



POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Architettura e Design

Corso di Laurea Magistrale in Design Sistemico

A.A. 2024 / 2025



La mobilità senza volante e pedali: progettazione dell'interfaccia e dell'architettura
d'interazione per il servizio di mobilità a guida autonoma di ToMove

Relatore:
Prof. Andrea Di Salvo

Corelatore:
Andrea Strippoli

Candidato:
Davide Massetti S319400

INDICE

01 Mobilità urbana e smart city (pagina 01)

- 1.1 La mobilità urbana in Italia (pagina 03)
- 1.2 Smart Cities (pagina 07)
- 1.3 Smart Mobility (pagina 11)
- 1.4 La Sharing Mobility (pagina 15)
- 1.5 Il trasporto multimodale (pagina 23)
- 1.6 Piattaforme MaaS (pagina 25)

02 La guida autonoma (pagina 31)

- 2.1 La nascita dei veicoli autonomi (pagina 33)
- 2.2 I livelli di classificazione (pagina 39)
- 2.3 Le tecnologie impiegate nella guida autonoma (pagina 41)
- 2.4 Etica e fiducia (pagina 46)
- 2.5 Normativa italiana, svizzera, UE e USA (pagina 48)
- 2.6 Veicoli autonomi in sharing (pagina 50)

03 ToMove (pagina 88)

- 3.1 La Startup (pagina 90)
- 3.2 I principali partner (pagina 92)
- 3.3 Il veicolo TOC (pagina 95)
- 3.4 Il veicolo Tazzari Zeromax (pagina 98)
- 3.5 Il servizio MaaS di ToMove (pagina 100)
- 3.6 Gli scenari di utilizzo (pagina 100)
- 3.7 Gli stakeholders (pagina 102)

04 Analisi metaprogettuale (pagina 108)

- 4.1 Centro sportivo nazionale della gioventù Tenero CST (pagina 110)
- 4.2 User Personas (pagina 122)
- 4.3 User Journey map (pagina 130)

05 Human Machine Interaction (pagina 134)

- 5.1 HMI - Human Machine Interaction (pagina 136)
- 5.2 iHMI - internal Human Machine Interaction (pagina 138)
- 5.3 eHMI - external Human Machine Interaction (pagina 140)
- 5.4 NDRTs - Non Driving Related Tasks (pagina 143)
- 5.5 Analisi app e interfacce dei veicoli autonomi per i servizi di ride-hailing (pagina 147)

06 ToMove App (pagina 180)

- 6.1 Fiducia e modello di accettazione (pagina 182)
- 6.2 Linee guida e requisiti progettuali (pagina 184)
- 6.3 Interaction flow diagram (pagina 190)
- 6.4 HMI map (pagina 196)
- 6.5 Sitemap e content inventory (pagina 198)
- 6.6 ToMove App (pagina 202)

07 Bibliografia (pagina 232)

ABSTRACT

L'evoluzione dei veicoli a guida autonoma rappresenta una delle trasformazioni più significative nel panorama della mobilità contemporanea. L'automazione introduce nuovi paradigmi di interazione tra l'utente e il sistema veicolare, ridefinendo ruoli, percezioni e responsabilità all'interno dell'esperienza di viaggio. In questo contesto, l'Human-Machine Interaction (HMI) emerge come elemento chiave: non solo consente la comunicazione tra persona e tecnologia, ma determina la qualità dell'esperienza, la comprensione degli stati del veicolo e il livello di fiducia che l'utente sviluppa nei confronti dell'autonomia.

La tesi analizza in modo approfondito le dinamiche dell'interazione uomo-macchina nei veicoli autonomi, esplorando gli approcci progettuali, le soluzioni attualmente presenti nel settore e le sfide associate alla necessità di rendere i comportamenti del veicolo chiari, prevedibili e accessibili anche a utenti non esperti. Attraverso un'analisi critica dello stato dell'arte e delle architetture di interfaccia, il lavoro identifica gli elementi fondamentali di un sistema HMI efficace, tra cui la trasparenza operativa, la comunicazione multimodale e la continuità informativa lungo tutte le fasi del viaggio. Sulla base di tali considerazioni, viene proposta un'architettura integrata di interazione che combina componenti visive, acustiche e digitali in un ecosistema coerente e centrato sull'utente. Questa architettura trova applicazione concreta nello sviluppo del sistema HMI per un veicolo autonomo destinato al servizio di ride-hailing door to door della startup torinese ToMove, pensato per operare all'interno di spazi privati di grandi dimensioni. Il progetto

comprende la progettazione dell'applicazione mobile, del sistema di comunicazione con il veicolo, delle logiche di onboarding e viaggio, e dell'interfaccia di bordo.

Il risultato ottenuto dimostra come un approccio human-centered all'HMI possa facilitare l'accettazione della guida autonoma e migliorare l'esperienza utente, offrendo allo stesso tempo un modello progettuale replicabile per future implementazioni di sistemi di mobilità autonoma.

MOBILITÀ
URBANA
E SMART
CITY

CAPITOLO

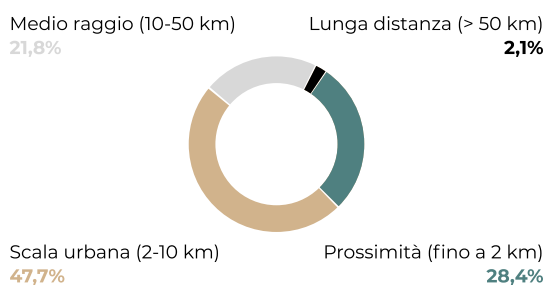
01

01 MOBILITÀ URBANA E SMART CITY

1.1 La mobilità urbana in Italia

Nel contesto urbano contemporaneo la mobilità rappresenta un elemento chiave della vita quotidiana e, al tempo stesso, uno dei principali ambiti in cui si concentrano molte sfide di natura sociale, economica e ambientale. Le città italiane si collocano tra le più vulnerabili in Europa rispetto ai problemi legati all'inquinamento atmosferico e alla congestione del traffico. Secondo i dati della European Environment Agency relativi al 2023, su 375 città europee analizzate per qualità dell'aria, Torino si posiziona al 347° posto e Milano al 349° [1].

Parallelamente, i livelli di traffico risultano particolarmente critici: i cittadini torinesi e milanesi perdono mediamente 38 ore all'anno bloccati nel traffico, un valore superiore del 21% rispetto alla media delle altre principali città d'Europa. Tali criticità sono strettamente connesse alla struttura degli spostamenti quotidiani: oltre tre spostamenti su quattro avvengono su distanze inferiori ai 10 chilometri, con una netta preferenza per l'auto privata rispetto ai mezzi pubblici o alle soluzioni di mobilità alternativa.



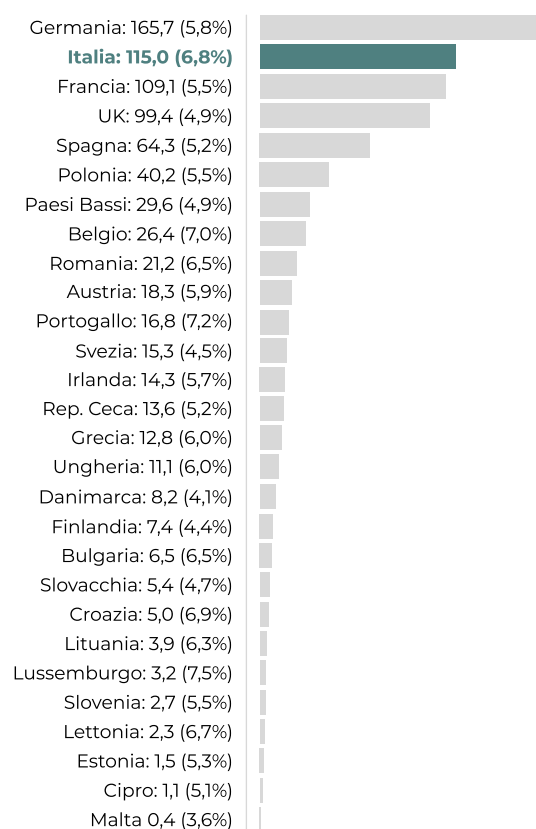
Il 76,1% degli spostamenti avviene su **scala urbana** o di **prossimità**.

Distribuzione della domanda di mobilità per fasce di lunghezza degli spostamenti in %, 2021.

Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Isfort Audimob, 2023

In Italia l'utilizzo dell'automobile è rimasto sostanzialmente stabile nel corso degli anni, registrando tuttavia un consolidamento significativo nel periodo successivo alla pandemia da coronavirus SARS-CoV-2 (Covid-19). Nel 2021, infatti, gli spostamenti effettuati tramite auto e moto private hanno rappresentato l'81,5% del totale nazionale, con una quota pari al 78,9% attribuibile esclusivamente all'auto privata. Questi dati segnano un incremento del 10% rispetto al 2019 e di circa il 5% rispetto ai primi anni 2000. Una tendenza che non solo non accenna a diminuire, ma che si conferma anche nel 2022, anno in cui la mobilità privata ha costituito l'80,3% degli spostamenti complessivi, ovvero un +8,4% rispetto al periodo pre-pandemico [2]. Tale predominanza dei mezzi privati ha inevitabilmente determinato una riduzione dell'utilizzo dei trasporti pubblici, aggravando ulteriormente le criticità legate alla congestione urbana e all'impatto ambientale del traffico veicolare. Per quanto riguarda l'inquinamento derivante dalle emissioni, si può affermare che nel 2021 il settore dei trasporti ha contribuito al 27% delle emissioni totali nell'Unione Europea-27 (pari a circa 52,9 miliardi di tonnellate di CO₂), mentre in Italia tale quota sale al 30% delle emissioni complessive nazionali. Rispetto ai livelli registrati nel 1990, le emissioni di carbonio risultano attualmente aumentate del 24%, segno di una persistente dipendenza dai combustibili fossili e da un modello di mobilità incentrato sul mezzo privato [3]. Risulta tuttavia fondamentale, oltre alla dimensione ambientale, considerare anche il ruolo strategico che la mobilità e la logistica svolgono in un contesto di sviluppo urbano e territoriale integrato.

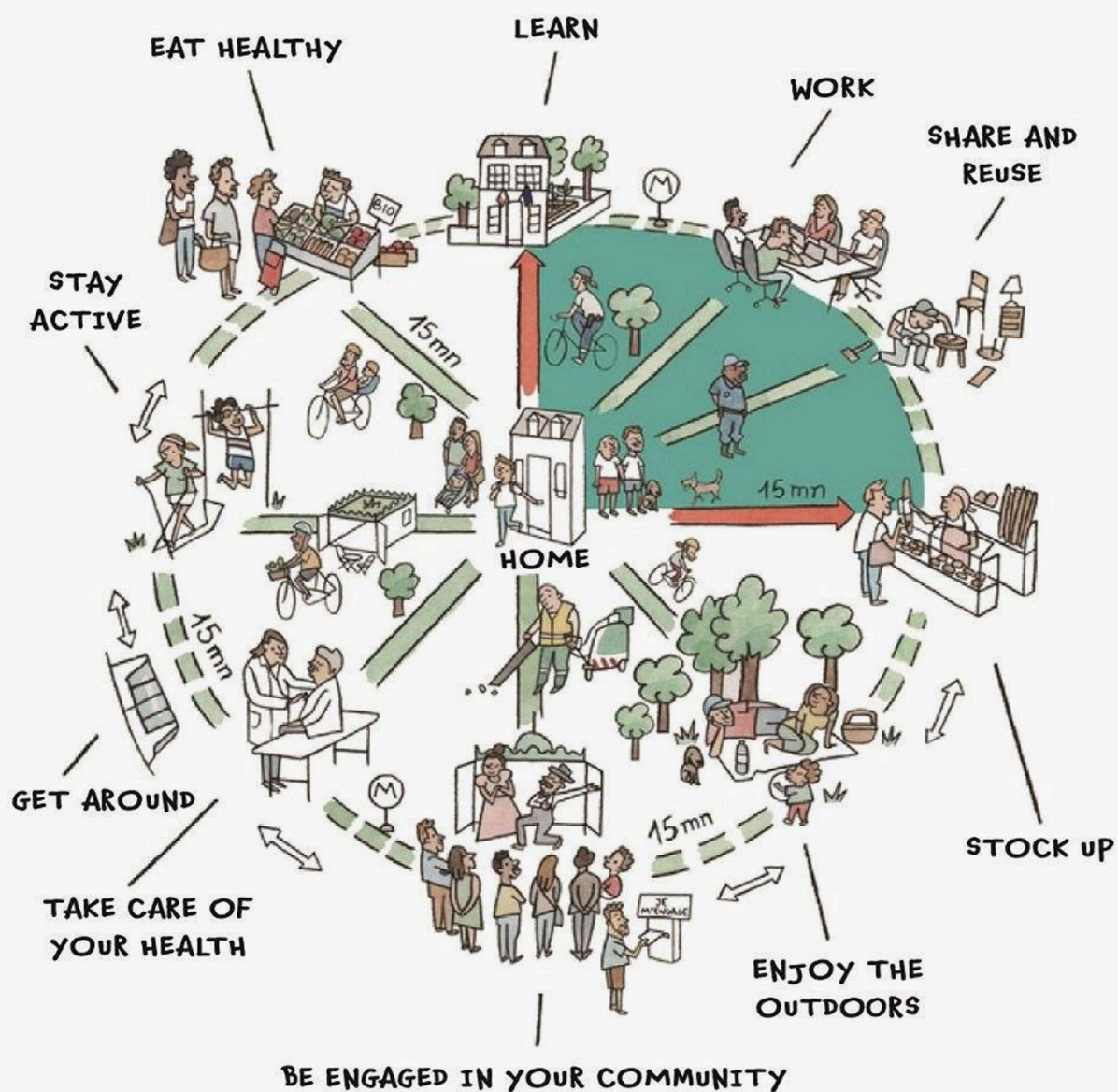
Infrastrutture e servizi di trasporto efficienti sono essenziali per il corretto funzionamento del sistema urbano nel suo complesso. Al contrario, la loro inefficienza genera costi rilevanti, spesso difficili da quantificare, ma particolarmente tangibili sul piano sociale, economico e comunitario. Secondo i dati della Commissione Europea, l'Italia si colloca attualmente come il secondo Paese europeo, dopo la Germania, per impatto negativo complessivo derivante dalla mobilità, considerando fattori quali incidentalità, congestione del traffico, inquinamento atmosferico ed emissioni. In termini economici, tale impatto è stato stimato in circa 115 miliardi di euro all'anno, equivalenti al 6,8% del PIL nazionale.



Esternalità negative generate dal trasporto su strada per Paese nell'UE27+UK (miliardi di Euro e in % sul PIL), ultimo anno disponibile.

Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti su dati Commissione Europea, 2023

Questi elementi rappresentano solo alcune delle principali criticità che stanno spingendo verso una trasformazione radicale del concetto di mobilità urbana. La crescente necessità di integrare principi di sostenibilità ambientale, efficienza logistica e qualità della vita urbana sta favorendo l'emergere di nuovi modelli di pianificazione e gestione della mobilità. Tra le proposte più rilevanti in questo ambito vi è il modello della "città dei 15 minuti" [4], elaborato dal ricercatore franco-colombiano Carlos Moreno e promosso a livello istituzionale dalla sindaca di Parigi Anne Hidalgo. Questo approccio propone una nuova visione della città, più sostenibile, inclusiva e incentrata sulle esigenze dei cittadini, basata su un principio tanto semplice quanto ambizioso: garantire a ogni abitante la possibilità di accedere, entro un raggio di 15 minuti a piedi o in bicicletta dalla propria abitazione, a tutti i servizi essenziali per soddisfare le proprie necessità quotidiane. Ciò richiede un modello di pianificazione e governance urbana orientato alla decentralizzazione e alla creazione di una struttura policentrica delle città. Al centro di questa visione vi è lo sviluppo di una rete di mobilità capillare, efficiente e accessibile, in grado di collegare rapidamente i cittadini ai servizi essenziali, riducendo al contempo la necessità di spostamenti lunghi e onerosi. I cambiamenti strutturali nelle città sono quindi strettamente connessi all'evoluzione della mobilità urbana, la quale è influenzata da fattori di natura sia endogena sia esogena.



La proposta di "Ville du quart d'heure" da parte del sindaco di Parigi, Anne Hidalgo.
 Fonte: www.deezen.com - 15-Minute City concept by Carlos Moreno wins Obel Award 2021

Tra i fattori endogeni si annoverano le abitudini di spostamento degli individui, che includono sia movimenti sistematici come quelli casa-lavoro o casa-studio, sia spostamenti non sistematici legati ad attività occasionali quali il tempo libero, visite a familiari e amici o altre esigenze personali. A queste dinamiche si affiancano fenomeni in rapida crescita come la mobilità condivisa, la micromobilità, i servizi di trasporto integrati e on-demand, le politiche di accesso controllato alle aree urbane e i processi di digitalizzazione, soprattutto attraverso l'adozione di tecnologie ICT (Information and Communication Technologies) applicate alla mobilità. I fattori esogeni, invece, riguardano fenomeni di carattere sociale che, pur agendo indirettamente, influenzano profondamente le dinamiche della mobilità. Tra questi si possono citare la crescente urbanizzazione e la densificazione degli spazi urbani, i processi di gentrificazione, l'invecchiamento della popolazione, la diffusione del concetto di smart city e una sensibilità sempre maggiore verso temi quali la sostenibilità ambientale e la qualità della vita negli spazi urbani.



Cambiamenti strutturali nella mobilità urbana.

Fonte: elaborazione The European House - Ambrosetti, 2023

L'influenza esercitata dai fattori endogeni ed esogeni sta rendendo imprescindibile un profondo ripensamento degli spazi urbani, orientato verso un progressivo ridimensionamento del ruolo dell'automobile privata come principale mezzo di spostamento. In numerosi contesti urbani si è assistito a un potenziamento qualitativo del trasporto pubblico locale (TPL), affiancato dalla creazione di un numero crescente di piste ciclabili, aree pedonali e Zone a Traffico Limitato (ZTL), che comportano una riallocazione degli spazi stradali a favore di modalità di spostamento più sostenibili. In questo scenario, la mobilità smart si configura come un nuovo paradigma capace di integrare la decarbonizzazione, l'innovazione nei servizi di trasporto e la sicurezza, promuovendo al contempo un utilizzo più efficiente e razionale degli spazi urbani. Tale modello si sviluppa lungo due direttrici principali: da un lato, l'adozione di tecnologie legate alla transizione ecologica, come l'elettificazione dei veicoli e l'impiego di carburanti alternativi quali idrogeno e biometano; dall'altro, l'implementazione di tecnologie digitali avanzate, quali Intelligenza Artificiale, Big Data, Internet of Things, Cloud Computing, guida autonoma, connettività e sistemi di mobilità condivisa. In questo contesto, la smart mobility assume un ruolo strategico nell'evoluzione del paradigma del trasporto urbano, rappresentando la base fondamentale per la transizione verso il modello MaaS (Mobility as a Service) [5].

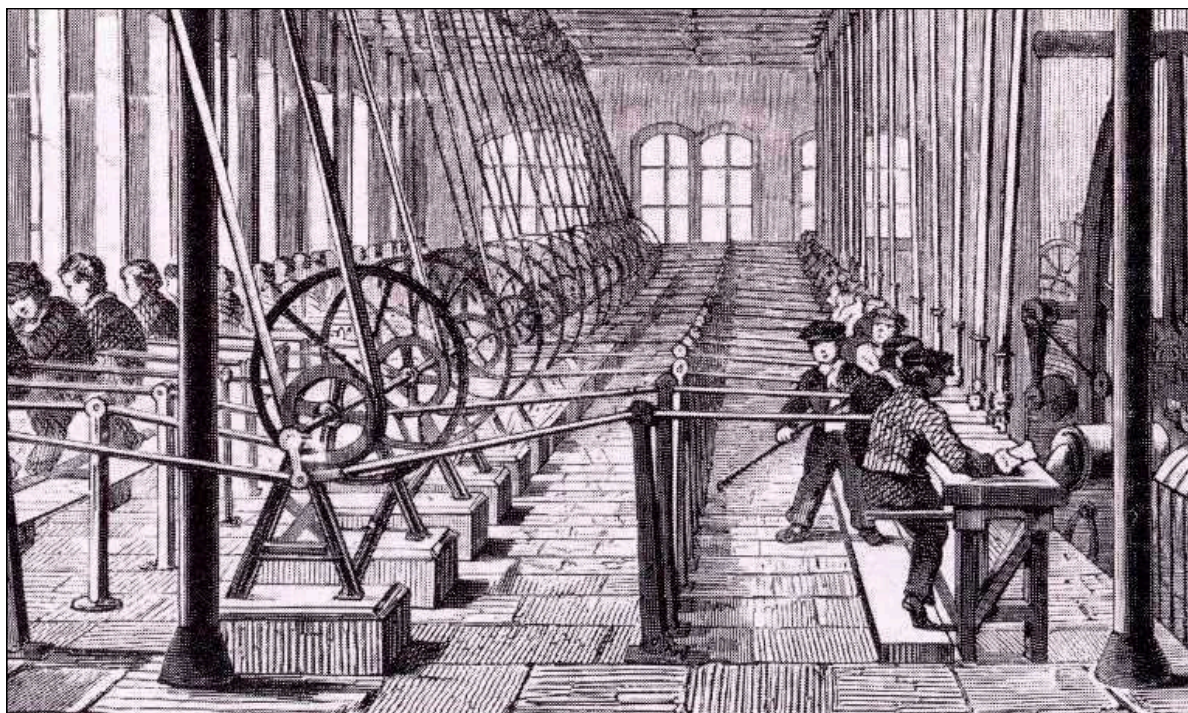
1.2 Smart Cities

Il concetto di città ha attraversato profonde trasformazioni nel corso della storia, modellato dai cambiamenti nei contesti storici e dalle specificità delle diverse aree geografiche. In epoca preindustriale, la città era concepita come un “organismo terziario” [6], orientato principalmente al consumo dei beni agricoli prodotti nelle zone rurali circostanti, nonché alla produzione di beni e servizi accessori. Tuttavia, tale struttura, ereditata in parte dalla modesta configurazione delle città-stato dell'antica Grecia, si rivelò progressivamente inadeguata a rispondere alle nuove esigenze imposte dall'evoluzione demografica, economica, territoriale e sociale. Le città contemporanee sono il risultato di un lungo processo evolutivo che ha conosciuto un'accelerazione significativa nel periodo della rivoluzione industriale, tra il XVIII e il XIX secolo. Tale fase storica ha rappresentato un punto di svolta rispetto all'eredità dell'età classica, dando origine a un nuovo modello urbano, fortemente influenzato dalla crescita delle attività industriali e dall'espansione dei servizi destinati alla classe operaia. Le trasformazioni strutturali e spaziali delle città sono strettamente interconnesse con le dinamiche economiche. I processi di urbanizzazione e le modifiche morfologiche dei centri urbani si sono verificati in modo ricorrente nel corso del tempo, trovando la loro massima espressione nell'attuale contesto di economia globalizzata, che ha generato sistemi urbani sempre più complessi e articolati. Nel XXI secolo, il ruolo strategico delle città è stato ampiamente riconosciuto dalle

principali agenzie internazionali, che definiscono l'epoca attuale come il “secolo delle città”. Secondo i dati delle Nazioni Unite (2019), il 55% della popolazione mondiale risiede in aree urbane, con una proiezione di crescita che potrebbe raggiungere il 68% entro il 2050. In tale scenario, l'Europa si distingue per il suo elevato grado di urbanizzazione. Come evidenziato da Neodemos (centro indipendente di analisi e osservazione demografica) il continente europeo può essere considerato a tutti gli effetti il “continente delle città”, avendo sviluppato nel tempo un sistema urbano capace di influenzare e guidare in maniera determinante le trasformazioni sociali, economiche e culturali, soprattutto a partire dalla rivoluzione industriale [7].

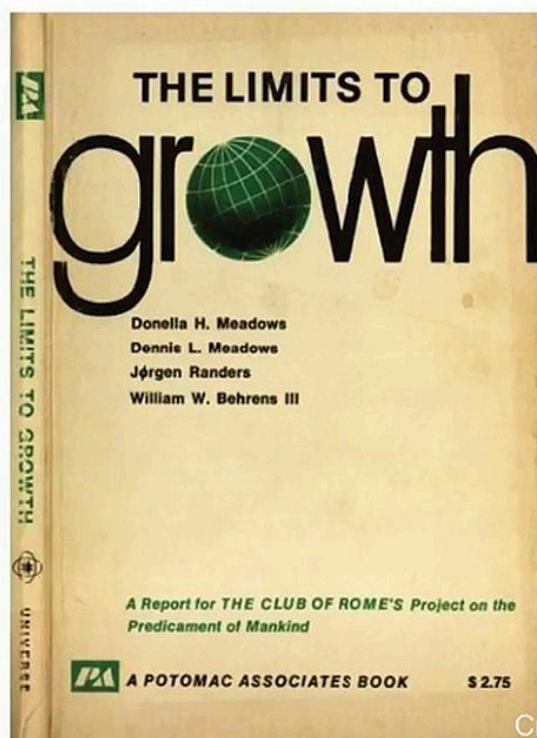
Negli ultimi decenni del XX secolo, la concezione della città come motore di sviluppo, benessere e miglioramento della qualità della vita ha iniziato a essere oggetto di un'ampia riflessione critica a livello globale. L'opinione pubblica internazionale, supportata dal crescente impegno di studiosi, attivisti e analisti, ha progressivamente maturato la consapevolezza che il processo di urbanizzazione non stava più seguendo un percorso lineare, controllato e orientato al progresso, bensì una traiettoria caratterizzata da una crescita sproporzionata, potenzialmente incontrollabile, e con ricadute imprevedibili sull'equilibrio del pianeta [8].

A partire da quel momento, e in particolare con l'accresciuta consapevolezza riguardo ai limiti ecologici del pianeta emersa a cavallo del nuovo millennio, si è assistito alla progressiva adozione di strategie di pianificazione urbana orientate alla sostenibilità.



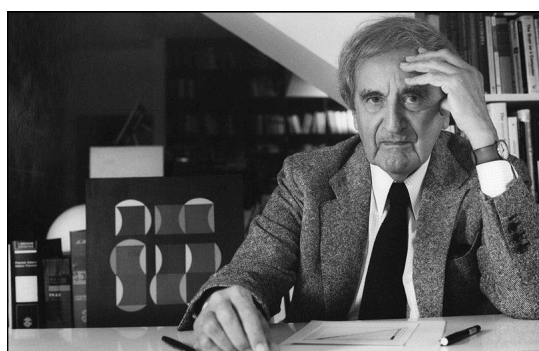
Opificio ottocentesco.
Fonte: www.pilloledifilosofia.com - La prima rivoluzione industriale

D.Meadows, D. Meadows, J. Randers, W. Behrens - The Limits to Growth, 1972.
Fonte: www.clubofrome.org - The Limits to Growth



Parallelamente, l'introduzione e la diffusione delle tecnologie digitali hanno assunto un ruolo centrale nei processi di innovazione urbana. In tale contesto, la riflessione di Tomás Maldonado, espressa in *Critica della ragione informatica* (1997), riveste un'importanza fondamentale e costruttiva. Maldonado invita a considerare l'integrazione delle tecnologie non semplicemente come un progresso tecnico, ma come un'opportunità per riconsiderare il rapporto tra uomo e ambiente urbano. La sua analisi sottolinea come un utilizzo consapevole e critico delle

tecnologie dell'informazione e della comunicazione possa favorire una governance più partecipativa, inclusiva e responsabile, in cui la tecnologia si configura come uno strumento volto a migliorare la qualità della vita e a promuovere uno sviluppo sostenibile. In questo senso, il modello della "città connessa" rappresenta un paradigma di innovazione che va oltre la mera efficienza tecnica, proponendo una visione integrata e umanistica dello spazio urbano, in grado di valorizzare la complessità sociale e culturale che lo caratterizza [9].



Tomás Maldonado.
Fonte: arquitecturaviva.com - Tomás Maldonado

La crescente consapevolezza riguardo ai limiti ambientali del nostro pianeta, nuovamente ribaditi dal Club di Roma nel 1992 [10], portò allo sviluppo di strategie di pianificazione e integrazione delle nuove tecnologie digitali al fine di limitare l'impatto antropico ottimizzando al tempo stesso i servizi urbani offerti dalle amministrazioni centrali e cittadine ai propri abitanti. Nascono dunque nuovi approcci urbanistici, evoluti nel tempo e, volti alla realizzazione di quelle che oggi comunemente chiamiamo città intelligenti o, secondo la definizione data dalla Commissione Europea nel

2011 le "Smart Cities" [11]: sistemi urbani innovativi orientati all'introduzione di servizi digitali avanzati, volti all'ottimizzazione dei flussi di energia, materiali, risorse e finanze al fine di promuovere un'economia sostenibile in grado di colmare gli squilibri tra i suoi 3 principali fattori: le persone, il pianeta e il profitto [12].

Si tratta dunque di un tema che non fa riferimento solamente alla questione ambientale e climatica ma scaturisce da un insieme di fattori interconnessi e interdipendenti tra loro a livello sistemico, come ribadito dalla Commissione Europea: "una città intelligente va oltre l'uso delle tecnologie digitali per un migliore utilizzo delle risorse e una riduzione delle emissioni. Significa reti di trasporto urbano più intelligenti, strutture potenziate per l'approvvigionamento idrico e lo smaltimento dei rifiuti, e modi più efficienti per illuminare e riscaldare gli edifici. Significa anche un'amministrazione cittadina più interattiva e reattiva, spazi pubblici più sicuri e la capacità di soddisfare le esigenze di una popolazione che "invecchia" [13].

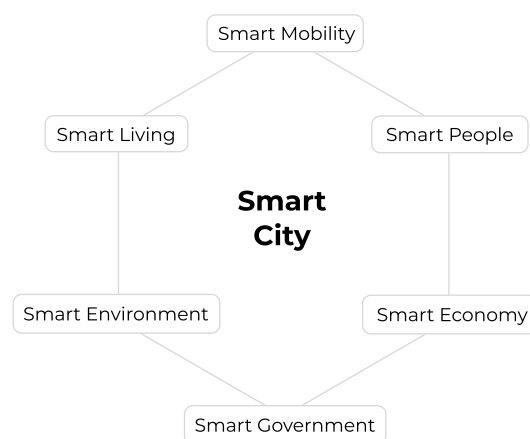
Obiettivi sulla stessa linea dei 17 che oggi tutti conosciamo come quelli facenti parte dell'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile, approvata dall'Assemblea generale dell'ONU il 25 settembre 2015 e complessivamente contenente 169 sotto-obiettivi appartenenti all'ambito ambientale, economico, sociale e istituzionale e da raggiungere entro la fine del 2030 [14]. Risulta però di fondamentale importanza fare una precisazione in quanto i due concetti di smart city e di città sostenibile siano tra loro complementari, intrinsecamente distinti, ma entrambi concorrenti alla



I 17 obiettivi di sviluppo sostenibile definiti dall'Organizzazione delle Nazioni Unite nel 2015.
Fonte: sdgs.un.org - THE 17 GOALS

pianificazione urbana degli insediamenti contemporanei: integrare tecnologie e innovazione digitale, quasi sempre in riferimento alle tecnologie ICT, all'interno dei sistemi urbani per migliorare l'efficienza dei servizi pubblici, di governance e la partecipazione attiva dei cittadini (città intelligente) al fine di minimizzarne l'impatto ambientale, promuovendo equità sociale e uno sviluppo economico duraturo nel tempo (città sostenibile) [15].

Dunque, all'interno di una smart city non è solamente presente il tema della sostenibilità, ma questa si configura come una città che "[...] riunisce tecnologia, governo e società per consentire un'economia intelligente, una mobilità intelligente, un ambiente intelligente, persone intelligenti, vita intelligente e governance intelligente", [16] e può essere identificata e classificata secondo 6 assi principali [17]. Tra le principali aree di intervento



I 6 assi delle Smart Cities.

Fonte: R. Giffinger, C. Fertner, H. Kramar, R. Kalasek, N. Pichler-Milanovic, E. Meijers - Smart cities: Ranking of European medium-sized cities, su Smart Cities, Vienna, Centre of Regional Science, 2007.

trasversale nel contesto delle Smart Cities, lo sviluppo di soluzioni tecnologicamente avanzate per il settore della mobilità assume un ruolo di rilevanza strategica, configurandosi

come uno dei pilastri fondamentali per la progettazione e realizzazione di contesti urbani più sostenibili, interconnessi e orientati al miglioramento della qualità della vita urbana.

1.3 Smart Mobility

La mobilità urbana sta attraversando una fase di profonda trasformazione, aprendo le porte all'era della smart mobility. In risposta alle sfide ambientali, sociali ed economiche delle città moderne, stanno emergendo nuovi modelli logistici basati sull'integrazione tra tecnologie digitali e principi dell'economia della condivisione. Soluzioni come il ride sharing, i servizi on demand, il car sharing e il bike sharing rappresentano esempi concreti di questo cambiamento in atto. La smart mobility non si limita solo all'adozione di nuove piattaforme, ma introduce un approccio sistemico e innovativo alla mobilità, volto a migliorare l'efficienza, la sostenibilità e l'integrazione dei trasporti urbani. In questo contesto, la tecnologia, diventa un fattore abilitante per rendere gli spostamenti più accessibili, intelligenti e orientati alle reali esigenze dei cittadini.

"La smart mobility si riferisce a sistemi di trasporto urbano sostenibili che sfruttano le tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT) per ottimizzare il flusso del traffico, ridurre la congestione e promuovere il trasporto multimodale" [18].

Un modello innovativo di mobilità urbana, caratterizzato da diverse modalità di trasporto con l'obiettivo di garantire all'utente spostamenti efficienti, flessibili, sicuri ed

economicamente convenienti. Tra i fattori concorrenti alla realizzazione di questo nuovo paradigma si possono citare il car sharing, il bike sharing, la gestione del traffico e dei parcheggi, la mobilità elettrica, l'ottimizzazione del trasporto pubblico e privato e la logistica dell'ultimo miglio. Nasce dall'integrazione delle moderne tecnologie digitali con i trasporti pubblici, le infrastrutture urbane e i servizi di mobilità condivisa, con l'obiettivo di generare flussi logistici intelligenti, interconnessi e privi di interruzioni consentendo di ridurre le esternalità negative intrinseche dell'odierna mobilità urbana come il traffico veicolare e l'inquinamento. Al tempo stesso permette di rafforzare economie di scala, capace di rendere la mobilità efficiente e accessibile per tutti i cittadini. Inserita all'interno di un più ampio contesto di Smart City, la Smart Mobility rappresenta un fattore strategico per il miglioramento della sostenibilità ambientale, della qualità della vita urbana e del potenziale di sviluppo economico delle aree metropolitane. La Smart Mobility si configura come un nuovo paradigma di mobilità urbana, fondato sulla interconnessione e sull'interdipendenza sistemica tra le sue diverse componenti. Questo innovativo modello logistico integra in modo sinergico molti aspetti, tra cui:

1. Tecnologie digitali e connettività (ICT e IoT): sistemi che permettono di raccogliere, analizzare e trasmettere dati in tempo reale su traffico, mezzi di trasporto, infrastrutture e ambiente circostante. Queste tecnologie rappresentano la base dell'automazione e della ottimizzazione dei flussi urbani.

2. Sistemi di trasporto intelligenti (ITS): gli Intelligent Transport Systems costituiscono un insieme di tecnologie avanzate applicate ai trasporti e alle infrastrutture stradali quali software, sensori, videocamere e reti wireless capaci di coordinare in modo dinamico la gestione del traffico, migliorare la sicurezza stradale e fornire informazioni in tempo reale agli utenti [19].
3. Servizi di mobilità condivisa (Sharing Mobily): le soluzioni di car sharing, bike sharing e scooter sharing riducono la dipendenza dall'auto privata, diminuiscono la congestione e il traffico urbano offrendo alternative più flessibili e accessibili [20].
4. Piattaforme digitali multimodali (MaaS): le applicazioni MaaS (Mobility as a Service) integrano diversi servizi di trasporto, permettendo all'utente di pianificare, prenotare e pagare tramite un'unica interfaccia. Queste soluzioni semplificano gli spostamenti e favoriscono un uso più ottimizzato e razionale dei mezzi.
5. Open Data e dati in tempo reale: l'accesso a dati aperti e aggiornati consente agli enti pubblici, alle aziende e ai cittadini di sviluppare soluzioni per la pianificazione urbana basate su analisi predittive e monitoraggio continui [21].
6. Veicoli elettrici e tecnologie a emissioni zero: l'adozione di veicoli elettrici contribuisce alla riduzione dell'inquinamento ambientale e acustico, rappresentando un fattore essenziale per il miglioramento della qualità di vita cittadina [22].
7. Infrastrutture intelligenti e adattive: strutture come parcheggi digitalizzati, sensori stradali e semafori intelligenti consentono una gestione dinamica del traffico, permettendo alle città di rispondere in tempo reale alle variazioni nella domanda di mobilità, migliorando l'efficienza complessiva del sistema di trasporto [23]. Un'evoluzione significativa in questo ambito è rappresentata dalle Smart Road, ovvero infrastrutture stradali avanzate progettate per interagire costantemente con i veicoli attraverso tecnologie digitali e reti di sensori. Cuore tecnologico di queste strade intelligenti è il sistema V2I (Vehicle-to-Infrastructure), parte dell'ecosistema più ampio delle comunicazioni V2X (Vehicle-to-Everything) [24].
8. Soluzioni per la logistica dell'ultimo miglio: una gestione intelligente dell'ultimo miglio logistico (o last-mile delivery) consente di migliorare l'efficienza della distribuzione urbana contenendone al tempo stesso gli impatti. Lo sviluppo di soluzioni come veicoli leggeri a basse emissioni, cargo bike elettriche, droni e veicoli autonomi può consentire consegne più rapide, sostenibili e meno gravose sul contesto urbano e il traffico stradale [25].
9. Pianificazione urbana integrata e governance multi-attore: la collaborazione tra enti pubblici, operatori privati e cittadini è di fondamentale importanza per favorire l'implementazione di strategie realmente sostenibili e inclusive, garantendo efficienza dei trasporti e sviluppo urbano [26].

