\_

Data del test: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Età: \_\_\_\_\_

Data di nascita: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Tel: \_\_\_\_\_ email: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## BFQ Big Five Questionnaire QUESTIONARIO

### ISTRUZIONI

Le affermazioni del questionario sono state concepite per consentire a ciascuna persona di situarsi rispetto ad alcuni tratti di personalità. Non ci sono risposte "giuste" o "sbagliate". E' dunque impossibile ottenere un punteggio in grado di descrivere la Sua personalità più o meno accuratamente.

Le assicuriamo di trattare le risposte da Lei fornite con la massima riservatezza.

A questo fine le saremo grati se per ogni affermazione del questionario vorrà seguire le indicazioni che seguono:

1) legga l'affermazione e scriva il numero corrispondente alla risposta da Lei prescelta secondo la seguente scala:

1. ASSOLUTAMENTE FALSO PER ME
2. PIUTTOSTO FALSO PER ME
3. NE' VERO NE' FALSO
4. ABBASTANZA VERO PER ME
5. ASSOLUTAMENTE VERO PER ME

2) si assicuri di riportare, per ciascuna affermazione, il valore numerico tra 1 e 5 corrispondente al grado con cui Lei ritiene che l'affermazione sia appropriata o comunque si avvicini a descrivere la Sua personalità.

1	Mi sembra di essere una persona attiva e vigorosa	
2	Non i piace fare le cose ragionandoci troppo sopra	
3	Tendo a farmi esageratamente coinvolgere quando qualcuno mi racconta i suoi guai	
4	Non sono particolarmente preoccupato delle conseguenze che le mie azioni possono avere sugli altri	
5	Sono sempre informato su quello che accade nel mondo	
6	Non ho mai detto una bugia	
7	Non i piacciono quelle attività in cui è necessario impegnarsi allo spasimo	
8	Tendo ad essere molto riflessivo	
9	Non m capita spesso di sentirmi teso	
10	Capisco quando la gente ha bisogno del mio aiuto	
11	Non ricordo con facilità i lunghi numeri telefonici	
12	Sono sempre andato completamente d'accordo con tutti	
13	Generalmente tendo ad impormi piuttosto che accondiscendere	
14	Di fronte a grossi ostacoli non conviene insistere nel proseguire i propri obiettivi	
15	Sono piuttosto suscettibile	
16	Non è necessario comportarsi maniera cordiale con tutti	
17	Non sono molto attratto da situazioni nuove e inattese	
18	Ho sempre risolto immediatamente ogni problema	
19	Non mi piacciono gli ambienti di lavoro in cui c'è molta competizione	
20	Porto fino in fondo le decisioni che ho preso	
21	Non è facile che qualcosa o qualcuno mi faccia perdere la pazienza	
22	Mi piace mescolarmi alla gente	
23	Ogni novità mi affascina	
24	Non mi sono mai impaurito di fronte ad un pericolo, anche se molto grave	
25	Tendo a decidere con rapidità	
26	Prima di prendere eventuali iniziative, prendo tempo nel valutare le possibili conseguenze	
27	Non credo di essere una persona ansiosa	
28	Di fronte alle disgrazie dei miei amici mi capita di non capire come comportarmi	
29	Ho una memoria di ferro	
30	Sono sempre stato assolutamente sicuro delle mie azioni	
31	Nel lavoro non do particolare importanza a rendere meglio di altri	
32	Non i piace vivere in maniera troppo metodica e ordinata	

33	Mi sento vulnerabile alle critiche altrui	
34	Se necessario non mi tiro indietro dal dare aiuto a sconosciuti	
35	Le situazioni in continua trasformazione non esercitano su di me alcun fascino	
36	Non ho mai disobbedito agli ordini ricevuti, neppure da piccolo	
37	Non mi piacciono quelle attività in cui è necessario spostarsi e muoversi continuamente	
38	Non credo che sia il caso di applicarsi oltre il limite delle proprie forze, anche se vi è una scadenza da rispettare	
39	Sono disposto ad impiegarmi a fondo pur di primeggiare	
40	Non mi astengo dal criticare gli altri, specie quando se lo meritano	
41	Ritengo che non vi siano dei valori o delle usanze validi in "eterno"	
42	Nell'affrontare un problema non è produttivo tenere in considerazione molti punti di vista differenti	
43	In genere non mi irrita anche in situazioni in cui avrei motivi validi per farlo	
44	In ogni circostanza mi è facile ammettere di aver sbagliato	
45	Quando sono irritato faccio trasparire il mio malumore	
46	Metto in atto ciò che ho deciso anche se questo comporta un impegno imprevisto	
47	Non perdo tempo nell'acquisire conoscenze che non sono strettamente attinenti al mio campo di interesse	
48	So quasi sempre come venire in contro alle esigenze altrui	
49	Continuo a portare avanti le attività intraprese anche quando i risultati iniziali sembrano negativi	
50	Non mi capita spesso di sentirmi solo e triste	
51	Non mi piace fare più attività contemporaneamente	
52	Di solito ho un atteggiamento cordiale anche con persone per le quali provo una certa antipatia	
53	Spesso sono del tutto assorbito dai miei impegni e dalle mie attività	
54	Quando qualcosa blocca i miei progetti non insisto a perseguirli e ne intraprendo altri	
55	Non mi interessano i programmi televisivi troppo "impegnativi"	
56	Sono una persona che va sempre in cerca di nuove esperienze	
57	Mi dà molto fastidio il disordine	
58	Non sono solito reagire in maniera impulsiva	
59	Trovo sempre validi argomenti per sostenere i miei motivi e persuadere gli altri della loro validità	
60	Mi piace tenermi informato anche di argomenti che sono distanti dai miei ambiti di competenza	
61	Non do molta importanza a mettere in mostra le mie capacità	
62	Il mio umore è soggetto a frequenti oscillazioni	
63	A volte mi capita di arrabbiarmi per cose di poco conto	
64	Non concedo facilmente un prestito anche a persone che conosco bene	
65	Non mi piacciono le comitive numerose	
66	Di solito non organizzo la mia vita fin nei minimi particolari	
67	Non mi hanno mai interessato i modi di vita e i costumi di altri popoli	
68	Non esito a dire ciò che penso	
69	Spesso mi capita di essere agitato	
70	In genere non è il caso di mostrarsi sensibili alle difficoltà altrui	
71	Nelle riunioni non mi preoccupa in modo particolare di attrarre l'attenzione	
72	Credo che un problema possa essere risolto in modi molto diversi	
73	Se ritengo di avere ragione mi preoccupa di convincere gli altri del mio punto di vista, anche se ciò può costare tempo ed energia	
74	Di solito non tendo a fidarmi eccessivamente del mio prossimo	
75	Difficilmente desisto da un'attività che ho intrapreso	
76	Di solito non perdo la calma	
77	Non dedico molto tempo alla lettura	
78	Non sono solito conversare con eventuali compagni di viaggio	
79	A volte sono stato scrupoloso da poter apparire noioso	
80	Mi sono sempre comportato in maniera totalmente disinteressata	
81	Non ho difficoltà a controllare i miei sentimenti	
82	Non sono mai stato un perfezionista	
83	In diverse circostanze mi è capitato di comportarmi in modo impulsivo	
84	Non mi è mai capitato di alzare la voce o di litigare con qualcuno	
85	È inutile impegnarsi ad oltranza perché la perfezione non si raggiunge mai	
86	Tengo in grande considerazione il punto di vista dei miei colleghi	
87	Le scienze mi hanno sempre appassionato	
88	Mi confido volentieri con gli altri	

89	Di solito non mi capita di reagire in maniera esagerata anche a forti emozioni	
90	Non credo che conoscere la storia serva a tanto	
91	Non sono solito reagire alle provocazioni	
92	Non c'è nessuna cosa che io abbia fatto, che avrei potuto fare meglio	
93	Ritengo che in ogni persona ci sia qualcosa di buono	
94	Mi risulta facile parlare con persone che non conosco	
95	Non credo che esistano possibilità di convincere gli altri quando non la pensano come noi	
96	Se fallisco in un compito, continuo a riprovarci finché non riesco	
97	Sono sempre stato affascinato dalle culture molto diverse dalla mia	
98	Mi capita spesso di sentirmi nervoso	
99	Non sono una persona loquace	
100	Non è molto produttivo adeguarsi alle esigenze dei propri colleghi, se ciò comporta un rallentamento dei propri ritmi	
101	Ho sempre capito immediatamente ogni cosa che ho letto	
102	Sono sempre sicuro di me stesso	
103	Non capisco cosa spinga le persone a comportarsi in maniera diversa dalla media	
104	Mi infastidisce molto essere disturbato mentre sto facendo qualcosa che mi interessa	
105	Mi piace molto vedere i programmi di informazione culturale e/o scientifica	
106	Prima di consegnare un lavoro dedico molto tempo alla sua revisione	
107	Se le cose non vanno subito per il verso giusto, non insisto più di tanto	
108	Se è necessario non esito a dire agli altri di pensare ai loro affari	
109	Se una mia attività può risultare sgradita a qualcuno, sicuramente vi rinuncio	
110	Quando un lavoro è terminato non sto a rivedere ogni minimo dettaglio	
111	Sono convinto che si ottengono risultati migliori cooperando piuttosto che mettendosi in competizione	
112	Preferisco leggere piuttosto che fare un'attività sportiva	
113	Non ho mai criticato nessuno	
114	Affronto ogni mia esperienza con grande entusiasmo	
115	Sono soddisfatto solo quando vedo i risultati di ciò che avevo programmato	
116	Quando vengo criticato non riesco a trattenermi dal chiedere delle giustificazioni	
117	Non si ottiene nulla nella vita senza essere competitivi	
118	Cerco sempre di vedere ogni cosa da angolature differenti	
119	Anche in situazioni estremamente difficili, non perdo il controllo	
120	A volte anche piccole difficoltà hanno il potere di farmi preoccupare	
121	Generalmente non mi comporto in maniera espansiva con estranei	
122	Di solito non cambio umore improvvisamente	
123	Non mi piacciono le attività che comportano del rischio	
124	Non ho mai provato molto interesse per le materie scientifiche e/o filosofiche	
125	Quando comincio a fare qualcosa, non so mai se la poterò a compimento	
126	Generalmente ho fiducia negli altri e nelle loro intenzioni	
127	Ho provato sempre simpatia nei confronti di ogni persona che ho conosciuto	
128	Con certe persone non bisogna essere troppo tolleranti	
129	Di solito curo ogni cosa nei minimi particolari	
130	Non è lavorando in gruppo che si realizzano in modo migliore le proprie competenze	
131	Non vado in cerca di una soluzione nuova a quei problemi per i quali ne è già disponibile una efficace	
132	Non credo che sia utile perdere tempo nel controllare più volte quello che si è fatto	

## TAS-20

Seguendo le istruzioni sotto elencate; indichi quanto è d'accordo o no con ciascuna delle seguenti affermazioni con un **X** sopra il numero corrispondente.

Segnare solo una risposta per ciascuna frase.