La Smart Mobility continua a rappresentare una priorità strategica per molti comuni italiani, indipendentemente dalla loro dimensione demografica o territoriale. Secondo recenti dati, il 65% dei comuni ha avviato almeno un progetto di mobilità intelligente nel triennio 2022 - 2024 [27]. Le iniziative più frequenti riguardano la mobilità elettrica, la sharing mobility e la gestione intelligente del traffico. Accanto a queste soluzioni, ormai consolidate, emergono progetti più avanzati e ad elevata complessità gestionale e applicativa come la guida autonoma [28], il paradigma Mobility as a Service (MaaS) [29] e, in alcuni ambiti pionieristici, come l'Air Mobility [30]. Nel quadro dello sviluppo della mobilità intelligente, il governo italiano ha avviato specifici programmi di investimento a livello nazionale. Tra questi, il Ministero dello Sviluppo Economico (MISE) ha promosso l'iniziativa Smarter Italy (avviata nel 2021), un programma di sperimentazione che prevede uno stanziamento complessivo di 90 milioni di euro, dei quali 20 milioni sono espressamente destinati a soluzioni per la Smart Mobility. L'obiettivo del programma è quello di sperimentare tecnologie e modelli innovativi in grado di rispondere in modo più efficiente ai bisogni emergenti del Paese. Le aree d'intervento includono, oltre alla mobilità sostenibile, anche altri settori strategici come la valorizzazione dei beni culturali, il miglioramento della qualità della vita e la protezione dell'ambiente [31]. La mobilità, e le sue criticità, rappresentano un tema fortemente presente anche all'interno del PNRR (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza), il documento che l'Italia ha presentato alla Commissione europea

per accedere ai fondi stanziati per il Next Generation EU. Trattasi di un vasto programma di investimenti e riforme volto a rilanciare l'economia del Paese dopo la pandemia mondiale causata dal Covid-19: l'Unione europea ha stanziato 194,4 miliardi di euro per il PNRR italiano ai quali si aggiungono 30,6 miliardi attraverso il Piano Complementare, \finanziato direttamente dallo Stato, per un totale di 225 miliardi. Il piano è strutturato in 6 obiettivi da raggiungere entro il 30 giugno 2026, ognuno dei quali affronta un'area strategica per lo sviluppo e il futuro dell'Italia:

1. Digitalizzazione, innovazione, competitività e cultura
2. Rivoluzione verde e transizione ecologica
3. Infrastrutture per una mobilità sostenibile
4. Istruzione e ricerca
5. Inclusione e coesione
6. Salute

Ogni obiettivo è suddiviso in componenti, che a loro volta contengono progetti di investimento specifici. Missione principale del piano di intervento è la modernizzazione del paese al fine di renderlo più competitivo, sostenibile e resiliente, in linea con gli obiettivi europei di transizione digitale e ambientale. L'obiettivo 3 del PNRR riveste un ruolo strategico nel processo di rilancio infrastrutturale del Paese. Con un investimento complessivo di circa 31,4 miliardi di euro [32], mira alla modernizzazione e al potenziamento

delle reti di trasporto, promuovendo modelli logistici improntati alla sostenibilità e all'intermodalità. L'intento è quello di sviluppare un sistema di trasporti efficiente, sicuro e a basso impatto ambientale riducendo al contempo le disparità territoriali e rafforzando la coesione nazionale [33]. L'obiettivo 3, inoltre, è articolato in due componenti:

- Componente 1: ne rappresenta la principale linea di intervento con circa 26 miliardi di euro (22,79 mld da PNRR + 3,20 mld dal Piano Complementare) dedicati al potenziamento della rete ferroviaria nazionale per migliorare la connettività, sia per il trasporto di passeggeri che di merci, riducendo al contempo il divario tra Nord e Sud, tra le grandi città e le aree periferiche interne.
- Componente 2: con circa 4 miliardi di euro (954 mln da PNRR + 2,86 mld dal Piano Complementare) si focalizza su progetti di mobilità intelligente e sostenibile. Non si tratta solamente di interventi per la manutenzione e modernizzazione delle infrastrutture fisiche, ma anche di implementazioni tecnologiche per garantire ai cittadini nuovi servizi, una mobilità più efficiente e una logistica integrata [34]. Questa componente include diversi interventi, tra cui:
 - Sviluppo del trasporto rapido di massa: Il PNRR prevede consistenti investimenti finalizzati al rinnovo del parco mezzi e all'estensione delle reti di metropolitane, tramvie e filovie nelle principali città italiane. L'obiettivo è incentivare l'uso del trasporto pubblico locale, migliorandone capacità, affidabilità e capillarità, così da ridurre la dipendenza dall'auto privata e contenere le emissioni.
 - Piste ciclabili e mobilità dolce: sono previsti finanziamenti per la realizzazione di nuove infrastrutture ciclabili e per l'ammodernamento di quelle esistenti. Questi interventi mirano a favorire modalità di spostamento a basso impatto ambientale, potenziando la sicurezza e la fruibilità per ciclisti e pedoni, integrandosi con le altre forme di mobilità.
 - Smart Road e digitalizzazione delle infrastrutture: il piano include progetti per l'implementazione di tecnologie avanzate sulle strade, quali sensori, sistemi di monitoraggio e reti per la trasmissione di dati e informazioni. Queste soluzioni consentono una gestione dinamica del traffico e una maggiore sicurezza, anche grazie all'integrazione di sistemi di comunicazione veicolo-infrastruttura, elementi chiave per lo sviluppo della guida autonoma e della mobilità connessa.
 - Mobility as a Service (MaaS): si promuove lo sviluppo di piattaforme digitali integrate, capaci di riunire in un unico ambiente i servizi di trasporto pubblico e privato. L'obiettivo è semplificare l'accesso e l'utilizzo di soluzioni di mobilità alternative all'auto privata, migliorando l'esperienza dell'utente e l'efficienza complessiva del sistema. I fondi dedicati al MaaS sono gestiti dal Dipartimento per la Trasformazione Digitale [35].

1.4 La Sharing Mobility

La sharing mobility, o mobilità condivisa, rappresenta un fenomeno che si sta affermando in modo dirompente con l'avvento del XXI secolo, profondamente radicato nel contesto della digitalizzazione e delle crescenti sfide urbane come la congestione del traffico e l'inquinamento ambientale. Lontano dall'essere una semplice tendenza, rappresenta un cambiamento di paradigma che sposta il concetto di mobilità dalla tradizionale logica della proprietà privata del veicolo a quella dell'accesso al servizio [36].

In questo modello, la risorsa (un dato veicolo) non appartiene a un singolo individuo, ma è messa a disposizione di una comunità di utenti, che ne usufruiscono solo per il tempo e lo spazio strettamente necessari a soddisfare le proprie esigenze logistiche. Questo approccio è basato sull'idea di ottimizzare l'utilizzo dei beni (in questo caso veicoli) che, se di proprietà, rimangono inutilizzati per la maggior parte del tempo, basti pensare che diversi studi affermano che mediamente il tasso di utilizzo effettivo di un'automobile privata si attesta attorno al 5% della sua vita utile [37]; diminuendo così al contempo le criticità urbane correlate all'utilizzo dei mezzi privati. Attraverso l'uso di piattaforme digitali, la sharing mobility permette agli utenti di localizzare, prenotare e utilizzare un veicolo in modo flessibile e immediato. Questo processo non solo migliora l'efficienza dei trasporti, ma promuove anche una maggiore sostenibilità ambientale e sociale, riducendo il numero complessivo di veicoli in circolazione, i consumi energetici e l'occupazione di spazio pubblico destinato ai

parcheggi [38]. Il successo della sharing mobility è strettamente legato alla sua capacità di integrarsi con il trasporto pubblico locale mediante altri servizi di mobilità, come il vehicle-sharing (veicoli in condivisione) e il ride-sharing (corsa in condivisione). Insieme, questi elementi contribuiscono a formare un ecosistema di mobilità più ampio e interoperabile, spesso definito Mobility as a Service (MaaS). In questo scenario, la sharing mobility agisce come un tassello fondamentale, offrendo la soluzione per l'ultimo miglio e per i tragitti non coperti dal trasporto di massa, contribuendo così a rendere l'esperienza di viaggio completa, fluida e, soprattutto, a liberare le città dalla dipendenza dall'auto privata [39]. La sharing mobility non rappresenta un concetto unitario, ma si articola in diverse modalità, ciascuna caratterizzata da differenti specifiche operative e impatti sull'ecosistema della mobilità.

Mobilità condivisa	Treno	Di linea / Ad orario
	Treno urbano	
	Metropolitana	
	Tram	
	Bus rapidi transit	
	Autobus	
	People mover	
	Funivia / Funicolare	
	Scala mobile	
	Ascensore	On - demand
	Taxi	
	NCC	
	Bike sharing	Sharing mobility
	Scooter sharing	
	Car sharing	
	E-hailing	
	Ride hailing / TNC	
	Carpooling	
	Ridesplitting	
	Microtransit / DRT	

Ventaglio Mobilità Condivisa
Fonte: osservatoriosharingmobility.it

Il car sharing costituisce una modalità innovativa di fruizione dell'automobile, concepita per ridurre l'impatto ambientale e i costi individuali legati alla mobilità. In questo modello, il veicolo non è di proprietà dell'utente ma è messo a disposizione all'interno di una flotta condivisa, accessibile su prenotazione e utilizzabile per brevi periodi in base alle esigenze personali. Tale approccio consente di superare le spese e gli oneri tipici della proprietà privata come manutenzione, assicurazione e parcheggio e, secondo l'analisi condotta da Chen e Kockelman [40], può contribuire in modo significativo alla riduzione del consumo energetico, delle emissioni e della domanda di carburante. Inoltre, la diffusione di questo servizio favorisce un uso più razionale dello spazio urbano, diminuendo la necessità complessiva di aree destinate alla sosta [41].

I servizi di car sharing si suddividono in tre tipologie in base al modello operativo:

- Round-trip: l'utente deve iniziare e concludere il noleggio nello stesso luogo.
- Free-floating: l'utente può parcheggiare il veicolo praticamente ovunque, all'interno di una determinata area, denominata dominio di servizio.
- Station-based: l'utente ha la possibilità di parcheggiare il veicolo solamente nelle stazioni di parcheggio disponibili nel dominio di servizio.

Il car sharing, nonostante dal 2020 ad oggi il numero di noleggi si attestica costantemente intorno ai 6 milioni (di cui nemmeno 300 mila station-based) [43], ha comunque subito dei cambiamenti nel tempo per adattarsi alla dinamicità dei contesti urbani e alle mutevoli necessità dei suoi cittadini; ad esempio inizialmente l'offerta comprendeva solamente noleggi a brevissimo termine, ai quali oggi si affianca anche la possibilità di effettuare noleggi a tariffa e a durata prolungata, addirittura di uno o più giorni. Un'altra novità è la differenziazione dei veicoli disponibili, con l'introduzione di microcar e quadricicli leggeri a motore elettrico, che per la loro dimensione compatta e facilità di guida risultano la soluzione ideale per gli spostamenti nei centri urbani ad alta densità di popolazione (per esempio Enjoy ha ampliato la sua flotta introducendo la XEV Yoyo mentre ShareNow la Citroen Ami, al fine di rendere maggiormente completa l'offerta per i clienti). Il car sharing, tra le varie modalità di trasporto condiviso, si afferma come una delle opzioni più consolidate all'interno del panorama urbano, offrendo un'alternativa concreta al possesso dell'auto privata. Il settore inoltre è stato in grado di rinnovarsi, ampliando la gamma di veicoli e adattando la propria offerta in modo sempre più specifico alle esigenze degli utenti e delle città. Questo servizio, dunque, in un'ottica di mobilità condivisa si affianca e si combina in modo sinergico con le altre forme di trasporto in condivisione contribuendo a fornire risposte efficaci alle sfide che caratterizzano la mobilità urbana odierna. Sebbene l'auto condivisa presenti indubbi benefici non sempre costituisce l'opzione più adatta agli spostamenti in contesti urbanizzati.



Tra le principali criticità si annoverano comunque un elevato inquinamento ambientale, anche se inferiore considerando la comune proprietà del mezzo che ne diminuisce l'impatto complessivo, congestione veicolare e difficoltà nel reperimento di parcheggi per lasciare la vettura e terminare il noleggio. Tali motivazioni rendono necessaria una parallela diffusione di servizi dedicati alla condivisione di veicoli più leggeri, compatti e manovrabili come biciclette, monopattini e scooter. Anch'essi incentrati su modelli operativi e dinamiche di funzionamento simili a quelle che regolano i servizi di car sharing, e si articolano in due modelli principali: station-based, in cui i mezzi sono collocati in punti di raccolta attrezzati con strutture dedicate anche alla ricarica del mezzo se necessario, e il free-floating, che offre una maggiore libertà di utilizzo all'utente che ha la possibilità di terminare il noleggio, e dunque di lasciare il veicolo leggero, in qualsiasi area autorizzata. La micromobilità offre servizi e mezzi di trasporto che, sebbene appartenenti alla medesima categoria, necessitano di essere analizzati singolarmente poiché presentano criticità e vantaggi differenti, necessari da approfondire per comprendere il contributo che, singolarmente, apportano alla realizzazione di una mobilità urbana integrata e sostenibile.

I servizi di micromobilità si dividono in bike sharing, e-scooter sharing e scooter sharing [42].

Il bike sharing, ovvero la condivisione di biciclette, è uno dei servizi di mobilità condivisa più longevi e diffusi a livello globale. La sua evoluzione può essere schematizzata in diverse fasi, che ne

mobike

ridemovi



nextbike
by TIER



H E L B I Z

JUMP

hanno modificato profondamente struttura e accessibilità. I sistemi di prima generazione, nati in Europa negli anni '60, erano spesso a basso contenuto tecnologico e basati su depositi cauzionali di monete o chiavi [43].

La loro diffusione su larga scala, tuttavia, è avvenuta con l'introduzione dei sistemi di seconda generazione. Questi ultimi si basano su stazioni di prelievo e rilascio fisse (station-based), dotate di tecnologia informatica per la gestione degli abbonamenti, il monitoraggio delle biciclette e il controllo degli accessi. L'utente preleva una bicicletta da una stazione e deve obbligatoriamente rilasciarla in un'altra stazione designata all'interno della rete. Questo modello garantisce un ordine strutturato e previene il fenomeno dell'abbandono dei mezzi, ma presenta limiti in termini di flessibilità e copertura geografica, poiché la disponibilità di biciclette è vincolata alla presenza di stazioni [44].

A partire dal 2010, l'avvento di tecnologie mobili sempre più avanzate e l'uso diffuso di smartphone hanno portato ai sistemi di terza generazione, noti come free-floating (a flusso libero). In questo modello, le biciclette non sono vincolate a stazioni fisse. L'utente, tramite un'applicazione mobile, localizza la bicicletta più vicina, ne sblocca il lucchetto (spesso tramite un codice QR o alfa-numerico) e, al termine del viaggio, può parcheggiarla liberamente in qualsiasi area consentita all'interno di una zona operativa definita (o dominio di servizio). Il bike sharing free-floating ha rivoluzionato il settore eliminando le restrizioni delle stazioni fisse, aumentando la flessibilità per l'utente e consentendo una maggiore capillarità del servizio. Le biciclette, spesso dotate di GPS e

connettività IoT (Internet of Things), permettono una gestione centralizzata della flotta. La sfida principale di questo modello è la gestione del riposizionamento (rebalancing) dei mezzi per evitare l'accumulo in alcune aree e la carenza in altre, nonché la prevenzione di fenomeni di disordine urbano [45]. In aggiunta, la maggior parte delle flotte moderne è composta da biciclette a pedalata assistita (e-bike), che ampliano ulteriormente il bacino d'utenza e rendono gli spostamenti più agevoli anche su percorsi collinari o su distanze maggiori. Fattori che concorrono anche alla rapida crescita del numero di noleggi di biciclette in Italia, quadruplicato nel periodo compreso tra il 2017 e il 2023 passando da 2,8 a 11,5 milioni [43].

L'e-scooter sharing, ovvero la condivisione di monopattini elettrici, è la forma più recente (sono stati introdotti sperimentalmente in questo mercato nel 2019) e a più rapida espansione della sharing mobility. I monopattini elettrici in sharing operano quasi esclusivamente con un modello free-floating. Gli utenti individuano il veicolo tramite l'app, lo sbloccano e, una volta terminato l'uso, lo parcheggiano in un'area designata o in un punto accessibile, sempre all'interno della zona operativa. La gestione della flotta si basa su un'infrastruttura tecnologica complessa che include implementazione GPS e IoT dei monopattini, piattaforma gestionale digitale e una logistica operativa molto efficiente per la ricarica (o sostituzione delle batterie) dei monopattini e del loro riposizionamento strategico per garantirne la disponibilità in tutta l'area di servizio. Il successo dell'e-scooter



H E L B I Z



B I R D

dott

***BiT* Mobility**

Bolt

sharing risiede nella sua accessibilità, facilità d'uso e nella capacità di integrarsi con le reti di trasporto pubblico, colmando le lacune negli spostamenti dell'ultimo miglio per il raggiungimento della destinazione finale. In seguito alle prime fasi di introduzione e sperimentazione sul campo, i monopattini elettrici sono emersi come un fattore trainante per il settore del vehicle sharing tra il 2020 e il 2022. Nonostante ciò, i dati più recenti indicano una progressiva riduzione della loro incidenza all'interno delle flotte di micromobilità. La quota di e-scooter, che nel 2020 rappresentava il 71% del totale, è scesa al 63% nel 2024. Parallelamente, si è registrato un significativo incremento delle biciclette elettriche a pedalata assistita (e-bike), la cui presenza nelle flotte è cresciuta dal 29% al 37% nello stesso arco temporale. Tale servizio, infatti, presenta anche sfide significative, tra cui la gestione del parcheggio "selvaggio", la coesistenza con pedoni e ciclisti, la regolamentazione normativa e la sicurezza stradale: sul totale degli incidenti su strada registrati nel corso del 2023 che coinvolgono un veicolo di micromobilità appartenente a un servizio di sharing mobility, per il 52% dei casi si tratta di monopattini elettrici [43].

Le amministrazioni locali sono sempre più impegnate a definire linee guida precise per l'uso dei monopattini, al fine di massimizzarne i benefici e mitigarne gli impatti negativi, a volte limitandone l'uso per promuovere l'adozione preferenziale di altre soluzioni per la realizzazione di una mobilità più sicura

Lo scooter sharing è un servizio di condivisione di scooter, generalmente elettrici, che si posiziona come soluzione intermedia tra il bike sharing

e il car sharing in termini di velocità e autonomia. Offre la possibilità di percorrere distanze maggiori rispetto a una bicicletta o un monopattino, mantenendo un'agilità superiore rispetto all'automobile, specialmente in contesti urbani ad alta densità. Anche lo scooter sharing opera prevalentemente con un modello free-floating. L'utente localizza lo scooter tramite l'app, sblocca il veicolo (e il bauletto contenente il casco), e può iniziare il viaggio. Al termine, il veicolo viene parcheggiato all'interno dell'area consentita concludendo il noleggio dall'app. La gestione logistica è simile a quella dell'e-scooter sharing, con necessità di ricarica o sostituzione delle batterie e riposizionamento della flotta durante le ore di bassa, se non nulla, affluenza. Le sfide dello scooter sharing sono legate principalmente alla sicurezza stradale, alla necessità di indossare il casco (spesso fornito nel bauletto), alla gestione dei parcheggi e alla regolamentazione normativa, che varia significativamente tra le diverse città. Il servizio si rivolge spesso a un target di utenti più maturo rispetto all'e-scooter sharing, che necessita di spostamenti più efficienti, non è interessato all'acquisto di un mezzo proprio ed è in possesso di una patente di guida trattandosi di mezzi più prestanti e complessi. Le restrizioni normative e operative sui veicoli di scooter sharing hanno indotto una notevole contrazione della domanda, che si è riflessa direttamente sull'offerta del servizio. Tra il 2022 e il 2023, si è registrata una diminuzione del 42% dell'offerta. Tale flessione è evidente anche nella copertura geografica del servizio poiché il numero di capoluoghi italiani in cui era presente almeno un operatore è sceso da 20 a 9 nello stesso periodo. Tendenza discendente

proseguita anche nel 2024, con un'ulteriore riduzione che ha portato la disponibilità del servizio a soli 7 comuni italiani [43].

cooltra

mimoto

Cityscoot

GoVolt
keep sharing

scooter sharing
ZIG ZAG

scuter

Incidenti biciclette
188

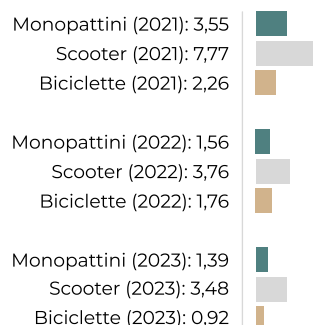
Incidenti monopattini
334



Incidenti scooter
115

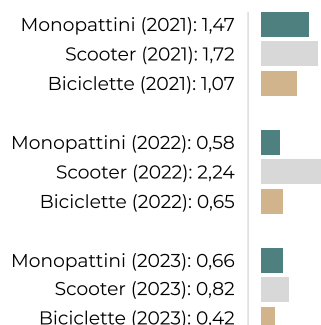
Numero di incidenti nei servizi di micromobilità in sharing nel 2023.

Fonte: osservatoriosharingmobility.it



Numero di incidenti per 100.000 noleggi.

Fonte: osservatoriosharingmobility.it



Numero di incidenti per 100.000 chilometri.

Fonte: osservatoriosharingmobility.it

Per la realizzazione di una mobilità integrata ed esaustivamente complementare ai trasporti pubblici locali, oltre ai servizi di vehicle sharing sopraelencati, si possono citare anche

quelli di ride sharing: tra cui il ride hailing e il car pooling. A completare l'offerta poi i servizi DRT (Demand Responsive Transit) e i taxi, ovvero i trasporti a chiamata.

Il ride sharing, secondo la definizione fornita dal Centre for Research and Technology Hellas di Salonicco, consiste nella condivisione di un veicolo tra un conducente e uno o più passeggeri che percorrono lo stesso itinerario, totalmente o in parte. Tale pratica può avere natura non lucrativa, quando finalizzata esclusivamente alla ripartizione delle spese di viaggio, oppure assumere carattere commerciale, qualora il conducente riceva un compenso tramite sistemi di pagamento e fatturazione strutturati sulla base delle informazioni fornite dai partecipanti. In entrambi i casi, il servizio si fonda sull'impiego di piattaforme digitali che facilitano l'incontro tra domanda e offerta, consentendo di organizzare la condivisione del tragitto sia in modalità on demand, con abbinamento in tempo reale, sia tramite prenotazione programmata [46].

All'interno di questo contesto, il car pooling rappresenta una modalità di mobilità condivisa in cui più persone viaggiano all'interno dello stesso veicolo percorrendo un tragitto comune o parzialmente coincidente. Tradizionalmente, questa pratica nasce come accordo informale tra conoscenti o colleghi per suddividere le spese di viaggio, ma negli ultimi anni si è evoluta grazie all'utilizzo di piattaforme digitali specializzate, che mettono in contatto conducenti e passeggeri in base a destinazione, orari e preferenze di viaggio. La caratteristica distintiva del car

pooling è l'assenza di un vero e proprio profitto per il conducente: nella maggior parte dei casi, il compenso ricevuto copre unicamente le spese vive del viaggio (carburante, pedaggi, usura del mezzo). Questo aspetto lo differenzia dalle forme di trasporto a pagamento professionale, poiché si configura come un servizio tra pari (peer-to-peer).

Dal punto di vista ambientale e sociale, il car pooling contribuisce a ridurre la congestione stradale, le emissioni di CO₂ e la domanda di parcheggi, oltre a favorire dinamiche di socializzazione e condivisione delle risorse. Nei contesti urbani e periurbani, può rappresentare un'integrazione efficace al trasporto pubblico, soprattutto nelle tratte non coperte da linee regolari o in orari di bassa frequenza [47].

Il ride hailing rappresenta un'ulteriore forma di mobilità condivisa, distinta dal car pooling per la sua struttura commerciale e le modalità di fruizione. In questo modello, l'utente prenota un passaggio (o corsa) tramite applicazioni digitali, come Uber o Lyft, e viene prelevato da un conducente professionista o autorizzato a fornire il servizio a titolo oneroso. La principale peculiarità del ride hailing risiede nel carattere on-demand: la corsa viene prenotata in tempo reale e l'algoritmo della piattaforma seleziona il veicolo più vicino, garantendo tempi di attesa ridotti e ottimizzando i percorsi in base alla domanda (anche se l'utente, in fase di selezione del veicolo, ha spesso la possibilità di scegliere in autonomia quello che ritiene più adatto a soddisfare le proprie esigenze). Il pagamento avviene direttamente tramite l'app, con tariffe calcolate in base a distanza, durata del viaggio, tipologia di veicolo e talvolta, alla

domanda istantanea [48].

Il ride hailing rappresenta una soluzione di mobilità urbana particolarmente flessibile e immediata, utile soprattutto in contesti dove il trasporto pubblico risulta limitato o poco efficiente. Tuttavia, studi recenti indicano che, in alcune città, l'uso diffuso di questo servizio può contribuire a un aumento del traffico e a una riduzione della domanda di mezzi pubblici, diminuendone così i potenziali benefici se non inserito in strategie di mobilità sostenibile e integrata.

I servizi di trasporto a chiamata (Demand Responsive Transport, DRT) rappresentano una modalità di trasporto collettivo flessibile, progettata per adattarsi dinamicamente alle esigenze degli utenti. A differenza dei mezzi pubblici tradizionali, che seguono percorsi e orari prestabiliti, i DRT modificano itinerari e orari in base alle richieste ricevute in tempo reale o su prenotazione. Gli utenti possono prenotare il servizio tramite applicazioni digitali o call center, indicando punto di partenza, destinazione e orario desiderato. Questo modello risulta particolarmente efficace in aree urbane con bassa densità di traffico, in zone periferiche o rurali, dove la domanda non giustifica autobus a linea fissa [49]. I veicoli impiegati possono essere minibus, navette o taxi collettivi, spesso condivisi da più passeggeri che percorrono itinerari parzialmente sovrapposti.

Parallelamente ed infine i servizi taxi, che forniscono trasporto individuale (o per piccoli gruppi), generalmente disponibile su richiesta immediata o tramite prenotazione. A differenza dei DRT, i taxi seguono percorsi diretti

senza adattarsi alla richiesta di corse da parte di altri utenti, garantendo così spostamenti rapidi e personalizzati. Tuttavia, grazie all'adozione di piattaforme digitali, molti taxi oggi operano in modo più flessibile, riducendo i tempi di attesa e aumentando l'accessibilità del servizio⁵⁰. L'integrazione di DRT e taxi ai servizi di sharing mobility sopra citati concorre alla realizzazione di sistemi di mobilità urbana integrata e multimodale, in grado di migliorare significativamente l'efficienza complessiva dei trasporti, contribuire alla riduzione del traffico e dell'inquinamento rappresentando un'alternativa maggiormente sostenibile rispetto al tradizionale trasporto mediante mezzo privato.

1.5 Il trasporto multimodale

Il trasporto multimodale rappresenta un approccio logistico, organizzativo e operativo che prevede l'impiego coordinato di due o più modalità di trasporto differenti all'interno di un unico itinerario, con la finalità di garantire la continuità del viaggio e l'ottimizzazione dell'esperienza di spostamento. A differenza della semplice combinazione di mezzi, il trasporto multimodale si basa su una pianificazione integrata, che include aspetti logistici, tariffari e informativi, così da fornire un servizio coerente e privo di discontinuità percepibili dall'utente [50].

Nel contesto della mobilità urbana, il trasporto multimodale si basa sulla combinazione coordinata di differenti modalità di spostamento, tra cui autobus, tram, metropolitane, treni, biciclette, monopattini elettrici e altri servizi di mobilità condivisa al fine di

creare un ecosistema di mobilità più fluido, efficiente e rispettoso dell'ambiente. Tale modello è alla base di soluzioni innovative come le piattaforme Mobility as a Service (MaaS), che permettono all'utente di organizzare, prenotare e pagare l'intero tragitto attraverso un'unica applicazione digitale, garantendo così un sistema di trasporto flessibile, integrato e personalizzabile in funzione delle specifiche esigenze di mobilità. Tale integrazione si esprime attraverso:

- Integrazione fisica: hub intermodali e punti di interscambio strategicamente progettati per ridurre al minimo tempi e distanze nei trasferimenti tra le diverse modalità di trasporto.
- Integrazione tariffaria: introduzione di titoli di viaggio unificati o di sistemi di bigliettazione elettronica interoperabili, che permettano l'accesso a più mezzi con un'unica transazione.
- Integrazione informativa: sviluppo di piattaforme digitali e sistemi MaaS in grado di fornire in tempo reale dati aggiornati su orari, percorsi e coincidenze, facilitando la pianificazione ottimale degli spostamenti.

Il trasporto multimodale è oggi un pilastro centrale delle strategie di pianificazione della mobilità urbana e interurbana a livello europeo e internazionale. Esso si inserisce nei piani di sviluppo delle Smart City e nelle linee guida della Commissione Europea per la mobilità sostenibile, con l'obiettivo di ridurre congestionamento, emissioni, costi sociali e ambientali del trasporto privato.

Lo sviluppo di un sistema di trasporto integrato e multimodale in ambito urbano permette di migliorare l'efficienza dei trasporti, riducendone i tempi complessivi e ottimizzando l'utilizzo delle infrastrutture esistenti. In secondo luogo, favorendo l'adozione di soluzioni logistiche a basso impatto, come alternativa all'auto privata, promuove la sostenibilità ambientale e la vivibilità cittadina. Infine, permette di incrementare notevolmente l'accessibilità ai trasporti per i cittadini, garantendo connessioni efficaci anche in contesti periferici e attualmente poco connessi con il restante tessuto urbano. Nonostante i numerosi benefici, l'implementazione di un modello tale presenta ancora oggi sfide significative, tra queste la necessità di un efficace e costante coordinamento tra i diversi operatori di trasporto e le autorità competenti rappresenta un ostacolo primario. A questo si aggiungono gli ingenti investimenti necessari per lo sviluppo di nuove infrastrutture avanzate e per l'implementazione tecnologica di quelle esistenti. Da non dimenticarsi, infine, che la diffusione di questo nuovo paradigma logistico è direttamente correlata alla necessità di superare le possibili resistenze dei cittadini promuovendo un cambiamento culturale nelle loro abitudini di mobilità [51] [52].

La distinzione tra trasporto combinato, intermodale e multimodale riveste un ruolo centrale nello studio dei sistemi di mobilità, poiché ciascun approccio definisce modalità differenti di integrazione tra i mezzi logistici utilizzati. Comprendere queste differenze è essenziale per progettare reti di trasporto efficienti, flessibili e sostenibili:

- Il trasporto combinato si caratterizza per l'utilizzo di diverse modalità di trasporto in assenza di un coordinamento centralizzato, richiedendo così che ogni tratto del percorso sia gestito in maniera autonoma dall'utente.
- Trasporto intermodale: si basa sull'impiego di unità di carico standardizzate e intercambiabili che possono essere trasferite tra le diverse modalità di trasporto e sono gestite da un unico contratto e un coordinamento centralizzato.
- Trasporto multimodale: consiste nell'integrazione di due o più modalità di trasporto sotto un unico contratto, con un unico responsabile per la gestione e il coordinamento dell'intera operazione. Consente di trasferire persone (e/o merci) tra diverse modalità di trasporto in modo efficiente e ottimizzato, offrendo agli utenti soluzioni di mobilità complete e semplificate. L'intero processo è garantito da una strategica pianificazione dei percorsi e dalla riduzione dei tempi di transito, rendendo il servizio adattabile a diverse esigenze logistiche e contesti geografici. In sintesi, mentre il trasporto combinato si distingue per la gestione separata delle tratte e l'autonomia richiesta agli utenti, il trasporto intermodale e il multimodale rappresentano soluzioni più integrate, differenziandosi soprattutto per il grado di coordinamento e responsabilità. Il multimodale, in particolare, offre un'esperienza di viaggio completa e integrata, fattore determinante per la realizzazione dei sistemi di mobilità intelligente [53].

senza adattarsi alla richiesta di corse da parte di altri utenti, garantendo così spostamenti rapidi e personalizzati. Tuttavia, grazie all'adozione di piattaforme digitali, molti taxi oggi operano in modo più flessibile, riducendo i tempi di attesa e aumentando l'accessibilità del servizio⁵⁰. L'integrazione di DRT e taxi ai servizi di sharing mobility sopra citati concorre alla realizzazione di sistemi di mobilità urbana integrata e multimodale, in grado di migliorare significativamente l'efficienza complessiva dei trasporti, contribuire alla riduzione del traffico e dell'inquinamento rappresentando un'alternativa maggiormente sostenibile rispetto al tradizionale trasporto mediante mezzo privato.

1.6 Piattaforme MaaS

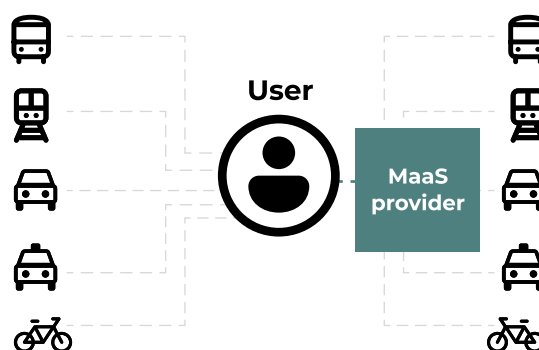
Il concetto di Mobility-as-a-Service (MaaS) è stato introdotto nel 2014 da Sampo Hietanen, fondatore e CEO di MaaS Global, considerata la prima realtà imprenditoriale a offrire servizi MaaS su scala commerciale. L'idea nasce dall'esigenza di superare la tradizionale frammentazione dei sistemi di trasporto, proponendo un modello innovativo capace di integrare, all'interno di un'unica piattaforma digitale, diverse modalità di spostamento e di organizzare l'offerta in pacchetti di mobilità personalizzati in base alle esigenze dell'utente. Il MaaS si configura come un livello digitale di aggregazione che raccoglie e interconnette, senza soluzione di continuità, diversi servizi di trasporto disponibili in un dato contesto geografico: dai mezzi pubblici collettivi (autobus, tram, metropolitane, treni) alle soluzioni di mobilità individuale e

condivisa (car sharing, bike sharing, scooter sharing, taxi, ecc). La piattaforma MaaS assume la funzione di one-stop-shop per l'utente, permettendo la pianificazione intermodale, la prenotazione dei servizi, il pagamento tramite sistemi di smart ticketing e l'accesso a dati aggiornati in tempo reale su orari, coincidenze e alternative di percorso. Rispetto ai modelli tradizionali, nei quali ciascun servizio richiede un'interazione diretta e separata dell'utente con i relativi operatori, il MaaS offre un'esperienza integrata, flessibile e modulare, semplificando l'accesso ai trasporti e favorendone l'intermodalità. Un elemento distintivo è rappresentato dai mobility bundles, pacchetti di mobilità sottoscrivibili su base di tariffe a cadenza temporale o personalizzate in base alle proprie necessità logistiche, che combinano diverse tipologie di servizi e incoraggiano il passaggio, dal diffuso concetto di proprietà privata dell'automobile, a quello di accesso on-demand alla mobilità. Il MaaS non costituisce soltanto un'evoluzione tecnologica, ma un vero e proprio cambiamento di paradigma nella mobilità contemporanea, con impatti significativi in termini di sostenibilità ambientale, riduzione della congestione urbana e maggiore efficienza gestionale del sistema logistico e degli spazi urbani. In questo contesto l'utente passa da essere un semplice passeggero a un prosumer della mobilità, capace di effettuare scelte consapevoli, seguire percorsi personalizzati e ottimizzati e contribuire attivamente al funzionamento di questo sistema. Per una diffusione efficace del MaaS risulta necessaria la presenza di infrastrutture tecnologiche avanzate e connesse, quali applicazioni mobili intuitive, piattaforme

interoperabili e sistemi di pagamento elettronico integrati. La collaborazione tra operatori pubblici e privati è fondamentale, e può avvenire soltanto attraverso l'adozione di standard aperti e protocolli condivisi di comunicazione, che permettono l'interoperabilità tra servizi eterogenei. Un ruolo cruciale è svolto dalla raccolta, gestione e condivisione dei dati in tempo reale relativi a traffico, disponibilità dei mezzi e condizioni di viaggio. Queste informazioni rappresentano un tassello essenziale del sistema, poiché consentono agli utenti di prendere decisioni informate e agli operatori di ottimizzare l'efficienza dei servizi di mobilità offerti. In questo quadro, lo sviluppo di partenariati pubblico-privati e la creazione di modelli di governance innovativi diventano indispensabili per garantire servizi efficacemente integrati. Parallelamente, risulta anche necessario un quadro normativo che disciplini la gestione dei dati e promuova soluzioni di mobilità realmente efficienti, inclusive, sicure e rispettose dei principi di sostenibilità.

Current situation:

MaaS model:



Modello di mobilità tradizionale vs Modello MaaS, una soluzione incentrata sull'utente.
Fonte: mia-platform.eu

L'efficacia della mobilità integrata, strutturata secondo il modello Mobility as a Service, è strettamente legata alla cooperazione e all'interazione tra 5 livelli chiave di attori, ciascuno dei quali gioca un ruolo fondamentale nel garantire il corretto funzionamento dell'intero sistema:

1. Fornitori di servizi di mobilità: tutti gli operatori che offrono, in piattaforma, i propri mezzi di trasporto quali linee di autobus, ferrovie, biciclette e scooter sharing, servizi di car sharing, noleggio auto e via dicendo. La loro partecipazione risulta cruciale, poiché rappresenta la struttura fisica e logistica su cui si fonda l'intera esperienza di mobilità.
2. Operatori della piattaforma MaaS: attori intermediari responsabili della progettazione, dello sviluppo e della gestione della piattaforma digitale, la quale consente l'integrazione dei diversi servizi di trasporto. Il loro ruolo principale consiste nel garantire un'esperienza utente chiara e funzionale tramite un'interfaccia unica, che permetta la pianificazione, la prenotazione e il pagamento del viaggio all'interno di un unico sistema digitale.
3. Autorità di regolamentazione e Pubbliche Amministrazioni: enti locali, regionali e nazionali che svolgono un ruolo strategico nel definire e regolamentare il settore dei trasporti, promuovere politiche incentivanti e favorire l'adozione di pratiche standardizzate. Il loro supporto risulta fondamentale per garantire un quadro normativo chiaro e facilitare la cooperazione tra i diversi attori coinvolti.
4. Fornitori di tecnologia e soluzioni di pagamento digitali: attori che forniscono le infrastrutture tecnologiche necessarie per garantire transazioni elettroniche sicure e rapide, supportando funzionalità avanzate quali la tracciabilità dei pagamenti, l'integrazione dei sistemi di ticketing e la gestione dei dati di mobilità. La disponibilità di soluzioni tecnologiche avanzate costituisce un elemento essenziale per il corretto funzionamento della piattaforma.
5. Utenti finali: individui che utilizzano la piattaforma MaaS per pianificare, prenotare e pagare i propri spostamenti, influenzando direttamente la domanda di servizi e l'efficacia complessiva del sistema. La capacità della piattaforma di soddisfare le esigenze logistiche degli utenti e di garantire un'esperienza d'uso positiva costituisce un elemento cruciale per promuovere l'adozione diffusa e assicurare la sostenibilità a lungo termine di questo nuovo paradigma di mobilità [5].

Il funzionamento di questo ecosistema presuppone che gli attori operino all'interno di un contesto definito di "coopetizione" [54], ovvero un ambiente in cui cooperazione e competizione si bilanciano. Mantenere tale equilibrio è fondamentale per favorire la collaborazione necessaria, preservando al contempo dinamiche competitive che stimolino innovazione, efficienza e qualità del servizio.

L'efficacia del modello MaaS dipende in larga misura dal grado di integrazione dei servizi offerti dalla piattaforma: questo si articola in 4 livelli, che vanno

dalla semplice raccolta e visualizzazione di informazioni fino alla realizzazione di un sistema completamente integrato, capace di coordinare i differenti servizi di trasporto promuovendone gli obiettivi sociali:

- Livello 0: nessuna integrazione.
- Livello 1: Pianificazione del viaggio. Trattasi del livello base di integrazione, in cui tutti i servizi di trasporto rimangono tra loro distinti; ogni operatore fornisce autonomamente dati e informazioni in tempo reale tramite canali dedicati (es. Google Maps).
- Livello 2: Aggregazione dei servizi. In questa fase la piattaforma consente agli utenti non solo di accedere alle informazioni, ma anche di prenotare e pagare singoli servizi di trasporto, facilitando l'utilizzo coordinato delle diverse modalità logistiche (es. Free2Move).
- Livello 3: Integrazione dei servizi. La piattaforma permette ora agli utenti di pianificare, prenotare e pagare diverse modalità di trasporto tramite un unico sistema garantendone una maggiore fluidità esperienziale. I servizi possono inoltre essere combinati in pacchetti di mobilità all-inclusive, con prezzi dinamici e abbonamenti che integrano più mezzi di trasporto (es. Whim).
- Livello 4: Integrazione degli obiettivi sociali. Il livello più avanzato del MaaS estende le funzionalità della piattaforma oltre la semplice gestione dei servizi di trasporto, supportando politiche di sostenibilità, riduzione dell'uso

dell'auto privata e miglioramento della qualità della vita urbana. La piattaforma integra pianificazione, bigliettazione, prezzi e incentivi, promuovendo comportamenti di mobilità più responsabili. Ad esempio, possono essere offerti sconti per viaggi durante le ore di punta o per l'utilizzo dei mezzi pubblici, incentivando scelte di trasporto più sostenibili e contribuendo a un miglioramento dell'impatto ambientale e della qualità di vita cittadina.



Progetto Mobility as a Service for Italy, finanziato da PNRR e Fondo Complementare.
Fonte: innovazione.gov.it

Il progetto “Mobility as a Service for Italy” (MaaS4Italy) rappresenta un'iniziativa strategica del Governo italiano, finanziata nell'ambito del PNRR (40 milioni di euro) e del Fondo Complementare (19,6 milioni di euro), per un totale complessivo di 59,6 milioni di euro. Il progetto è coordinato dal Dipartimento per la Trasformazione Digitale (DTD) con il supporto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT), si inserisce nella più ampia strategia “Italia Digitale 2026” e si pone come obiettivo l'introduzione di un nuovo modello di mobilità, più integrato, sostenibile e tecnologicamente avanzato in grado di semplificare l'accesso ai servizi di trasporto e migliorarne l'esperienza utente.

Il Maas4Italy si articola in tre principali linee d'intervento:

1. Sperimentazione territoriale dei servizi MaaS: nelle città pilota, tra cui Milano, Roma e Napoli, verranno testate piattaforme digitali per la pianificazione, prenotazione e pagamento dei viaggi, integrando dati provenienti da diversi operatori di trasporto. L'obiettivo è valutare l'impatto delle soluzioni MaaS sull'ambiente, sulla qualità della mobilità e sul contesto socioeconomico.
2. Creazione di una piattaforma nazionale aperta per la gestione dei dati di mobilità: la piattaforma Data Sharing and Service Repository Facilities (DS&SRF) fungerà da infrastruttura centrale per la raccolta e condivisione dei dati del trasporto multimodale, garantendo interoperabilità tra operatori pubblici e privati e costituendo un unico punto di accesso nazionale. Le Regioni, tramite i Punti di Accesso Regionali (RAP), raccoglieranno e invieranno i dati al National Access Point (NAP), secondo lo standard europeo NeTEx per la trasmissione delle informazioni sul trasporto pubblico locale.
3. Potenziamento dei servizi digitali del trasporto pubblico: l'obiettivo è favorire l'adozione del MaaS attraverso sistemi di pagamento digitale, servizi di informazione in tempo reale e strumenti per la prenotazione dei viaggi, migliorando l'esperienza degli utenti e promuovendo comportamenti di mobilità sostenibile.

Il progetto Maas4Italy segna l'avvio di

un percorso volto a ridefinire profondamente il sistema della mobilità, ponendo al centro l'integrazione tra attori, tecnologie e politiche pubbliche. Il modello non si limita a proporre nuove soluzioni di trasporto, ma si configura come un cambiamento strutturale capace di incidere sulla qualità della vita urbana, sull'accessibilità dei servizi e sulla sostenibilità complessiva del sistema. L'attuazione di una strategia nazionale, accompagnata da investimenti mirati e da una visione di transizione digitale sul lungo periodo, rappresenta una condizione necessaria per garantire l'omogeneità del servizio e per rafforzare la competitività delle imprese del settore. Al tempo stesso, l'apertura a più operatori e la creazione di un ecosistema innovativo e competitivo consentono di promuovere una logica dove collaborazione e concorrenza si intrecciano nel garantire efficienza e qualità dell'offerta. La scelta di sperimentare il MaaS in territori con caratteristiche differenti conferma la volontà di sviluppare un approccio flessibile e adattabile, capace di rispondere alle diverse esigenze locali, valorizzando le esperienze territoriali pregresse e costruendo soluzioni scalabili a livello nazionale. In questa prospettiva, il MaaS non rappresenta soltanto un nuovo paradigma di mobilità, ma anche un laboratorio di governance per l'attuazione di politiche pubbliche integrate, dove obiettivi di sostenibilità ambientale, crescita economica e inclusione sociale convergono. Pertanto, l'introduzione del MaaS in Italia può essere interpretata come un passaggio fondamentale non solo per modernizzare il settore dei trasporti, ma anche per stimolare un più ampio processo di innovazione urbana e

sociale, orientato a una mobilità più intelligente, equa e sostenibile [29].

LA

GUIDA

AUTON

OMA

CAPITOLO

02

02 LA GUIDA AUTONOMA

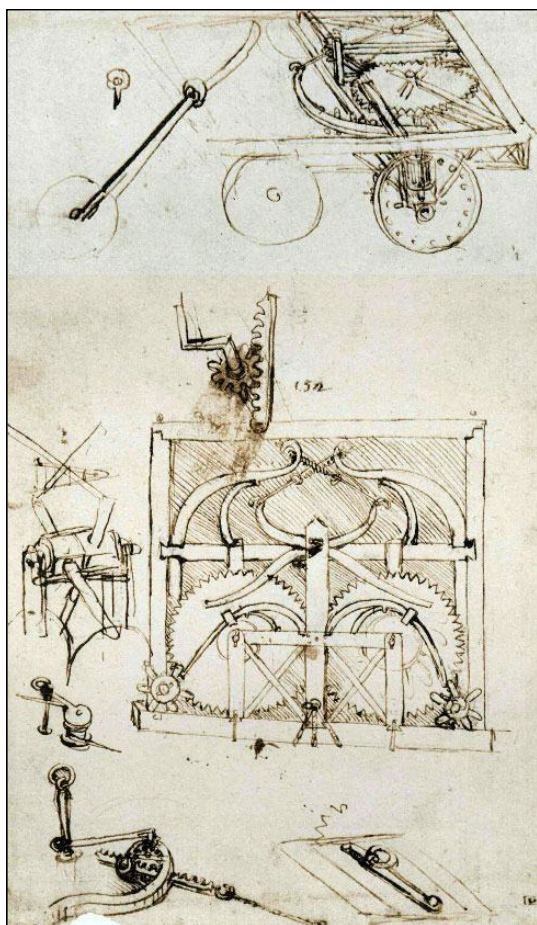
2.1 La nascita dei veicoli autonomi

La guida autonoma rappresenta una delle più radicali trasformazioni della mobilità contemporanea: questo nuovo paradigma sta ridefinendo il trasporto di persone e merci su scala globale e non rappresenta solamente un mero avanzamento tecnologico, bensì un cambiamento a livello sistemico che necessita di un'analisi multidimensionale capace di integrare aspetti tecnici, giuridici, etici ed economico-sociali. L'integrazione di questa tecnologia coinvolge sinergicamente molteplici ambiti: dalle infrastrutture digitali e fisiche, che necessitano di essere ripensate per supportare una costante connettività e interazione dei veicoli, alla normativa internazionale, che deve essere aggiornata per la gestione di questioni complesse come l'attribuzione della responsabilità e la gestione dei dati. La diffusione di questa tecnologia solleva interrogativi significativi di natura etica e sociale, relativi all'impatto sul mercato del lavoro, alla riorganizzazione degli spazi urbani e all'accettazione di questo nuovo approccio logistico da parte dei cittadini. Risulta pertanto necessario analizzare questo fenomeno mediante un approccio interdisciplinare, capace di coglierne esternalità positive, implicazioni e sfide. La diffusione delle tecnologie di guida autonoma all'interno di scenari urbani viene considerata da numerosi studiosi come una possibile soluzione alle principali problematiche che affliggono la mobilità in città sempre più densamente popolate, in particolare la congestione del traffico stradale, la scarsità di parcheggi, l'inefficienza logistica, la disparità di servizio in base al contesto geografico e l'inquinamento

atmosferico. Secondo una pubblicazione scientifica realizzata dal Boston Consulting Group in collaborazione con l'università di San Gallo in Svizzera, i veicoli a guida autonoma (Autonomous Vehicles, abbreviato in AV) presentano il potenziale per rendere gli ambienti cittadini più vivibili e per favorire la transizione verso sistemi di trasporto più efficienti e sostenibili. Simulazioni pratiche condotte dal medesimo gruppo di ricerca, volte a valutare l'impatto della diffusione dei veicoli a guida autonoma in diversi contesti urbani, hanno fatto emergere risultati di significativo valore: il passaggio da una mobilità incentrata sull'utilizzo dell'auto tradizionale a un modello di mobilità condivisa in grado di sfruttare il potenziale della guida autonoma potrebbe ridurre di circa il 35% lo spazio dedicato al parcheggio e alla sosta dei veicoli, diminuire del 4% il volume del traffico veicolare e ridurre del 37% il numero di incidenti stradali annui, oltre ad altri benefici per la sicurezza urbana, l'inquinamento atmosferico e il consumo energetico che decrescerebbe, sempre secondo lo stesso studio, del 12% sostituendo le auto private con veicoli autonomi a propulsione elettrica [55]. Le prime tracce che testimoniano dell'idea di un veicolo "autonomo" possono essere ricondotte al Rinascimento. Leonardo da Vinci, nel XV secolo, progettò un complesso automa meccanico che si tradusse in un carro semovente alimentato da molle e ingranaggi, considerato uno dei primi esempi di macchina capace di muoversi senza la presenza di un conducente umano. Sebbene si trattasse di un modello rudimentale, lontano dal concetto di veicolo autonomo contemporaneo e mai

2.1 La nascita dei veicoli autonomi

utilizzato per la mobilità, testimonia come l'idea di rendere un meccanismo abile a muoversi indipendentemente abbia radici molto lontane nel tempo [56].



Particolari del carro semovente di Leonardo, un complesso automa meccanico ideato da Leonardo da Vinci databile intorno al 1478.
Fonte: wikipedia.org - Carro semovente di Leonardo

Questa fascinazione si mantenne nei secoli successivi, fino ad assumere maggiore concretezza con l'avanzamento tecnologico moderno e l'introduzione delle prime automobili a partire dagli inizi del XX secolo. Già negli anni '30 del Novecento, con l'Expo

universale di New York del 1939, la General Motors presentò nel proprio padiglione un'esposizione intitolata "Futurama", un modello visionario di città in cui i veicoli circolavano in maniera automatizzata lungo strade e percorsi dedicati. Si trattava ancora di un progetto utopistico per l'epoca, ma rivela nuovamente il forte interesse per la ricerca di una mobilità in grado di liberarsi dalle limitazioni della guida umana [57].



Esposizione "Futurama" della General Motors, padiglione Highways & Horizons, Expo di New York del 1939.
Fonte: computerhistory.org - Where to? A History of Autonomous Vehicles



GM testa un veicolo su guida magnetica 1950.
Fonte: computerhistory.org - Where to? A History of Autonomous Vehicles

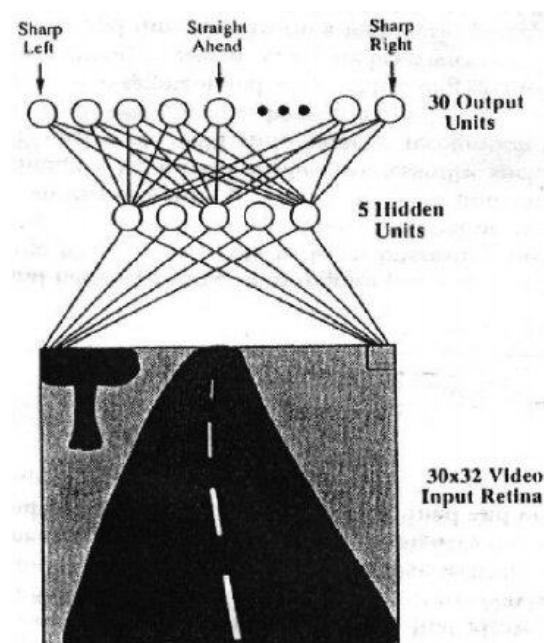
La ricerca cominciò a tradursi in esperimenti pratici a partire dagli anni '50, con la realizzazione di veicoli prototipo in grado di seguire percorsi precedentemente tracciati attraverso guide elettromagnetiche installate all'interno della superficie stradale [58]. Negli anni '80, i progressi nel campo dell'informatica e della sensoristica permisero un salto qualitativo nello sviluppo della guida autonoma con progetti come Navlab e Alvin (Autonomous Land Vehicle In a Neural Network), sviluppati presso la Carnegie Mellon University di Pittsburgh, in Pennsylvania. Questi programmi portarono alla realizzazione di una serie di veicoli equipaggiati con telecamere, sensori radar e sistemi di elaborazione grafica in grado di riconoscere segnali stradali, corsie e ostacoli.



Veicolo Navlab 1, realizzato dal team di robotica della Carnegie Mellon University nel 1986.

Questi veicoli riuscivano a muoversi in ambienti reali con un livello di autonomia limitato, ma costituirono una base imprescindibile per lo sviluppo successivo delle tecnologie di percezione e controllo: il contributo più innovativo giunse con il progetto Alvin, sviluppato da Dean Pomerleau nel 1989. Fu tra i primi a impiegare reti neurali artificiali per interpretare l'ambiente circostante: un sistema di visione artificiale elaborava le immagini

acquisite dalla telecamera frontale e, attraverso la rete neurale, produceva comandi di sterzata in tempo reale. Alvin dimostrò che era possibile "insegnare" a un veicolo a guidare apprendendo da esempi di comportamento di derivazione umana, introducendo un approccio radicalmente diverso rispetto ai tradizionali algoritmi basati su regole deterministiche [59].



Schema dell'architettura neurale del veicolo Alvin, 1989.
Fonte: G. N. Desouza, A. C. Kak - Vision for Mobile Robot Navigation: A Survey, 2002

Parallelamente agli sviluppi americani, in Europa la ricerca sulla guida autonoma fece significativi progressi grazie al progetto VaMP (Vision and Autonomous Mercedes-Benz), nato dalla collaborazione tra Mercedes-Benz e l'Università Bundeswehr di Monaco di Baviera con a capo il professor Ernst Dickmanns. Questo veicolo fu tra i primi in grado di percorrere autonomamente



Veicoli a guida autonoma del progetto VaMP, frutto della collaborazione del professor Ernst Dickmanns e Mercedes-Benz, 1987-1995.

Fonte: www.politico.eu - The man who invented the self-driving car

tratti autostradali sfruttando sistemi di visione artificiali (analoghi a quelli impiegati nel progetto Alvin) permettendogli di mantenere la traiettoria e di adattare la velocità alle condizioni del traffico [60].

Un momento decisivo per lo sviluppo della guida autonoma si ebbe con il DARPA Grand Challenge, evento competitivo organizzato dal Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti nel 2004. L'obiettivo della competizione era ambizioso: realizzare veicoli completamente autonomi in grado di percorrere un tracciato di 150 miglia (circa 240 chilometri) nel deserto del Mojave senza alcun intervento umano. Nonostante l'elevato livello di

interesse e partecipazione, la prima edizione non vide alcun veicolo completare il percorso. I prototipi iscritti soffrirono infatti di numerose difficoltà legate alla percezione ambientale, all'elaborazione in tempo reale delle informazioni e alla gestione della dinamica del veicolo su terreni accidentati. Tuttavia, l'evento ebbe il merito di catalizzare l'attenzione della comunità scientifica e industriale, mostrando chiaramente il potenziale della ricerca in questo settore e creando un terreno fertile per ulteriori sviluppi. La vera svolta arrivò con la seconda edizione del 2005, quando il veicolo Stanley, sviluppato dallo Stanford Racing Team sotto la guida di Sebastian

Thrun (direttore dello Stanford Artificial Intelligence Lab presso la Stanford University), riuscì a completare le 132 miglia del percorso in meno di sette ore, senza alcun intervento esterno. Stanley integrava una serie di tecnologie all'avanguardia per l'epoca: sensori lidar e radar per la percezione dell'ambiente, telecamere per la rilevazione visiva, sistemi GPS ad alta precisione e complessi algoritmi di fusione sensoriale che consentivano al veicolo di interpretare il contesto e prendere decisioni di guida in autonomia. Questo successo dimostrò la fattibilità tecnica della guida autonoma in scenari complessi e sancì la maturità di un settore fino ad allora confinato prevalentemente alla ricerca accademica [61].

L'impatto del DARPA Grand Challenge fu duplice: da un lato, consolidò la fiducia nella possibilità di sviluppare sistemi realmente autonomi, superando lo scetticismo iniziale, dall'altro, stimolò un'ondata di investimenti privati e pubblici, favorendo il trasferimento di conoscenze dal mondo accademico alle imprese e ponendo le basi per i progetti che avrebbero caratterizzato l'evoluzione del settore nei decenni successivi contribuendo allo sviluppo di progetti pionieristici come il Google Self-Driving Car Project del 2009, che avrebbe poi dato origine all'odierna Waymo. Negli anni successivi al DARPA Grand Challenge, la guida autonoma ha conosciuto una rapida accelerazione grazie al progresso simultaneo di tre



Stanley, il veicolo della Stanford Racing vincitore della DARPA Grand Challenge del 2005.
Fonte: www.smithsonianmag.com - How a Blue SUV Named Stanley Revolutionized Driverless Car Technology

pilastri tecnologici fondamentali per questo campo d'applicazione: sensoristica avanzata, intelligenza artificiale e potenza di calcolo. L'introduzione di sensori sempre più sofisticati, come il LiDAR (Light Detection and Ranging), i radar a onde millimetriche e le telecamere ad alta definizione, ha permesso ai veicoli di acquisire una percezione tridimensionale e in tempo reale dell'ambiente circostante sempre più precisa e aggiornata [62]. Anche i progressi dell'intelligenza artificiale, in particolare delle reti neurali profonde (deep learning), hanno reso possibile l'elaborazione e l'interpretazione di enormi quantità di dati provenienti dai sensori dei veicoli. Gli algoritmi moderni permettono di distinguere oggetti, prevedere comportamenti e pianificare traiettorie di guida sicure e ottimizzate in modo sempre più efficace contenendo al massimo le possibilità di errore. Questo rapido avanzamento tecnologico è stato possibile anche grazie all'avvento di sperimentazioni su larga scala in ambito urbano: la sopracitata Waymo, azienda dell'attuale gruppo Alphabet (ex Google), ha avviato negli anni innumerevoli test stradali che hanno visto percorrere, ai veicoli della compagnia, milioni di miglia raccogliendo dati indispensabili per il perfezionamento dei sistemi tecnologici utilizzati. Waymo è stata anche la prima realtà a introdurre servizi di robotaxi in aree urbane, attivando il proprio servizio a Phoenix in Arizona, dimostrando la concreta applicabilità commerciale della guida autonoma. Le sue flotte, costituite da veicoli Chrysler Pacifica e Jaguar I-Pace opportunamente modificati (hacked), hanno raggiunto nel tempo un livello di autonomia e affidabilità che le hanno

reso un riferimento a livello mondiale, operando attualmente come servizio di taxi privo di conducente in sette città americane (Phoenix, San Francisco, Los Angeles, Austin, Atlanta, Miami e Washinton DC) [63].

Un approccio differente è invece quello intrapreso da Tesla, decidendo di puntare su un modello strategico di rilascio progressivo delle funzionalità di automazione direttamente ai propri clienti: l'introduzione del Full Self-Driving (FSD) che permette al veicolo di eseguire alcune funzioni di guida in maniera autonoma (accelerare, frenare, sterzare, riconoscere segnali e semafori, eseguire sorpassi) ma sotto l'obbligatoria supervisione attiva del conducente che rimane responsabile nel caso di eventuali sinistri [64].

A differenza di Waymo, che si affida a una ricca combinazione di sensori, Tesla punta su un approccio basato principalmente sull'uso di telecamere e algoritmi di visione artificiale.

Questa strategia ha alimentato un acceso dibattito tra gli esperti: da un lato, offre vantaggi in termini di costi e scalabilità, dall'altro solleva interrogativi e mantiene aperto il dibattito sulla sicurezza, responsabilità d'uso, affidabilità in condizioni di guida non ottimali e limiti del dominio operativo [65].

Oltre a questi player, più conosciuti e blasonati, sono sempre di più i progetti, le case automobilistiche e gli operatori logistici che svolgono sperimentazioni volte a integrare progressivamente sistemi di automazione avanzata nei loro veicoli di serie. Un ruolo cruciale nello sviluppo e nella regolamentazione della guida autonoma è stato svolto dalla SAE International (Society of Automotive Engineers), un ente normativo internazionale che nel 2014 ha introdotto una tassonomia ufficiale

articolata in 6 livelli (da 0 a 5) per la classificazione dei veicoli stradali. Questa rappresenta oggi lo standard globale di riferimento e permette di fare un'accurata distinzione tra i sistemi di assistenza alla guida e quelli in grado di operare in completa autonomia. La definizione dei livelli SAE non risulta utile solamente a progettisti e case automobilistiche nello sviluppo tecnologico dei propri veicoli, ma costituisce anche uno strumento essenziale per le autorità regolatorie, fornendo criteri uniformi per test di sicurezza, certificazioni e valutazioni dei possibili rischi associati all'impiego dei veicoli autonomi all'interno di una mobilità sempre più integrata e tecnologicamente avanzata [66].

2.2 I livelli di classificazione

La guida autonoma, negli ultimi anni, è emersa come uno dei paradigmi più rilevanti e studiati nel campo della mobilità intelligente, attirando l'attenzione di ricercatori, case automobilistiche e colossi tecnologici. L'idea di veicoli capaci di operare senza intervento umano apre prospettive di grande impatto: dalla significativa riduzione degli incidenti stradali alla gestione più efficiente del traffico, fino alla diminuzione dell'impatto ambientale legato al trasporto su strada. Al contempo, questa tecnologia solleva sfide complesse, sia sotto il profilo tecnico che quello normativo, rendendo indispensabile una classificazione chiara e condivisa dei livelli di automazione. A tale scopo, lo standard SAE J3016, elaborato dalla Society of Automotive Engineers, definisce un quadro sistematico composto da sei livelli di automazione, costituendo così uno strumento

fondamentale non solo per lo sviluppo tecnologico e la valutazione delle capacità dei sistemi di guida autonoma, ma anche per la definizione di politiche di sicurezza, regolamentazioni giuridiche e strategie di implementazione della mobilità autonoma su larga scala. Partendo dal livello 0, in cui il conducente mantiene il pieno controllo di tutte le funzioni di guida, fino al livello 5, in cui il veicolo opera in completa autonomia e in qualsiasi contesto e condizione, senza la necessità d'intervento umano [70]:

- Livello 0: il veicolo non dispone di alcun sistema in grado di assumere il controllo della guida e il conducente rimane quindi completamente responsabile di tutte le operazioni. È possibile che il veicolo integri sistemi di supporto passivo, come il controllo elettronico di stabilità (ESC) e l'assistente alla frenata di emergenza (ABS), che assistono il conducente senza sostituirsi alle sue funzioni di guida.
- Livello 1: caratterizzato dalla presenza di sistemi di assistenza alla guida in grado di controllare singolarmente l'accelerazione, la frenata o lo sterzo del veicolo in specifiche condizioni operative. Il conducente mantiene la piena responsabilità del mezzo, monitorando costantemente l'ambiente circostante e l'andamento del veicolo. Tra i principali sistemi adottati a questo livello figurano l'assistente per il mantenimento della corsia (Lane Keeping Assist, LKA) e il cruise control.
- Livello 2: corrisponde all'automazione parziale, in cui il sistema è in grado di gestire

contemporaneamente accelerazione, frenata e sterzo per determinati intervalli di tempo o in condizioni operative specifiche. Il conducente mantiene la responsabilità complessiva della guida e deve sorvegliare costantemente il funzionamento del sistema, rimanendo vigile e pronto a riprendere il controllo del veicolo in qualsiasi momento. Un esempio significativo di tecnologie appartenenti questa categoria è rappresentato dall'assistente alla guida in colonna, che integra il controllo adattivo della velocità (Adaptive Cruise Control, ACC) e l'assistente al mantenimento della corsia (LKA). Un esempio di automazione di livello 2 è il Tesla Autopilot, che si avvale delle tecnologie sopraelencate ed è presente in differenti modelli della casa automobilistica statunitense, tra cui il tanto discusso Tesla Cybertruck.

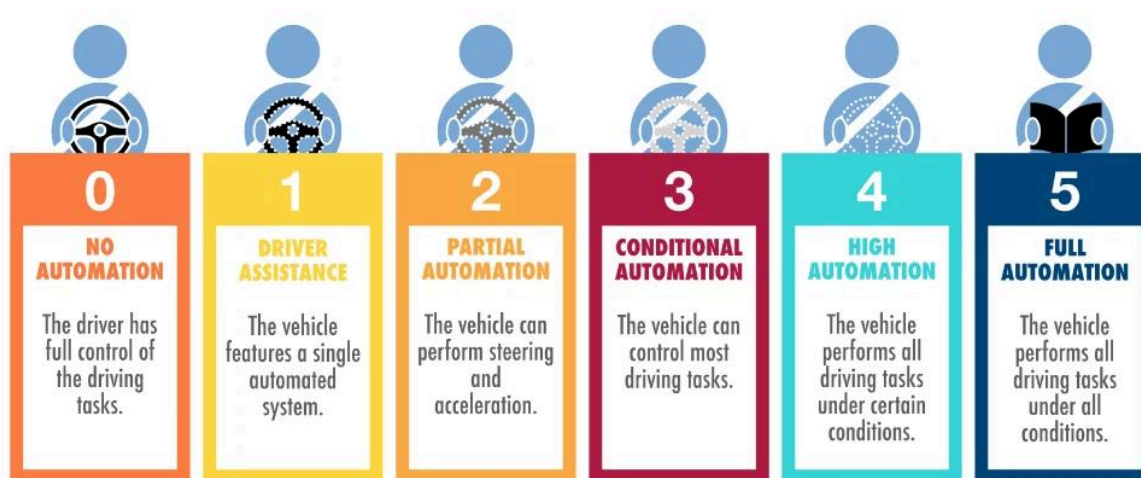
- Livello 3: noto come guida condizionalmente automatizzata, permette al veicolo di gestire accelerazione, frenata e sterzata in specifiche condizioni, come autostrade o traffico rallentato, senza sorveglianza continua da parte del conducente. Il conducente deve comunque essere pronto a riprendere il controllo quando richiesto, poiché alcune situazioni possono superare le capacità del sistema. Studi evidenziano che il tempo necessario per riprendere il pieno controllo può rappresentare un rischio per la sicurezza di autista, passeggeri e degli altri utenti stradali un esempio di questa tecnologia è il Traffic Jam Pilot
- presente sull'Audi A8 a partire dal 2017; un sistema progettato per operare autonomamente in traffico intenso, la cui disponibilità risulta però limitata e vincolata alle regolamentazioni delle diverse giurisdizioni. Il livello 3 costituisce un passo fondamentale verso l'automazione completa, pur richiedendo ancora un'attenta supervisione umana.
- Livello 4: o guida ad elevata automazione, permette al veicolo di gestire autonomamente tutte le fasi della guida all'interno di contesti operativi specifici, definiti come Operational Design Domain (ODD). In queste condizioni, il sistema controlla accelerazione, frenata, sterzata e navigazione, affrontando in autonomia le situazioni di traffico previste, senza richiedere alcuna supervisione da parte del conducente che può quindi dedicarsi ad altre attività (Non-Driving Related Task, NDRT), intervenendo solo se il veicolo esce dal dominio operativo definito. Un esempio concreto di tale applicazione è rappresentato dal servizio offerto da Waymo, un sistema di taxi autonomi che opera in aree urbane predefinite, con veicoli in grado di trasportare passeggeri senza la presenza di un conducente a bordo. Ciò consente di sperimentare la piena automazione in un contesto reale e regolamentato (USA), rappresentando un passo importante verso l'integrazione dei veicoli autonomi nella quotidianità della mobilità moderna.
- Livello 5: rappresenta il massimo grado di automazione secondo

lo standard SAE, in cui il veicolo è in grado di gestire autonomamente tutte le fasi della guida, dalla partenza all'arrivo, senza alcun intervento umano di supervisione o assistenza. Gli occupanti del veicolo sono considerati passeggeri, e non è necessaria né la presenza di un conducente né la disponibilità di sistemi di guida tradizionali come sterzo o pedali. Il veicolo opera in totale autonomia, anche eseguendo corse a vuoto, ottimizzando i percorsi e la gestione del traffico. Questo livello di automazione apre nuove possibilità di mobilità per persone con ridotta capacità di movimento, come anziani o bambini, e offre il potenziale per trasformare radicalmente il trasporto pubblico e privato. I veicoli di livello 5 promettono di migliorare la sicurezza stradale, ridurre la congestione urbana e rendere più efficiente l'utilizzo delle infrastrutture logistiche e di trasporto [67] [71] .

Stanley, il veicolo della Stanford Racing vincitore della DARPA Grand Challenge del 2005.
Fonte: www.ml-vehicle.com - Whats Is The Autonomous Driving Level?

2.3 Le tecnologie impiegate nella guida autonoma

La classificazione introdotta dallo standard SAE J3016 ha reso possibile descrivere in modo univoco e condiviso i diversi gradi di automazione nella guida, fornendo un linguaggio comune per definire funzioni, responsabilità e limiti operativi dei sistemi autonomi. Tale tassonomia, pur chiarendo cosa comporti ciascun livello di automazione, non risponde alla domanda su come sia possibile tradurre tali livelli in soluzioni reali. Il passaggio dalla definizione teorica all'implementazione pratica richiede l'integrazione di un insieme eterogeneo di tecnologie e metodologie in grado di conferire al veicolo capacità percettive, decisionali e di controllo paragonabili, e in prospettiva potenzialmente superiori, a quelle di un conducente umano. Dunque, i sistemi di guida autonoma possono essere intesi come entità complesse che, attraverso sensori, algoritmi e tecniche di apprendimento (machine learning), osservano l'ambiente circostante, ne



comprendono le dinamiche e selezionano in autonomia le azioni più sicure ed efficienti da intraprendere. Le principali tecnologie abilitanti vengono qui presentate e analizzate in funzione del ruolo svolto all'interno del complesso ecosistema dei veicoli autonomi. Esse costituiscono le basi su cui si sviluppano le capacità di percezione, localizzazione, pianificazione e controllo senza le quali lo sviluppo della guida autonoma rimarrebbe un obiettivo puramente teorico. Solo attraverso l'integrazione armonica di questi elementi risulta possibile avvicinarsi ai livelli più avanzati previsti dallo standard SAE, trasformando l'idea di veicolo autonomo in una realtà concreta:

- **Telecamere:** sono sensori passivi essenziali nei moderni sistemi di percezione per la guida autonoma per la loro capacità di acquisire un vasto assortimento di dati visivi dall'ambiente circostante, fornendo un ricco contenuto semantico fondamentale per la navigazione. Attraverso l'elaborazione di queste informazioni, è possibile identificare con precisione elementi critici come segnali stradali, segnaletica orizzontale, corsie, stato dei semafori e texture delle superfici. L'adozione diffusa di questa tecnologia è motivata principalmente dal suo costo accessibile e dall'elevata risoluzione offerta, che la rende ideale per il riconoscimento di oggetti e di altri utenti della strada, contribuendo a una completa interpretazione del contesto operativo. L'impiego di configurazioni multicamera, in particolare i sistemi surround view,

consente una copertura visiva a 360°, eliminando i punti ciechi che possono rappresentare una criticità per la sicurezza del veicolo. Inoltre, l'applicazione della visione stereo, che analizza le immagini acquisite da due telecamere disposte in posizioni differenti, permette di calcolare la profondità e di creare una rappresentazione tridimensionale dell'ambiente, migliorando significativamente la consapevolezza spaziale. Nonostante questi vantaggi, le prestazioni delle telecamere sono intrinsecamente sensibili alle condizioni ambientali avverse. Fattori come la scarsa illuminazione notturna, la presenza di precipitazioni o nebbia e i fenomeni di abbagliamento possono compromettere la qualità delle immagini e, di conseguenza, la robustezza del sistema. Per superare queste limitazioni, le telecamere sono integrate con sensori di diversa natura, come LiDAR e radar. Questa fusione sensoriale combina i punti di forza di tecnologie complementari, generando un modello ambientale più completo e resiliente, indispensabile per garantire sicurezza e affidabilità in ogni condizione di guida [68].

- **LiDAR (Light Detection and Ranging):** trattasi di sensori attivi che utilizzano impulsi laser per misurare la distanza dagli oggetti circostanti, generando nuvole di punti tridimensionali ad alta risoluzione. La tecnologia LiDAR consente di ottenere informazioni geometriche estremamente precise, rendendola fondamentale per il rilevamento degli ostacoli, la segmentazione del suolo e la costruzione di mappe ad alta definizione utilizzate per la

localizzazione e la navigazione del veicolo. Tra i principali vantaggi del LiDAR vi è la capacità di fornire una percezione spaziale dettagliata dell'ambiente, indipendentemente dal colore e dalla texture degli oggetti, consentendo un'identificazione accurata delle condizioni del terreno e della presenza di possibili ostacoli, nonché il tracciamento dinamico di veicoli e pedoni. Nonostante i numerosi benefici, il LiDAR, presenta alcune limitazioni come un'elevata sensibilità a condizioni ambientali sfavorevoli che, in caso di pioggia intensa, neve o nebbia potrebbero ridurre la densità e l'affidabilità dei segnali laser di ritorno, compromettendone la qualità percettiva. I sistemi che sfruttano questa tecnologia hanno inoltre costi ancora molto elevati e sono in grado di generare, durante l'utilizzo, enormi quantità di dati che richiedono una sofisticata elaborazione prima di essere integrati come informazioni utili agli altri sensori del veicolo. Per massimizzare l'efficacia della percezione autonoma, il LiDAR viene spesso integrato con telecamere e radar, in modo da combinare la precisione geometrica delle nuvole di punti con la ricchezza semantica delle immagini e la capacità dei radar di operare in condizioni meteorologiche estreme [73].

- Radar: sensori che utilizzano onde elettromagnetiche per misurare distanza e velocità relativa degli oggetti circostanti mediante l'effetto Doppler, che permette di rilevare la variazione della frequenza delle onde riflesse rispetto a quelle emesse in funzione del movimento

dell'oggetto. Grazie a questa tecnologia, i veicoli autonomi possono stimare con precisione la velocità di altri veicoli, pedoni o ostacoli mobili anche in condizioni meteorologiche avverse o in situazioni di scarsa luminosità. I sistemi radar più avanzati impiegano tecniche come MIMO (Multiple Input Multiple Output)[i], che sfruttano più antenne trasmettenti e riceventi per incrementare quantità e qualità delle informazioni raccolte, e il beamforming (o filtro spaziale) che consiste in una tecnica in grado di concentrare il fascio di onde radio in direzioni specifiche, migliorando la risoluzione angolare e permettendo di distinguere più target contemporaneamente[ii]. L'integrazione con algoritmi di intelligenza artificiale consente inoltre di classificare gli oggetti rilevati, trasformando il RADAR in uno strumento attivo non solo per la rilevazione, ma anche per la comprensione del contesto. Pur essendo meno preciso nella percezione geometrica rispetto al LiDAR e alle telecamere, il RADAR garantisce una misurazione affidabile della velocità e una percezione continua anche in scenari complessi, risultando quindi complementare alle altre tecnologie di percezione [73].

- GNSS e IMU: il Global Navigation Satellite System rende possibile determinare la posizione assoluta del mezzo sfruttando segnali satellitari. Questo consente al veicolo di conoscere la propria posizione permettendogli di pianificare percorsi e navigare su mappe digitali. Il singolo utilizzo del GNSS presenta però limitazioni

significative: in ambienti caratterizzati da edifici alti, gallerie, tunnel o fitta vegetazione, i segnali satellitari possono essere bloccati o riflessi, causando errori di posizionamento o perdita temporanea del segnale (come avviene in autostrada quando entriamo in galleria con il navigatore in funzione). Per tali problematiche, l'uso del GNSS viene spesso associato a quello delle unità inerziali, o IMU. Le Inertial Measurement Unit rappresentano un complemento essenziale al GNSS e misurano accelerazioni lineari e velocità angolari del veicolo tramite accelerometri e giroscopi, consentendo di stimare spostamenti, rotazioni e traiettorie anche in assenza di segnale. Nella guida autonoma, l'integrazione di GNSS e IMU permette di ottenere una localizzazione continua e robusta, riducendo l'errore cumulativo che ciascun sistema avrebbe se utilizzato isolatamente. Ad esempio, quando un veicolo attraversa una galleria o un tunnel, l'IMU consente di stimare la posizione relativa fino al momento in cui il GNSS riprende a fornire dati affidabili [73].

- **AI Intelligenza Artificiale:** costituisce il cuore operativo dei moderni veicoli autonomi, abilitando la percezione, l'interpretazione del contesto e la pianificazione delle azioni in scenari di mobilità complessi e dinamici. Occorre precisare che, ad oggi, anche veicoli con un'inferiore grado tecnologico e di autonomia integrano sistemi di Intelligenza Artificiale, ciò che differisce però è la mole di dati che deve processare e l'importanza che ricopre all'interno

delle dinamiche di guida del veicolo. Grazie all'IA, i veicoli autonomi possono trasformare i dati provenienti da sensori, come quelli sopracitati, in decisioni operative affidabili, superando i limiti dei sistemi basati esclusivamente su regole predefinite e offrendo capacità predittive e adattative che si avvicinano al comportamento decisionale umano [71]. Gli approcci principali attraverso cui l'IA opera nei veicoli autonomi includono:

1. **Apprendimento supervisionato:** reti neurali profonde (Deep Neural Networks) vengono addestrate su ampi dataset di immagini e dati provenienti dai sensori per riconoscere oggetti, corsie, segnali stradali e pedoni. Questo approccio permette di ottenere una percezione semantica accurata e dettagliata dell'ambiente circostante.
2. **Apprendimento per rinforzo:** algoritmi in grado di ottimizzare strategie di guida imparando dall'esperienza, simulata o reale, per massimizzare sicurezza ed efficienza nella pianificazione di percorsi e traiettorie [72] [73].
3. **Fusione sensoriale:** la combinazione intelligente di dati provenienti da più sensori permette di compensare le limitazioni individuali di ciascun dispositivo, aumentando l'affidabilità complessiva della percezione del veicolo [74].

Oltre alla percezione, l'Intelligenza Artificiale svolge un ruolo cruciale nelle fasi di pianificazione e controllo, traducendo i dati provenienti dai sensori in decisioni operative concrete come la frenata, l'accelerazione e la

sterzata. L'IA permette al veicolo di adattare in tempo reale il proprio comportamento alle dinamiche del traffico e alle condizioni ambientali, superando i limiti dei sistemi basati su logiche pre-programmate. In sintesi, l'Intelligenza Artificiale rappresenta l'elemento abilitante che trasforma un insieme di sensori e attuatori in un sistema autonomo complesso, capace di percepire, interpretare e agire in modo intelligente, rendendo al contempo questi nuovi veicoli più sicuri, efficienti e affidabili.

Telecamere

Fonte: [blog.nvidia.com](https://blog.nvidia.com/2016/06/22/how-does-a-self-driving-car-see/) - How Does a Self-Driving Car See?

Lidar

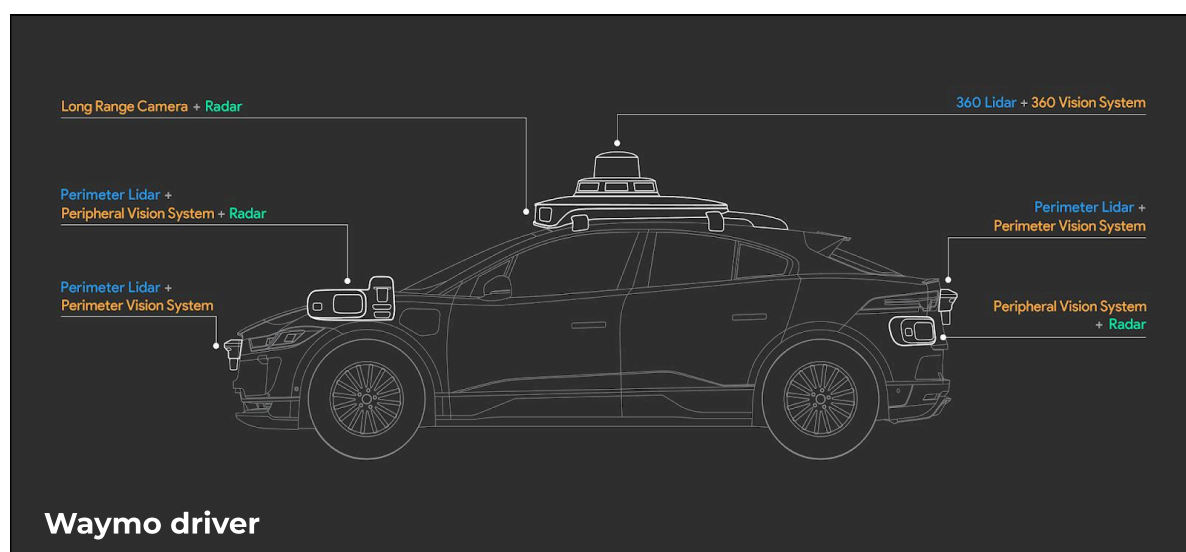
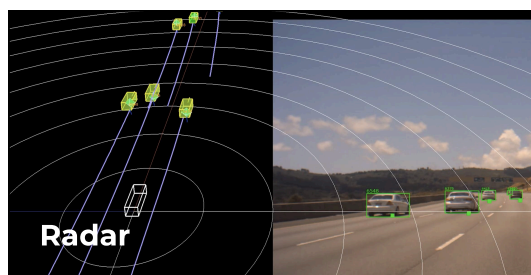
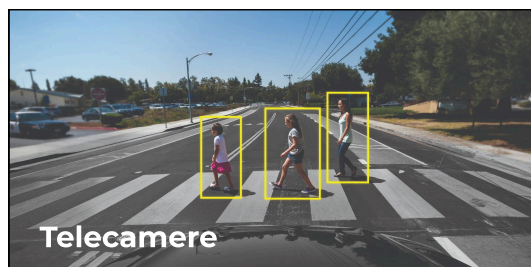
Fonte: [medium.com](https://medium.com/@davidmiller1984/how-lidar-fits-into-the-future-of-autonomous-driving-10e3e3e3e3e3) - How LiDAR Fits Into the Future of Autonomous Driving

Radar

Fonte: [developer.nvidia.com](https://developer.nvidia.com/2016/06/22/autonomous-vehicle-radar-perception-in-360-degrees) - Autonomous Vehicle Radar Perception in 360 Degrees

Posizione sistema di sensori della Jaguar I-Pace di Waymo.