1. non sono per niente d'accordo
2. non sono molto d'accordo
3. non sono ne' d'accordo ne' in disaccordo
4. sono d'accordo in parte
5. sono del tutto d'accordo

- |  |   |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|---|
| 1. Sono spesso confuso/a circa le emozioni che provo e i sentimenti  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 2. Mi è difficile trovare le parole giuste per esprimere i miei sentimenti.                                    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 3. Provo delle sensazioni fisiche che neanche i medici capiscono.  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 4. Riesco facilmente a descrivere i miei sentimenti.   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 5. Preferisco approfondire i problemi piuttosto che descriverli semplicemente.                                 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 6. Quando sono coinvolto/a, non so se sono triste, spaventato/a, o arrabbiato/a.                               | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 7. Sono spesso disorientato/a dalle sensazioni che provo nel mio corpo.  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 8. Preferisco lasciare che le cose seguano il loro corso piuttosto che capire perché sono andate in quel modo. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 9. Provo sentimenti che non riesco proprio a identificare.   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 10. E' essenziale conoscere le proprie emozioni.   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 11. Mi è difficile descrivere ciò che provo per gli altri.   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 12. Gli altri mi chiedono di parlare di più dei miei sentimenti.   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 13. Non capisco cosa stia accadendo dentro di me.  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 14. Spesso non so perché mi arrabbio.  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 15. Con le persone preferisco parlare delle cose di tutti i giorni piuttosto che delle loro emozioni.          | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 16. Preferisco vedere spettacoli leggeri piuttosto che spettacoli a sfondo psicologico.                        | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 17. Mi è difficile rivelare i miei sentimenti più profondi anche agli amici più intimi.                        | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 18. Riesco a sentirmi vicino ad una persona anche se capita di stare in silenzio.                              | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 19. Trovo che l'esame dei miei sentimenti mi serve a risolvere i miei problemi personali.                      | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 20. Cercare significati nascosti in film o commedie distoglie dal piacere dello spettacolo.                    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

## PANAS

### Per ciascuno dei seguenti aggettivi stimi il grado in cui

Questo significa in media come si sente in media e NON in risposta ad un particolare evento o a come si sente oggi ma in generale

- 1= molto leggermente o no del tutto  
 2= un po'  
 3= moderatamente  
 4= abbastanza  
 5= estremamente

- |                      |                       |
|----------------------|-----------------------|
| _____ 1. Interessato | _____ 11. Irritabile  |
| _____ 2. Angosciato  | _____ 12. Allertato   |
| _____ 3. Eccitato    | _____ 13. Vergognato  |
| _____ 4. Turbato     | _____ 14. Ispirato    |
| _____ 5. Forte       | _____ 15. Nervoso     |
| _____ 6. Colpevole   | _____ 16. Determinato |
| _____ 7. Spaventato  | _____ 17. Attento     |
| _____ 8. Ostile      | _____ 18. Teso        |
| _____ 9. Entusiasta  | _____ 19. Attivo      |
| _____ 10. Orgoglioso | _____ 20. Impaurito   |

La preghiamo di accertarsi di aver risposto a **tutte** le domande, quindi **salvi** il file e lo rispedisca al mittente. La ringraziamo per la sua collaborazione e disponibilità.

## 5.3 Valutazione casi studio

Prima di redigere accuratamente il questionario per il progetto precedentemente presentato, è essenziale compiere un passo fondamentale: la valutazione di questionari già esistenti.

Questa fase assume un ruolo cruciale nel garantire la validità e l'affidabilità dei dati raccolti.

Dopo aver identificato un numero adeguato di casi studio, ho proceduto con la valutazione di ciascuno di essi al fine di determinare il migliore. Questa valutazione si è basata su parametri chiave che consentono di valutare la qualità di un questionario:

### 1. Validità:

- Validità di contenuto: Misura se il questionario copre adeguatamente l'argomento di interesse.
- Validità di costrutto: Esamina se le domande riflettono accuratamente i concetti o i costrutti che si intendono misurare.
- Validità di criterio: Verifica se le risposte al questionario sono correlate in modo significativo con criteri esterni noti.

### 2. Affidabilità:

- Affidabilità interna: Indica la coerenza delle risposte all'interno del questionario, ad esempio attraverso la consistenza delle misure ripetute.
- Affidabilità test-ritest: Misura la coerenza delle risposte quando lo stesso questionario viene somministrato più volte con un certo intervallo di tempo.

### 3. Chiarezza e comprensibilità:

- Assicurarsi che le domande siano formulate in modo chiaro e comprensibile per il pubblico di riferimento.

- Evitare ambiguità, doppie negazioni o linguaggio tecnico inappropriato.

### 4. Rappresentatività:

- Verificare se il questionario rappresenta in modo accurato la popolazione di interesse.
- Assicurarsi che la gamma di risposte possibili rifletta adeguatamente la varietà di opinioni o comportamenti della popolazione.

### 5. Ordine delle domande:

- L'ordine delle domande può influenzare le risposte. Assicurarsi che l'organizzazione delle domande sia logica e non influenzi in modo indesiderato le risposte successive.

### 6. Modalità di somministrazione:

- Valutare se il questionario è somministrato in modo coerente attraverso interviste, auto-somministrazione o altre modalità, e se ciò può influenzare le risposte.

### 7. Tempo di completamento:

- Assicurarsi che il questionario richieda un tempo ragionevole per essere completato, evitando di sovraccaricare i partecipanti con troppe domande.

### 8. Scalabilità:

- Valutare se il questionario può essere utilizzato su diverse popolazioni o in contesti diversi mantenendo la sua validità.

L'idea alla base del concetto di "questionario validato" sottolinea che ha senso impiegare uno specifico strumento per misurare un fenomeno solo se questo strumento è effettivamente in grado di misurare tale fenomeno [91].

La combinazione di questi parametri fornisce una valutazione completa della qualità di un questionario, contribuendo a garantire che i dati raccolti siano affidabili e validi per gli scopi della ricerca o dell'indagine. Non esistendo una scala universale standard per la valutazione dei questionari, poiché può variare a seconda del contesto, degli obiettivi della ricerca e delle metriche specifiche utilizzate, si è preferito adottare una delle scale di valutazione più comunemente impiegate nella valutazione dei questionari, la Scala Likert, dando un punteggio che va da un minimo di un punto fino ad un massimo di sette.