Fonte: [www.theverge.com](https://www.theverge.com/2016/6/22/12181112/waymo-next-generation-self-driving-system-can-see-a-stop-sign-500-meters-away) - Waymo's next-generation self-driving system can 'see' a stop sign 500 meters away

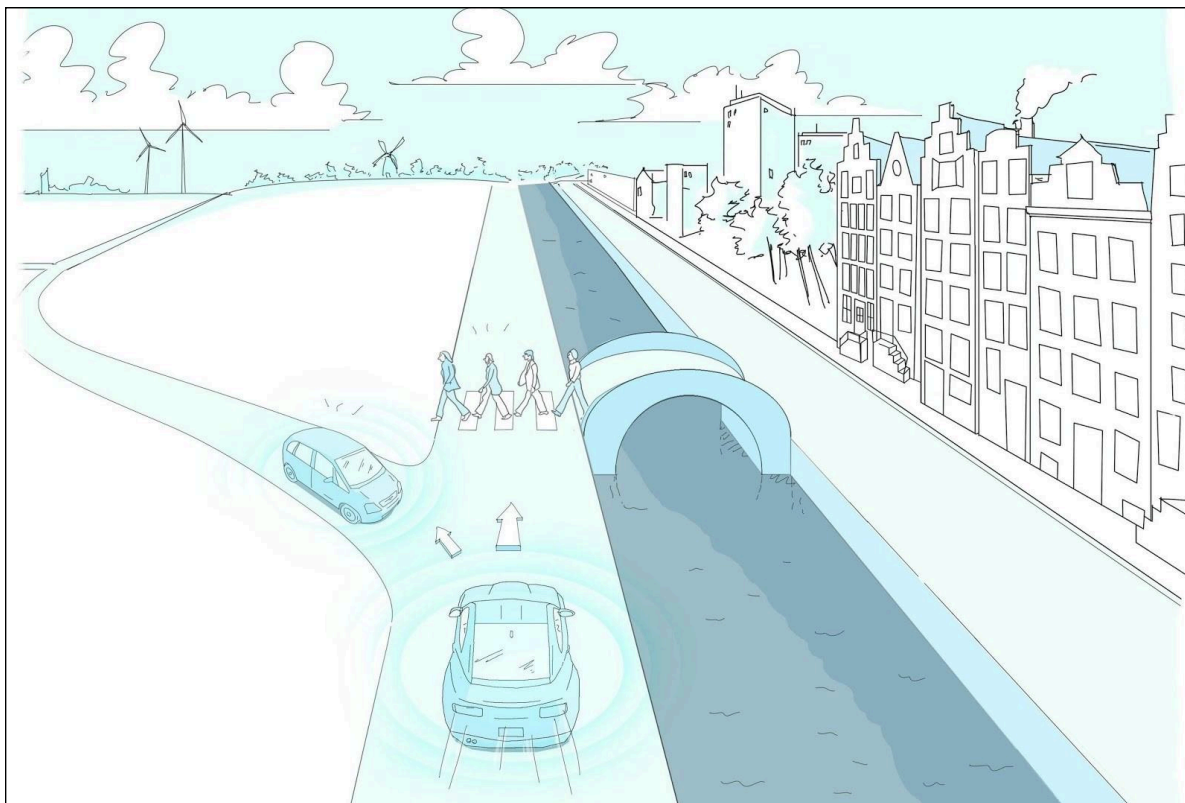


2.4 Etica e fiducia

L'avvento dei veicoli autonomi rappresenta una trasformazione profonda non solo dal punto di vista tecnologico, ma anche sociale, normativo ed etico. Delegare a un sistema automatizzato il processo decisionale relativo alle mansioni di guida significa trasferirgli responsabilità tradizionalmente attribuite all'essere umano (il conducente), rendendo indispensabile una riflessione sistematica sui principi morali, sulla trasparenza delle scelte algoritmiche e sulla fiducia che gli utenti e le collettività ripongono in tali sistemi. Sebbene la ricerca ingegneristica si concentri principalmente su percezione, localizzazione, pianificazione e controllo, l'accettazione sociale dei veicoli autonomi dipenderà in larga misura dalla loro capacità di operare secondo criteri etici condivisi e di instaurare un concreto rapporto di fiducia con utenti e stakeholder. Un tema particolarmente discusso riguarda i dilemmi morali che emergono in scenari di rischio inevitabile. Il "trolley problem", un noto paradigma filosofico formulato nel 1967 dalla filosofa inglese Philippa Ruth Foot, illustra la difficoltà di scegliere tra due azioni con esito certamente negativo. Nel contesto dei veicoli autonomi, questo si traduce nella necessità di decidere se privilegiare la sicurezza dei passeggeri a scapito dei pedoni o, inversamente, tutelare i pedoni sacrificando gli occupanti nell'abitacolo. Studi empirici, come quelli di Bonnefon, Shariff e Rahwan [75] e il progetto globale "Moral Machine" del MIT (un esperimento online, lanciato dal MIT Media Lab, che ha raccolto circa 40 milioni di giudizi etici da utenti di tutto

il mondo su scenari di guida autonoma, chiedendo loro di scegliere tra possibili azioni in situazioni di incidente inevitabile) [76], evidenziano come le preferenze etiche varino in funzione di fattori culturali, sociali e demografici, dimostrando l'assenza di un unico modello morale applicabile universalmente. Tali evidenze suggeriscono che la progettazione dei sistemi autonomi non possa limitarsi a modelli astratti di minimizzazione del rischio, ma debba incorporare approcci etici pluralisti, in grado di rappresentare la complessità e la diversità dei valori sociali.

La fiducia costituisce un ulteriore elemento di imprescindibile importanza per consentire la diffusione dei veicoli autonomi. Essa dipende dalla percezione della competenza del sistema, dall'integrità delle sue azioni e dall'allineamento con interessi e aspettative dell'utente [77]. Diversi studi evidenziano che la fiducia aumenta quando l'interazione tra utente e veicolo risulta chiara e prevedibile. Interfacce intuitive, comunicazioni trasparenti sullo stato operativo e spiegazioni facilmente comprensibili delle decisioni rendono le azioni del sistema interpretabili, riducendo possibili ansie e paure, incrementando l'accettazione della tecnologia e la disponibilità a delegare le responsabilità di guida [78]. L'intelligenza Artificiale, come detto in precedenza, costituisce il nucleo operativo dei veicoli autonomi, permettendo di trasformare i dati raccolti dai sensori in decisioni di guida. Essa abilita funzioni fondamentali di percezione e pianificazione consentendo al veicolo di operare all'interno del proprio dominio. Gli algoritmi di deep learning però, pur



Trolley Problem e Moral Machine dilemma
Fonte: www.weforum.org - Why we have the ethics of self-driving cars all wrong

essendo altamente performanti e in grado di processare ingenti quantità di informazioni, operano spesso come “scatole nere”, rendendo complessa la comprensione dei processi decisionali. In questo contesto, le tecniche di Explainable AI (XAI) assumono un ruolo strategico poiché consentono di rendere interpretabili le decisioni del veicolo [79].

La trasparenza algoritmica non ha valore esclusivamente tecnico: rappresenta un requisito fondamentale per la definizione delle responsabilità legali, l'accettabilità sociale e la costruzione di un rapporto di fiducia con l'utente poiché permette di comprendere le ragioni alla base di

scelte e azioni intraprese autonomamente dal veicolo. Il quadro normativo e gli standard internazionali forniscono ulteriori strumenti utili a consolidare sicurezza percepita e fiducia riposta nel mezzo. La normativa ISO 26262 (2018) stabilisce i requisiti per la sicurezza funzionale dei sistemi elettronici e software dei veicoli, definendo processi e misure per prevenire malfunzionamenti che possano compromettere la sicurezza [80] [81].

La ISO 21448 (SOTIF o Safety of the Intended Functionality, 2019) affronta rischi derivanti da comportamenti non sicuri anche in assenza di guasti, come errori di percezione, interpretazione o decisione da parte del veicolo [82].

La UL 4600 (2020) definisce i principi e

le metodologie per la certificazione della sicurezza dei sistemi autonomi, valutando l'integrazione tra hardware, software e ambiente operativo e verificando che il sistema si comporti in modo sicuro anche in scenari complessi [83].

I regolamenti UNECE R155 e R156 definiscono requisiti obbligatori per la cybersicurezza dei sistemi di bordo (protezione informatica da cyberattacchi) e per la gestione sicura degli aggiornamenti software, garantendo che le modifiche al sistema non compromettano la sicurezza in esercizio [84].

L'adozione di questi strumenti normativi contribuisce non solo a ridurre il rischio di incidenti di differente natura, ma permette di implementare la fiducia sociale e istituzionale in questo nuovo paradigma di mobilità. La dimostrazione empirica della sicurezza costituisce tuttavia un ulteriore elemento critico per l'accettazione sociale dei veicoli autonomi. Come sottolineato dalla RAAND Corporation (think thank statunitense), provare statisticamente che tali sistemi siano più sicuri di un conducente umano richiederebbe miliardi di chilometri percorsi, un traguardo logisticamente ed economicamente impraticabile [85]. Di conseguenza, le strategie di valutazione adottano un approccio integrato che combina prove su strada, simulazioni su larga scala e strumenti matematici capaci di formalizzare la sicurezza. In questo ambito, un ruolo centrale è svolto dal Responsibility-Sensitive Safety (RSS), un modello che traduce i principi della guida sicura in regole matematiche rigorose e verificabili. Tale formalizzazione consente di affrontare scenari complessi e dilemmi morali secondo criteri replicabili, trasparenti e

indipendenti da interpretazioni arbitrarie [86].

Un aspetto di pari rilevanza riguarda la protezione dei sistemi da minacce informatiche: minime alterazioni degli input sensoriali, come leggere variazioni nei segnali visivi, possono indurre gli algoritmi di percezione a commettere errori significativi, ad esempio interpretare in modo errato un segnale stradale [87].

Questo evidenzia come la cybersicurezza non possa essere considerata un elemento accessorio ma debba costituire una componente strutturale nella progettazione dei veicoli autonomi, includendo la protezione dei dati, delle comunicazioni veicolo–infrastruttura (V2I, parte del più ampio V2X) e delle architetture software. La rilevanza di tali aspetti è stata messa in evidenza da episodi emblematici: famoso è il caso del Jeep Cherokee (2015), in cui due ricercatori dimostrarono come fosse possibile assumere il controllo remoto del veicolo sfruttando le vulnerabilità del sistema di bordo [88].

Analogamente, l'incidente di Tempe (2018), che vide coinvolto per la prima volta un veicolo autonomo, ha mostrato i limiti dei sistemi di percezione: pur rilevando la presenza della pedone, l'algoritmo non fu in grado di classificarla correttamente, ritardando la frenata e causando l'impatto fatale [89].

Questi esempi sottolineano come la sicurezza dei veicoli autonomi richieda un approccio olistico che integri tanto la difesa dalle minacce informatiche quanto l'affidabilità dei sistemi deputati alla percezione, alla decisione e al controllo. A queste sfide si aggiunge la gestione etica dei dati raccolti ed elaborati. La pervasività dei sensori e la capacità di generare grandi volumi di

informazioni telemetriche pongono questioni rilevanti in termini di privacy, governance e imparzialità degli algoritmi. In tale contesto, le Ethics Guidelines for Trustworthy AI della Commissione Europea definiscono principi fondamentali, tra cui trasparenza, responsabilità, equità, protezione dei dati e supervisione umana, fornendo un quadro di riferimento essenziale per assicurare che lo sviluppo e l'impiego dei veicoli autonomi avvengano in maniera responsabile e socialmente accettabile [90].

In conclusione, la piena accettazione dei veicoli autonomi non può fondarsi esclusivamente sull'efficienza tecnica o sull'affidabilità dei sensori, ma richiede un approccio che integri sicurezza dimostrabile, resilienza informatica, trasparenza e principi etici condivisi. Solo attraverso tale convergenza sarà possibile consolidare la fiducia sociale e istituzionale in questa tecnologia, affrontando con rigore anche dilemmi complessi e avvicinando la mobilità autonoma a una diffusione su scala globale.

2.5 Normativa italiana, svizzera, UE e USA

Il crescente interesse nello sviluppo dei sistemi di guida autonoma ha reso necessaria una revisione dei quadri normativi relativi alla circolazione stradale, mettendo in discussione principi giuridici tradizionali fondati sul controllo umano dei veicoli. L'integrazione di tecnologie in grado di gestire autonomamente le dinamiche di guida richiede una riformulazione approfondita delle norme vigenti in materia di sicurezza, responsabilità civile e penale, nonché di tutela dei dati

personali. Il presente paragrafo si propone di analizzare e confrontare i quadri normativi dell'Unione Europea, della loro applicazione in Italia, in Svizzera e del modello federale-statale degli Stati Uniti, delineando un quadro complessivo della governance di questa tecnologia emergente. L'Unione Europea ha perseguito un approccio coordinato volto a garantire l'armonizzazione del mercato unico e la standardizzazione dei requisiti di sicurezza dei veicoli. Questo percorso si è concretizzato sia nella revisione di strumenti giuridici preesistenti sia nell'introduzione di normative specifiche. In particolare, l'emendamento del 2016 alla Convenzione di Vienna sulla circolazione stradale (1968) ha autorizzato l'impiego di sistemi di automazione alla guida, a condizione che il conducente mantenga la possibilità di riprendere il controllo del veicolo in qualsiasi momento, legittimando così l'utilizzo di veicoli con livelli di automazione 2 (guida parziale) e 3 (guida condizionale). Un momento cruciale è stato rappresentato dall'adozione del Regolamento UE 2019/2144, noto come General Safety Regulation, che per la prima volta ha introdotto requisiti di omologazione per veicoli dotati di sistemi di guida automatizzata di livello 4 (alta automazione). Il regolamento definisce standard tecnici di sicurezza, impone l'adozione di sistemi avanzati di assistenza alla guida (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS) e di registratori di dati di evento (Event Data Recorder, EDR), strumenti fondamentali per una futura attribuzione di responsabilità. Pur non disciplinando direttamente il trasferimento della responsabilità civile dal conducente al produttore, il quadro

normativo europeo fornisce le basi necessarie affinché tale transizione possa realizzarsi in un contesto giuridico chiaro e coerente. In Italia, queste disposizioni si traducono in misure specifiche per la fase sperimentale. Il Decreto Ministeriale n. 70 del 28 febbraio 2018, noto come Decreto Smart Road, regola i test su strade pubbliche imponendo la presenza di un supervisore umano a bordo e limitando la velocità operativa a 60 km/h. Tale approccio cautelativo evidenzia la prudenza con cui la legislazione italiana affronta l'introduzione della guida autonoma, sottolineando l'importanza di dati telemetrici e sistemi EDR nella futura definizione della responsabilità, aspetti ancora non completamente normati [91].

Nel panorama europeo, la Svizzera, si colloca tra i Paesi maggiormente avanzati in termini di regolamentazione dei sistemi di guida autonoma e automatizzata adottando un quadro normativo volto a disciplinare l'introduzione di sistemi di guida di livello SAE 3 e SAE 4 sulle sue infrastrutture stradali. L'entrata in vigore il 1° marzo 2025 dell'Ordinanza federale sulla guida automatizzata (OAD, Ordinance on Automated Driving) completa la revisione del Road Traffic Act (SVG, Strassenverkehrsgesetz) del 2023 e attribuisce all'Ufficio Federale delle Strade (USTRA/FEDRO) la competenza per l'omologazione, l'immatricolazione e la sorveglianza dei veicoli dotati di sistemi di automazione alla guida. Attraverso questo provvedimento, la legislazione svizzera ha definito e autorizzato tre principali casi d'uso per i veicoli automatizzati: l'utilizzo di un sistema di autopilota su autostrade (Traffic Jam Pilot), che consente al conducente di

supervisionare la guida restando pronto a riprendere il controllo del mezzo in ogni momento e in caso di necessità; il parcheggio automatizzato (valet parking) senza conducente a bordo in aree designate; la circolazione di veicoli senza conducente (SAE 4) in aree specifiche autorizzate dai cantoni, con requisiti di supervisione remota e capacità del veicolo di raggiungere autonomamente uno stato di rischio minimo. L'approccio federale svizzero assegna ai cantoni la definizione delle tratte su cui i veicoli autonomi possono circolare, previa verifica federale dei requisiti di sicurezza, protezione dei dati, compatibilità infrastrutturale e con il flusso di traffico. Tale decentramento regolatorio consente flessibilità sperimentale, pur richiedendo un coordinamento costante tra i livelli amministrativi [92].

Sebbene la disciplina sia già formalmente operativa non sono ancora stati immatricolati veicoli completamente autonomi per l'uso commerciale generalizzato a livello nazionale. Persistono tuttavia numerosi progetti pilota, in particolare navette e servizi di robotaxi, autorizzati su tratte limitate, soprattutto in contesti urbani controllati e in collaborazione con operatori tecnologici internazionali. La strategia svizzera mira a un equilibrio tra innovazione tecnologica e tutela dell'interesse pubblico, con un chiaro orientamento alla sicurezza stradale, alla responsabilità giuridica e alla protezione dei dati e dell'incolumità pubblica. Ciò rende il Paese un contesto regolamentare favorevole alla futura introduzione di servizi di mobilità condivisa autonoma, destinati a espandersi progressivamente al maturare delle condizioni tecnologiche e infrastrutturali [93].

Negli Stati Uniti, il modello regolatorio

si caratterizza per la sua natura decentralizzata. La NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) stabilisce standard federali di sicurezza e linee guida per la conformità dei veicoli, mentre i singoli stati regolano gli aspetti operativi e di responsabilità. Tale struttura ha generato approcci eterogenei: la California richiede permessi specifici per i test e la presentazione annuale di rapporti su incidenti e malfunzionamenti, mentre l'Arizona adotta un modello più permissivo, favorendo l'attrazione di aziende tecnologiche per sperimentazioni con minori vincoli. Questa frammentazione, sebbene stimoli l'innovazione, comporta una disomogeneità normativa significativa a livello nazionale [94].

L'approccio europeo privilegia la certezza giuridica e la sicurezza, pur a scapito di una più lenta diffusione della tecnologia, mentre il modello statunitense favorisce la rapidità nell'adozione e l'innovazione, ma all'interno di un quadro normativo meno uniforme. Le sfide future includono la definitiva attribuzione della responsabilità civile e penale, la protezione dei dati personali e la sicurezza operativa e informatica dei veicoli autonomi. La risoluzione di queste criticità risulta determinante per l'integrazione sicura ed efficace della guida autonoma nel contesto della mobilità presente e futura.

2.6 Veicoli autonomi in sharing

La guida autonoma sta vivendo una fase di maturazione tecnologica e industriale che ne sta progressivamente consolidando il ruolo all'interno dei sistemi di mobilità contemporanei.

Da tecnologia sperimentale confinata a progetti pilota e attività di ricerca, essa si sta trasformando in un elemento strutturale delle reti urbane, capace di incidere in modo significativo sull'organizzazione e sull'efficienza dei servizi di trasporto. Un contributo determinante a questa trasformazione proviene dall'applicazione della tecnologia di guida autonoma di Livello SAE 4 ai servizi di ride-hailing, che apre scenari inediti per la riorganizzazione del trasporto pubblico e privato. A differenza dei sistemi di assistenza alla guida, la tecnologia L4 abilita la piena autonomia operativa dei veicoli all'interno di aree geografiche predefinite, eliminando la necessità della presenza di un conducente a bordo. Essa costituisce pertanto la base tecnica su cui si fondano i servizi di robotaxi, considerati una delle evoluzioni più promettenti della mobilità urbana automatizzata. Questa transizione è resa possibile da un insieme di fattori interconnessi. Da un lato, l'evoluzione tecnologica ha portato allo sviluppo di piattaforme full-stack sempre più sofisticate, in grado di integrare sistemi di percezione multimodale, pianificazione predittiva e controllo in tempo reale, garantendo livelli elevati di sicurezza e affidabilità. Dall'altro, si sono affermati modelli di business diversificati, che spaziano dalla gestione diretta delle flotte all'erogazione di soluzioni tecnologiche a terzi, riflettendo differenti strategie di ingresso e scalabilità nei mercati locali e internazionali. A questi elementi si aggiungono fattori regolatori e infrastrutturali, che variano sensibilmente da un contesto geografico all'altro e influenzano in modo determinante tempi, modalità e ampiezza della diffusione commerciale. Il panorama globale della mobilità

autonoma appare oggi eterogeneo e in costante evoluzione, caratterizzato da strategie operative e industriali differenti. Alcuni attori adottano un approccio fortemente integrato, sviluppando internamente sia la tecnologia sia la gestione operativa dei servizi, così da mantenere il controllo diretto su ogni fase del processo. Altri preferiscono instaurare partnership strategiche con operatori di ride-hailing già consolidati o con costruttori automobilistici, al fine di accelerare la commercializzazione e ottimizzare gli investimenti. Esistono inoltre aziende che concentrano le proprie risorse sullo sviluppo e sulla licenza di software avanzati, con l'obiettivo di abilitare soluzioni autonome su larga scala senza operare direttamente con flotte di veicoli. Il presente capitolo offre una panoramica delle principali realtà internazionali coinvolte nello sviluppo e nella diffusione di servizi di ride-hailing autonomo basati su tecnologia SAE livello 4 (elevata automazione). L'analisi dei modelli operativi, dei risultati conseguiti e delle strategie adottate per affrontare le sfide legate alla regolamentazione, alla sicurezza e alla sostenibilità economica consente di delineare un quadro complesso e dinamico. La mobilità autonoma emerge, infatti, come un ecosistema articolato e non uniforme, nel quale ciascun operatore contribuisce, attraverso approcci distinti, a ridefinire i paradigmi del trasporto urbano futuro.

Dimensioni mercato globale robotaxi
Fonte: signicent.com - AI-Powered Robo-Taxis Set to Replace Human Drivers

Di seguito sono riportate le principali aziende attive nella ricerca, nello sviluppo e nelle attività commerciali legate alla guida autonoma.

\$4.73 miliardi

2025

\$79.64 miliardi *

2030

* valore di mercato stimato

42,2%

CAGR



Waymo, sussidiaria di Alphabet Inc., è stata originariamente concepita nel 2009 come progetto sperimentale interno a Google, dedicato allo sviluppo di veicoli a guida autonoma. Con sede a Mountain View, in California, l'azienda si è progressivamente affermata come uno degli attori pionieristici e più influenti nel settore della mobilità autonoma, con specifico riferimento al segmento del ride-hailing operato tramite autovetture prive di conducente ha effettuato 5 milioni di corse pubbliche negli Stati Uniti. La flotta di Waymo è attualmente composta principalmente da veicoli elettrici Jaguar I-PACE e minivan Chrysler Pacifica, opportunamente modificati ed equipaggiati con il sistema di guida autonoma proprietario, denominato Waymo Driver (SAE 4); questi saranno a breve affiancati dal nuovo veicolo CM1, appositamente progettato per la guida autonoma dal marchio cinese Zeekr, parte del gruppo Geely. Tecnologia di livello 4 che, come analizzato in precedenza, si fonda sull'integrazione di sensoristica avanzata, percezione multimodale e algoritmi di intelligenza artificiale, elementi che consentono ai veicoli di operare in autonomia all'interno di aree geografiche predefinite (ODD). Il servizio di trasporto viene erogato secondo il modello Mobility as a Service (MaaS) ed è fruibile attraverso l'applicazione mobile Waymo

One. L'utente invia la richiesta indicando la destinazione desiderata; dopo che il veicolo autonomo ha raggiunto il punto di prelievo e l'utente ha preso posto all'interno dell'abitacolo, la corsa viene avviata tramite l'interfaccia di bordo, offrendo un'esperienza completamente automatizzata e priva di intervento umano. Dal 2017, Waymo ha esteso il proprio raggio d'azione implementando il progetto Waymo Via. Questa iniziativa è volta all'automazione del settore della logistica e del trasporto merci, con l'obiettivo strategico di rendere autonomi il trasporto pesante a lunga distanza (trucking) e il local delivery, estendendo così l'influenza tecnologica e il modello di business dell'azienda oltre il singolo trasporto passeggeri. Nel 2018, la città di Phoenix, in Arizona, è stata la prima ad attivare il servizio commerciale di robotaxi di Waymo, segnando un passaggio cruciale dalla fase sperimentale alla diffusione sul mercato. Negli anni successivi, l'azienda ha progressivamente esteso le operazioni a San Francisco, Los Angeles, Austin e Atlanta, consolidando la propria presenza in diverse aree urbane strategiche degli Stati Uniti. Waymo ha inoltre annunciato l'intenzione di avviare il servizio entro il 2026 anche a Miami, Washington D.C. e Nashville, in collaborazione con Lyft, piattaforma globale di sharing mobility, al fine di ottimizzarne la diffusione e aumentarne l'efficienza operativa. L'evoluzione di Waymo rappresenta non solo un contributo significativo alla ridefinizione dei paradigmi della mobilità urbana, ma anche un caso emblematico di transizione sistemica verso un sistema di trasporto più sicuro, sostenibile e tecnologicamente avanzato [63] [95].



Waymo

Fonte: forbes.it - Dentro la fabbrica di Waymo dove si costruiscono i robotaxi del futuro

Nome: Waymo

Azienda: Alphabet Inc.

Fondazione: 17 gennaio 2009

Sede: Mountain View, California, USA

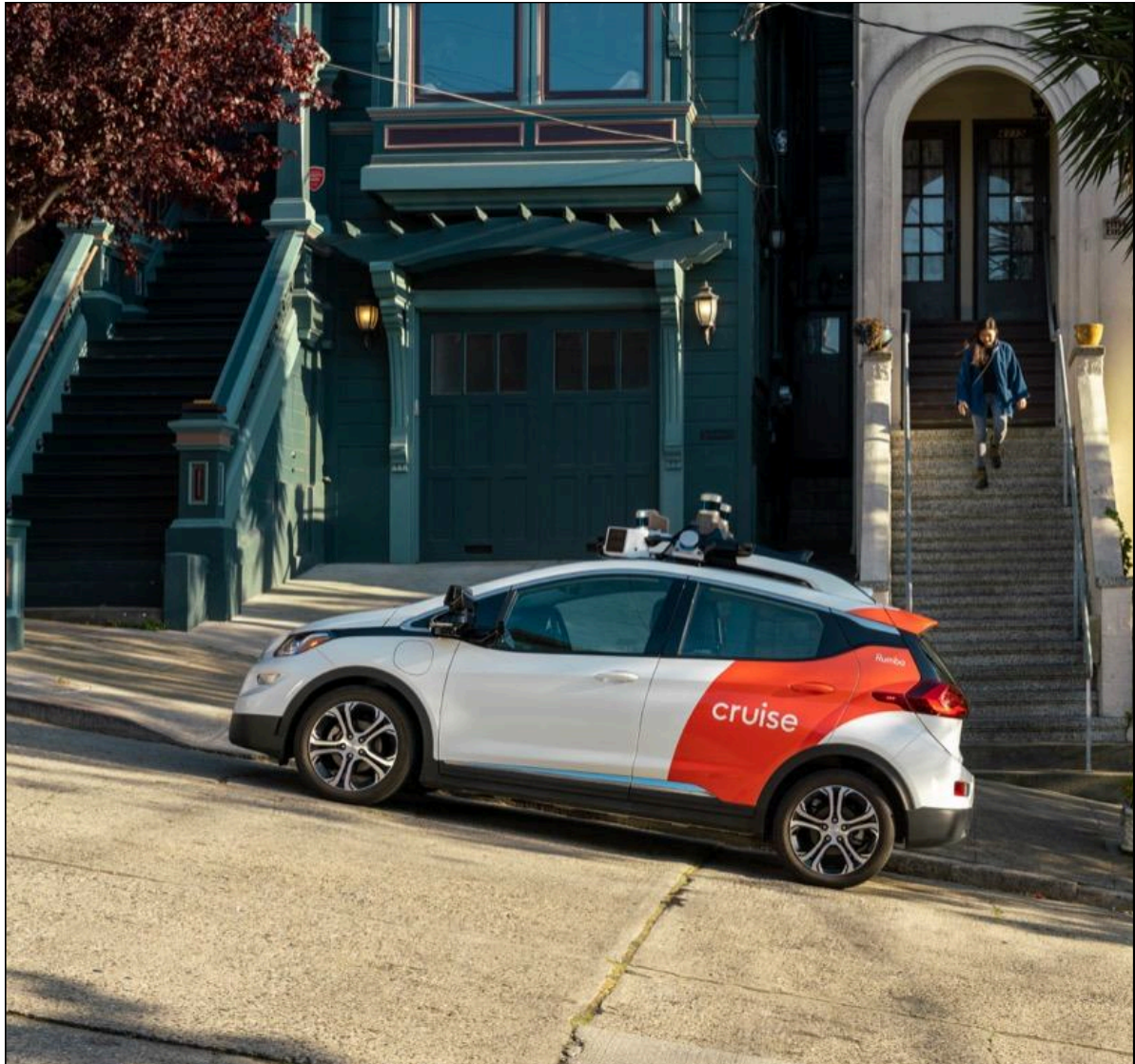
Sito: waymo.com

Servizio di ride hailing: attivo a Phoenix, San Francisco, Los Angeles, Austin, Atlanta

cruise

Cruise, fondata nel 2013 da Kyle Vogt e Dan Kan e acquisita da General Motors nel 2016, è stata una delle aziende più rilevanti nello sviluppo di veicoli autonomi destinati al ride-hailing urbano. Con sede a San Francisco, l'azienda concentrava i propri sforzi sull'implementazione di un servizio commerciale di robotaxi completamente autonomi, operativi in città selezionate come San Francisco, Phoenix e Austin, utilizzando principalmente il Cruise Origin, un veicolo elettrico progettato appositamente per il trasporto di passeggeri senza conducente. L'approccio adottato da Cruise combinava test pilota controllati e operazioni commerciali limitate, permettendo all'azienda di introdurre gradualmente il servizio, raccogliere dati essenziali e adattarsi al contesto urbano in maniera sicura e responsabile. Nel corso delle sue operazioni ha dovuto però far fronte a sfide significative: nel 2023 un veicolo autonomo è stato coinvolto in un incidente a San Francisco che ha provocato il ferimento di un pedone evidenziando delle criticità gestionali, di coordinamento con le autorità locali e portando a una sanzione da parte della National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) e successiva sospensione temporanea della licenza per operazioni senza conducente da parte del Dipartimento dei veicoli a motore della California. A seguito di

questi eventi, degli elevati costi gestionali e della crescente concorrenza nel settore dei robotaxi, General Motors, ha annunciato nel dicembre 2024 la chiusura dell'unità Cruise dedicata al ride-hailing, integrando le tecnologie sviluppate nel sistema di assistenza alla guida Super Cruise e focalizzandosi sullo sviluppo di veicoli autonomi per uso personale. Pur avendo interrotto il servizio commerciale di robotaxi, l'esperienza di Cruise resta un esempio significativo di come la tecnologia dei veicoli autonomi possa essere integrata nei servizi di mobilità urbana e mostra inoltre che il successo di un servizio di ride-hailing driverless dipende non solamente da innovazione tecnologica, ma anche da un'attenta gestione della sicurezza, della regolamentazione e dei rapporti con istituzioni e comunità [96] [97].



Cruise

Fonte: gmauthority.com - Consumer Confidence In AV Tech Improves Slightly, Study Finds

Nome: Cruise

Azienda: General Motors

Fondazione: ottobre 2013

Sede: San Francisco, California, USA

Sito: getcruise.com

Servizio di ride hailing: cessato nel 2024

ZOOX

Zoox, fondata nel 2014 da Tim Kentley-Klay e Jesse Levinson e acquisita da Amazon nel 2020, è una società statunitense specializzata nello sviluppo di veicoli autonomi destinati al ride-hailing urbano con sede a Foster City, in California. L'azienda ha adottato un approccio innovativo progettando veicoli elettrici bidirezionali senza volante, pensati fin dall'inizio per operare completamente in modalità autonoma. Questo design distintivo consente ai 4 passeggeri di sedersi fronte a fronte, ottimizzando lo spazio interno e migliorando l'esperienza di viaggio. Il 10 settembre 2025 Zoox ha avviato il suo servizio pilota di robotaxi a Las Vegas, offrendo corse gratuite lungo la Strip al fine di testare le operazioni in un contesto urbano complesso e raccogliere dati per l'ottimizzazione del servizio. I veicoli operano senza conducente, con assistenza remota solo in situazioni eccezionali, e sono soggetti a continui aggiornamenti software per garantire la sicurezza e l'efficienza del sistema. Zoox ha inoltre avviato il processo di approvazione regolatoria per l'espansione del servizio commerciale, richiedendo alle autorità federali statunitensi un'esenzione per operare fino a 2.500 veicoli autonomi senza controlli manuali. La National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) ha concesso una deroga che permette di utilizzare veicoli senza volante o pedali, facilitando l'introduzione

commerciale dei robotaxi. L'azienda prevede di estendere progressivamente le operazioni a San Francisco e, successivamente, ad altre città come Austin e Miami. Nonostante alcuni incidenti minori che hanno richiesto richiami software, Zoox continua a migliorare le proprie operazioni raccogliendo dati essenziali per l'ottimizzazione della guida autonoma in contesti urbani complessi [98] [99] [100].



Zoox
Fonte: zoox.com - It's Not a Car

Nome: Zoox

Azienda: Amazon

Fondazione: 2014

Sede: Foster City, California, USA

Sito: zoox.com

Servizio di ride hailing: dal 10 settembre 2025 è attivo il servizio gratuito Early Rider Program, per viaggi lungo la Strip di Las Vegas



Motional

Motional, fondata nel 2020 come joint venture tra Aptiv e Hyundai Motor Group, è un'azienda statunitense specializzata nello sviluppo di servizi di mobilità autonoma per il ride-hailing urbano con sede a Boston. Unisce l'esperienza di Hyundai nella produzione di veicoli di massa con le competenze tecnologiche di Aptiv, concentrandosi sullo sviluppo e sulla commercializzazione di un sistema di guida autonoma di Livello 4. Il modello di business di Motional si basa su un approccio B2B (business-to-business), che si differenzia dagli operatori che gestiscono direttamente le flotte. L'azienda fornisce veicoli autonomi e piattaforme software a partner di mobilità affermati, come dimostrato dalla collaborazione con Lyft a Las Vegas. In questo accordo, Motional mette a disposizione la flotta di robotaxi, mentre Lyft gestisce prenotazioni e interfaccia d'utilizzo, consentendo agli utenti di richiedere un veicolo autonomo tramite l'app per un'esperienza di ride-hailing fluida e integrata. Tale approccio consente a Motional di scalare il servizio in maniera efficiente, riducendo i costi e le complessità operative legate alla gestione diretta della flotta e dei clienti. Il servizio pilota a Las Vegas ha permesso di testare i veicoli in un contesto urbano reale e di raccogliere dati fondamentali per ottimizzare operazioni, sicurezza e affidabilità. Inoltre, Waymo, per l'espansione della

flotta prevista per il 2025 ha presentato delle Hyundai Ioniq 5 elettriche dopo la realizzazione di una partnership strategica pluriennale con Motional. La guida autonoma, sostenuta da partnership strategiche tra case automobilistiche e sviluppatori tecnologici implementata su larga scala offre una visione concreta delle opportunità e delle sfide della mobilità automatizzata [101] [102].



Motional
Fonte: motional.com - Driverless Technology and Autonomous Vehicles

Nome: Motional

Azienda: Hyundai Motor Group & Aptiv

Fondazione: 2020

Sede: Boston, Massachusetts, USA

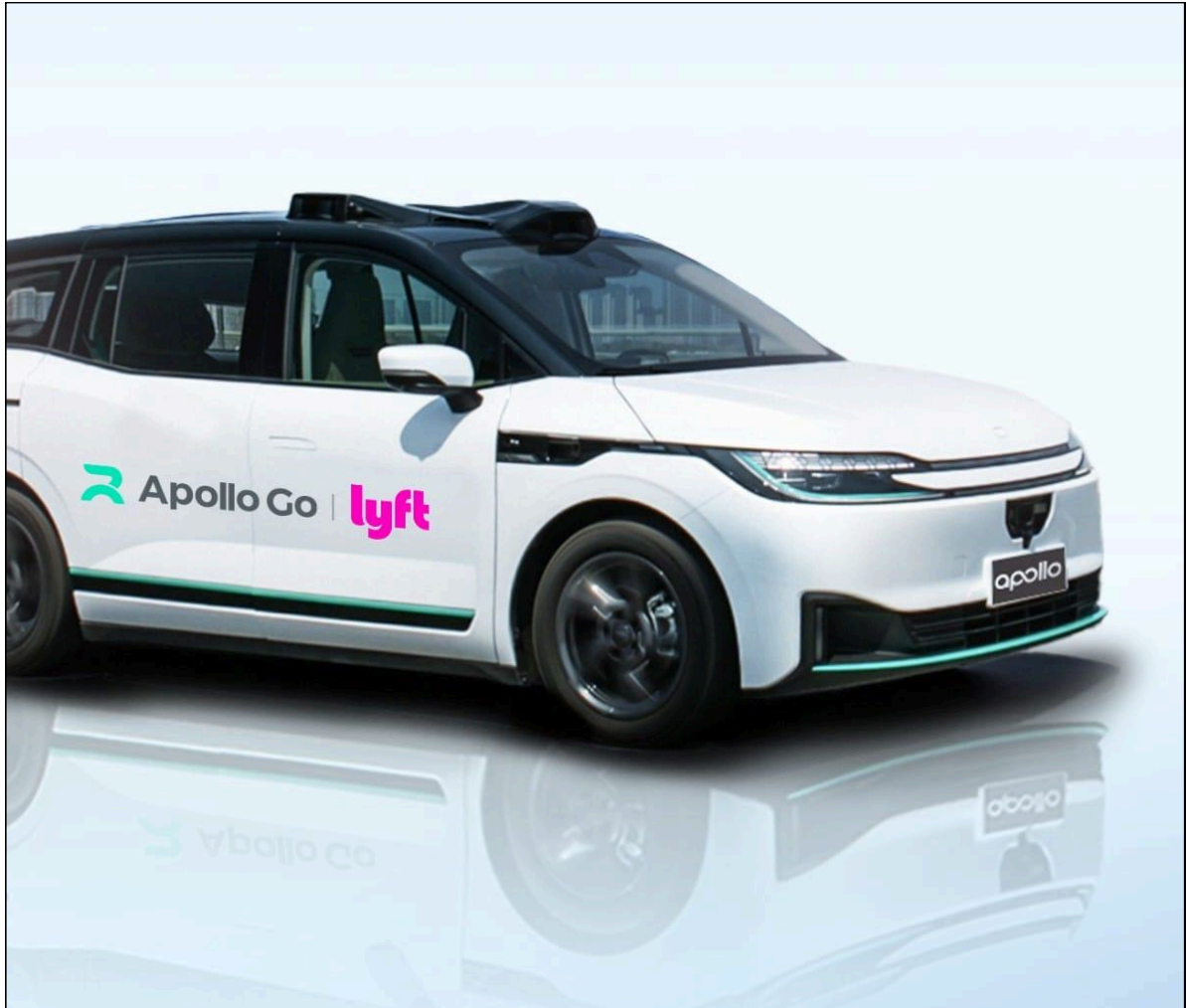
Sito: motional.com

Servizio di ride hailing: non attivo, in fase di test presso diverse città, tra cui Las Vegas, Pittsburgh, Los Angeles, Boston e Singapore



Apollo Go rappresenta uno dei principali servizi commerciali di robotaxi autonomi a livello globale, sviluppato da Baidu, gigante tecnologico cinese, nel 2017. Apollo Go si propone di integrare veicoli completamente autonomi all'interno delle piattaforme di mobilità urbana, offrendo corse robotizzate disponibili al pubblico e operando attualmente in oltre 16 città cinesi, tra cui Wuhan, Pechino, Shanghai, Guangzhou, Shenzhen, Chongqing, Chengdu, Changsha, Hefei, Yangquan, Wuzhen, Haikou e Hong Kong con una flotta crescente di veicoli completamente autonomi e garantendo operatività continua 24 ore su 24. Il modello di servizio di Apollo Go combina tecnologia autonoma avanzata con l'integrazione diretta nelle piattaforme di ride-hailing come Uber e Lyft, permettendo agli utenti di richiedere corse tramite app dedicate, mentre Baidu mantiene il controllo operativo e la gestione della flotta, consentendo una rapida espansione senza gestire direttamente l'interfaccia clienti. A livello internazionale, Apollo Go ha avviato operazioni in Medio Oriente con test e lanci a Dubai, Abu Dhabi e Singapore, e ha pianificato future espansioni in Germania, Regno Unito, Svizzera, Turchia, Australia e Sud-Est asiatico, mostrando un approccio graduale alla diffusione della mobilità autonoma in contesti regolamentati, urbani complessi e differenti tra loro.