Qui di seguito la valutazione dei casi studio selezionati.

#### UEQonline

Validità: 5

Affidabilità: 5

Chiarezza e comprensibilità: 6

Rappresentatività: 7

Ordine delle domande: 6

Modalità di somministrazione: 7

Tempo di completamento: 7

Scalabilità: 7

Overall: 6,25

#### UX Survey Sparrow questionnaire

Validità: 7

Affidabilità: 7

Chiarezza e comprensibilità: 6

Rappresentatività: 6

Ordine delle domande: 6

Modalità di somministrazione: 3

Tempo di completamento: 5

Scalabilità: 6

Overall: 5,75

Tesi di laurea Magistrale dal titolo "Interfacce Uomo-macchina per Veicoli a Guida Autonoma: Studio della User Experience in Scenari Virtuali"

Validità: 7

Affidabilità: 7

Chiarezza e comprensibilità: 6

Rappresentatività: 5

Ordine delle domande: 7

Modalità di somministrazione: 3

Tempo di completamento: 2

Scalabilità: 2

Overall: 4,88

#### ASQ

Validità: 4

Affidabilità: 4

Chiarezza e comprensibilità: 7

Rappresentatività: 4

Ordine delle domande: 5

Modalità di somministrazione: 6

Tempo di completamento: 7

Scalabilità: 7

Overall: 5,5

#### SMEQ

Validità: 5

Affidabilità: 4  
Chiarezza e comprensibilità: 3  
Rappresentatività: 4  
Ordine delle domande: 1  
Modalità di somministrazione: 4  
Tempo di completamento: 7  
Scalabilità: 7  
Overall: 4,38

SEQ  
Validità: 5  
Affidabilità: 3  
Chiarezza e comprensibilità: 7  
Rappresentatività: 3  
Ordine delle domande: 1  
Modalità di somministrazione: 7  
Tempo di completamento: 7  
Scalabilità: 7  
Overall: 5

PIARC-Italia, "Aspetti etici, sociali e di sicurezza della guida autonoma"  
Validità: 7  
Affidabilità: 7  
Chiarezza e comprensibilità: 7  
Rappresentatività: 6  
Ordine delle domande: 6  
Modalità di somministrazione: 5  
Tempo di completamento: 3  
Scalabilità: 1  
Overall: 5,25

"Trust towards Human vs. Automated Agents: Using a Multidimensional Trust Questionnaire to Assess The Role of Performance, Utility, Purpose, and Transparency"

Validità: 4  
Affidabilità: 5  
Chiarezza e comprensibilità: 7  
Rappresentatività: 5  
Ordine delle domande: 6  
Modalità di somministrazione: 6  
Tempo di completamento: 6  
Scalabilità: 7  
Overall: 5,75

Questionario redatto da The Journal of Social Psychology  
Validità: 5  
Affidabilità: 4  
Chiarezza e comprensibilità: 6  
Rappresentatività: 5  
Ordine delle domande: 5  
Modalità di somministrazione: 6  
Tempo di completamento: 7  
Scalabilità: 7  
Overall: 5,63

"Acceptance of Driverless Vehicles: Results from a Large Cross-National Questionnaire Study"  
Validità: 6  
Affidabilità: 7  
Chiarezza e comprensibilità: 5  
Rappresentatività: 4  
Ordine delle domande: 3  
Modalità di somministrazione: 2  
Tempo di completamento: 2  
Scalabilità: 2  
Overall: 3,88

NASA Task Load Index

Validità: 5  
Affidabilità: 5  
Chiarezza e comprensibilità: 6  
Rappresentatività: 6  
Ordine delle domande: 5  
Modalità di somministrazione: 7  
Tempo di completamento: 7  
Scalabilità: 7  
Overall: 6

Big Five Questionnaire-2  
Validità: 6  
Affidabilità: 7  
Chiarezza e comprensibilità: 7  
Rappresentatività: 7  
Ordine delle domande: 7

Modalità di somministrazione: 6  
Tempo di completamento: 3  
Scalabilità: 2  
Overall: 5,63

In conclusione, al termine della valutazione dei questionari esaminati, in base ai parametri precedentemente delineati, è emerso che ciascuno di essi eccelle su specifici aspetti rispetto agli altri.

Di conseguenza, è stato calcolato un valore mediano denominato "overall", il quale rappresenta un indice unificato allo scopo di determinare quale tra i questionari presi in considerazione sia il migliore.

Tale valutazione ha cercato di bilanciare fattori come la brevità delle domande, senza trascurare l'affidabilità e la completezza. Il test che si è dimostrato superiore è lo UEQ (User Experience Questionnaire) presentando un overall di 6,25 su un massimo di 7, nonostante la sua brevità, si è rivelato il più affidabile, completo e adattabile a diverse tematiche.

## 5.4 Realizzazione del questionario di valutazione dell'esperienza utente

Come menzionato nel paragrafo precedente, prima di creare il questionario personalizzato adatto alla validazione del progetto illustrato nel capitolo 4, è stata condotta un'analisi dei questionari ritenuti più pertinenti alla mia ricerca.

Poiché lo UEQ è emerso come il più completo e affidabile tra i questionari presi in analisi, questo si è rivelato fondamentale nella redazione del questionario, sebbene siano state introdotte ulteriori domande per mitigare uno dei pochi difetti del citato test, ovvero la limitata quantità di domande poste, che

potrebbe costituire un problema in termini di precisione, mirando a un numero di domande compreso tra 30 e 40.

Detto ciò, durante la creazione del questionario per la validazione del progetto, si è cercato di combinare diverse tipologie di domande per coprire un ampio spettro di temi trattati.

Tra questi, in ordine, figurano:

- Informazioni sull'utente;
- Personalità dell'utente;
- Fiducia;
- Quantità delle informazioni;
- Qualità delle informazioni.





## Conclusioni

La progettazione di un'interfaccia per dispositivi di visualizzazione in veicoli autonomi di livello 4 si colloca al centro di una fase decisiva nell'evoluzione della tecnologia di guida autonoma.

L'impulso verso veicoli autonomi di livello 4 impone la necessità di un approccio avanzato alla progettazione delle interfacce, poiché la complessità delle dinamiche veicolo-veicolo e veicolo-ambiente richiede soluzioni innovative e altamente efficienti.

Questa tesi si propone di fornire un contributo significativo a questo settore in rapida crescita attraverso un'analisi approfondita delle interazioni tra il veicolo autonomo e il suo contesto, insieme allo sviluppo di un'interfaccia che vada oltre la semplice funzionalità, mirando a migliorare l'esperienza complessiva di guida autonoma.

Nel corso di questa ricerca, è stato condotto uno studio approfondito del rapporto tra veicolo-veicolo e veicolo-ambiente, con un'attenzione particolare alle sfide uniche e alle opportunità offerte dal contesto della guida autonoma di livello 4.

L'analisi ha coinvolto aspetti tecnologici, comportamentali e ambientali, con l'obiettivo di comprendere appieno le dinamiche complesse che caratterizzano l'ambiente stradale.

Questo approccio multidisciplinare ha consentito di identificare le principali sfide legate alla progettazione di un'interfaccia efficace per la guida autonoma.

La parte centrale di questa tesi si concentra sulla progettazione di un'interfaccia innovati-

va, che non solo risponda alle sfide individuate, ma che vada oltre, cercando di anticipare le esigenze future degli utenti di veicoli autonomi.

L'obiettivo è quello di creare un'interfaccia che non solo fornisca informazioni chiare e tempestive sulla situazione stradale, ma che sia anche in grado di adattarsi dinamicamente alle variazioni dell'ambiente circostante. La progettazione si basa su principi di usabilità, accessibilità e interazione uomo-macchina, cercando di massimizzare l'efficienza comunicativa e ridurre al minimo le distrazioni per il conducente autonomo.

Il capitolo conclusivo, che rappresenta il fine ultimo della tesi, approfondisce la convalida del design nell'ambito dell'esperienza utente e nello sviluppo digitale dei servizi, concentrandosi in particolare sul caso di studio relativo ai servizi legati all'automobile.

In conclusione, questa tesi non solo contribuisce alla comprensione approfondita delle dinamiche veicolo-veicolo e veicolo-ambiente nella guida autonoma di livello 4, ma offre anche una solida base per lo sviluppo di interfacce avanzate e innovative.

La progettazione proposta non si limita a soddisfare le esigenze attuali, ma anticipa proattivamente le sfide future, ponendosi come un passo in avanti nell'evoluzione della tecnologia di guida autonoma.

## Bibliografia

1. iQ Intel Italy, <https://iq.intel.it/fiducia-e-guida-autonoma-come-ottenere-lafiducia-delle-persone-trasportate/>.
2. M. Cunningham and M. Regan, "Autonomous vehicles: human factors issues and future research", in Australasian Road Safety Conference, 1st, 2015, Gold Coast, Queensland, Australia, 2015.
3. F. Ekman, M. Johansson, and J. Sochor, "Creating appropriate trust in automated vehicle systems: A framework for HMI design," IEEE Transactions on Human-Machine Systems, vol. 48, no. 1, Feb 2018.
4. B. C. Zanchin, R. Adamshuk, M. M. Santos, and K. S. Collazos, "On the instrumentation and classification of autonomous cars," in 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), Oct 2017.
5. Redazione Auto, <https://red-live.it/auto/livelli-guida-autonoma/>.
6. S. D. Pendleton, H. Andersen, X. Du, X. Shen, M. Meghjani, Y. H. Eng, D. Rus, and M. H. Ang, "Perception, planning, control, and coordination for autonomous vehicles," Machines, vol. 5, no. 1, 2017.
7. S. Cosimi, <https://www.automobile.it/magazine/mobilita-sostenibile/selfdriving-cars-1677>.
8. L. Ferro, <https://www.01net.it/auto-guida-autonoma-regole/>.
9. A. Marino, <https://tech.everyeye.it/notizie/le-auto-guida-autonomaspaventano-gli-utenti-lo-rivela-uno-studio-331232.html>
10. D. Harrison McKnight and N. L. Chervany, "Trust and distrust definitions: One bite at a time," in Trust in Cyber-societies, R. Falcone, M. Singh, and Y.-H. Tan, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2001
11. J. D. Lee and K. A. See, "Trust in automation: Designing for appropriate reliance," Human Factors, vol. 46, no. 1, pp. 50–80, 2004, pMID: 15151155. [Online]. Disponibile: <https://doi.org/10.1518/hfes.46.1.50.30392>
12. A. Doshi, S. Y. Cheng, and M. M. Trivedi, "A novel active heads-up display for driver assistance," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), vol. 39, no. 1, pp. 85–93, Feb 2009.

13. Z. Medenica, A. L. Kun, T. Paek, and O. Palinko, "Augmented reality vs. street views: A driving simulator study comparing two emerging navigation aids," in Proceedings of the 13th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services, ser. MobileHCI '11. New York, NY, USA: ACM, 2011. [Online]. Disponibile: <http://doi.acm.org/10.1145/2037373.2037414>

14. S. Kim and A. K. Dey, "Simulated augmented reality windshield display as a cognitive mapping aid for elder driver navigation," in Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ser. CHI '09. New York, NY, USA: ACM, 2009. [Online]. Disponibile: <http://doi.acm.org/10.1145/1518701.1518724>

15. alVolante, <https://www.alvolante.it/news/volkswagen-sedric-concept-350489>.