Il servizio ha già completato oltre 14 milioni di corse pubbliche con una flotta globale di più di 1.000 veicoli completamente autonomi, confermando l'efficacia commerciale del modello operativo e la maturità tecnologica del sistema di guida autonoma sviluppato da Baidu, mentre i robotaxi di sesta generazione dell'azienda, come l'RT6, hanno consentito una significativa riduzione dei costi di produzione e una maggiore efficienza operativa. L'esperienza di Apollo Go dimostra come la combinazione di innovazione tecnologica, strategie di partnership efficaci e il complesso adattamento alle normative locali su larga scala possa offrire un modello sostenibile per il ride-hailing urbano autonomo globale [103] [104] [105] [106].



Apollo Go

Fonte: futuretransport-news.com - Baidu Partners with Lyft for AV Deployment Throughout Europe

Nome: Apollo Go

Azienda: Baidu

Fondazione: 2017

Sede: Pechino, Cina

Sito: apollogo.com

Servizio di ride hailing: attivo a Wuhan, Pechino, Shanghai, Guangzhou, Shenzhen, Chongqing, Chengdu, Changsha, Hefei, Yangquan, Wuzhen, Haikou e Hong Kong, in fase sperimentale a Dubai, Abu Dhabi, in espansione commerciale anche in Europa, Australia e Sud-Est asiatico



WeRide, azienda fondata nel 2017 da Tony Han, ex Chief Scientist della business unit di guida autonoma di Baidu, si posiziona come un altro attore di spicco nella corsa alla commercializzazione e diffusione della guida autonoma su scala mondiale. L'azienda adotta una strategia commerciale basata sulla diversificazione dei prodotti offerti, applicando il suo stack tecnologico di guida autonoma a un ecosistema di veicoli che include il Robotaxi, il Robobus (un veicolo autonomo per il trasporto di gruppo), Robovan (logistica dell'ultimo miglio) e Robosweeper (pulizia cittadina). Il segmento Robotaxi è il cuore delle operazioni commerciali, con risultati rilevanti in Asia come la gestione della rete di servizio 24/7 completamente driverless nella metropoli cinese di Guangzhou. La validità della tecnologia è confermata e comprovata dall'ottenimento di permessi operativi L4 in sette mercati strategici: Cina, Stati Uniti, Emirati Arabi Uniti, Singapore, Francia, Arabia Saudita e Belgio. L'espansione è sostenuta dalla collaborazione con Uber per il deployment internazionale in regioni chiave come il Medio Oriente. L'accessibilità al servizio di mobilità autonoma di WeRide è pienamente integrata nel paradigma del trasporto on-demand. Per la prenotazione e la gestione delle corse WeRide adotta un approccio duale, sfruttando sia la propria applicazione dedicata, WeRide

Go, sia l'integrazione con piattaforme di ride-hailing e di mappatura preesistenti. Nei mercati asiatici, l'accesso avviene spesso tramite aggregatori di mobilità popolari come Amap (GaoDe) o Baidu Maps. Le operazioni del Robobus, un veicolo compatto per il trasporto collettivo su percorsi fissi o predefiniti, si sono estese in Europa, dove WeRide ha ottenuto un permesso operativo in Francia lanciando, a marzo 2025, un servizio commerciale driverless per il trasporto di 8 persone su una tratta di 3,3 chilometri nel dipartimento della Drôme. L'impegno europeo si estende alla collaborazione con l'aeroporto di Zurigo per un servizio sperimentale di shuttle Robobus e al futuro lancio di un servizio di Robotaxi senza conducente nella stessa città svizzera. Questo approccio multi-segmento non solo diversifica i flussi di ricavo, ma garantisce anche una costante rialimentazione algoritmica, essenziale per il perfezionamento continuo della piattaforma in diversi contesti operativi e normativi [107] [108] [109] [110].



WeRide

Fonte: thebambooworks.com - WeRide tries buyback maneuver in tight robotaxi race

Nome: WeRide

Azienda: WeRide

Fondazione: 2017

Sede: Guangzhou, Cina

Sito: weride.ai

Servizio di ride hailing: attivo a Guangzhou, Abu Dhabi, Singapore e Drôme (Francia) e con permessi sperimentali di guida autonoma di livello 4 a Zurigo (Svizzera) e in oltre 30 città e 11 paesi



l'applicazione PonyPilot, disponibile per dispositivi iOS e Android, che permette agli utenti di prenotare corse nelle città operative [111] [112] [113].

Pony.ai, fondata nel 2016 da James Peng e Tiancheng Lou, entrambi ex ingegneri di Baidu, è un'azienda cinese specializzata nello sviluppo di veicoli autonomi di Livello 4 per servizi di mobilità urbana e commerciale. La sede principale si trova a Guangzhou, con uffici operativi anche a Fremont, California. La compagnia ha concentrato i propri sforzi sullo sviluppo di robotaxi, robotruck e veicoli a proprietà personale (Personally Owned Vehicles, POV), integrando internamente software e hardware per mantenere il pieno controllo operativo dei propri veicoli e garantire sicurezza e affidabilità. Il servizio di robotaxi, cuore delle operazioni commerciali, è attualmente attivo in diverse città cinesi, tra cui Beijing, Shanghai, Guangzhou e Shenzhen, offrendo corse autonome 24 ore su 24 con gestione diretta della flotta, composta da auto appositamente modificate di differenti produttori, tra cui BYD, Toyota e Lexus. Negli Stati Uniti Pony.ai conduce test avanzati con veicoli autonomi a Fremont, Milpitas e Irvine in California, mentre in altre aree come Hong Kong, Corea del Sud e Lussemburgo sono in corso sperimentazioni e progetti pilota per il dispiegamento dei propri servizi. La presenza nel Medio Oriente con partnership attive a Dubai e Doha, e in Asia sudorientale collaborando con ComfortDelGro a Singapore per servizi di robotaxi. Per l'accesso ai propri servizi, Pony.ai, ha sviluppato e gestisce



Pony.ai

Fonte: www.therobotreport.com - Pony.ai to launch robotaxi fleet in Guangzhou, China

Nome: Pony.ai

Azienda: Pony.ai

Fondazione: 2016

Sede: Guangzhou, Cina

Sito: pony.ai

Servizio di ride hailing: attivo a Beijing, Shanghai, Guangzhou, Shenzhen, Dubai e Singapore ed esegue test e attività sperimentali a Hong Kong, negli Stati Uniti, in Corea del Sud e in Lussemburgo



all'integrazione del sistema sui veicoli passeggeri per il futuro dispiegamento di servizi robotaxi, mantenendo una visione a lungo termine verso un sistema di mobilità autonoma eterogeneo [114] [115] [116].

Aurora Innovation Inc., fondata nel 2017 da Chris Urmson (ex capo del programma self-driving di Waymo), Sterling Anderson (ex capo dell'Autopilot di Tesla) e Drew Bagnell (ex capo del team di autonomia e percezione di Uber), si posiziona nel panorama L4 con una chiara priorità per il trucking commerciale pesante. La sua offerta principale è l'Aurora Driver, una piattaforma tecnologica full-stack di Livello 4 concepita per essere scalabile e universale su diversi veicoli, integrando un avanzato sistema di percezione a lunga distanza, cruciale per la sicurezza e la reattività alla velocità autostradale. Il modello di business si materializza nel servizio Aurora Horizon, che rappresenta il core business focalizzato sul trasporto merci a lungo raggio. Aurora è stata la prima compagnia negli Stati Uniti a lanciare rotte commerciali completamente driverless, come quella tra Dallas e Houston per clienti logistici di primo piano (tra cui FedEx e Uber Freight). Per garantire una rapida scalabilità e un modello asset-light, l'azienda collabora strettamente con Original Equipment Manufacturers (OEM) del settore, come PACCAR e Volvo Autonomous Solutions. Parallelamente alla sua leadership nel trucking, l'azienda persegue lo sviluppo del segmento ride-hailing attraverso Aurora Connect. La natura universale della piattaforma Aurora Driver è confermata dalla partnership strategica con Toyota; tale collaborazione mira



Aurora Innovation

Fonte: www.forbes.com - Aurora Innovation Launches Fault Management System For Automated Vehicles

Nome: Aurora Innovation

Azienda: Aurora Innovation

Fondazione: 2017

Sede: Pittsburgh, Pennsylvania, USA

Sito: aurora.tech

Servizio di ride hailing: non attivo, sottoposto a fase di test in Texas

nuro

Nuro Inc., fondata nel 2016 da Jiajun Zhu e Dave Ferguson, due ex ingegneri del progetto di guida autonoma di Google (poi evoluto in Waymo), si è distinta sin dall'inizio nel panorama della mobilità autonoma scegliendo di specializzarsi nel segmento della logistica automatizzata (Autonomous Delivery Vehicles, ADV), in contrasto con la maggior parte dei competitor orientati al trasporto di passeggeri. Questa scelta strategica ha condotto allo sviluppo di veicoli dedicati esclusivamente alla consegna di merci, come il modello R3 realizzato in collaborazione con BYD, caratterizzato dall'assenza strutturale di comandi e cabina per ospitare i passeggeri, una peculiarità che ha facilitato l'ottenimento di esenzioni regolamentari federali da parte della National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). Questi veicoli, concepiti principalmente per il trasporto di beni alimentari e farmaceutici, sono alimentati dal sistema proprietario Nuro Driver™, una piattaforma di guida autonoma di Livello 4 (SAE) che integra intelligenza artificiale e sistemi di percezione avanzati, il cui valore è stato confermato da un solido track record operativo su strada. Tale robustezza tecnologica ha favorito l'ottenimento di partnership strategiche con grandi retailer e catene della distribuzione come Kroger, Domino's Pizza e 7-Eleven, permettendo a Nuro di consolidarsi

come attore di riferimento nella logistica dell'ultimo miglio. Recentemente l'azienda ha ampliato il proprio raggio d'azione attraverso la concessione in licenza della piattaforma tecnologica, firmando un accordo decennale con Uber e Lucid Motors finalizzato all'integrazione del Nuro Driver™ in una nuova flotta di robotaxi, il cui lancio è previsto a partire dal 2026. Questa strategia di diversificazione testimonia la versatilità della soluzione sviluppata da Nuro, capace di adattarsi sia al settore delle consegne autonome sia al crescente mercato del ride-hailing privo di conducente, rafforzando il proprio ruolo come fornitore tecnologico di primo piano nella transizione verso una mobilità completamente automatizzata [117] [118] [119] [120].



Nuro

Fonte: www.nuro.ai - The Future of Ride-Hailing: Powered by Nuro, Lucid & Uber

Nome: Nuro

Azienda: Nuro Inc.

Fondazione: 2016

Sede: Mountain View, California, USA

Sito: nuro.ai

Servizio di ride hailing: non attivo, prevista la realizzazione di una flotta di robotaxi in collaborazione con Uber e Lucid Motors a partire dal 2026. Attualmente è attivo il servizio logistico con mezzi a Palo Alto e Mountain View, California e a Huston, Texas



May Mobility Inc., azienda fondata nel 2017 negli Stati Uniti, ha saputo imporsi nel settore della mobilità autonoma attraverso un'articolata strategia di implementazione, evolvendo da un modello focalizzato sul microtransit e il trasporto collettivo verso soluzioni di robotaxi e ride-hailing autonomo. L'azienda ha intrapreso una traiettoria evolutiva graduale, iniziando con servizi in contesti operativi controllati per poi espandersi sulle principali piattaforme di ride-hailing globali. Un traguardo significativo in questa evoluzione è stato raggiunto nel febbraio 2025, con l'avvio a Peachtree Corners, in Georgia, del primo servizio commerciale completamente driverless con veicoli Toyota Sienna, operante lungo un percorso con otto fermate predeterminate. Parallelamente, la strategia di espansione si è focalizzata su partnership di settore essenziali: a maggio 2025 è stato annunciato il lancio di servizi di robotaxi tramite l'App di Uber ad Arlington, Texas, inizialmente con operatori di sicurezza a bordo in previsione della transizione al driverless; successivamente, a settembre 2025, in collaborazione con Lyft, l'azienda ha inaugurato un progetto pilota di ride-hailing autonomo ad Atlanta, in Georgia. May Mobility, per supportare questa rapida crescita, ha sviluppato la Ride-Hail Integration API, un ponte tecnologico fondamentale che consente alla piattaforma di guida autonoma della

azienda, non solamente di essere fruibile tramite l'applicazione proprietaria May Mobility, ma di integrarsi in modo efficiente e scalabile con le reti globali di Transportation Network Companies (TNCs), quali ad esempio Uber e Lyft. La base tecnologica di guida è costituita dal sistema Multi-Policy Decision Making (MPDM), una soluzione di Livello SAE 4 che sfrutta un'architettura di sensori e algoritmi dinamici per prendere decisioni in scenari complessi non predeterminati. L'azienda sta inoltre lavorando, insieme a Tecnobus, all'ampliamento della sua capacità di trasporto con lo sviluppo di minibus elettrici di nuova generazione, capaci di ospitare fino a 30 passeggeri e dotati di batterie intercambiabili, mirati a servizi ad alta capacità in ambienti come campus, aeroporti e comunità pianificate. Nel complesso, il percorso di crescita di May Mobility riflette chiaramente la tendenza del settore a favorire l'integrazione tra technology provider specializzati e le piattaforme di mobilità esistenti per una penetrazione efficace e scalabile nel mercato urbano [121] [122].



Nuro

Fonte: www.nuro.ai - The Future of Ride-Hailing: Powered by Nuro, Lucid & Uber

Nome: May Mobility

Azienda: May Mobility Inc.

Fondazione: 2017

Sede: Ann Arbor, Michigan, USA

Sito: maymobility.com

Servizio di ride hailing: attivo a Atlanta, Peachtree Corners, Grand Rapids e Martinez e in fase di espansione anche a Arlington



comprende hub attivi nel Regno Unito, negli Stati Uniti, in Germania e in Giappone, dimostrando la capacità del sistema di adattarsi rapidamente a contesti urbani diversi, condizioni di traffico complesse e normative locali eterogenee [123] [124] [125].

Wayve Technologies Ltd., fondata a Londra nel 2017, si è affermata come uno degli attori più innovativi nel settore dei veicoli autonomi grazie a un approccio basato sull'Intelligenza Artificiale Incorporata (Embodied AI). La tecnologia sviluppata dall'azienda, nota come AV2.0, rappresenta una soluzione di guida autonoma di Livello SAE 4 che, a differenza di molti dei sistemi tradizionali, apprende in modo adattivo e dinamico direttamente dai dati dei sensori, senza richiedere mappe digitali ad altissima precisione (mapless). Il modello di business di Wayve è volutamente leggero in termini di asset: l'azienda non gestisce flotte proprie, ma si concentra sulla licenza del software Wayve AI Driver ai partner strategici, approccio che ha attratto enormi investimenti da SoftBank, Microsoft e la collaborazione con NVIDIA per l'hardware di calcolo. Questa strategia trova piena applicazione nella partnership con Uber, avviata a ottobre 2025, nella quale Wayve fornisce la tecnologia di guida autonoma mentre Uber gestisce la flotta, la logistica operativa e il servizio di ride-hailing tramite la propria app. Grazie a questa divisione dei ruoli, sono stati avviati i primi test sperimentali su suolo pubblico a Londra, rappresentando una fase pilota fondamentale per l'espansione europea e internazionale. La robustezza della piattaforma mapless è supportata da una rete internazionale di sperimentazione che



Wayve

Fonte: wayve.ai - Bringing the next wave of self-driving technology to market

Nome: Wayve

Azienda: Wayve Technologies Ltd.

Fondazione: 2017

Sede: Londra, Regno Unito

Sito: wayve.ai

Servizio di ride hailing: non attivo, sottoposto a test sperimentali di validazione a Londra



AutoX, fondata nel 2016 con sede principale a San Jose, California, si è affermata come un attore nel settore della guida autonoma concentrando la sua strategia operativa e commerciale sul mercato cinese. L'azienda adotta un modello Full-Stack, occupandosi internamente sia dello sviluppo della tecnologia di guida (hardware e software) sia della gestione diretta della propria flotta di robotaxi, un approccio supportato strategicamente da investitori di primo piano come Alibaba Group. Il cuore tecnologico di AutoX è costituito da un sistema di Livello SAE 4 ad alta risoluzione (Gen5), il quale si avvale di una combinazione intensiva di sensori per garantire una navigazione sicura e affidabile in ambienti urbani estremamente congestionati. AutoX è pienamente attiva con operazioni commerciali e trials di robotaxi in diverse metropoli. In particolare, i suoi servizi di trasporto passeggeri che operano senza conducente a bordo su strade pubbliche si concentrano in aree designate di Shenzhen e Shanghai. Inoltre, l'azienda, mantiene attive ampie flotte di veicoli per test e sviluppo a Guangzhou e Pechino, oltre che a San Jose negli Stati Uniti (Silicon Valley), sfruttando questi hub globalmente diffusi per convalidare e affinare la capacità del suo sistema di adattarsi rapidamente a una vasta gamma di contesti viari e quadri normativi globali [126] [127] [128].



AutoX

Fonte: www.gizmochina.com - AutoX partners Honda to install its Autonomous Driving tech on Honda cars in China

Nome: AutoX

Azienda: AutoX

Fondazione: 2016

Sede: San Jose, California, USA

Sito: auton.ai

Servizio di ride hailing: attivo a Shenzhen e Shanghai e in fase di sperimentazione a Guangzhou, Pechino e in Silicon Valley



DeepRoute.ai, fondata nel 2019 da Guang Zhou e con sede a Shenzhen, Cina, si distingue nel panorama della guida autonoma per la sua chiara focalizzazione sulla fornitura di soluzioni tecnologiche a terzi, adottando un modello di business Business-to-Business (B2B) di licensing software. L'azienda sviluppa un sistema di guida autonoma Livello SAE 4 (Full-Stack), la cui evoluzione è rappresentata dalla piattaforma avanzata DeepRoute IO 2.0, potenziata dal modello proprietario Vision-Language-Action (VLA). Questa configurazione tecnologica è progettata non solo per l'alta performance, ma soprattutto per la scalabilità e la produzione di massa, supportando configurazioni flessibili (LiDAR-based e vision-only). Il suo servizio di ride-hailing, commercializzato attraverso flotte di robotaxi, svolge primariamente da piattaforma di convalida e dimostrazione: DeepRoute.ai possiede una base operativa attiva a Shenzhen per testare il sistema in ambienti urbani complessi e generare dati di addestramento critici. Tuttavia, la sua strategia a lungo termine si discosta da quella degli operatori di flotta diretta, mirando a integrare la sua tecnologia nella produzione automobilistica su larga scala attraverso partnership con OEM automobilistici, facilitando così una rapida diffusione globale delle soluzioni di smart driving nei mercati di riferimento [129] [130] [131].

2.6 Veicoli autonomi in sharing



DeepRoute.ai

Fonte: www.therobotreport.com - DeepRoute.ai raises \$50M for autonomous vehicle tech

Nome: DeepRoute.ai

Azienda: DeepRoute.ai

Fondazione: 2019

Sede: Shenzhen, Cina

Sito: deeproute.ai

Servizio di ride hailing: attivo a Shenzhen e in sperimentazione per l'implementazione del sistema di guida autonoma in ottica di commercializzazione B2B



Mobileye, acquisita da Intel nel 2017, si presenta nel panorama evolutivo della guida altamente automatizzata attraverso un distintivo modello di business ad espansione orizzontale. L'azienda non compete come operatore di robotaxi, ma si qualifica come fornitore di tecnologia completa, mirando a una penetrazione di mercato su larga scala. La sua strategia di diffusione globale si basa sul percorso evolutivo che dai Sistemi Avanzati di Assistenza alla Guida (ADAS) porta all'autonomia (l'approccio ADAS-to-AV), garantendo innovazione tecnologica ed efficienza economica grazie ai suoi processori di ultima generazione EyeQ™. La piattaforma L4, Mobileye Drive™, è progettata per una vasta gamma di applicazioni nell'ecosistema MaaS: dai robotaxi al trasporto collettivo con bus autonomi come testimoniato dalla collaborazione con MAN del 2023, e navette fino alla logistica automatizzata. La sicurezza operativa è garantita dall'architettura True Redundancy™ (Ridondanza Reale), che impiega due sottosistemi di percezione totalmente indipendenti. Cruciale per l'espansione geografica e l'evoluzione della tecnologia è il sistema geospaziale REM™ (Road Experience Management), che utilizza l'acquisizione di dati di massa dai veicoli per creare e aggiornare dinamicamente mappe digitali ad alta definizione. Mobileye svolge dunque un ruolo da abilitatore MaaS e ha negli anni siglato

partnership con player di rilievo, tra cui operatori di mobilità come Lyft, Moovit e Sixt e case automobilistiche come Volkswagen, con cui ha realizzato un modello di ID. Buzz presentato all'IAA Mobility 2023 che a settembre 2025 ha iniziato la fase di test su strada pubblica a Oslo, Monaco di Baviera, Hannover, Francoforte, Gerusalemme, Detroit e Lake Nona in Florida. Sebbene i programmi pilota siano già attivi in contesti specifici l'avvio della commercializzazione dei servizi L4 su vasta scala è un processo graduale e strettamente subordinato alla continua implementazione tecnologica e all'ottenimento delle necessarie approvazioni [132] [133] [134] [135].



Mobileye

Fonte: techcrunch.com - Intel's Mobileye, rental giant Sixt to launch a robotaxi service in Germany next year

Nome: Mobileye Global Inc.

Azienda: Intel

Fondazione: 1999

Sede: Gerusalemme, Israele

Sito: mobileye.com

Servizio di ride hailing: attivo solo sperimentalmente in alcune città selezionate come Detroit, l'azienda opera per l'introduzione e la diffusione del proprio sistema di guida autonoma all'interno di flotte di ride-hailing e veicoli in produzione operando in un mercato B2B come supplier tecnologico

verne

Verne, società controllata dal gruppo croato Rimac, opera come operatore per la Mobilità MaaS nel settore della guida altamente automatizzata e la sua strategia non si basa sullo sviluppo proprietario della tecnologia, ma sull'integrazione della piattaforma Mobileye Drive™ nei propri veicoli, sfruttando la competenza di un fornitore esterno per garantire l'affidabilità operativa del sistema di guida autonoma. Il veicolo elettrico L4 di Verne è stato progettato appositamente per il trasporto di due passeggeri, elemento distintivo è l'esperienza utente personalizzata, che oltre al grande schermo interno, può essere gestita tramite l'applicazione per consentire ai passeggeri non solo di prenotare e pagare la corsa, ma di regolare e pre-impostare le condizioni ambientali di bordo. L'efficienza del servizio verrebbe implementata da un'infrastruttura logistica dedicata, i centri Mothership, per la manutenzione automatizzata e la ricarica della flotta, di cui il primo dovrebbe sorgere in prossimità dell'HQ dell'azienda nella capitale croata. Sebbene i servizi di ride-hailing commerciali non siano ancora attivi, Verne prevede il debutto a partire dal 2026 a Zagabria, con un piano di espansione successivo esteso ad altre città europee [136] [137] [138].



Verne

Fonte: www.letsverne.com - Verne: Journey to the future of mobility

Nome: Verne

Azienda: Rimac Group

Fondazione: 2024

Sede: Zagabria, Croazia

Sito: letsverne.com

Servizio di ride hailing: non attivo e in fase sperimentale. Previsto per il 2026 il debutto a Zagabria con successiva espansione in altre città europee



DiDi Autonomous Driving (DiDi AD), la sussidiaria tecnologica scorporata nel 2019 dal principale operatore cinese di mobilità DiDi Global, guidata dal CEO della divisione Bob Bo Zhang, persegue una strategia di integrazione verticale e produzione di massa del suo sistema di guida autonoma Livello SAE 4 (Full-Stack). Il suo vantaggio competitivo primario risiede nell'esclusivo accesso all'enorme volume di dati telemetrici e al sistema di allocazione e gestione dinamica dei veicoli in tempo reale permesso dalla piattaforma MaaS di DiDi Global, considerata l'Uber cinese, essenziale per accelerare l'addestramento e la convalida degli algoritmi in ambienti urbani complessi. Il servizio di robotaxi con veicoli L4, Volvo o Geely, è già attivo e accessibile al pubblico tramite la normale app di ride-hailing di DiDi AD in specifiche aree metropolitane cinesi, tra cui a Shanghai nell'area di Jiading e Guangzhou, nel distretto di Huangpu. Sebbene operino in una flotta mista e siano accessibili agli utenti la fase attuale è quella della convalida con supervisione, che prevede la presenza di un operatore di sicurezza a bordo per monitoraggio e intervento. DiDi AD ha inoltre acquisito i permessi per eseguire test di guida autonoma anche in California, oltre a Beijing, Suzhou, Hefei e le sopracitate Shanghai e Guangzhou. La strategia per il definitivo scaling e per l'implementazione del servizio totalmente autonomo è incentrata sulla produzione di massa e efficientamento

dei costi: a tal fine, DiDi AD, ha istituito la joint venture Andi Technology con Aion, casa automobilistica cinese di proprietà del gruppo GAC Group, svelando ufficialmente il suo primo robotaxi L4 pronto per la produzione di serie. Questo veicolo dedicato è costruito sulla piattaforma elettrica di GAC Aion e incorpora il sistema di calcolo ad alte prestazioni denominato Orca, supportato da un sistema di percezione avanzato composto da 33 sensori. L'azienda ha ufficialmente comunicato che questo modello sarà introdotto nella piattaforma di ride-hailing DiDi entro la fine del 2025, segnando il passaggio alle operazioni su larga scala senza conducente, gestite e ottimizzate attraverso gli Huiju Port, centri di mantenimento completamente automatizzati. DiDi AD ha esplicitato nuovamente la forte intenzione di creare un'avanzata e connessa rete di mobilità e logistica automatizzata presentando il DiDi Neuron, un innovativo robotaxi per il trasporto di 4 passeggeri fronte a fronte e dotato di uno scompartimento bagagli con braccio robotico per il sollevamento di borse o bagagli. DiDi AD, mediante l'accesso ai dati e alla gestione logistica di una piattaforma MaaS affermata, le partnership di produzione, in particolare quella stretta con GAC Aion e l'elaborazione di progetti fortemente automatizzati punta a una mobilità futura integrata e autonoma, ridefinendo i parametri della guida autonoma globale [139] [140].



DiDi Neuron

Fonte: www.bloomberg.com - Didi Shows Driverless Concept Car in Biggest Move Post-Crackdown

Nome: DiDi Autonomous Driving

Azienda: DiDi Global Inc.

Fondazione: 2019

Sede: Shanghai, Cina

Sito: didiglobal.com

Servizio di ride hailing: attivo ma con restrizioni in alcune zone di Shanghai e Guangzhou, in fase sperimentale in California e alte città cinesi



Tesla Inc., fondata da Elon Musk nel 2003, rappresenta uno degli attori principali nella transizione verso una mobilità elettrica e autonoma. La strategia dell'azienda combina elettrificazione, intelligenza artificiale e connettività con l'obiettivo di trasformare l'automobile in un nodo intelligente all'interno di una rete di mobilità condivisa. In questa visione si inserisce il progetto Tesla Robotaxi, il primo servizio di trasporto urbano interamente automatizzato dell'azienda, avviato in forma sperimentale il 22 giugno 2025 ad Austin con una flotta limitata di Model Y dotate della ultima versione del sistema di guida autonoma Full Self-Driving (FSD). Il nucleo del progetto è rappresentato dal software FSD, sviluppato internamente da Tesla come evoluzione del sistema Autopilot. Il FSD consente al veicolo di eseguire autonomamente le principali funzioni di guida (accelerazione, frenata, sterzata, sorpasso e gestione degli incroci) sulla base di un'architettura vision-based, ovvero fondata esclusivamente sulla percezione visiva. Invece di affidarsi a sensori lidar, mappe tridimensionali ad alta definizione e ridondanza sensoriale, Tesla utilizza un sistema composto da otto telecamere ottiche ad alta risoluzione e da un computer di bordo ad alte prestazioni, il Tesla FSD Computer, capace di elaborare centinaia di trilioni di operazioni al secondo. Il software impiega reti neurali

profonde e algoritmi di machine learning per interpretare in tempo reale l'ambiente circostante, riconoscendo veicoli, pedoni, segnali e semafori, e pianificando le manovre in modo predittivo. La decisione di adottare un approccio interamente visivo mira a emulare il comportamento umano, considerando la percezione visiva come elemento sufficiente per una guida sicura, se supportata da adeguata capacità di calcolo e da un addestramento su larga scala.

Un elemento distintivo della tecnologia Tesla è la rete neurale distribuita che collega tutti i veicoli della casa. Ogni auto raccoglie continuamente dati di guida che vengono anonimizzati e inviati ai server centrali di Tesla, dove contribuiscono ad addestrare ulteriormente gli algoritmi del FSD. Gli aggiornamenti vengono poi rilasciati over-the-air, permettendo all'intera flotta di migliorare in modo progressivo e simultaneo. Questo sistema di apprendimento collettivo costituisce uno dei principali vantaggi competitivi di Tesla rispetto ad altri operatori del settore, poiché consente un'evoluzione continua delle capacità di guida autonoma a partire dall'esperienza reale di milioni di veicoli in circolazione. Tesla, parallelamente allo sviluppo software, ha presentato nel 2025 il Tesla Cybercab, il primo veicolo dell'azienda progettato espressamente per il servizio Robotaxi. Derivato dalla piattaforma strutturale del Cybertruck, il Cybercab è privo di volante e pedali, e presenta un abitacolo modulare ottimizzato per il trasporto urbano condiviso. La sua struttura in acciaio priva di lunotto posteriore e l'assenza di comandi manuali sottolineano la piena integrazione con il sistema FSD e anticipano la visione di una mobilità completamente autonoma, in cui



Tesla Cybercab
Fonte: www.tesla.com - gallery

Nome: Tesla Robotaxi

Azienda: Tesla

Fondazione: 2003

Sede: Austin, Texas, USA

Sito: tesla.com

Servizio di ride hailing: dal 22 giugno 2025 il servizio Tesla Robotaxi è operativo nella città di Austin, Texas, sebbene in forma sperimentale e con accesso limitato

l'intervento umano non è più necessario. Il livello di autonomia del sistema FSD, secondo la classificazione SAE (Society of Automotive Engineers), si colloca attualmente tra il livello 2 e il livello 3: il veicolo è in grado di gestire in autonomia la maggior parte delle funzioni di guida ma richiede ancora la possibilità di supervisione o intervento umano ove richiesto o in scenari particolarmente complessi (SAE, 2024; NHTSA, 2025). Tesla mira a raggiungere nel medio termine il livello 4, che prevede un funzionamento completamente autonomo in aree specifiche e condizioni operative predefinite. Un ulteriore aspetto della visione di Elon Musk consiste nella creazione di una rete globale di robotaxi in cui i proprietari di veicoli Tesla possano rendere disponibile la propria auto quando non utilizzata, generando un reddito passivo e contribuendo all'espansione della flotta. In questo modello di peer-to-peer mobility, ogni veicolo diventa parte di un ecosistema connesso e intelligente, capace di operare in modo coordinato attraverso aggiornamenti continui e gestione software centralizzata [141] [142] [143].

Tomove

CAPITOLO

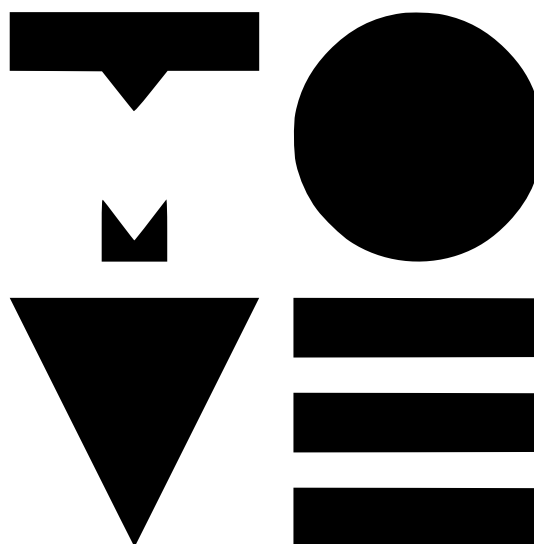
03



3.1 La Startup

ToMove S.r.l. è una startup innovativa italiana fondata a Torino nel 2021 dal designer industriale Andrea Strippoli, con l'obiettivo di trasformare la mobilità privata e urbana rendendola più efficiente, tecnologicamente avanzata e sostenibile. L'azienda si distingue per una visione integrata che combina design, ingegneria e know-how Made in Italy con una forte attenzione agli aspetti ambientali e sociali, proponendo soluzioni in grado di rispondere in modo concreto alle sfide poste dalla mobilità contemporanea. Il primo risultato tangibile di questa visione è TOM, uno scooter elettrico pieghevole concepito per risolvere le criticità della micromobilità e della mobilità dell'ultimo miglio.

Caratterizzato da un design che coniuga funzionalità e cura estetica, TOM impiega materiali leggeri e sostenibili, come bambù e alluminio, scelti per la loro resistenza e il ridotto impatto ambientale. La struttura pieghevole consente un facile trasporto del veicolo su treni, autobus o automobili, favorendo l'intermodalità e rendendolo una soluzione pratica per l'uso quotidiano. Un ruolo determinante nello sviluppo del progetto è stato svolto dalla collaborazione con Reinova, azienda specializzata in powertrain elettrici, che ha contribuito alla progettazione e validazione del sistema di propulsione. Tale partnership ha consentito a ToMove di consolidare le proprie competenze ingegneristiche, costituendo la base per l'avvio di progetti tecnologicamente più ambiziosi. Tra questi si colloca TOC, un veicolo a guida autonoma di livello SAE 4 interamente sviluppato in Italia. Esso non è concepito come un prodotto



destinato alla vendita, bensì come una piattaforma di ricerca e sviluppo dedicata al perfezionamento del software di guida autonoma proprietario, considerato il nucleo tecnologico e il principale asset competitivo dell'azienda. Attraverso TOC, ToMove sperimenta e valida algoritmi di percezione, controllo e decision-making basati su intelligenza artificiale, con l'obiettivo di incrementare la sicurezza, l'affidabilità e l'efficienza dei propri sistemi autonomi. Questa fase di sviluppo consente di integrare progressivamente hardware, sensori e piattaforme digitali in un unico ecosistema di mobilità avanzata. Parallelamente alle attività di ricerca e sviluppo interne, ToMove ha avviato una partnership commerciale con Tazzari Group, impresa italiana con una lunga esperienza nella produzione di veicoli elettrici leggeri. L'accordo prevede l'utilizzo del modello Tazzari Zero Max, equipaggiato con il sistema di guida autonoma proprietario sviluppato da ToMove. A partire dal prossimo anno, tale veicolo sarà impiegato per l'avvio di

un servizio di mobilità condivisa privo di conducente, la cui prima sperimentazione si svolgerà all'interno di un campus sportivo in Svizzera. Questo contesto, privato e controllato, rappresenta l'ambiente ideale per testare sul campo la tecnologia autonoma e raccogliere dati operativi utili al suo perfezionamento. La strategia aziendale si concentra sull'offerta di servizi di mobilità autonoma destinati a grandi spazi privati, quali campus universitari, resort, poli industriali, complessi aziendali e aree logistiche. Questi contesti, caratterizzati da un'elevata prevedibilità dei flussi di spostamento e da infrastrutture facilmente gestibili, costituiscono un terreno ottimale per l'introduzione di soluzioni di trasporto autonomo sicure, sostenibili e personalizzabili. Il modello proposto da ToMove mira a fornire servizi di spostamento door-to-door o ride-hailing interno, garantendo efficienza, riduzione dei costi gestionali e miglioramento dell'esperienza di mobilità all'interno di tali aree. Sebbene l'attività dell'azienda sia attualmente focalizzata sugli spazi privati e semi-controllati, non si esclude, in una prospettiva di medio-lungo termine, la possibilità di estendere il modello anche a contesti pubblici, qualora il quadro normativo e tecnologico lo consenta. Le attività di ricerca, sperimentazione e validazione attualmente in corso rappresentano quindi la base per la costruzione di un ecosistema di mobilità autonoma flessibile, sicuro e integrato, capace di adattarsi a diversi scenari e contribuire, nel tempo, alla transizione verso forme di trasporto tecnologicamente avanzate, sicure, sostenibili e interconnesse.

Mission

Offrire soluzioni integrate per una mobilità urbana più efficiente, accessibile e tecnologicamente avanzata, nel rispetto dell'ambiente.

Vision

Sviluppare un ecosistema di mobilità caratterizzato da un elevato grado di automazione, specificamente progettato per rispondere in maniera dinamica e adattiva alle esigenze operative e infrastrutturali delle Smart Cities.

3.2 I principali partner



HB4 (sviluppo veicolo e supply chain):

assume un ruolo di governance centrale e strategica all'interno del progetto. La società è responsabile della pianificazione strategica complessiva, del coordinamento operativo e della supervisione diretta della supply chain. Sfruttando la sua consolidata esperienza nella gestione di progetti complessi nel settore automotive, HB4 assicura l'integrazione armonica delle attività svolte dai diversi partner tecnologici e manifatturieri. Questo approccio sistemico è essenziale per garantire la continuità tra le fasi di progettazione, sviluppo e produzione, e per assicurare il rigoroso rispetto degli standard qualitativi e delle tempistiche di time-to-market, riducendo significativamente i rischi e le inefficienze operative [144].



Casalini (produzione del veicolo TOC):

azienda incaricata della realizzazione fisica del veicolo autonomo TOC. L'azienda detiene la responsabilità per la costruzione della struttura portante e l'assemblaggio dei componenti principali, garantendo l'affidabilità del mezzo, elevati standard qualitativi e la stretta conformità alle normative vigenti nel settore dei veicoli leggeri e a guida autonoma. Sfruttando la sua consolidata esperienza nella produzione di microcar, Casalini svolge una funzione strategica nel tradurre il progetto concettuale in un prodotto industrialmente realizzabile, facilitando il processo di ricerca e sviluppo per la realizzazione e il collaudo del software di guida autonomo proprietario di ToMove [145].



Reinova (powertrain elettrico, testing e validazione):

contribuisce allo sviluppo del powertrain elettrico e alle attività di testing e validazione dei veicoli. Il partner si occupa di verificare le prestazioni, l'affidabilità e la sicurezza dei sistemi di propulsione, assicurando la conformità agli standard tecnici e normativi richiesti per la mobilità autonoma. Svolge un ruolo cruciale nel garantirne un funzionamento efficiente e sicuro, costituendo un elemento fondamentale nello sviluppo di veicoli così tecnologicamente avanzati [146].



Reitech (cybersecurity):

si occupa della definizione e implementazione delle strategie di cybersecurity necessarie a garantire la protezione dei sistemi digitali dei veicoli. L'azienda sviluppa soluzioni avanzate per salvaguardare l'integrità dei dati e la sicurezza delle comunicazioni tra i veicoli autonomi e l'infrastruttura esterna, prevenendo potenziali minacce informatiche e intrusioni non autorizzate. Le misure di sicurezza integrate riguardano sia i sistemi di bordo sia le reti di interconnessione, assicurando un elevato livello di resilienza e continuità operativa. Il contributo di Reitech è quindi determinante per garantire la sicurezza informatica e la protezione dell'ecosistema digitale su cui si basa il funzionamento di guida autonoma [147].



Reply (core software e coding):

è il partner incaricato dello sviluppo del core software e delle architetture digitali, fornendo la base tecnologica necessaria al funzionamento autonomo e integrato del sistema. L'azienda progetta e implementa i moduli software che coordinano i sottosistemi dei veicoli, assicurandone affidabilità, sicurezza operativa e interoperabilità. Grazie alla grande esperienza nell'innovazione digitale, Reply, contribuisce alla realizzazione di una piattaforma di guida scalabile e modulare, concepita per essere integrata su mezzi compatibili di terze parti, in ottica B2B. Il suo contributo è quindi determinante non solo per il corretto funzionamento del sistema, ma anche per l'espansione futura della tecnologia verso un diffuso ecosistema di mobilità autonomo e interconnesso [148].



Technocad (high definition software e sistemi di percezione):

responsabile dello sviluppo dei sistemi di mappatura e percezione ad alta definizione. L'azienda fornisce soluzioni avanzate che consentono ai veicoli di acquisire e interpretare con precisione l'ambiente circostante, supportando la localizzazione, la navigazione e il processo decisionale autonomo. Grazie alla capacità di elaborare dati ad alta risoluzione in tempo reale e a una sofisticata rete di sensori, Technocad permette al sistema di riconoscere ostacoli, pedoni e altri veicoli, garantendo sicurezza e affidabilità operativa. Il contributo di Technocad risulta essenziale per assicurare che i veicoli possano operare efficacemente in autonomia in contesti diversi, dai luoghi privati e a basso traffico ai complessi ambienti urbani delle città moderne [149].