16. H. Drezet and S. Colombel, "62-1: Invited paper: Hmi concept for autonomous car," SID Symposium Digest of Technical Papers, vol. 49, no. 1. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sdtp.12277>

17. P. Lungaro, K. Tollmar, and T. Beelen, "Human-to-ai interfaces for enabling future onboard experiences," in Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications Adjunct, ser. AutomotiveUI '17. New York, NY, USA: ACM, 2017. [Online]. Disponibile: <http://doi.acm.org/10.1145/3131726.3131737>

18. C. Wiltz, <https://www.designnews.com/consumer-electronics/howaugmented-reality-can-help-us-accept-autonomous-cars/28666601947034>.

19. O. Benderius, C. Berger, and V. M. Lundgren, "The best rated human-machine interface design for autonomous vehicles in the 2016 grand cooperative driving challenge," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 19, no. 4, April 2018.

20. A. Black, <https://medium.com/sketch-app-sources/the-future-interface-of-the-automobile-ef8a0f07e895>.

21. M. Ferati, P. Murano, and G. A. Giannoumis, "Universal design of user interfaces in self-driving cars," in International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. Springer, 2017.

22. S. Debernard, C. Chauvin, R. Pokam, and S. Langlois, "Designing human machine interface for autonomous vehicles," IFAC-PapersOnLine, vol. 49, no. 19, 2016, 13th IFAC Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems HMS 2016. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896316322418>
23. A. Doshi, S. Y. Cheng, and M. M. Trivedi, "A novel active heads-up display for driver assistance," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), vol. 39, no. 1, Feb 2009
24. Fleet Magazine, <https://www.fleetmagazine.com/livelli-guida-autonoma/>
25. MDPI, <https://www.mdpi.com/2414-4088/5/10/61>
26. Sicurauto, <https://www.sicurauto.it/news/linterfaccia-uomo-macchina-secondo-continentale/>
27. locarroziere, <https://www.iocarrozziere.it/news/curiosita/item/770-continental-testa-l-interazione-uomo-macchina-per-la-guida-autonoma/>
28. Carsten, O., Martens, M.H. How can humans understand their automated cars? HMI principles, problems and solutions. Cogn Tech Work 21, 3–20 (2019).
29. Quattroruote, <https://www.quattroruote.it/guide/componenti-auto/head-up-display.html>
30. Economy Up, <https://www.economyup.it/automotive/auto-a-guida-autonoma-a-che-punto-e-la-normativa-in-italia-e-in-europa/>
31. Norman, D. (1998): "The Design of Everyday Things", MIT Press.
32. Norman, D. (1988): "The Psychology of Everyday Things", Basic Books.
33. "Research on Design Model of Human-Machine Interface of Automatic Driving Takeover System Based on User Experience" Lijun Jiang, Xiu Wang, Zhelin Li, and Yu Zhang. Pubblicato da © Springer Nature Switzerland AG 2019 A. Marcus and W. Wang (Eds.): HCII 2019, LNCS 11585, 2019. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-23538-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23538-3_4)
34. Stevens, A., Quimby, A., Board, A., Kersloot, T., & Burns, P. (2002): "Design guidelines for safety of in-vehicle information systems". Wokingham, UK: In TRL.
35. Annese L., "ASPETTI ETICI, SOCIALI E DI SICUREZZA DELLA GUIDA AUTONOMA." Comitato Tecnico Nazionale Guida Autonoma E Connessa, Oct. 2020, pp. 6–12, [www.piarc-italia.it/wp-content/uploads/2020/10/PIARC-GdL-Aspetti-etici-psicologici-e-di-sicurezza-della-guida-autonoma\\_ott-2020\\_def\\_2.pdf](http://www.piarc-italia.it/wp-content/uploads/2020/10/PIARC-GdL-Aspetti-etici-psicologici-e-di-sicurezza-della-guida-autonoma_ott-2020_def_2.pdf). Accessed 23 Oct. 2023.
36. <https://www.dmv.ca.gov/portal/vehicle-industry-services/autonomous-vehicles/disengagement-reports/>
37. Japanese Automobile Manufacturers Association (2004): "Guideline for In-vehicle Display Systems—Version 3.0."
38. Kiefer, R. J. (1998): "Quantifying head-up display (HUD) pedestrian detection benefits for older drivers". In 16th International technical conference on experimental safety vehicles (pp. 428–437). Windsor: NHTSA.
39. Helena Strömberg, Pontus Andersson, Susanne Almgren, Johan Ericsson, MariAnne Karlsson, Arne Nåbo (2011): "Driver Interfaces for Electric Vehicles". Putting the E in the Car: Eco and Electric. AutomotiveUI Proceedings 2011, Nov. 30th – Dec. 2nd 2011, Salzburg, Austria.
40. T. Litman (2020): "Autonomous Vehicle Implementation Predictions. Implications for Transport Planning". Victoria Transport Policy Institute.
41. TÜV SÜD, "Valutazione veicoli a guida autonoma: Prove basate sullo scenario", 2023. <https://www.tuvsud.com/it-it/settori/mobilita-e-automotive/automotive-e-oem/guida-autonoma/valutazione-di-veicoli-a-guida-autonoma-con-prove-basate-sullo-scenario>
42. <https://www.ueq-online.org/>
43. <https://surveysparrow.com/blog/user-experience-survey-questions/#section2>
44. Doronzo Dario, "Interfacce Uomo-macchina per Veicoli a Guida Autonoma: Studio della User Experience in Scenari Virtuali", Tesi di Laurea Magistrale, Torino, Politecnico di Torino, ottobre 2018, pp. 95-101
45. <https://www.boraso.com/blog/8-modi-per-misurare-la-customer-satisfaction-e-migliorare-la-ux/>

46. Roesler, Eileen. "Trust towards Human vs. Automated Agents: Using a Multidimensional Trust Questionnaire to Assess the Role of Performance, Utility, Purpose, and Transparency." ResearchGate, Tobias Rieger, Oct. 2022, [www.researchgate.net/publication/365504115\\_Trust\\_towards\\_Human\\_vs\\_Automated\\_Agents\\_Using\\_a\\_Multidimensional\\_Trust\\_Questionnaire\\_to\\_Assess\\_The\\_Role\\_of\\_Performance\\_Utility\\_Purpose\\_and\\_Transparency](http://www.researchgate.net/publication/365504115_Trust_towards_Human_vs_Automated_Agents_Using_a_Multidimensional_Trust_Questionnaire_to_Assess_The_Role_of_Performance_Utility_Purpose_and_Transparency). Accessed 9 Nov. 2023.

47. Wojton, Heather M. "Initial Validation of the Trust of Automated Systems Test (TOAST)." ResearchGate, The Journal of Social Psychology, Apr. 2020, [www.researchgate.net/publication/340703536\\_Initial\\_validation\\_of\\_the\\_trust\\_of\\_automated\\_systems\\_test\\_TOAST](http://www.researchgate.net/publication/340703536_Initial_validation_of_the_trust_of_automated_systems_test_TOAST). Accessed 9 Nov. 2023.

48. Nordhoff, Sina. "Acceptance of Driverless Vehicles: Results from a Large Cross-National Questionnaire Study." ResearchGate, Journal of Advanced Transportation, Apr. 2018, [www.researchgate.net/publication/323907099\\_Acceptance\\_of\\_Driverless\\_Vehicles\\_Results\\_from\\_a\\_Large\\_Cross-National\\_Questionnaire\\_Study](http://www.researchgate.net/publication/323907099_Acceptance_of_Driverless_Vehicles_Results_from_a_Large_Cross-National_Questionnaire_Study). Accessed 5 Nov. 2023.

49. NASA Task Load Index, <https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/tlx/downloads/TLX-Scale.pdf>

50. Béquet, Adolphe J. "Study of Stress and Its Regulation in the Context of Autonomous Driving in the Light of Individual Differences." Research Gate, Apr. 2023, [www.researchgate.net/publication/372100917\\_Study\\_of\\_stress\\_and\\_its\\_regulation\\_in\\_the\\_context\\_of\\_autonomous\\_driving\\_in\\_the\\_light\\_of\\_individual\\_differences\\_-\\_Etude\\_du\\_stress\\_et\\_de\\_sa\\_regulation\\_en\\_contexte\\_de\\_conduite\\_autonome\\_a\\_l'aune\\_des\\_diff](http://www.researchgate.net/publication/372100917_Study_of_stress_and_its_regulation_in_the_context_of_autonomous_driving_in_the_light_of_individual_differences_-_Etude_du_stress_et_de_sa_regulation_en_contexte_de_conduite_autonome_a_l'aune_des_diff). Accessed 13 Nov. 2023.

51. <https://bigfive-test.com/it>

52. Flemisch, F. et al. (2008): "Automation spectrum, inner/outer compatibility and other potentially useful human factors concepts for assistance and automation"

53. Osvalder, A.L. & Ulfvengren, P. (2010): "Människa-tekniksystem". In: Arbete och teknik på människans villkor. Stockholm: Prevent, pp. 353-436.

54. New Cockpit Human-Machine-Interface Concept Copyright © 2003 SAE Internationa

55. Oliver Carsten, Marieke H. Martens. Cognition, Technology & Work (2019): "How can humans understand their automated cars? HMI principles, problems and solutions". 21:3–20. <https://doi.org/10.1007/s10111-018-0484-0>

56. Norman, D. (1998): "The Design of Everyday Things", MIT Press.

57. Mathilde François, François Osiurak, Alexandra Fort, Philippe Crave & Jordan Navarro (2017): "Automotive HMI design and participatory user involvement: review and perspectives, Ergonomics", 60:4, 541-552, DOI: 10.1080/00140139.2016.1188218

58. Zeljko Medenica (2019):" Human Machine Interaction". © Springer Nature Switzerland AG 2019 R. Miucic (ed.), Connected Vehicles, Wireless Networks, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-94785-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-94785-3_3)

59. Brewster, S. (2003): "Nonspeech auditory output". In: J. A. Jacko & A. Sears, eds. The Human Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, pp. 220-239.

60. Hinckley, K. (2003): "Input technologies and techniques". In: J. A. Jacko & A. Sears, eds. The Human Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, pp. 151-168.

61. Meng, F. & Spence, C. (2015): "Tactile warning signals for in-vehicle systems". Accident Analysis and Prevention, Issue 75, pp. 333-346.

62. Lange, A., Albert, M., Siedersberger, K.H. & Bengler, K. (2015): "Ergonomic design of the vehicle motion in an automated driving car". Procedia Manufacturing 3, pp. 2761-2768.

63. Catherine Harvey, Neville A. Stanton, Carl A. Pickering, Mike McDonald, and Pengjun Zheng (2011): "In-Vehicle Information Systems to Meet the Needs of Drivers", INTL. JOURNAL OF HUMAN-COMPUTER INTERACTION, 27(6), 505–522; Copyright © Taylor & Francis Group, LLC; ISSN: 1044-7318 print / 1532-7590 online; DOI: 10.1080/10447318.2011.555296

64. Eason, K. D. (1995): "User-Centred Design: For Users or by Users?" Ergonomics 38 (8): 1667– 1673

65. C. Matas (2018): "The price tag of automotive electronics: Whats really at play?" <https://www.edn.com/electronics-blogs/engineering-onwheels/4458881/The-price-tag-of-automotive-electronics-What-sreally-at-play>.