TAZZARI EV

Tazzari Group (produzione del veicolo Zero Max e powertrain elettrico):

azienda incaricata della fornitura dei veicoli elettrici destinati all'integrazione del sistema di guida autonoma proprietario. Con sede a Imola e una consolidata esperienza nel settore della mobilità elettrica leggera, Tazzari si distingue per la capacità di progettare e produrre veicoli ad alte prestazioni caratterizzati da elevata efficienza energetica, affidabilità costruttiva e design funzionale. L'azienda, che ha da poco stretto una partnership commerciale con ToMove, mette a disposizione il modello Tazzari Zero Max, selezionato per le sue qualità di modularità, leggerezza e solidità meccanica, che lo rendono una piattaforma ideale per l'integrazione dei sistemi di percezione, controllo e propulsione autonoma sviluppati dalla startup torinese. Il contributo di Tazzari consente a ToMove di disporre di una base veicolare già collaudata e conforme agli standard europei di sicurezza e qualità, riducendo significativamente i tempi di sviluppo e i costi di industrializzazione. Tale sinergia favorisce la concentrazione delle risorse aziendali sul perfezionamento del software di guida autonoma, cuore tecnologico e competitivo del progetto [150].

3.3 Il veicolo TOC

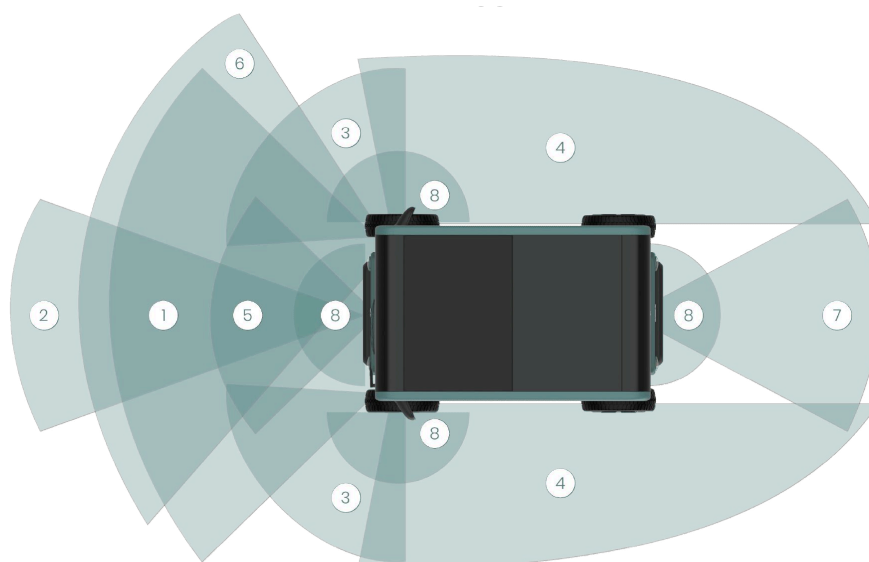
La collaborazione tra ToMove e i propri partner commerciali, in particolare Casalini, ha portato allo sviluppo di TOC, un veicolo autonomo di livello SAE 4 a propulsione elettrica. Presenta un abitacolo modulare progettato per ospitare due passeggeri, uno scompartimento destinato al trasporto di bagagli o ad applicazioni logistiche di ultimo miglio, e integra telecamere e sistemi di monitoraggio finalizzati alla sicurezza dell'ambiente operativo circostante. Il progetto si caratterizza per l'adozione di principi di modularità e simmetria costruttiva, che consentono l'ottimizzazione dei costi produttivi e la possibilità di adattamento a diverse esigenze, sia di tipo produttivo sia logistico. Il veicolo è equipaggiato con un sistema ridondante per la percezione, il monitoraggio e il controllo, comprendente accelerometro, giroscopio, GPS differenziale, videocamere, sensori a ultrasuoni e sensori Lidar, il tutto implementato tramite algoritmi di intelligenza artificiale, fusione sensoriale e machine learning, funzionali a garantire la guida autonoma, la sicurezza e l'efficienza operativa. Il veicolo rientra nella categoria L7e secondo la classificazione definita dal Regolamento (UE) n. 168/2013 [151]. Un quadriciclo leggero con dimensioni di 2.300 mm x 1.500 mm x 1.760 mm e con massa a vuoto pari a 450 Kg (circa 600 Kg considerando anche le batterie) la cui potenza massima netta rispetta il limite di categoria fissato a 15 Kw, raggiungendo una velocità massima di 90 Km/h. L'autonomia dichiarata è di circa 200 km. Inoltre, TOC, essendo alimentato completamente da batterie

ricaricabili e privo di emissioni a livello locale, appartiene alla categoria tecnologica BEV (Battery Electric Vehicles) e funzionale/descrittiva LEV (può significare Low Emission Vehicle, ossia veicolo a basse emissioni ma in Europa nel contesto della mobilità urbana indica più spesso Light Electric Vehicle, ossia veicolo elettrico leggero) [152] [153]. Nel contesto della mobilità e della micromobilità questa configurazione conferisce al veicolo una chiara connotazione sostenibile, promuovendo la riduzione delle emissioni, della congestione del traffico e facilitandone l'integrazione gestionale nei sistemi di trasporto intermodale e autonomo di nuova generazione. Attualmente (ottobre 2025), TOC è

impiegato esclusivamente come piattaforma sperimentale per la ricerca, la validazione e il continuo perfezionamento del software di guida autonoma proprietario sviluppato da ToMove. Tale attività si svolge in aree private italiane e nel pieno rispetto dellanormativa vigente. L'obiettivo principale del progetto è l'ottimizzazione e la messa a punto del sistema tecnologico che, a partire dal 2026, troverà applicazione commerciale su piattaforme veicolari Tazzari Zero Max e permetterà all'azienda di offrire il proprio servizio di mobilità autonomo in aree private di ampia estensione.

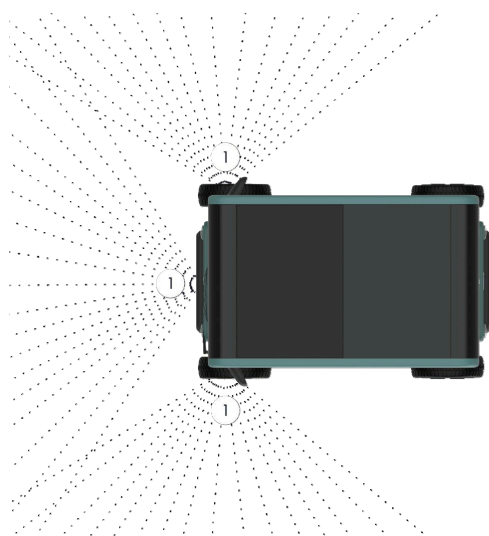
Prototipo del veicolo TOC realizzato da ToMove in collaborazione con le aziende partner



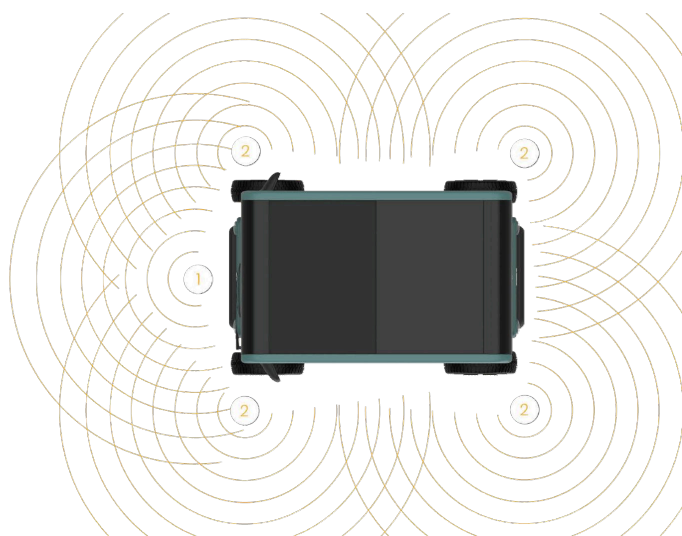


Sistema di telecamere del veicolo TOC

Sistema di sensori lidar del veicolo TOC



Sistema di sensori radar del veicolo TOC



3.4 Il veicolo Tazzari Zeromax

In previsione dell'espansione commerciale programmata per il 2026, ToMove ha da poco siglato una partnership strategica con Tazzari Group, storica azienda imolese e punto di riferimento europeo nella produzione di veicoli elettrici leggeri. L'intesa prevede la fornitura del modello Zero Max, destinato a costituire la piattaforma veicolare per l'integrazione del sistema di guida autonoma proprietario sviluppato dalla startup torinese. Tale veicolo costituirà la base tecnologica del futuro servizio di mobilità elettrica condivisa e autonoma, progettato per operare all'interno di ambienti privati di ampia estensione, con una prima implementazione prevista presso il Centro Sportivo Nazionale della Gioventù di Tenero-Contra, in Svizzera, cui seguirà una progressiva diffusione in ulteriori contesti controllati. Il veicolo realizzato da Tazzari si presenta come una piattaforma particolarmente adatta all'integrazione di sistemi di guida autonoma, grazie alla sua architettura modulare, compatta, altamente efficiente e completamente elettrica. Appartenente alla categoria dei quadricicli pesanti (L7e), il veicolo è costruito su una struttura monoscocca in alluminio, che ne garantisce leggerezza, rigidità e sicurezza, contribuendo inoltre al miglioramento dell'efficienza energetica complessiva. L'abitacolo, configurato per due passeggeri, è affiancato da un vano di carico posteriore con capacità variabile tra 240 e 400 litri, a seconda dell'allestimento, rendendo il mezzo estremamente versatile e adatto sia al trasporto di persone sia a impieghi logistici di breve

raggio. Il sistema di propulsione elettrico si basa su batterie agli ioni di litio con tecnologia Lithium-Ferro-Phosphate (Li-FP), gestite da un Battery Management System (BMS) proprietario che garantisce prestazioni costanti e un'elevata durabilità, con una vita utile dichiarata fino a 3.000 cicli di ricarica. Il powertrain, con una potenza di 15 kW, consente di raggiungere una velocità massima di circa 80 km/h, mentre l'autonomia, pari a circa 215 km, assicura un funzionamento prolungato in contesti urbani o privati, con costi operativi contenuti e assenza totale di emissioni dirette. Le dimensioni compatte (2.129 mm di lunghezza, 1.200 mm di larghezza e 1.668 mm di altezza) conferiscono al veicolo un'elevata maneggevolezza, rendendolo particolarmente adatto alla circolazione in spazi limitati, altamente affollati e ad accesso regolamentato. Sotto il profilo tecnico e normativo condivide con il prototipo TOC, realizzato in collaborazione con Casalini, la classificazione L7e, l'appartenenza alle categorie BEV e LEV, rispondendo ai più recenti standard europei in termini di sicurezza, efficienza e sostenibilità. L'adozione di questa piattaforma veicolare consente a ToMove di concentrare verticalmente le proprie risorse sullo sviluppo, la validazione e il perfezionamento del software di guida autonoma, valorizzando al contempo la propria proposta di mobilità grazie alla solida esperienza industriale e produttiva di Tazzari Group [154].

3.4 Il veicolo Tazzari Zeromax



Tazzari Zeromax
Fonte: tazzari-zero.com - La Gamma Tazzari EV – Tazzari Zeromax

3.5 Il servizio MaaS di ToMove

Il servizio MaaS di ToMove si configura come un sistema ride hailing door-to-door (con fermate vincolate al dominio, ad esempio all'interno di un campus o un centro ospedaliero), è fruibile attraverso l'applicazione mobile di ToMove, e utilizza il veicolo Zero Max equipaggiato con il sistema di guida autonoma proprietario, in grado di rispondere in maniera dinamica e personalizzata alle richieste di mobilità degli utenti. Grazie a sofisticati algoritmi di pianificazione e ottimizzazione dei percorsi, il veicolo calibra tempi di percorrenza ed efficienza energetica, perseguendo contemporaneamente l'obiettivo di servire il maggior numero possibile di utenti senza compromettere le prestazioni operative. Il servizio non è concepito per sostituire le reti di mobilità esistenti, ma per integrarsi in modo complementare all'interno della mobilità in ampi spazi privati che richiedono soluzioni avanzate per la gestione dei flussi interni. In tali contesti, il modello proposto da ToMove rappresenta un'alternativa tecnologicamente innovativa, organizzativamente efficiente e sostenibile, capace di migliorare la fruibilità e la connessione tra le diverse aree funzionali dell'area operativa. In una prospettiva di medio-lungo termine l'azienda non esclude una possibile estensione del servizio anche alla mobilità pubblica urbana, qualora l'evoluzione normativa e tecnologica lo renda possibile. L'approccio di ToMove contribuisce a promuovere un sistema di mobilità autonoma e a ridotto impatto, in grado di generare benefici ambientali ed economici attraverso la riduzione delle emissioni,

l'ottimizzazione dei flussi di trasporto e una gestione più razionale delle risorse, in linea con i principi e gli obiettivi condivisi di sostenibilità e mobilità intelligente.

3.6 Gli scenari di utilizzo

In assenza di un quadro normativo nazionale pienamente definito per la circolazione dei veicoli autonomi su strada pubblica, ToMove ha elaborato una strategia di introduzione e diffusione del proprio servizio basata sull'impiego in contesti privati e controllati. Questa scelta consente di avviare attività operative concrete, sperimentare la tecnologia in condizioni reali e consolidarne la maturità, operando nel completo rispetto delle normative vigenti. I primi scenari di utilizzo individuati comprendono aeroporti e basi militari, dove è necessario gestire spostamenti interni frequenti e programmabili, campus universitari e poli ospedalieri o di ricerca, caratterizzati da estensioni superficiali significative e da un flusso costante di persone. A questi si aggiungono resort, golf club e altre strutture ricettive, che possono beneficiare di un servizio di mobilità interna personalizzato e di alto livello, oltre ai porti civili e commerciali, in cui il veicolo può facilitare i collegamenti tra aree operative e terminal interni. In questi contesti, il veicolo autonomo potrà essere impiegato attraverso modelli di servizio door-to-door o di ride-hailing, offrendo spostamenti rapidi, puntuali e su richiesta all'interno di perimetri ben definiti. Questo approccio permette di sfruttare appieno le capacità di guida del veicolo e di mantenere un controllo efficace sulle infrastrutture e sulle condizioni

operative. L'obiettivo strategico di ToMove è quello di integrare il proprio servizio nei sistemi di mobilità esistenti in ambienti semi-chiusi e privati, secondo il paradigma MaaS. Il modello proposto, basato sull'impiego di robotaxi elettrici autonomi, mira ad ampliare la copertura territoriale, ridurre i tempi di attesa e migliorare la flessibilità e l'efficienza operativa interna di questi spazi.

- Aeroporti e basi militari: gli aeroporti e le basi militari rappresentano contesti caratterizzati da ampi spazi, percorsi pianificabili e flussi elevati di persone e materiali. L'adozione della guida autonoma in questi ambienti consente di ottimizzare gli spostamenti interni, riducendo i tempi di trasferimento tra terminal, parcheggi e aree operative. La natura controllata del contesto permette di testare in sicurezza le funzionalità del veicolo e di sperimentare modelli di servizio door-to-door o di ride-hailing interno, garantendo efficienza, puntualità e continuità operativa.
- Campus universitari e poli ospedalieri o di ricerca: campus universitari e i poli ospedalieri o di ricerca presentano solitamente estensioni significative e flussi costanti persone. L'impiego del veicolo autonomo in questi contesti facilita il collegamento tra edifici e strutture distribuite, supportando la mobilità interna e riducendo la necessità di spostamenti a piedi o con mezzi tradizionali. Il veicolo autonomo può essere utilizzato per servizi su richiesta, migliorando l'accessibilità e l'efficienza complessiva dei trasporti all'interno del perimetro del campus o della

struttura ospedaliera. A questa categoria appartiene il Centro Sportivo Nazionale della Gioventù di Tenero-Contra, in Svizzera, che rappresenterà il primo sito operativo ad ospitare, a partire dal 2026, il servizio di mobilità autonoma sviluppato da ToMove.

- Porti civili e commerciali: nei porti civili e commerciali può agevolare la connessione tra aree operative, terminal e zone di carico/scarico, migliorando la gestione dei flussi interni e riducendo i tempi di trasferimento. L'utilizzo di veicoli autonomi in contesti regolamentati e controllati consente di incrementare la sicurezza delle operazioni, minimizzare il rischio di congestione e ottimizzare le risorse logistiche.
- Resort, golf club e strutture ricettive: resort, golf club e altre strutture ricettive offrono un contesto ideale per l'impiego del veicolo di ToMove grazie a percorsi definiti e all'elevata qualità del servizio richiesta dagli utenti. Qui il mezzo può fornire mobilità interna personalizzata, trasferimenti tra aree di interesse e collegamenti tra strutture distinte, valorizzando l'esperienza dell'ospite e garantendo spostamenti sicuri e confortevoli. L'utilizzo in questi scenari consente anche di testare l'interazione con una diffusa platea di utenti non esperti di guida autonoma, migliorando l'usabilità e l'ergonomia del sistema.

3.7 Gli stakeholders



ToMove S.r.l.:

ToMove S.r.l. rappresenta il centro direttivo, organizzativo e decisionale dell'intero ecosistema aziendale. In qualità di startup innovativa, essa definisce la strategia di sviluppo, coordina i partner industriali e tecnologici e si occupa dell'integrazione delle diverse competenze necessarie alla realizzazione del servizio di mobilità autonoma. Il ruolo di ToMove è quindi quello di garante della coerenza complessiva del sistema, assicurando l'allineamento tra visione imprenditoriale, innovazione tecnologica e obiettivi di mercato.



Partner produttivi e tecnologici:

I partner produttivi e tecnologici costituiscono la base operativa e infrastrutturale del progetto industriale di ToMove. Essi si occupano della progettazione, produzione, testing e integrazione dei sistemi meccanici, elettronici e digitali che consentono l'erogazione del servizio. Il loro contributo è essenziale per tradurre la visione aziendale in soluzioni concrete, affidabili e scalabili. La collaborazione con questi attori garantisce l'eccellenza tecnologica, la qualità costruttiva e la sicurezza operativa dei veicoli autonomi e delle piattaforme digitali di gestione.



Investitori:

Gli investitori, pubblici e privati, svolgono un ruolo determinante nel garantire la stabilità economico-finanziaria e la crescita sostenibile dell'impresa. Attraverso il sostegno in capitale e l'apporto di competenze strategiche, essi consentono a ToMove di affrontare le fasi di ricerca, sviluppo, sperimentazione e industrializzazione del servizio. Gli investitori sono, inoltre, attori di legittimazione del progetto, poiché la loro partecipazione testimonia la fiducia nel potenziale innovativo e nel valore economico del modello di mobilità proposto.



Enti regolatori:

Gli enti regolatori nazionali ed europei sono responsabili della definizione del quadro normativo che disciplina la circolazione e la sicurezza dei veicoli autonomi. Essi rappresentano interlocutori fondamentali per l'ottenimento delle certificazioni, delle autorizzazioni e per la futura espansione del servizio in contesti pubblici. Un rapporto collaborativo con tali istituzioni è cruciale per garantire la conformità e la credibilità del modello di mobilità proposto.



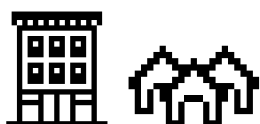
Compagnie assicurative:

le compagnie assicurative costituiscono un attore strategico per la sostenibilità del servizio di mobilità autonoma. Esse sono chiamate a sviluppare modelli assicurativi e di gestione del rischio specifici per la guida autonoma, definendo nuove forme di copertura e responsabilità. La collaborazione con questi soggetti consente di costruire un ecosistema sicuro e affidabile, favorendo la fiducia degli utenti e la sostenibilità economica del modello operativo. La definizione di politiche assicurative dedicate rappresenta, quindi, un fattore abilitante per l'adozione su larga scala del servizio.



Fleet Management

il fleet management comprende l'insieme delle attività di pianificazione, manutenzione e ottimizzazione delle flotte di veicoli autonomi. Questa funzione è essenziale per garantire la continuità del servizio, l'efficienza operativa e la sostenibilità economica. Una gestione efficace delle flotte consente di minimizzare i tempi di inattività, ottimizzare la distribuzione dei veicoli e assicurare livelli costanti di qualità e affidabilità, elementi fondamentali per la competitività del servizio di robotaxi.



Infrastrutture pubbliche e private:

i gestori di infrastrutture pubbliche e private rappresentano attori fondamentali per la fase di sperimentazione e diffusione del servizio. La collaborazione con aeroporti, porti, campus, poli industriali e complessi ricettivi permette di disporre di ambienti controllati in cui testare e ottimizzare la tecnologia autonoma. Inoltre, tali soggetti facilitano l'adattamento delle infrastrutture esistenti, fisiche e digitali, alle esigenze operative del servizio, contribuendo a creare un contesto favorevole all'integrazione futura nei sistemi di mobilità privata e urbana.



Fleet Control:

il fleet control rappresenta la componente di supervisione e monitoraggio in tempo reale delle flotte autonome. Attraverso sistemi digitali avanzati, questa funzione assicura la gestione degli eventi operativi, il controllo delle prestazioni dei veicoli e l'intervento tempestivo in caso di emergenze o anomalie. Il suo ruolo è cruciale per garantire la sicurezza e la regolarità del servizio, oltre a costituire una condizione indispensabile per la fiducia degli utenti e la conformità agli standard di sicurezza.

MaaS

Piattaforme Mobility as a Service:

le piattaforme MaaS costituiscono partner strategici per l'integrazione del servizio di mobilità autonoma all'interno dei sistemi di trasporto esistenti. Esse permettono di connettere diverse modalità di spostamento (pubblico, privato, condiviso, autonomo, ...) in un'unica interfaccia digitale, offrendo agli utenti un'esperienza di viaggio fluida e intermodale. La collaborazione con gli operatori MaaS consente a ToMove di ampliare l'accessibilità e la capillarità del proprio servizio, contribuendo alla costruzione di un modello di mobilità realmente integrata.



Public education e comunicazione:

attività di informazione, formazione e comunicazione rivestono un ruolo determinante per promuovere l'accettazione sociale della mobilità autonoma. Attraverso programmi educativi, campagne divulgative e iniziative istituzionali, è possibile accrescere la consapevolezza dei cittadini, ridurre la diffidenza verso le tecnologie emergenti e favorire un atteggiamento positivo nei confronti dei servizi di nuova generazione. Un'efficace strategia di comunicazione contribuisce, inoltre, a rafforzare la reputazione aziendale e a consolidare la fiducia pubblica nel servizio.

B2B

Clienti B2B:

Imprese, enti e organizzazioni che possono adottare o integrare la tecnologia di ToMove nelle proprie attività operative, sia tramite l'erogazione di servizi di mobilità autonoma (ad esempio un campus con un sistema di trasporto interno), sia attraverso l'integrazione del sistema di guida autonoma su veicoli propri o di terzi. Questi soggetti rappresentano un canale strategico per la diffusione e la validazione della tecnologia in contesti reali, favorendo partnership durature e la creazione di un ecosistema di cooperazione industriale. L'adozione del modello da parte dei clienti B2B è inoltre essenziale per garantire stabilità economica e credibilità tecnologica, consolidando il ruolo di ToMove come fornitore di soluzioni avanzate per la mobilità intelligente.



Utenti:

gli utenti finali del servizio di robotaxi autonomo, i destinatari diretti dell'offerta di mobilità sviluppata da ToMove. Le loro aspettative, in termini di sicurezza, comfort, accessibilità e affidabilità, influenzano profondamente la progettazione dell'esperienza d'uso e il posizionamento del servizio sul mercato. La fiducia e la soddisfazione degli utenti rappresentano quindi indicatori centrali del successo commerciale e della legittimazione sociale della mobilità autonoma [155].



ToMove: Attore principale con massimo interesse e coinvolgimento



Partner produttivi e tecnologici: Partner strategici chiave



Investitori: Alta influenza e interesse selettivo



Enti regolatori: Attori istituzionali critici



Compagnie assicurative: Attori di supporto tecnico-legale



Infrastrutture pubbliche: Attori abilitanti secondari



Infrastrutture private: Attori chiave per l'adozione e l'implementazione



Fleet management: Operatori tattici centrali nella gestione del servizio



Fleet control: Supporto tecnico e di monitoraggio

MaaS

Piattaforme MaaS: Partner tecnologici integrativi



Educazione pubblica e comunicazione: Attori che possono influenzare la percezione pubblica

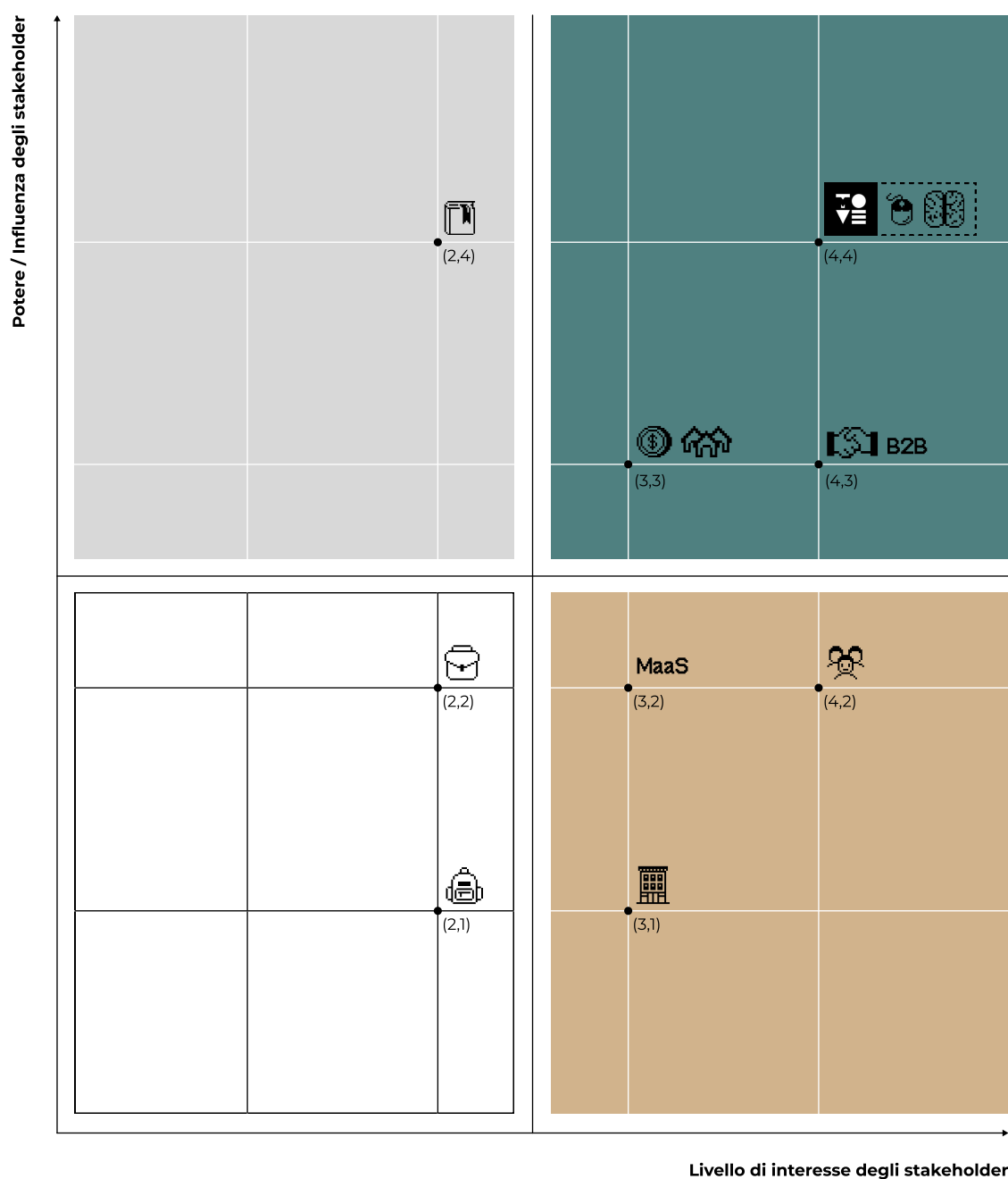
B2B

Clienti B2B: Target commerciale strategico



Utenti: Beneficiari diretti con alta rilevanza sull'adozione

STAKEHOLDERS MATRIX



Stakeholder di contesto:

 Enti regolatori

Questi attori dispongono di notevole influenza, ma mostrano un interesse limitato. La gestione prevede una comunicazione selettiva e attenta agli aspetti strategici, così da mantenerli favorevoli e prevenire eventuali opposizioni qualora il loro livello di interesse dovesse variare in futuro.

Stakeholder chiave:

 ToMove

 Fleet Management

 Fleet control

 Partner produttivi e tecnologici

 B2B Clienti B2B

 Investitori

 Infrastrutture private

Stakeholder con elevato potere e forte interesse verso il progetto. Vanno coinvolti attivamente con comunicazioni frequenti e partecipazione ai processi decisionali, poiché il loro supporto è determinante per il successo dell'iniziativa.

Stakeholder marginali:

 Compagnie assicurative

 Public education

Questi soggetti esercitano una minima influenza e presentano un ridotto coinvolgimento. Non richiedono interventi gestionali intensivi, ma un monitoraggio occasionale che consenta di rilevare eventuali cambiamenti nel loro ruolo o interesse.

Stakeholder consultazione attiva:

 Utenti

 MaaS Piattaforme MaaS

 Infrastrutture pubbliche

Si tratta di stakeholder che, pur non avendo potere sulle decisioni subiranno direttamente gli effetti del progetto. È fondamentale garantirne un'adeguata informazione e ascoltare i loro bisogni, al fine di favorire consenso e supporto nelle fasi di progettazione e implementazione.

ANALISI

METAPRO

GETTU

ALE

CAPITOLO

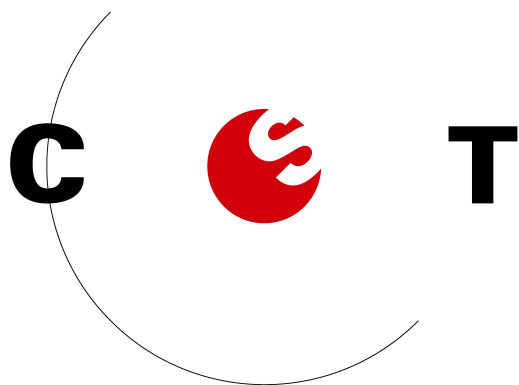
04

04 ANALISI METAPROGETTUALE

4.1 Centro sportivo nazionale della gioventù Tenero CST

Evoluzione storica e istituzionale:

Il Centro Sportivo Nazionale della Gioventù di Tenero (CST), situato a Tenero-Contra nel Canton Ticino, rappresenta una delle più importanti infrastrutture sportive e formative della Confederazione Svizzera, costituendo un punto di riferimento strategico per la promozione dello sport, della salute e della formazione giovanile. Il centro, gestito dall'Ufficio federale dello sport (UFSP/BASPO), si configura come un campus federale polifunzionale, progettato per offrire spazi dedicati all'allenamento, alla formazione, alla ricerca applicata e alla diffusione di pratiche sportive in un contesto funzionalmente integrato e strutturalmente sostenibile. Esso non fornisce esclusivamente impianti sportivi, ma promuove attivamente un modello educativo e sociale basato sui valori di inclusione e benessere.



L'evoluzione del CST rappresenta un esempio rilevante di riconversione strategica e valorizzazione di infrastrutture pubbliche a fini sociali, formativi e sportivi. Le sue origini risalgono al 1921, quando l'area venne destinata a ospitare uno stabilimento militare di convalescenza denominato La Cura, istituito e gestito dal Dono Nazionale Svizzero (DNS). Il centro nacque in risposta alle necessità medico-sanitarie e sociali del primo dopoguerra, con l'obiettivo di favorire la riabilitazione fisica, psicologica e professionale dei soldati colpiti da malattie o traumi di guerra. In questa prima fase, il complesso combinava attività sanitarie e agricole, configurandosi come una struttura all'avanguardia per il reinserimento sociale dei militari convalescenti. Negli anni successivi, la struttura visse un rapido sviluppo: tra il 1922 e il 1933 accolse 1396 pazienti, con una media di 116 all'anno, consolidandosi come punto di riferimento per la riabilitazione nella Svizzera meridionale. Tuttavia, a partire dagli anni Trenta, le degenze cominciarono a diminuire a causa del progressivo riassorbimento delle conseguenze sanitarie della Prima guerra mondiale e della nascita di altre strutture analoghe sul territorio nazionale, come il sanatorio di Montana nel Vallese. Per far fronte alla riduzione della domanda, la direzione decise di ampliare lo spettro delle patologie trattate e di investire nel potenziamento delle strutture mediche. Tale scelta si rivelò strategica: con lo scoppio della Seconda guerra mondiale, la richiesta di assistenza medica tornò a crescere rapidamente e, grazie ai miglioramenti apportati nel decennio precedente, nel 1944 si registrò un picco di 842 ricoveri.



Soldati svizzeri debilitati dalla prima guerra mondiale in cura presso l'istituto agricolo e di cura militare di Tenero
Fonte: www.cstenero.ch - Agli albori di una storia di successo

Nel dopoguerra, il calo dei ricoveri e l'aumento dei costi gestionali misero a dura prova la sostenibilità economica del centro, che nel 1951 fu rinominato Militärheilstätte Tenero (Stabilimento militare di cura/Sanatorio) nel tentativo di rilanciarne l'attività. Nonostante gli sforzi, il modello sanitario divenne progressivamente insostenibile e, all'inizio degli anni Sessanta, il DNS decise di porre la struttura in liquidazione. La progressiva dismissione dell'attività medica aprì la strada a una nuova fase di riflessione sul futuro utilizzo dell'area, favorita anche dalla crescente attenzione federale verso la promozione dello sport e dell'attività fisica giovanile.

La trasformazione del sito in centro sportivo prese forma a partire dal 1962, con l'organizzazione del primo campo estivo per 45 giovani, che dimostrò la piena idoneità logistica e ambientale del luogo alle attività sportive. Il successo dell'iniziativa portò nel 1963 alla stipula di un accordo tra il DNS e la Scuola Federale dello Sport di Macolin (SFSM, oggi UFSPO), che segnò l'avvio ufficiale della riconversione funzionale dell'area. Questo partenariato rappresentò il punto di svolta: l'antico sanatorio fu progressivamente trasformato in un centro federale dedicato alla formazione sportiva, alla promozione dell'attività fisica e del benessere personale.



Ragazzi che giocano a ping pong presso il nascente centro sportivo di Tenero, 1963
Fonte: www.cstenero.ch - Una guida storica

L'istituzione formale del CST avvenne nel 1972, quando il Consiglio federale svizzero approvò il piano nazionale volto a sviluppare la pratica sportiva e la formazione fisica su tutto il territorio della Confederazione. L'iniziativa federale, che prevedeva l'abolizione dell'istruzione preparatoria in favore del programma Giovani+Sport, portò alla creazione di un'infrastruttura sportiva moderna per ciascuna area linguistica, destinata a sostenere la crescita dello sport giovanile e fungere da polo di preparazione per le federazioni nazionali. Il Centro di Tenero venne così designato come riferimento per la Svizzera italiana, in parallelo ai centri federali di Magglingen (Canton Berna)

per la Svizzera tedesca e Andermatt (Canton Uri) per l'area alpina. La gestione fu affidata all'allora Ufficio federale dell'educazione fisica e dello sport, oggi Ufficio federale dello sport (UFSP/BASPO).

A partire dagli anni Settanta, il complesso ha conosciuto una crescita costante, evolvendosi da semplice centro di allenamento a campus sportivo multifunzionale di rilevanza nazionale. Le progressive fasi di ampliamento hanno portato alla realizzazione di nuove infrastrutture, tra cui palestre, campi da gioco, edifici residenziali, spazi didattici e strutture logistiche, rendendo il CST un ambiente formativo completo e



Lezioni di vela sul Lago Maggiore organizzate dal centro sportivo
Fonte: www.cstenero.ch - Una guida storica

interdisciplinare. Il trasferimento definitivo della gestione all'UFSPÖ, avvenuto a fine anni Novanta, ha sancito la piena integrazione del centro nel sistema federale, conferendogli lo status di polo strategico per la promozione dello sport, della formazione e della salute pubblica. Oggi il CST rappresenta una struttura di eccellenza per la Svizzera italiana e per l'intero sistema sportivo elvetico, un modello di pianificazione pubblica capace di coniugare educazione, benessere e sostenibilità ambientale. La sua evoluzione testimonia la trasformazione di un ex sanatorio in un campus federale d'avanguardia, in cui sport, formazione e ricerca convivono in

un equilibrio funzionale che riflette la visione svizzera di sviluppo armonico delle infrastrutture per il benessere pubblico [156] [157] [158].

Contesto territoriale e caratteristiche geografiche:

Il centro è situato nel comune di Tenero-Contra, nel Canton Ticino, lungo la riva settentrionale del Lago Maggiore, in una zona pianeggiante che si estende per circa 30 ettari ad un'altitudine di 209 m/s.m. Il sito è caratterizzato da un microclima mite e da un elevato valore paesaggistico, condizioni che rendono l'area particolarmente idonea alle attività

sportive durante tutto l'anno, favorite anche dalla grande presenza di strutture coperte per sport indoor.

L'ubicazione geografica, al crocevia tra le regioni alpine e il bacino lacustre, conferisce al CST una posizione di valore strategico sia dal punto di vista logistico che ambientale.

Il centro è facilmente raggiungibile grazie alla stazione ferroviaria FFS di Tenero, situata a pochi minuti a piedi dall'ingresso principale e alla vicinanza con le arterie autostradali che collegano Bellinzona, Locarno e Lugano. La presenza di percorsi ciclabili e pedonali favorisce inoltre la mobilità sostenibile e rafforza il legame tra il campus e il tessuto urbano circostante [159] [160].

30 ettari

Estensione

209 m/sm

Altitudine



Centro sportivo nazionale della gioventù di Tenero CST
Fonte: www.cemea.ch - Centro sportivo nazionale della gioventù di Tenero

Struttura e organizzazione del campus:

Il Centro Sportivo Nazionale della Gioventù di Tenero (CST) si distingue per l'ampiezza e la qualità delle sue infrastrutture, che lo rendono uno dei poli sportivi e formativi più completi della Svizzera e si configura come un complesso campus sportivo federale polifunzionale, sviluppato secondo principi di efficienza funzionale, sostenibilità ambientale e integrazione territoriale e paesaggistica.

La pianificazione architettonica, promossa dall'Ufficio federale dello sport (UFSP) in collaborazione con l'Ufficio federale delle costruzioni e della logistica (UFCL), consente la coesistenza equilibrata di aree sportive, residenziali e formative volta a garantire la massima fruibilità degli spazi, offrendo un utilizzo continuativo durante tutto l'anno a studenti, scuole, federazioni e gruppi sportivi provenienti da tutto il Paese. L'area complessiva, estesa su circa 30 ettari, comprende palestre polivalenti, piste di atletica omologate, campi da calcio, rugby e hockey, oltre a spazi dedicati al tennis, al beach volley e alla ginnastica. La varietà e la distribuzione delle strutture consentono lo svolgimento simultaneo di molteplici attività senza interferenze operative e garantendo un'elevata efficienza logistica. Elemento distintivo del centro è il polo nautico, situato sulle rive del Lago Maggiore, ospita infrastrutture per nuoto, canottaggio, vela e kayak, dotate di pontili, depositi e spazi di supporto tecnico. Completano l'offerta un moderno centro fitness e riabilitativo, attrezzato per la preparazione atletica e il recupero funzionale, e un polo residenziale con una capacità di circa 1.000 posti letto, che nel 2024 ha registrato 151.677 pernottamenti distribuiti tra ostelli e

campeggio. Gli edifici sono integrati da mense (418.056 pasti serviti nel medesimo anno), sale comuni e aree di svago, favorendo la dimensione comunitaria del campus e l'autonomia gestionale del complesso.

Grazie alla sua flessibilità organizzativa, il CST è in grado di accogliere contemporaneamente eventi sportivi, programmi educativi e soggiorni formativi, mantenendo elevati standard qualitativi in termini di sicurezza e comfort. Nel 2024 il centro ha offerto 931 corsi registrando 38.519 partecipanti con alloggio (con un incremento costante nell'ultimo ventennio registrando un +88% rispetto al 2000), confermandosi un'infrastruttura di riferimento per la formazione e la pratica sportiva giovanile in Svizzera [16].

La rete interna di mobilità è organizzata per favorire una circolazione sostenibile e sicura: percorsi pedonali e ciclabili collegano i diversi poli, mentre i tracciati carrabili sono limitati ai mezzi di servizio. La presenza di viali alberati, ampie aree verdi e una struttura planimetrica ortogonale garantiscono una chiara leggibilità spaziale e un'elevata qualità ambientale, valorizzando la continuità tra paesaggio naturale e infrastruttura costruita.