66. Angelos Amditis, Member, IEEE, Luisa Andreone, Katia Pagle, Gustav Markkula, Enrica Degibus, Maria Romera Rue, Francesco Bellotti, Andreas Engelsberg, Rino Brouwer, Björn Peters, and Alessandro De Gloria: "Towards the Automotive HMI of the Future: Overview of the AIDE-Integrated Project Results"; IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, VOL. 11, NO. 3, SEPTEMBER 2010

67. Mike Claassen General Manager, Infotainment Systems - Texas Instruments (2019): "Designing infotainment systems that are interactive, not distractive"

68. Klaus Bengler, Martin Götze Lisa Pfanmüller, Albert Zaindl (2015) "To See or not to See – Innovative Display Technologies as Enablers for Ergonomic Cockpit Concepts Ergonomic requirements future mobility future functionality"; electronic displays conference Nurember Germany.

69. Yeung, J., Makke, O., MacNeille, P., and Gusikhin, O. (2017): "SmartDeviceLink as an Open Innovation Platform for Connected Car Features and Mobility Applications," SAE Int. J. Passeng. Cars – Electron. Electr. Syst. 10(1):2017, doi: 10.4271/2017-01-1649.

70. D. P. F. Möller, R. E. Haas (2019): "Guide to Automotive Connectivity and Cybersecurity, Computer Communications and Networks". Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2019, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-73512-2\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-73512-2_11)

71. ABI Research, (2013): "Forecasted US\$ 260 Billion Global Market for ADAS Systems by 2020", London, United Kingdom

72. Thierry Bellet, Martin Cunneen, Martin Mullins, Finbarr Murphy, Fabian Pütz, Florian Spickermann, Claudia Braendle, Martina Felicitas Baumann (2019): "From semi to fully autonomous vehicles: New emerging risks and ethico-legal challenges for human-machine interactions"; Transportation Research Part F 63, 153–164

73. <https://www.epicentro.iss.it/stradale/>

74. <https://www.istat.it/it/archivio/286933>

75. <https://www.lanuovaguida.it/news/le-6-tipologie-di-automobilisti>. Pubblicato il 19/04/2019

76. Li, Y., Y. Cao, H. Qiu, L. Gao, Z. Du, and S. Chen (2016): "Big Wave of the Intelligent Connected Vehicles." China Communications 13 (Suppliment2): 27–41. doi: 10.1109/CC.2016.7833458

77. Parlamento Europeo, Emissioni di CO2 delle auto: i numeri e i dati. Infografica. Pubblicato il 25 Marzo 2019, aggiornato il 15 Febbraio 2023.

78. Collana "Cultura della sicurezza" LA SICUREZZA E... LA GUIDA Quaderno informativo N. 17. Ufficio Speciale prevenzione e protezione. Università degli Studi di Roma "La Sapienza". Edizione 2014.

79. D'Angella Paolo, "Linee guida per lo sviluppo dei sistemi di interfaccia uomo-macchina per veicoli a guida autonoma", Tesi di Laurea Magistrale, Milano, Politecnico di Milano, giugno 2020, pp. 82-86

80. <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/top-5-out-of-200-driver-monitoring-startups-in-automotive/>

81. SeungJun Kim, Anind K. Dey, Joonhwan Lee, and Jodi Forlizzi (2011): "Usability of Car Dashboard Displays for Elder Drivers". CHI 2011, May 7–12, 2011, Vancouver, BC, Canada.

82. Andry Rakotonirainy, Ronald Schroeter, Alessandro Soro (2014): "Three social car visions to improve driver behaviour". Pervasive and Mobile Computing 14, 147–160. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmcj.2014.06.004>

83. <https://here.com/en/products-services/products/here-electronic-horizon>

84. Helena Strömberg, Pontus Andersson, Susanne Almgren, Johan Ericsson, MariAnne Karlsson, Arne Nåbo (2011): "Driver Interfaces for Electric Vehicles". Putting the E in the Car: Eco and Electric. AutomotiveUI Proceedings 2011, Nov. 30th – Dec. 2nd 2011, Salzburg, Austria

85. <http://www.playthebusiness.com/2019/05/22/applicazioni-gamification-automotive/>

86. <https://www.gameifications.com/automotive-gamification/>

87. in-Kyu Choi, Kyongho Kim, Dohyun Kim, Hyunkyun Choi, Byungtae Jang (2018): "DriverAdaptive Vehicle Interaction System for the Advanced Digital Cockpit". International Conference on Advanced Communications Technology (ICACT), February 11-14, 2018

88. Stojmenova Pečečnik, Kristina, et al. "Design of Head-up Display Interfaces for Automated Vehicles." International Journal of Human-Computer Studies, vol. 177, no. 103060, Sept. 2023, p. 103060, <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2023.103060>. Accessed 28 Nov. 2023.

89. Wang, Shu, et al. "Augmented Reality Prototype HUD for Passenger Infotainment in a Vehicular Environment." Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, vol. 2, no. 3, June 2017, pp. 634–641, <https://doi.org/10.25046/aj020381>. Accessed 28 Nov. 2023.

90. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:L\\_202302590](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302590)

91. <https://paolapozzolo.it/questionario-validato-cosa-ti-serve-sapere/>

92. Anon, (2017). Comunicazioni V2X: le auto del futuro parleranno fra loro - MIT Technology Review Italia. [online] Available at: <https://www.technologyreview.it/comunicazioni-v2x-le-auto-del-futuro-parleranno-fra-loro/> [Accessed 28 Dec. 2023].

93. Giacomelli Sarah Jay, Guccione Ruggero. "Daisy, Interfaccia per la fiducia di un'automobile a guida autonoma", Tesi di Laurea Magistrale, Torino, Politecnico di Torino, settembre 2022, pp. 62-63