Dal punto di vista tecnologico e impiantistico, gli edifici più recenti sono realizzati con materiali a basso impatto ambientale e integrano sistemi ad alta efficienza energetica, come impianti fotovoltaici, pompe di calore e sistemi di ventilazione controllata. Tali soluzioni, promosse dalle direttive federali in materia di sostenibilità edilizia, consentono di ridurre sensibilmente i consumi e le emissioni, migliorando la gestione e la qualità del patrimonio edilizio del campus. In sintesi, le infrastrutture del CST incarnano un

modello integrato di campus sportivo sostenibile, in cui architettura, funzionalità e valore educativo si fondono in un sistema coerente, capace di promuovere non solo la performance atletica ma anche la crescita personale e la coesione sociale [162] [163].

931 corsi

-2% rispetto al 2023

38.519 partecipanti

+7% rispetto al 2023

151.677 pernottamenti

+5% rispetto al 2023

418.056 pasti serviti

+5% rispetto al 2023

439.394 utilizzatori quotidiani

+4% rispetto al 2023

Formazione, ruolo sociale e territoriale:

Oltre alla dimensione sportiva, il Centro Sportivo Nazionale della Gioventù di Tenero svolge un ruolo centrale anche sul piano educativo e sociale, fungendo da strumento di formazione, aggregazione e promozione dei valori civici attraverso lo sport. Le attività proposte includono programmi di aggiornamento per docenti e tecnici, corsi per studenti e giovani atleti e stage federali finalizzati allo sviluppo delle competenze motorie, relazionali e organizzative. Parallelamente, vengono promossi progetti che incentivano la partecipazione giovanile, la collaborazione interregionale e una cultura sportiva inclusiva. Il centro si configura come punto di incontro tra le diverse realtà linguistiche e culturali svizzere, rafforzando dialogo interculturale e coesione sociale. Il CST non è solo un'infrastruttura sportiva, ma un luogo di formazione civica e scambio culturale, in cui lo sport diventa veicolo di integrazione e cooperazione. Sul piano territoriale esercita un impatto economico e istituzionale significativo per il Canton Ticino, valorizzando la regione dal punto di vista turistico e formativo e generando indotto nei servizi e nella ricettività. La collaborazione con scuole, università e amministrazioni locali consolida il legame con il territorio, favorendo una sinergia duratura tra sistema educativo, sportivo e istituzionale. In questa prospettiva, il CST può essere considerato un motore di sviluppo sociale e territoriale, capace di integrare dimensione sportiva, educativa e culturale e di assumere un ruolo di riferimento per la promozione della formazione e dello sport nella Svizzera italiana.

Resoconto annuale 2024
Fonte: www.cstenero.ch - I rapporti annuali

4.1 Centro sportivo nazionale della gioventù Tenero CST

Innovazione e sviluppo infrastrutturale:

Negli ultimi anni il CST è stato oggetto di un importante piano di rinnovamento infrastrutturale promosso dall'UFSPPO in collaborazione con l'UFCL. L'iniziativa mira a modernizzare le strutture esistenti, incrementarne la capacità operativa e migliorare la qualità complessiva dei servizi offerti. Il progetto di maggiore rilevanza riguarda la realizzazione del nuovo complesso natatorio coperto, i cui lavori sono iniziati a maggio 2024 e si concluderanno entro il 2027.

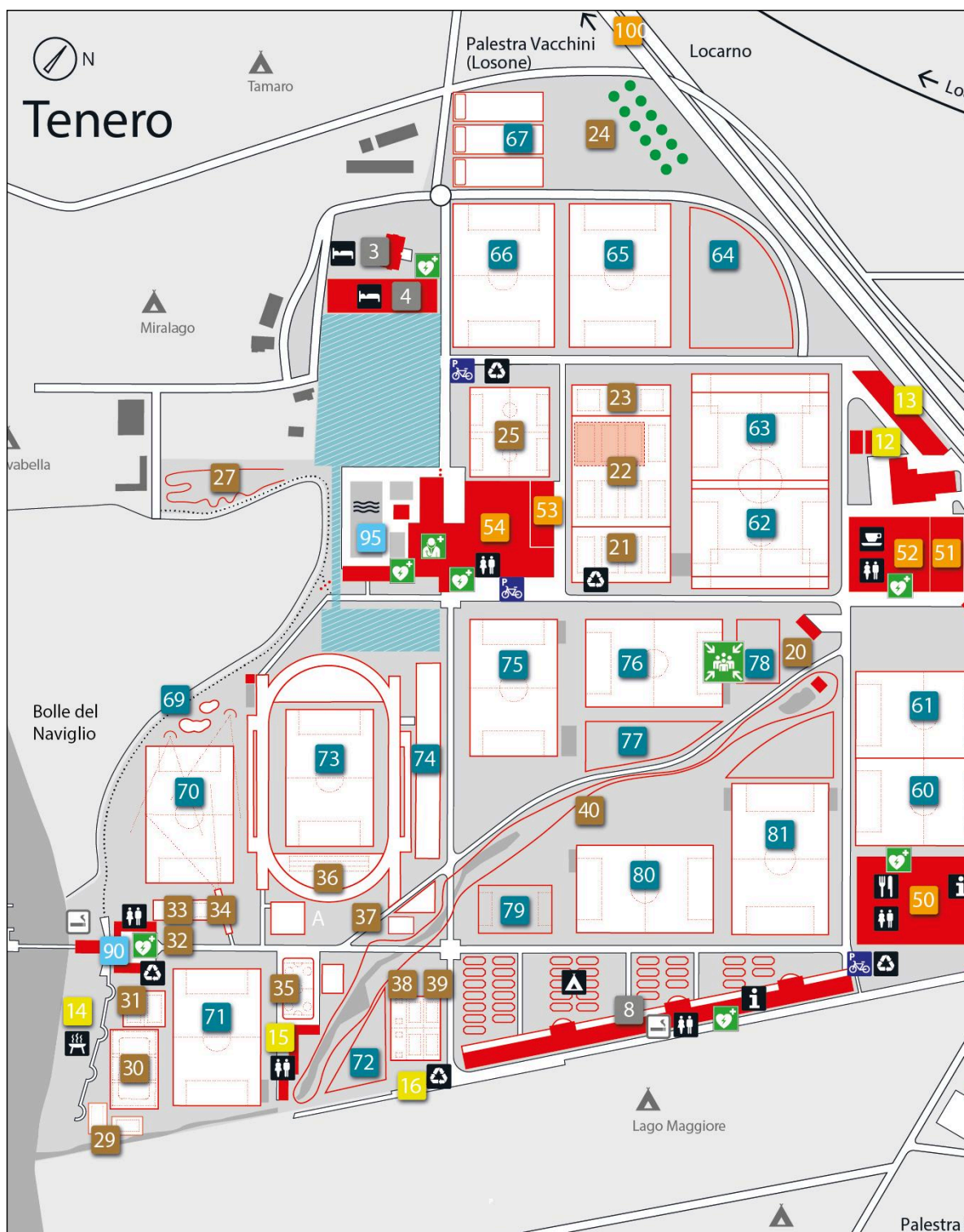
L'intervento, del valore complessivo di 91,8 milioni di franchi svizzeri, prevede la costruzione di vasche olimpioniche, idromassaggio, aree per tuffi, spazi di allenamento e riabilitazione, spogliatoi, uno spazio per la diagnostica delle prestazioni e analisi. L'obiettivo è garantire un utilizzo continuativo dell'impianto durante tutto l'anno, ampliando al tempo stesso l'offerta del

centro. Inoltre, il 29 luglio 2024 è stato inaugurato il nuovo edificio residenziale, progetto dal valore di 12,1 milioni di franchi svizzeri, concepito per ampliare la capacità ricettiva del centro (circa 140 posti aggiuntivi) e migliorare il confort degli ospiti. Questa nuova struttura risponde ai più recenti criteri di qualità abitativa, ottimizzazione degli spazi, efficientamento energetico e rispetto delle risorse utilizzate.

Entrambi i progetti si inseriscono in una strategia di lungo periodo volta a consolidare il CST come polo di eccellenza nazionale per la formazione sportiva e giovanile, rafforzandone la capacità di accoglienza e la competitività a livello internazionale. Il rinnovamento delle infrastrutture non risponde soltanto a esigenze tecniche, ma riflette una visione evolutiva del campus, inteso come spazio dinamico e multifunzionale in grado di adattarsi alle esigenze future dello sport e della formazione [164] [165].



Rendering del nuovo centro natatorio e dell' Ostello Dono nazionale svizzero
Fonte: www.cstenero.ch - Un centro natatorio all'avanguardia



ANALISI SWOT CST TENERO

Punti di forza (**Strenghts**):

- Rilevanza istituzionale e supporto federale: la gestione federale del CST garantisce stabilità economica, standard elevati di gestione e riconoscimento nazionale.
- Eccellenza infrastrutturale e diversificazione funzionale: l'ampia dotazione di impianti sportivi, aree formative, spazi ricettivi e strutture ricreative consente al centro di ospitare simultaneamente attività di diversa natura, favorendo la multifunzionalità e l'ottimizzazione degli spazi.
- Collocazione geografica strategica: situato in posizione privilegiata lungo le rive del Lago Maggiore, in un contesto climatico mite e facilmente accessibile, il CST gode di condizioni ambientali ottimali per la pratica sportiva in ogni stagione.
- Elevata capacità logistica e ricettiva: con una disponibilità di oltre un migliaio di posti letto e servizi interni di ristorazione e accoglienza, il centro può gestire eventi di ampia scala, programmi formativi e manifestazioni federali di rilievo nazionale e internazionale.
- Missione educativa e valenza sociale: il CST non si limita alla promozione dell'attività sportiva, ma persegue obiettivi pedagogici e di inclusione sociale, ponendosi come luogo di formazione civica, crescita personale e dialogo interculturale.

Punti di debolezza (**Weaknesses**):

- Complessità organizzativa: la gestione di un'infrastruttura di grandi dimensioni e a elevata eterogeneità funzionale comporta sfide significative in termini di pianificazione, coordinamento e manutenzione.
- Incidenza dei costi operativi: il mantenimento e l'aggiornamento costante delle strutture implicano un fabbisogno economico considerevole, che può incidere sulla sostenibilità di lungo periodo.
- Utilizzo stagionale non uniforme: la distribuzione delle attività non è sempre omogenea nel corso dell'anno, determinando periodi di sottoutilizzo di alcune aree del campus.
- Dipendenza finanziaria da risorse pubbliche: la gestione e l'espansione del centro dipendono in larga misura dai fondi e dalle priorità definite a livello federale, limitando l'autonomia economica dell'ente.
- Collocazione periferica rispetto ai principali poli federali: la posizione geografica nel Canton Ticino, pur strategica per la Svizzera italiana, può risultare marginale rispetto alla rete dei centri sportivi della Svizzera interna.

Opportunità (**Opportunities**):

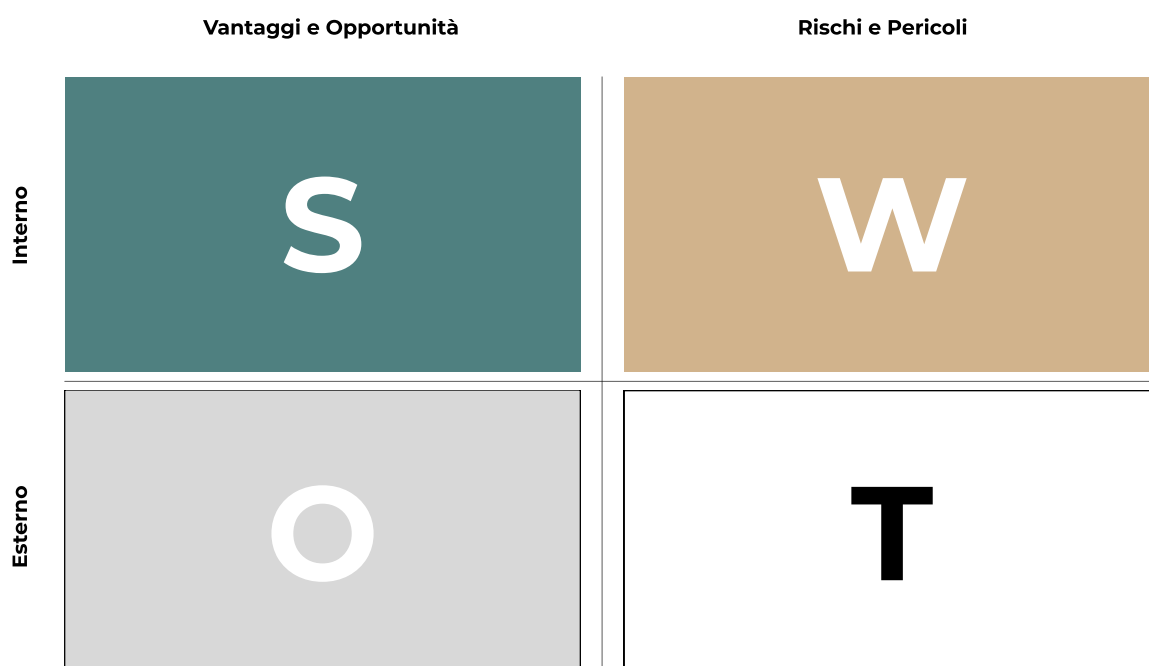
- Rinnovo infrastrutturale e innovazione tecnologica: i progetti in corso, quali il nuovo complesso natatorio e l'ampliamento residenziale, rafforzano la capacità ricettiva del centro e la qualità dei servizi offerti.
- Collaborazioni accademiche e scientifiche: l'apertura a partnership con università e istituti di ricerca favorisce l'integrazione di conoscenze avanzate in ambito sportivo, fisiologico e ambientale, contribuendo all'evoluzione del modello formativo.
- Attrattività internazionale e cooperazione transfrontaliera: la qualità delle infrastrutture e la posizione geografica agevolano l'organizzazione di eventi e programmi con partecipazione estera, promuovendo il CST come polo di riferimento europeo.
- Digitalizzazione dei processi e gestione smart: l'adozione di sistemi digitali per il monitoraggio energetico, la sicurezza e la logistica interna può ottimizzare l'efficienza gestionale e ridurre i costi operativi.
- Sinergie territoriali e promozione del Canton Ticino: il centro rappresenta un volano per l'economia e il turismo sportivo regionale, consolidando la cooperazione con enti pubblici, istituzioni scolastiche e realtà locali.

Punti di debolezza (**Threads**):

- Evoluzione dei modelli di finanziamento pubblico: la dipendenza quasi totale dai fondi federali e cantonali rende il centro vulnerabile a eventuali tagli di bilancio o riorientamenti delle politiche federali in materia di sport, istruzione e gioventù.
- Crescente competizione con altri poli sportivi e formativi: la presenza di nuove infrastrutture specializzate in Svizzera e all'estero potrebbe ridurre l'attrattività del CST come sede per campi federali, eventi o programmi formativi, soprattutto in un contesto di crescente internazionalizzazione dell'offerta.
- Pressioni sul territorio e sostenibilità gestionale: l'aumento delle attività e della domanda di utilizzo potrebbe generare criticità legate alla gestione degli spazi, alla manutenzione delle strutture e al controllo dell'impatto ambientale, con il rischio di compromettere l'equilibrio tra fruizione intensiva e tutela del contesto naturale.
- Mutamenti climatici e rischi ambientali: la posizione geografica del centro, in prossimità del Lago Maggiore, espone l'area a potenziali criticità idrogeologiche o eventi meteorologici che potrebbero incidere sulla sicurezza e sulla continuità delle attività.
- Evoluzione dei bisogni giovanili e delle politiche sportive: i cambiamenti nei modelli di partecipazione sportiva, l'emergere di nuove discipline e le trasformazioni socioculturali

potrebbero ridurre l'interesse verso le forme di sport promosse dal centro, richiedendo continui adattamenti programmatici e infrastrutturali.

- Vincoli burocratici e tempi decisionali federali: la gestione sotto l'autorità di diversi enti federali può rallentare i processi decisionali e d'innovazione, limitando la flessibilità operativa e la capacità di risposta alle opportunità emergenti.
- Vulnerabilità stagionale: la variazione dei flussi di utenza tra i periodi di alta e bassa stagione determina una gestione discontinua delle attività, con ripercussioni sulla redditività, sull'allocazione delle risorse e sull'efficienza organizzativa complessiva del centro.



4.2 User Personas

Nei processi di progettazione e sviluppo, la comprensione approfondita degli utenti e delle loro reali esigenze, rappresenta un presupposto imprescindibile per la definizione di soluzioni efficaci e coerenti. In questo contesto, il concetto di personas si configura come uno strumento metodologico di grande rilevanza, ampiamente utilizzato nei processi di progettazione centrata sull'utente (user-centered design), poiché consente di porre al centro del percorso progettuale l'esperienza, i bisogni e le motivazioni delle persone.

Le personas sono rappresentazioni semi-fittizie di utenti tipo, costruite a partire da dati empirici raccolti attraverso ricerche qualitative e quantitative, come interviste, osservazioni e analisi comportamentali. Esse consentono di sintetizzare e visualizzare in modo chiaro e accessibile le principali caratteristiche demografiche, psicografiche, motivazionali e attitudinali del pubblico di riferimento, restituendo un ritratto realistico e coerente degli utenti.

L'utilizzo di questo approccio permette di superare una visione generica o astratta su chi utilizzerà il prodotto o il servizio, trasformandolo in un individuo riconoscibile e concreto, dotato di obiettivi, aspettative, valori e difficoltà specifiche. In tal modo, le personas favoriscono un processo decisionale più consapevole e orientato all'esperienza umana, supportando la progettazione di soluzioni che rispondano in modo mirato ai bisogni reali delle persone.



Luca Bernasconi

43 anni

Docente e allenatore federale



Giulia Moretti

18 anni

Studentessa e atleta



Marcus Frei

56 anni

Responsabile logistico-sicurezza





Luca Bernasconi

43 anni

Docente e allenatore federale

Luca Bernasconi ha quarantatré anni e vive a Mendrisio, nel Canton Ticino, insieme alla moglie e ai due figli adolescenti. Dopo la laurea in Scienze dello Sport presso l'Università di Losanna ha scelto di dedicarsi alla formazione giovanile, unendo la passione per l'attività fisica a una profonda vocazione educativa. Da oltre dieci anni lavora presso il Centro Sportivo Nazionale della Gioventù di Tenero, dove svolge il ruolo di docente e allenatore federale, affiancando studenti e giovani atleti nei percorsi di crescita personale e sportiva. Per Luca lo sport rappresenta un potente strumento educativo capace di trasmettere valori come il rispetto, la disciplina, la cooperazione e la resilienza. È convinto che l'allenamento non sia soltanto un esercizio fisico, ma un processo in cui i ragazzi imparano a conoscere sé stessi, a gestire le difficoltà e a valorizzare i propri punti di forza. Nella sua visione, il compito dell'allenatore è accompagnare questo percorso con equilibrio e consapevolezza, riconoscendo e rispettando le diverse potenzialità di ciascun individuo. Le sue giornate iniziano presto e sono scandite da una

routine che alterna lezioni teoriche, sessioni di allenamento e incontri di coordinamento con colleghi e tecnici del centro. È un professionista attento e riflessivo, che predilige l'ascolto e l'osservazione come strumenti fondamentali per comprendere le dinamiche di gruppo e stimolare la motivazione dei giovani. Ogni interazione con gli studenti diventa per lui un'occasione di crescita reciproca, in cui l'insegnamento e l'apprendimento si intrecciano in modo naturale. Luca conosce bene la complessità gestionale del campus: gli orari serrati, gli spostamenti tra i diversi impianti e la varietà delle attività richiedono capacità di pianificazione e adattabilità. Tuttavia, considera il CST un ambiente unico, dove sport ed educazione convivono in un equilibrio virtuoso. Apprezza in particolare la dimensione comunitaria del centro, che favorisce la collaborazione tra persone provenienti da realtà linguistiche e culturali differenti, offrendo ogni giorno nuove occasioni di confronto e arricchimento. "Quando un ragazzo capisce che lo sport non serve solo a vincere, ma a conoscersi meglio, allora so di aver fatto bene il mio lavoro", racconta spesso con un sorriso sincero. In questa frase si riassume la sua filosofia professionale: educare attraverso lo sport, accompagnando i giovani in un percorso di crescita che va oltre la dimensione agonistica e prestazionale. Luca Bernasconi rappresenta così la figura del docente-allenatore contemporaneo, competente e umano, capace di coniugare rigore metodologico e sensibilità relazionale all'interno di un contesto educativo d'eccellenza come il Centro Sportivo di Tenero.

Età: 43 anni

Ruolo: docente e allenatore federale presso il CST

Provenienza: Mendrisio (TI)

Formazione: Master in Scienze dello Sport - Università di Losanna

Presenza al CST: 4-5 giorni a settimana, tutto l'anno.

Obiettivi: migliorare la qualità formativa; consolidare la collaborazione tra docenti e allenatori; sostenere la crescita degli studenti.

Bisogni: organizzazione chiara degli spazi; equilibrio tra attività teoriche e pratiche; continuità nei programmi formativi.

Frustrazioni: sovrapposizioni di orari, distanza tra impianti, complesso coordinamento con i colleghi.

Tratti caratteriali: accorto, empatico, paziente, metodico.

Abitudini di mobilità: abitando a Mendrisio impiega circa 45 minuti ogni mattina per recarsi al CST in automobile. Nel fine settimana adora fare camminate e trekking nelle valli ticinesi insieme alla moglie, utilizzando l'auto solo per brevi spostamenti di svago o relax con tutta la famiglia. All'interno del campus è solito muoversi a piedi.

Propensione tecnologica: utilizza quotidianamente strumenti digitali come supporto didattico e per monitorare le performance sportive degli studenti. Mostra un atteggiamento aperto e propositivo

verso l'innovazione tecnologica, purché orientata a un uso pratico o formativo.

Conoscenza in campo automotive: ha una conoscenza limitata e percepisce l'automobile come un mezzo puramente funzionale, necessario per raggiungere il luogo di lavoro e gestire gli spostamenti quotidiani.

Citazione chiave: "Quando un ragazzo capisce che lo sport non serve solo a vincere, ma a conoscersi meglio, allora so di aver fatto bene il mio lavoro".





Giulia Moretti

18 anni

Studentessa e atleta

Giulia Moretti ha diciotto anni e vive a Milano con i genitori e una sorella minore. Frequenta il terzo anno del liceo scientifico-sportivo Primo Levi, dove si impegna a conciliare lo studio con la pratica dell'atletica leggera, disciplina che coltiva con passione fin dall'infanzia. La sua determinazione e la capacità di mantenere costanza negli allenamenti l'hanno portata a distinguersi tra i giovani ginnasti italiani. Ogni mese Giulia trascorre una settimana al Centro Sportivo Nazionale della Gioventù di Tenero per seguire programmi di allenamento intensivo e sessioni tecniche organizzate in collaborazione con la sua scuola e la federazione sportiva. Questi soggiorni rappresentano per lei momenti di crescita personale e sportiva, un'occasione per concentrarsi completamente sulla preparazione atletica e per confrontarsi con coetanei provenienti da tutta l'Europa. La vita al CST segue un ritmo preciso: le giornate iniziano presto con gli allenamenti mattutini, proseguono con attività teoriche e terminano con momenti di gruppo o di recupero. Giulia apprezza l'atmosfera del campus, che considera stimolante e formativa.

Pur non vivendo stabilmente a Tenero, sente di far parte di una comunità unita dalla stessa passione per lo sport e dalla volontà di migliorarsi. L'ambiente la sprona a dare il meglio di sé, non solo nelle prestazioni ma anche nella crescita personale. Il continuo equilibrio tra studio e attività sportiva richiede impegno e organizzazione. Giulia ammette che a volte la stanchezza si fa sentire, ma percepisce la fatica come parte integrante del suo percorso. Le settimane trascorse al CST le hanno insegnato a gestire il tempo, ad affrontare la pressione delle gare e a riconoscere il valore della collaborazione. "A Tenero mi sento parte di qualcosa di grande, un posto dove tutti hanno un obiettivo e si aiutano a raggiungerlo", afferma con un tono di gratitudine. Giulia è una giovane riflessiva, determinata e sensibile. Apprezza la competenza degli allenatori e la considera fondamentale per la sua crescita. Ha imparato che nello sport, come nella vita, i risultati non si costruiscono solo con il talento, ma con la costanza e la capacità di lavorare insieme agli altri. Il suo sogno è quello di proseguire gli studi in Scienze motorie presso la SUPSI (Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana) e di diventare un giorno preparatrice atletica, per trasmettere ai più giovani la stessa passione che oggi la guida. Tenero rappresenta per lei molto più di un centro di allenamento: è il luogo in cui ha imparato a conoscersi, a mettersi alla prova e a credere nel proprio futuro.

Età: 18 anni

Ruolo: studentessa e atleta

Provenienza: Milano (IT)

Formazione: Liceo Primo Levi, indirizzo scientifico-sportivo

Presenza al CST: una settimana al mese per allenamenti e corsi intensivi.

Obiettivi: migliorare le prestazioni; gestire in modo equilibrato studio e allenamento; sviluppare autonomia personale.

Bisogni: supporto formativo costante, strutture di allenamento attrezzate, ambiente motivante, ritmi chiari e organizzazione.

Frustrazioni: stanchezza dovuta agli allenamenti intensivi, pressione derivante dalle competizioni, tempi di spostamento elevati tra le strutture.

Tratti caratteriali: determinata, riflessiva, disciplinata, collaborativa.

Abitudini di mobilità: a Milano si sposta prevalentemente tramite il trasporto pubblico locale e i servizi di car sharing per raggiungere la scuola o gli allenamenti. Durante la settimana mensile di permanenza a Tenero si muove a piedi all'interno del centro sportivo.

Propensione tecnologica: è perfettamente a suo agio con strumenti digitali e app, che utilizza quotidianamente per lo studio, la comunicazione e il monitoraggio delle prestazioni sportive e lo svago.

Conoscenza in campo automotive:

non nutre particolare interesse per il mondo dell'automobile, che considera un mezzo inquinante e poco sostenibile. A Milano preferisce spostarsi con i mezzi pubblici o tramite servizi di car sharing, trovandoli più pratici e coerenti con il suo stile di vita urbano. Ammette di non fidarsi della propria guida e non ha mai mostrato il desiderio di possedere un'auto, ritenendola più una fonte di stress che una comodità. Durante il periodo che trascorre al CST si muove esclusivamente a piedi.

Citazione chiave: "A Tenero mi sento parte di qualcosa di grande, un posto dove tutti hanno un obiettivo e si aiutano a raggiungerlo".





Marcus Frei

56 anni

Responsabile logistico-sicurezza

Markus Frei ha cinquantasei anni e vive a Locarno con la moglie, in una tranquilla zona collinare affacciata sul Lago Maggiore. Dopo una carriera nell'esercito svizzero come sottufficiale, ha deciso di intraprendere un nuovo percorso professionale, portando con sé la disciplina, il rigore e l'attenzione ai dettagli maturati negli anni di servizio. Da oltre quindici lavora al Centro Sportivo Nazionale della Gioventù di Tenero dove ricopre il ruolo di responsabile tecnico-logistico e della sicurezza, una posizione che lo vede quotidianamente impegnato nel garantire l'efficienza organizzativa di un campus così esteso e complesso. Per Markus, il CST non è soltanto un luogo di lavoro, ma un sistema che richiede dedizione, precisione e una gestione attenta di ogni sua parte. Ogni mattina arriva presto, quando il centro è ancora immerso nel silenzio, e percorre i viali controllando minuziosamente ogni struttura. Conosce il campus in ogni suo dettaglio e la sua presenza rappresenta un punto di riferimento chiave per il personale tecnico, gli allenatori e gli ospiti delle strutture. Coordina quotidianamente le attività operative e la manutenzione degli

impianti, assicurandosi che tutto proceda in modo regolare e sicuro. Nei periodi di maggiore affluenza, in concomitanza con stage federali o eventi sportivi di rilievo nazionale e internazionale, il ritmo diventa più intenso, ma Markus affronta ogni giornata con la calma e la lucidità di chi ha imparato a gestire le complessità senza perdere il controllo. I colleghi lo descrivono come una persona pragmatica, metodica e sempre disponibile al confronto e ad offrire il proprio aiuto. Preferisce la concretezza all'apparenza e ritiene che il buon funzionamento del centro dipenda soprattutto dal lavoro silenzioso e coordinato di chi ne assicura la quotidiana operatività. "Quando tutto procede come deve," dice spesso, "significa che ognuno ha fatto la propria parte". Fuori dal lavoro conduce una vita semplice e regolare: ama le passeggiate lungo le rive del lago, la pesca, le giornate in barca e guardare la Formula 1, momenti che gli permettono di staccare dal ritmo frenetico e incessante della settimana. È un uomo riservato, che trova soddisfazione nelle piccole cose e nel senso di utilità del proprio ruolo. Il CST rappresenta per lui un luogo sportivo e sociale in cui ordine, sicurezza e collaborazione contribuiscono al benessere collettivo, non solo di chi pratica sport, ma anche di coloro che, dietro le quinte, ne garantiscono ogni giorno il regolare funzionamento.

Età: 56 anni

Ruolo: responsabile tecnico-logistico e della sicurezza del CST

Provenienza: Locarno (TI)

Formazione: Scuola sottufficiali svizzera e corsi federali di gestione operativa

Presenza al CST: 5 giorni a settimana, tutto l'anno.

Obiettivi: garantire la sicurezza e l'efficienza operativa; mantenere in perfette condizioni gli impianti sportivi.

Bisogni: coordinamento tra settori, pianificazione chiara delle attività, supporto tecnico continuativo.

Frustrazioni: difficoltà comunicative interdipartimentali, mancanza di tempo personale, logistica interna lenta e complessa.

Tratti caratteriali: pragmatico, scrupoloso, riservato, affidabile, orientato al servizio.

Abitudini di mobilità: si sposta quotidianamente da casa al CST in bicicletta, percorrendo in circa dieci minuti il tragitto che separa la sua abitazione dal centro. Utilizza l'auto solo in caso di maltempo o quando le condizioni climatiche risultano particolarmente rigide. Nel fine settimana è solito prendere la macchina il sabato per pranzare fuori città con la moglie, trasformando l'occasione in un momento di relax e convivialità. All'interno del campus si sposta a piedi o in bicicletta, ad eccezione di quando esegue interventi manutentivi insieme ai tecnici, dove

predilige il furgoncino per il trasporto degli utensili e il materiale da lavoro.

Propensione tecnologica: è fortemente propenso all'uso della tecnologia, pur riconoscendo di non essere un utilizzatore esperto. Si affida spesso al supporto dei tecnici del centro, con cui collabora quotidianamente e che lo assistono nella gestione delle soluzioni tecnologiche e digitali legate alla sicurezza, alla gestione e al mantenimento delle strutture.

Conoscenza in campo automotive: Buona, anche se dice di non essere un vero appassionato, nutre un sincero interesse per il settore automobilistico e segue con regolarità le gare di Formula 1, che considera un modo piacevole per rilassarsi la domenica e, al tempo stesso, per osservare da vicino l'evoluzione tecnologica e ingegneristica, oltre alla bravura dei piloti.

Citazione chiave: "Quando tutto procede come deve significa che ognuno ha fatto la propria parte".



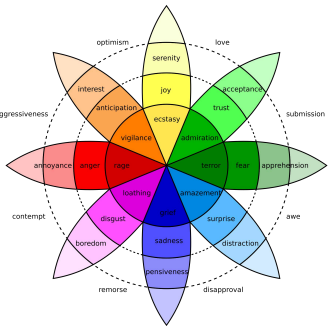
4.3 USER JOURNEY MAP



















Prima/dopo la guida autonoma

Attività a supporto del corretto funzionamento del servizio AV

Esperienza di guida autonoma

Attività critiche per l'adozione e la diffusione del servizio AV

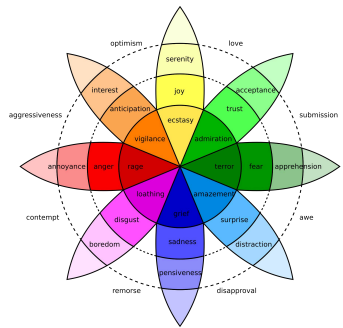


	Scaricare APP	Registrazione	Richiesta AV	Pre-internal customization	Arrivo dell'AV	Apertura	Ingresso nell'AV	Environment customization	Inserimento destinazione	Avvio corsa	Modifiche e stop alla corsa	NDRTs	Arrivo	Discesa dall'AV	Conclusione corsa	
	1	2	93	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Azioni	Scaricare l'App di ToMove	Creare account o eseguire login (info personali)	Selezione/ richiesta del veicolo	Configurazione delle condizioni interne del veicolo	Arrivo del veicolo al luogo indicato	Sblocco keyless del veicolo e apertura manuale delle porte	Ingresso nell'AV, allaccio delle cinture di sicurezza, greetings AI	Configurazione dell'ambiente e del software di bordo	Inserire la destinazione di viaggio del veicolo	Partenza del veicolo per la destinazione indicata	Modifica dell'itinerario e pianificazione delle fermate intermedie	Intrattenimento, socializzazione, lavoro, relax, alimentazione, studio, cura personale, ...	Arrivo a destinazione, arresto in posizione idonea e sicura	Sganciare la cintura di sicurezza, aprire la portiera ed uscire dall'AV	Terminare la corsa tramite l'APP, blocco automatico del veicolo	
Touchpoints	 Mobile phone	 Mobile phone, (website)	 ToMove App	 ToMove App	 AV	 ToMove App, AV	 AV, AI	 Mobile phone, Internal screen, AI	 Mobile phone, Internal screen	 Internal screen, AI	 Mobile phone, Internal screen, AI	 Internal screen, AI	 AV	 AV	 ToMove App	
Painpoints	Potrebbe non essere intuitivo per l'utente, incompatibilità di sistema	Problemi di accesso e di privacy	Anomalia del supporto digitale	Anomalia del supporto digitale	Mancato arrivo del veicolo o arresto in posizione non corretta	Anomalia del sistema keyless, apertura della portiera non intuitiva	Assenza di interazione umana, mancanza di fiducia, anomalia del sistema	Condizioni interne del veicolo non confortevoli	Localizzazione non trovata, percorso non chiaro, anomalia di sistema	Anomalia nella fase di avvio del viaggio, anomalia di sistema, scarsa fiducia dell'utente	Velocità di esecuzione, problemi di interazione	Anomalia del supporto digitale e di sistema	Posizione non corretta e rilascio dei passeggeri in condizioni di scarsa sicurezza.	Anomalia nello sblocco e nell'apertura delle portiere	Anomalia del supporto digitale	
Opportunità	Compatibilità con i principali sistemi operativi mobili (iOS, Android)	Personalizzazione del profilo, area utente dedicata, politiche di sicurezza e privacy	Visualizzazione chiara delle informazioni geografiche e semplicità di richiesta del veicolo	Personalizzazione delle condizioni interne del veicolo in arrivo	Monitoraggio in tempo reale, localizzazione accurata del veicolo e puntualità del servizio	Accesso al veicolo semplice e intuitivo	Interazione semplice e inclusiva, consolidamento della fiducia attraverso trasparenza e controllo	Miglioramento del comfort dei passeggeri, personalizzazione dell'ambiente di bordo e della strumentazione interna	Visualizzazione chiara di posizione e direzione, con definizione del percorso all'interno dell'ODD	Attivazione intuitiva e fiducia dell'utente sostenuta dai sistemi e dalle interfacce di bordo	Feedback chiaro sullo stato del sistema e interazione semplificata per ridurre i tempi di decisione ed esecuzione	Ambiente di bordo, interfacce e sistema a supporto dell'esecuzione efficace e sicura delle NDRTs	Indicazioni di arresto e discesa per agevolare l'uscita e migliorare la percezione di sicurezza del veicolo	Sistemi sviluppati per garantire un'uscita dal veicolo comoda e sicura	Conclusione rapida e intuitiva con feedback di conferma dell'avvenuta chiusura del veicolo	
LB																
GM																
MF																

MAPPA DELLA VALENZA EMOZIONALE

Strong	
Moderate	Positive
Mild	
	Emotion
Mild	
Moderate	Negative
Strong	

Rappresentazione quantitativa della valenza emozionale



	Scaricare APP	Registrazione	Richiesta AV	Pre-internal customization	Arrivo dell'AV	Apertura	Ingresso nell'AV	Environment customization	Inserimento destinazione	Avvio corsa	Modifiche e stop alla corsa	NDRTs	Arrivo	Discesa dall'AV	Conclusione corsa	
Activities	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
	Scaricare l'App di ToMove	Creare account o eseguire login (info personali)	Selezione/ richiesta del veicolo	Configurazione delle condizioni interne del veicolo	Arrivo del veicolo al luogo indicato	Sblocco keyless del veicolo e apertura manuale delle porte	Ingresso nell'AV, allaccio delle cinture di sicurezza, greetings AI	Configurazione dell'ambiente e del software di bordo	Inserire la destinazione di viaggio del veicolo	Partenza del veicolo per la destinazione indicata	Modifica dell'itinerario e pianificazione delle fermate intermedie	Intrattenimento, socializzazione, lavoro, relax, alimentazione, studio, cura personale, ...	Arrivo a destinazione, arresto in posizione idonea e sicura	Sganciare la cintura di sicurezza, aprire la portiera ed uscire dall'AV	Terminare la corsa tramite l'APP, blocco automatico del veicolo	
LB	"Capiamo come funziona questo nuovo servizio"	"Va bene"	"Se così semplice posso farlo anch'io"	"Interessante, posso regolarmi tutto da qui"	"Incredibile, è veramente senza guidatore"	"Semplice dai"	"Nessun guidatore, nessun volante e tutto questo spazio"	"Utile poter usare sia schermo che telefono per controllare tutto"	"Impostare la destinazione è stato facile, adesso vediamo che succede"	"Si muove ma non è il massimo non avere il controllo"	"Così posso accompagnare qualcuno che deve fermarsi lungo il tragitto"	"Quante cose che posso fare se non guido io"	"Bello camminare e pedalare però che comodità così"	"Scendere sarà la stessa cosa di salire immagino"	"Semplice dai, alla prossima"	💬
	Interest	Serenity	Trust	Interest	Amazement	Serenity	Interest	Trust	Trust	Fear	Joy	Surprise	Trust	Anticipation	Serenity	💓
GM	"Potrebbe salvarmi quando sono troppo stanca o non ho voglia di camminare"	"Uffaaa"	"Sembra quella di Sharenow che uso ogni tanto a Milano"	"Che figo"	"È arrivato"	"Top si sblocca con il telefono"	"Che strano"	"Mi piace che sia personalizzabile"	"Devo andare qui"	"Aiutoo"	"Devo passare un secondo dalla segreteria"	"Finalmente posso distrarmi senza temere di andare a schiantarmi"	"All'inizio era molto spaventoso ma ora che sono arrivata non vedo l'ora di usarlo dinuovo"	"Che bello non dover parcheggiare"	"GG"	💬
	Interest	Annoyance	Interest	Surprise	Joy	Trust	Apprehension	Joy	Trust	Fear	Anticipation	Joy	Trust	Trust	Trust	💓
MF	"Molto interessante, speriamo funzioni bene"	"Ok"	"Voglio capire quanto è precisa la posizione indicata"	"Arriva già bello riscaldato"	"Si è fermato nel posto giusto, non male"	"Quasi meglio delle chiavi, ma almeno garantisce sicurezza"	"Wow, mai stato in nulla di simile"	"Sistemiamo la temperatura"	"Vediamo quanto tempo risparmio rispetto ad andarci a piedi"	"Incredibile"	"Se mi chiamano altrove devo poter cambiare tragitto velocemente"	"Posso fare le mie chiamate e coordinare il lavoro mentre viaggio"	"Molto comodo, ho risparmiato tempo e sono riuscito pure a fare una tappa dalle piscine"	"Questo è il futuro"	"Fantastico per tutti avere un servizio del genere all'interno del centro sportivo"	💬
	Interest	Acceptance	Trust	Joy	Trust	Trust	Amazement	Anticipation	Anticipation	Amazement	Trust	Interest	Joy	Trust	Joy	💓

HUMAN - MACHINE INTERACT ION

CAPITOLO

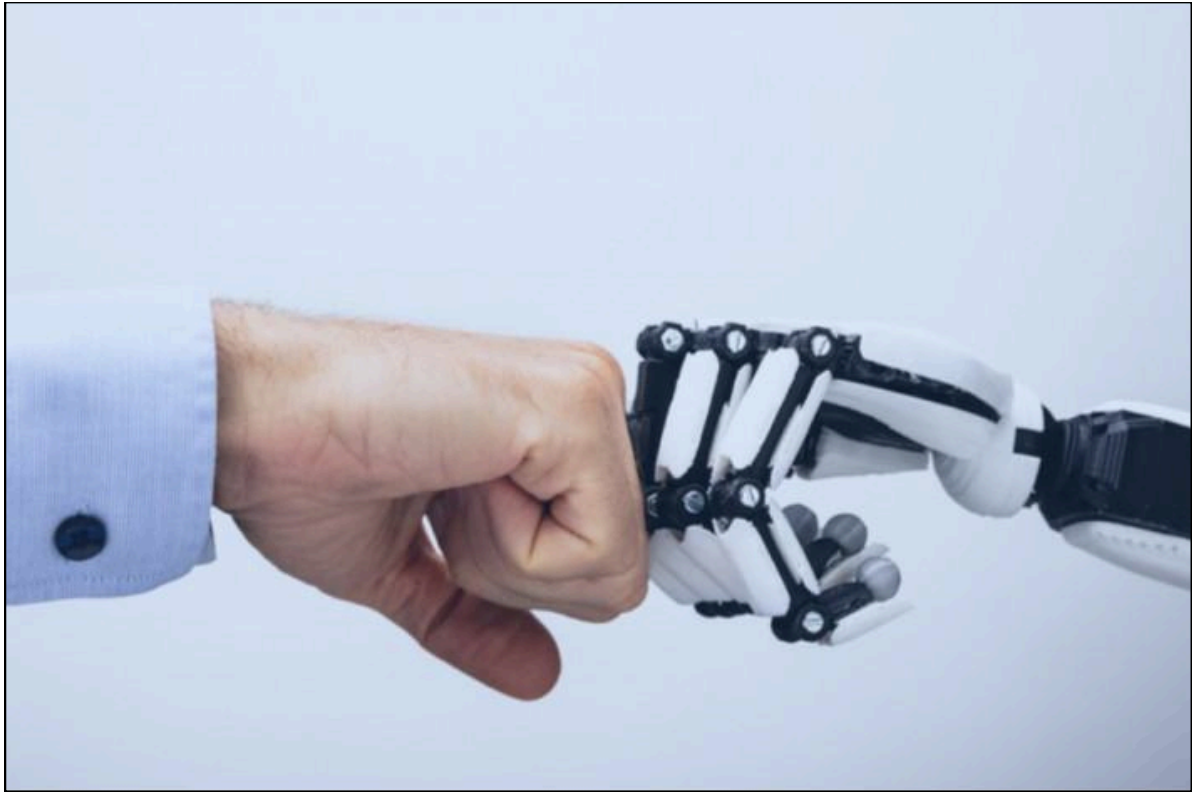
05

05 HUMAN - MACHINE INTERACTION

5.1 HMI - Human Machine Interaction

L'Interfaccia Uomo-Macchina (Human-Machine Interface, HMI) rappresenta l'insieme dei mezzi, dei linguaggi e dei processi che permettono la comunicazione e la cooperazione tra l'essere umano e un sistema tecnologico. Essa non si limita a un insieme di dispositivi o comandi, ma costituisce un vero e proprio sistema cognitivo di mediazione, in cui le informazioni provenienti dal mondo digitale vengono tradotte in forme percepibili e interpretabili dall'utente, e viceversa. In un'epoca in cui la tecnologia tende a essere sempre più autonoma, l'HMI assume una funzione essenziale: consentire all'essere umano di comprendere, monitorare e, in alcuni casi, influenzare i comportamenti dei sistemi automatizzati. Nei veicoli autonomi tale funzione diventa ancora più cruciale, poiché il controllo diretto dell'utente viene sostituito dalla necessità di comprendere e fidarsi dell'intelligenza artificiale e dei sistemi che governano la guida. Nei veicoli di livello SAE 4 e 5, la guida è interamente affidata al sistema e il ruolo dell'occupante cambia radicalmente: da operatore attivo a osservatore informato. In questo nuovo paradigma, l'HMI non è soltanto un'interfaccia tecnica, ma la chiave di accesso cognitiva alla comprensione del comportamento dell'automazione. Essa traduce i processi interni del veicolo, quali percezione, elaborazione e decisione, in segnali coerenti e interpretabili attraverso un linguaggio multimodale che coinvolge canali visivi, acustici e tattili. La sua finalità primaria è garantire la trasparenza cognitiva, cioè la possibilità per l'utente di sapere

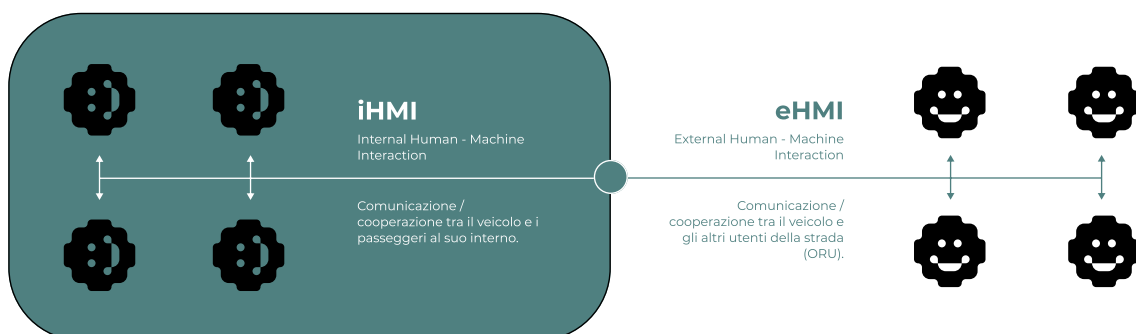
che cosa il veicolo stia facendo, per quale motivo e quale sarà la sua prossima azione. Tale trasparenza non dipende dalla quantità di informazioni fornite, ma dalla loro coerenza e rilevanza: un eccesso di dati può generare confusione e ansia, mentre un'informazione chiara, contestuale e coerente sostiene la fiducia e la prevedibilità. La ricerca sui fattori umani evidenzia come la fiducia sia un elemento dinamico, costruito attraverso l'esperienza e la coerenza del comportamento del sistema nel tempo. Essa si fonda su tre pilastri: la percezione di competenza (il sistema agisce in modo corretto e affidabile), di benevolenza (l'automazione persegue l'interesse dell'utente) e di integrità (il suo comportamento è coerente con regole e aspettative sociali). Un'HMI efficace deve dunque trasmettere questi valori attraverso un linguaggio coerente, prevedibile e intuitivo. In tal senso, il design dell'interfaccia non riguarda solo l'aspetto estetico o funzionale, ma la costruzione di una relazione cognitiva e percettiva tra uomo e macchina. L'HMI nei veicoli autonomi può quindi essere intesa come un sistema semiotico complesso, dove i segnali visivi (indicatori, colori, animazioni), acustici (toni, assistenti vocali, avvisi) e tattili (vibrazioni e feedback fisici) cooperano per creare una rappresentazione condivisa dello stato del veicolo. Tale cooperazione deve essere orchestrata in modo coerente, affinché i vari canali sensoriali non si contraddicano ma si rafforzino reciprocamente. Quando questa armonia viene rispettata il veicolo non appare come una macchina opaca e imprevedibile, ma come un interlocutore affidabile, la cui logica operativa diventa comprensibile e accettabile per l'utente.



Fonte: hive-eu.org - Understanding Human-Machine Interaction: Components and Types

In sintesi, l'HMI costituisce la base dell'interazione uomo-veicolo autonomo: non un semplice strumento di visualizzazione o comando, ma il cuore cognitivo e comunicativo dell'esperienza automatizzata.

È attraverso essa che la tecnologia diventa interpretabile, che la fiducia si consolida e che la guida autonoma può essere percepita come sicura, prevedibile e socialmente integrabile [166].



5.2 iHMI - internal Human Machine Interaction

L'Interfaccia interna Uomo-Macchina (internal Human Machine Interface, iHMI) costituisce l'ambiente sensoriale e cognitivo all'interno dell'abitacolo in cui avviene la comunicazione tra il veicolo autonomo e i suoi occupanti. In un contesto di automazione completa, in cui il veicolo gestisce tutte le funzioni di guida senza intervento umano, l'iHMI svolge un ruolo essenziale per garantire la trasparenza del sistema, la fiducia nel veicolo e il comfort psicologico del passeggero. Essa è chiamata a sostituire il linguaggio implicito della guida manuale, fatto di gesti, suoni e percezioni, con un linguaggio nuovo, che renda leggibile l'operato dei sistemi di guida autonoma e dell'intelligenza artificiale. Il compito principale dell'iHMI è mantenere una comunicazione efficace e comprensibile tra il sistema automatizzato e l'utente, senza creare un carico cognitivo eccessivo. Una comunicazione troppo ricca o continua potrebbe generare ansia o perdita di fiducia, mentre un'informazione selettiva e contestualizzata consente di mantenere un equilibrio tra consapevolezza e tranquillità dell'utente. Pertanto, l'interfaccia interna deve essere progettata per fornire informazioni nel momento giusto e nella forma più adeguata al contesto, modulando la quantità e la frequenza di messaggi e interazioni. L'iHMI utilizza una combinazione di canali sensoriali per rendere intuitivo il comportamento del veicolo. Gli schermi informativi mostrano in modo sintetico lo stato operativo del sistema e la rappresentazione dell'ambiente circostante; le luci ambientali

segnalano transizioni di stato o situazioni particolari, come rallentamenti o cambi di percorso; i segnali acustici o vocali forniscono conferme, spiegazioni o notifiche di varia natura. Questa integrazione multimodale crea una coerenza percettiva che permette ai passeggeri di comprendere intuitivamente le intenzioni e le azioni del veicolo autonomo. Un aspetto cruciale dell'iHMI è l'*explainability*: la capacità del veicolo di comunicare e spiegare non solo cosa sta facendo, ma anche perché lo sta facendo. Fornire spiegazioni brevi e pertinenti delle proprie decisioni, come ad esempio perché ha scelto di eseguire una manovra o di muoversi ad una velocità specifica. Ciò aiuta a rafforzare la fiducia e a ridurre la percezione di incertezza. Questo tipo di comunicazione, che trasforma il sistema da entità autonoma a interlocutore comprensibile è un elemento determinante per l'accettazione sociale dei veicoli autonomi. Infine, la coerenza stilistica e temporale della comunicazione interna è un fattore chiave per la costruzione della fiducia a lungo termine. L'iHMI non deve apparire come una somma di segnali disgiunti, ma come un sistema comunicativo unitario, che mantiene uniformità di tono, ritmo e semantica. In questa prospettiva, l'abitacolo diventa uno spazio cognitivo adattivo, progettato per sostenere la comprensione e la serenità degli occupanti. L'obiettivo dell'iHMI non è restituire all'uomo il controllo, ma offrirgli una forma di partecipazione cognitiva che consenta di convivere con i sistemi ad elevata autonomia in modo naturale, sicuro e consapevole [167].

Fattori chiave per la progettazione dell'iHMI nei veicoli autonomi

- Trasparenza cognitiva e consapevolezza situazionale:
l'iHMI deve comunicare in modo chiaro, coerente e costante lo stato operativo del veicolo e le sue intenzioni, consentendo all'utente di comprendere non solo cosa il sistema stia facendo, ma anche perché lo stia facendo. Una comunicazione trasparente favorisce la formazione di modelli mentali accurati, rafforza la fiducia nell'automazione e sostiene la situation awareness, ovvero la piena consapevolezza del contesto e delle dinamiche operative [168].
- Gestione del carico cognitivo e selettività informativa:
l'interfaccia deve limitare la quantità di stimoli presentati, selezionando e organizzando solo le informazioni realmente pertinenti al contesto operativo. La modulazione della frequenza e della complessità dei messaggi consente di evitare sovraccarichi cognitivi, ridurre la fatica mentale e mantenere un equilibrio ottimale tra attenzione, comprensione e comfort dell'utente [169].
- Multimodalità e coerenza dei canali percettivi:
le informazioni devono essere veicolate attraverso diversi canali sensoriali (visivo, acustico e tattile) mantenendo coerenza semantica e sincronizzazione temporale. L'integrazione multimodale consente di ridurre le ambiguità percettive, facilitando una comprensione più immediata e intuitiva del comportamento del veicolo e favorendo una risposta dell'utente più rapida ed efficace [177].
- Calibrazione della fiducia e prevedibilità comportamentale:
la fiducia dell'utente nei confronti dell'automazione deve essere accuratamente calibrata. Un livello di fiducia eccessivo può generare disattenzione e riduzione del controllo cognitivo, mentre una fiducia insufficiente può portare al rifiuto o al mancato utilizzo del sistema. La prevedibilità e la coerenza del comportamento del veicolo sono quindi elementi essenziali per mantenere un adeguato livello di fiducia [170].
- Explainability, antropomorfizzazione e trasparenza decisionale:
il veicolo deve essere in grado di comunicare in modo chiaro e sintetico le motivazioni alla base delle proprie decisioni operative, come la scelta di un percorso o l'esecuzione di una specifica manovra. Questo principio, ispirato ai fondamenti della Explainable Artificial Intelligence (XAI), consente all'utente di comprendere la logica decisionale del sistema, rafforzando la fiducia nell'automazione e riducendo il senso di distacco dal veicolo [171].
- Adattività e comfort dell'occupante:
l'iHMI deve modulare la propria comunicazione in base al contesto operativo, alle caratteristiche cognitive e allo stato emotivo dell'utente, mantenendo un ambiente coerente, sereno e facilmente interpretabile. Tale adattività consente di garantire

comfort psicologico, ridurre lo stress e favorire un'esperienza di viaggio positiva [172].

- **Coerenza stilistica e identità comunicativa:**
l'interfaccia deve preservare nel tempo un linguaggio visivo, terminologico e tonale uniforme, evitando variazioni improvvise che possano generare confusione percettiva. La coerenza formale e semantica consolida l'identità comunicativa del sistema, favorendo familiarità, riconoscimento immediato e una percezione stabile di affidabilità da parte dell'utente.
- **Integrazione olistica con l'eHMI:**
la comunicazione interna deve essere armonizzata con quella esterna, così che i messaggi rivolti ai passeggeri e all'ambiente circostante risultino coerenti e complementari. Un approccio olistico all'interfaccia uomo-macchina, che unisca i livelli interno (iHMI) ed esterno (eHMI), contribuisce a ridurre le ambiguità comunicative e rafforzare l'affidabilità percepita dell'intero sistema [173].

5.3 eHMI - external Human Machine Interface

La eHMI (external Human-Machine Interface) è l'insieme dei mezzi e dei linguaggi attraverso cui il veicolo autonomo comunica con gli altri utenti della strada (Other Road Users, ORU) come pedoni, ciclisti e conducenti di altri veicoli, rendendo esplicite le proprie intenzioni e il proprio stato operativo. Essa svolge una funzione essenziale per la sicurezza e la

comprensibilità sociale della guida autonoma, compensando la mancanza di un conducente umano e dei tradizionali segnali di comunicazione interpersonale come lo sguardo, il gesto o il contatto visivo. In un ambiente di traffico misto, dove convivono veicoli autonomi e tradizionali, la chiarezza dei segnali della eHMI è determinante per evitare ambiguità e garantire interazioni sicure. Studi mostrano che la coerenza visiva e temporale dei messaggi riduce significativamente l'incertezza dei pedoni e favorisce decisioni più rapide e sicure, come ad esempio negli attraversamenti pedonali. Le modalità di comunicazione più diffuse includono luci, segnali visivi, acustici e messaggi testuali proiettati o integrati nella carrozzeria; risulta comunque necessaria una standardizzazione di questi linguaggi per garantirne l'universalità interpretativa, percettiva e culturale. Parallelamente, la eHMI è oggi concepita come parte di un sistema più ampio di comunicazione V2X (Vehicle-to-Everything), che integra le interazioni tra veicolo, infrastrutture e utenti della strada. In questo ecosistema, le funzioni V2I (Vehicle-to-Infrastructure) e V2P (Vehicle-to-Pedestrian) consentono di scambiare dati in tempo reale, migliorando la cooperazione tra i diversi soggetti e la sicurezza complessiva del traffico. Tuttavia, l'assenza di norme e protocolli internazionali condivisi rimane un ostacolo all'adozione di soluzioni univoche, generando potenziali ambiguità comunicative. In prospettiva, la eHMI, non rappresenta soltanto un'estensione del design del veicolo, ma un dispositivo di comunicazione sociale che inserisce la tecnologia autonoma nel tessuto cognitivo e relazionale della mobilità urbana.

Essa costituisce lo strumento di dialogo con la collettività e svolge un ruolo decisivo nella costruzione della fiducia pubblica verso l'automazione alla guida. Il suo sviluppo futuro dipenderà dalla capacità di creare un linguaggio universale, coerente e inclusivo, capace di integrare chiarezza percettiva e compatibilità culturale, affinché la mobilità autonoma possa essere non solo tecnologicamente sicura, ma anche socialmente comprensibile e accettata [174].

Fattori chiave per la progettazione dell'eHMI nei veicoli autonomi

- Chiarezza semantica e universalità del messaggio:
l'eHMI deve essere progettata per comunicare con chiarezza e immediatezza, utilizzando segnali visivi o sonori che risultino intuitivi e comprensibili per qualsiasi utente della strada (pedoni, ciclisti o altri conducenti). L'impiego di linguaggi grafici standardizzati, basati su simboli, colori e pattern riconoscibili, garantisce una comprensione universale indipendentemente da differenze culturali o linguistiche. Tale chiarezza semantica riduce le ambiguità interpretative, facilita decisioni rapide e promuove interazioni sicure e prevedibili tra il veicolo autonomo e ambiente circostante [175].
- Coerenza con il comportamento dinamico del veicolo: i segnali comunicativi emessi dall'eHMI devono riflettere in modo preciso e coerente le reali azioni del veicolo, come rallentamento, arresto o ripartenza. La sincronia tra messaggio visivo o luminoso e comportamento dinamico consente agli utenti esterni di anticipare correttamente le intenzioni del veicolo, riducendo le incertezze percettive e prevenendo fraintendimenti potenzialmente pericolosi. Una coerenza costante tra ciò che il veicolo mostra e ciò che fa rafforza la prevedibilità del sistema e favorisce la costruzione di fiducia nelle interazioni uomo-macchina [176].
- Standardizzazione e interoperabilità dei segnali:
la definizione di codici visivi, cromatici e semantici condivisi a livello internazionale rappresenta un requisito essenziale per garantire uniformità interpretativa tra diversi veicoli e contesti culturali. La presenza di standard comuni consente a pedoni, ciclisti e conducenti di riconoscere immediatamente il significato dei segnali emessi, indipendentemente dal produttore o dal Paese in cui il veicolo opera. Al contrario, la mancanza di interoperabilità può generare confusione, ritardi decisionali e comportamenti imprevedibili, compromettendo la sicurezza e l'efficacia complessiva della comunicazione tra uomo e veicolo autonomo [177].
- Integrazione con l'ecosistema V2X (Vehicle-to-Everything):
l'eHMI deve essere parte integrante dell'ecosistema comunicativo V2X, in cui il veicolo autonomo interagisce costantemente con infrastrutture (V2I), pedoni (V2P) e altri veicoli (V2V). Questa rete di scambio informativo permette al veicolo di trasmettere e ricevere dati in tempo reale, migliorando la cooperazione

tra i diversi attori del traffico. L'integrazione con il sistema V2X consente di estendere la comunicazione oltre la dimensione visiva, garantendo maggiore coordinamento, fluidità di movimento e un significativo incremento della sicurezza nei contesti di mobilità connessa e intelligente [178].

- **Inclusività e accessibilità percettiva:** l'eHMI deve essere progettata per garantire una comunicazione chiara e accessibile a tutti gli utenti della strada, indipendentemente da eventuali limitazioni sensoriali, cognitive o motorie. Il segnale visivo o acustico deve mantenere elevata visibilità e comprensibilità anche in condizioni ambientali avverse, come pioggia, nebbia o luce solare intensa, assicurando uniformità percettiva in ogni contesto. L'inclusività non costituisce solo un principio etico, ma un requisito fondamentale, volto a promuovere un'interazione equa, affidabile e universalmente comprensibile tra il veicolo autonomo e l'ambiente esterno [179].
- **Adattività contestuale e situazionale:** l'eHMI deve essere in grado di modulare i propri messaggi in base al contesto operativo (urbano, extraurbano o residenziale) e al tipo di utente coinvolto, come pedoni, ciclisti o conducenti. L'integrazione di tecniche basate sull'intelligenza artificiale permette di adattare in tempo reale la forma, l'intensità e la tempistica dei segnali, selezionando automaticamente quelli più appropriati alla specifica situazione. Questa adattività dinamica consente di mantenere una comunicazione sempre pertinente, riducendo il

rischio di fraintendimenti e migliorando l'efficacia complessiva dell'interazione tra veicolo autonomo, ORU e ambiente esterno [180].

- **Co-design e partecipazione dell'utente:** la progettazione dell'eHMI deve prevedere il coinvolgimento diretto degli utenti finali (pedoni, ciclisti e altri conducenti) attraverso sperimentazioni, test di usabilità e metodologie di user-centered design. La partecipazione attiva degli utenti nei processi di sviluppo consente di individuare bisogni reali, migliorare l'intuitività dei segnali e ridurre il rischio di ambiguità comunicative. Questo approccio collaborativo può favorire una maggiore accettazione sociale dei veicoli autonomi, promuovendone fiducia e familiarità nelle interazioni quotidiane [181].
- **Coerenza interna-esterna e integrazione con l'iHMI:** i messaggi trasmessi all'esterno dal veicolo devono essere perfettamente coerenti con quelli comunicati all'interno, creando un linguaggio unitario tra l'iHMI e l'eHMI. L'allineamento semantico e temporale tra le due interfacce garantisce che le informazioni rivolte all'occupante e agli utenti esterni risultino complementari e prive di contraddizioni. Questa coerenza comunicativa rafforza la credibilità del sistema di automazione, migliora la trasparenza percepita e contribuisce a consolidare la fiducia nell'affidabilità e nell'integrità del comportamento autonomo del veicolo [173].

5.4 NDRTs - Non Driving Related Tasks

L'introduzione dei sistemi di guida altamente automatizzata rappresenta una delle trasformazioni più profonde nell'evoluzione contemporanea della mobilità. Con l'affermazione dei livelli 4 e 5, così come delineati dallo standard SAE J3016, la responsabilità delle mansioni dinamiche di guida (Dynamic Driving Task, DDT) viene trasferita integralmente al veicolo, che è in grado di operare in modo autonomo entro o al di fuori (Sae 5) di specifici domini operativi (ODD). Questo passaggio tecnologico non modifica soltanto la relazione tra persona e veicolo, in cui la l'occupante passa da guidatore attivo a passeggero, ma ridefinisce la natura stessa del tempo trascorso a bordo: da tempo funzionale alla guida a tempo pienamente liberato, potenzialmente dedicabile ad attività produttive, ricreative o orientate al benessere personale. In tale scenario, il concetto di Non-Driving Related Tasks (attività non correlate alla guida) assume un ruolo cruciale per comprendere le opportunità, le implicazioni e le sfide della mobilità autonoma avanzata. Nelle fasi intermedie d'automazione (SAE 2 e 3), le attività non legate alla guida erano considerate un potenziale fattore di rischio, poiché l'utente doveva rimanere pronto a rispondere alle richieste di take-over (ripresa del controllo) formulate dal sistema. La letteratura ha ampiamente documentato come la presenza di compiti visivi o cognitivi interferisse con i tempi di reazione e con la qualità della manovra nel momento in cui il controllo doveva essere restituito all'essere umano [182]. Con l'introduzione dei livelli 4 e 5

questo vincolo scompare, l'esecuzione di NDRTs non rappresenta più una distrazione, bensì una possibilità intrinseca e pienamente legittimata dall'automazione avanzata. È in questa cornice che le NDRTs acquisiscono una rilevanza strategica: non soltanto migliorano la percezione di utilità del sistema, ma contribuiscono in modo decisivo alla sua accettabilità sociale. La definizione di NDRTs proposta dalla letteratura accademica è ampia e omnicomprensiva. Una delle formulazioni più consolidate qualifica come NDRTs tutte le attività visive, manuali o cognitive che possono essere svolte senza necessità di orientare l'attenzione verso la guida quando il sistema di automazione della guida (Driving Automation System, DAS) è pienamente operativo [183]. Ne deriva un insieme eterogeneo di pratiche: dal lavoro alla fruizione di contenuti multimediali, dalla socializzazione al riposo, dalla lettura alla cura personale. Questa varietà ha indotto la letteratura scientifica a elaborare modelli interpretativi sempre più articolati. Una cornice teorica di riferimento è offerta dalla Multiple Resource Theory (teoria delle risorse multiple) [184], secondo la quale le attività possono essere classificate in base alle risorse attentive coinvolte e alle modalità sensoriali attivate. Tale approccio consente di comprendere in che modo l'utente suddivida attenzione e carico cognitivo durante il viaggio e fornisce una base utile per progettare interni e interfacce coerenti con le esigenze delle NDRTs più frequenti. Parallelamente, si è sviluppata una classificazione orientata alle funzioni dell'attività, che distingue tra attività produttive, ricreative, sociali e legate al benessere. Questa prospettiva

restituisce un'immagine del veicolo come spazio flessibile e multifunzionale, in grado di accogliere esigenze diverse e di adattarsi a una pluralità di comportamenti. L'importanza delle NDRTs è strettamente legata alle configurazioni spaziali e alle condizioni ergonomiche offerte dall'abitacolo. La possibilità di assumere posture distese, laterali o reclinate, di utilizzare superfici di lavoro integrate o di interagire con sistemi informativi avanzati amplia significativamente il ventaglio delle attività svolgibili durante il viaggio. Gli studi sull'interior design dei veicoli autonomi mettono in evidenza come l'abitacolo tenda a evolvere verso forme sempre più modulari e adattabili, in cui comfort, flessibilità configurativa e qualità sensoriale costituiscono le condizioni necessarie per permettere agli utenti di dedicarsi con continuità e naturalezza alle proprie attività. In particolare, nei veicoli di livello 4 si osserva un crescente interesse verso soluzioni progettuali che favoriscono una gamma estesa di posture, offrono un controllo personalizzato dell'ambiente e valorizzano aspetti come l'illuminazione, la privacy e l'accessibilità. Tali elementi concorrono a definire un concetto di comfort non più limitato al benessere fisico, ma esteso alla possibilità di svolgere le proprie attività senza interruzioni e con un livello di naturalezza paragonabile a quello degli ambienti domestici o lavorativi. L'esecuzione delle NDRTs solleva tuttavia alcune questioni critiche, tra cui la motion sickness (cinetosi), un fenomeno particolarmente rilevante nei veicoli autonomi. Quando l'utente concentra lo sguardo su contenuti statici come testi o schermi, la discrepanza tra segnali visivi e segnali vestibolari può

generare sensazioni di nausea o disorientamento. Tale fenomeno risulta più frequente rispetto alla guida manuale a causa dell'assenza di controllo attivo sulla traiettoria del veicolo. Questa condizione sta orientando la progettazione verso strategie mirate a ridurre gli squilibri sensoriali, ad esempio attraverso sistemi di stabilizzazione visiva, algoritmi di gestione più graduale delle accelerazioni o soluzioni di illuminazione adattiva [185]. Il tema della sicurezza passiva rappresenta un'ulteriore dimensione rilevante. Le posture alternative rese possibili dai veicoli autonomi modificano i presupposti su cui si basano i tradizionali sistemi di ritenuta (tra cui gli Air Bag), imponendo una revisione tanto dei dispositivi quanto dei protocolli di valutazione. La biomeccanica degli impatti in configurazioni non standard richiede approcci progettuali inediti, affinché la protezione degli occupanti sia garantita anche in assetti lontani da quelli inerenti alla guida e ai veicoli tradizionali. Il ruolo strategico delle NDRTs si estende oltre la dimensione ergonomica e tecnica, incidendo sulla percezione sociale della guida autonoma. La possibilità di utilizzare il tempo di viaggio in modo utile, piacevole o riposante costituisce infatti uno dei principali fattori di interesse e di fiducia verso la diffusione dei veicoli automatizzati. La liberazione del tempo, tradizionalmente vincolato alla guida, introduce una nuova forma di valore che si innesta nell'esperienza individuale e nella cultura della mobilità. Le ricadute economiche di questo fenomeno sono significative. Secondo analisi prospettiche, il tempo recuperato dalla guida potrebbe tradursi in un vantaggio economico

rilevante in termini di produttività, crescita dei servizi digitali a bordo e sviluppo di nuovi modelli di business legati alla mobilità [186].

In questa prospettiva, il veicolo autonomo tende ad assumere i tratti di un third place (terzo luogo), ossia uno spazio intermedio e complementare rispetto all'ambiente domestico e lavorativo, in cui l'individuo può dedicarsi ad attività personali significative durante il viaggio [187].

L'esame delle NDRTs nei veicoli autonomi mette in luce come la piena automazione introduca non soltanto un cambiamento tecnologico, ma una diversa concezione del viaggio e del suo potenziale valore. La possibilità di utilizzare il tempo a bordo in modi molteplici e personalizzati sollecita una revisione profonda dei modelli progettuali, ergonomici e interattivi su cui si basa il veicolo contemporaneo. Parallelamente, mostra come la mobilità autonoma richieda un approccio integrato, capace di coniugare aspetti tecnici, esigenze umane e considerazioni sociali, affinché le opportunità offerte dal tempo liberato possano tradursi in un reale beneficio per gli individui e per il sistema della mobilità. Le NDRTs emergono così non come elementi marginali, ma come fattori di orientamento che influenzano sia lo sviluppo delle tecnologie autonome sia l'immaginario collettivo associato ai veicoli del futuro. In questa prospettiva, comprendere la natura e le implicazioni delle NDRTs significa cogliere una delle chiavi interpretative più rilevanti della mobilità che si sta delineando: una mobilità in cui il viaggio diventa spazio di possibilità, e non più soltanto spostamento.

verne

WAYMO 

ZOOX

TESLA 

5.5 Analisi APP e interfacce dei veicoli autonomi per i servizi di ride-hailing



Dati personali



Dati per l'utilizzo del veicolo



Apertura/chiusura veicolo



Notifiche e avvisi



Feedback di stato



Comunicazione esterna AV



Informazioni e gestione corsa



Personalizzazione dell'esperienza



NDRTs

Non Driving Related Task



START

Avvio veicolo



Modifiche all'itinerario



STOP

Arresto del veicolo



Richiesta di assistenza



SOS

Richiesta di emergenza

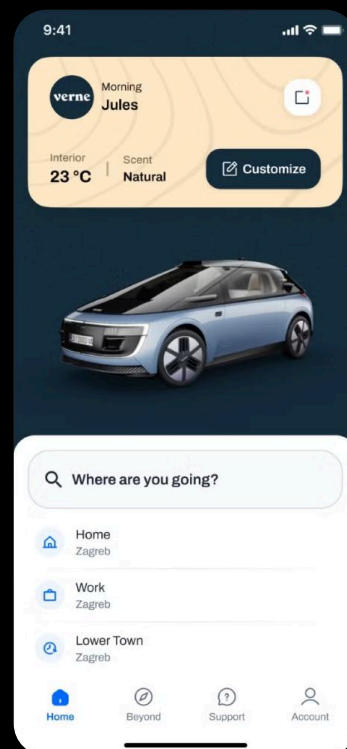
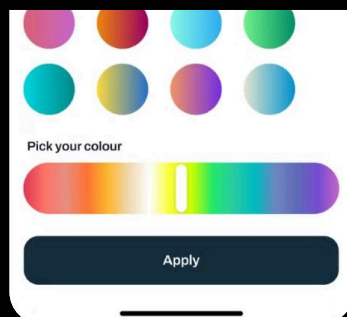
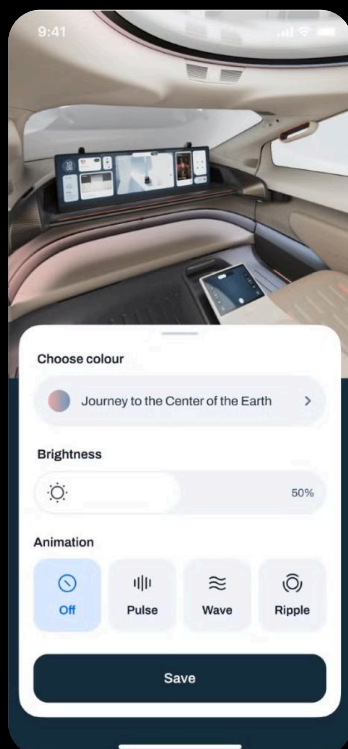
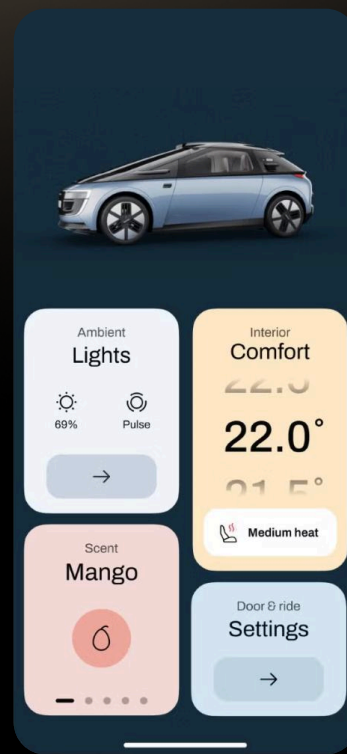
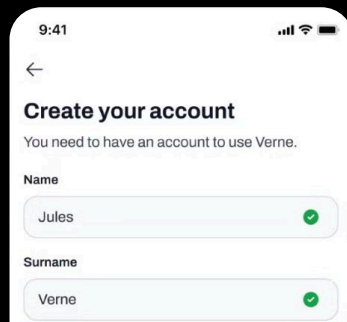
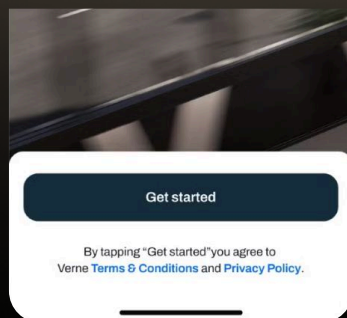


☆☆☆☆☆

Valutazione dell'esperienza

Interfaccia APP

Interfaccia AV





Accettazione di termini e condizioni d'utilizzo, informativa sulla privacy.



Accettazione di termini e condizioni d'utilizzo, informativa sulla privacy.



Personalizzazione dell'ambiente di bordo:

Lights: pannello di controllo delle luci ambientali

Comfort: regolazione dell'aria condizionata e attivazione del riscaldamento sedili

Scent: scelta del profumo interno all'abitacolo.



Impostazioni relative alla corsa.



Impostazioni portiere.



Creazione dell'account per l'utilizzo del servizio fornendo i dati personali necessari.



Pannello di controllo delle luci ambientali (Lights): scelta del colore, regolazione dell'intensità ed animazione delle luci interne; situate nelle portiere, nella plancia e intorno al vetro panoramico sul tettuccio della vettura.



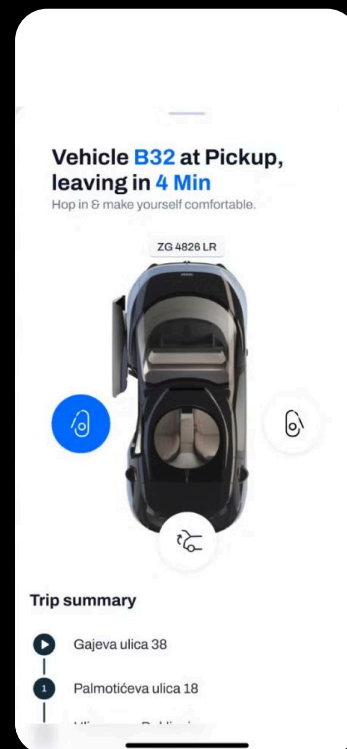
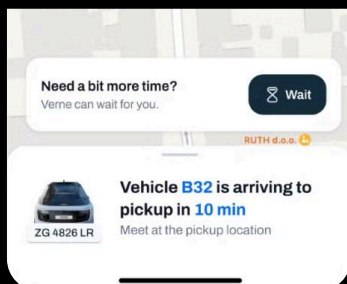
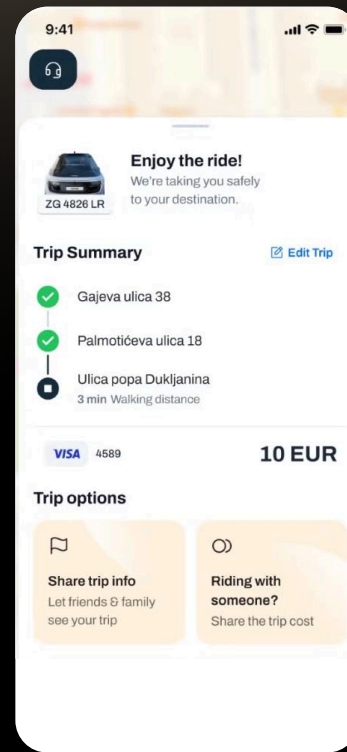
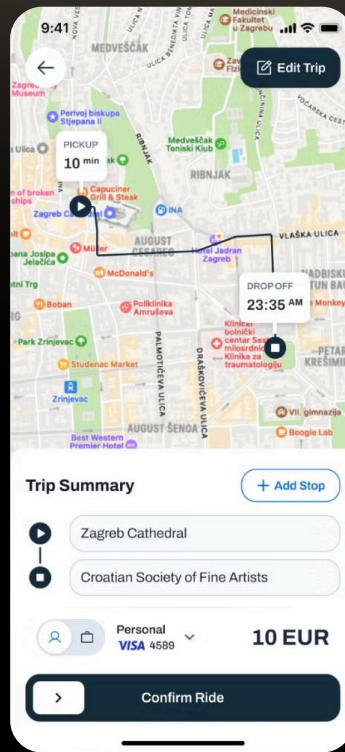
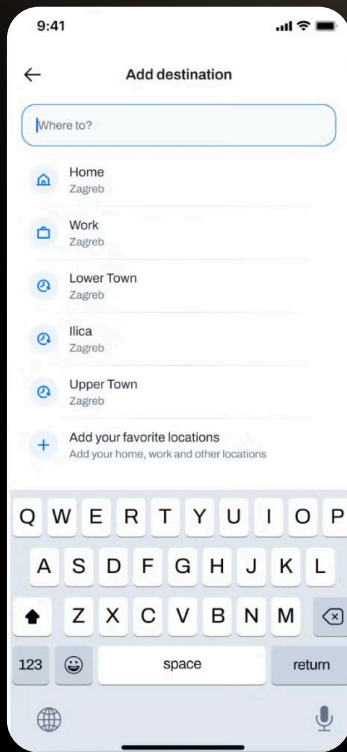
Personalizzazione del colore delle luci interne dell'abitacolo del veicolo. Colori preimpostati e scelta da selettore cromatico.



Pannello di personalizzazione dell'ambiente di bordo.



Ricerca della destinazione e luoghi preferiti.





Ricerca della destinazione, cronologia di ricerca/corse e luoghi preferiti.



Mappa del percorso, tempo di attesa, ora arrivo.



Scelta dell'itinerario e modifiche alla corsa.



Luogo di prelievo (pickup) e destinazione (drop off), dati di pagamento e fatturazione, scelta profilo personale/professionale, conferma richiesta veicolo.



Richiesta di assistenza.



Riassunto delle informazioni e percorso della corsa.



Modifiche all'itinerario.



Condivisione delle informazioni di viaggio con amici/parenti.

Divisione del costo della corsa con gli altri passeggeri.



Tempo di arrivo al punto di prelievo e richiesta attesa.



Targa del veicolo per l'identificazione.



Notifica di arrivo del veicolo e tempo di attesa prima della partenza.



Apertura/chiusura porte e bagagliaio.



Riassunto del percorso della corsa.



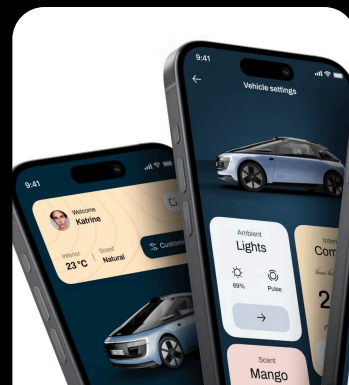
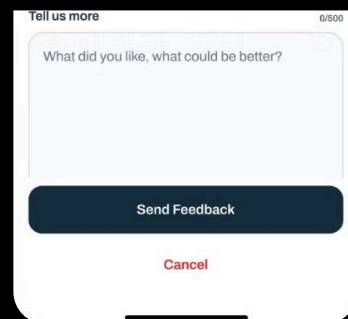
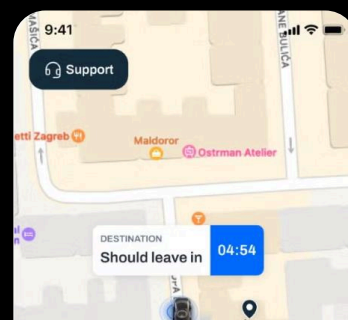
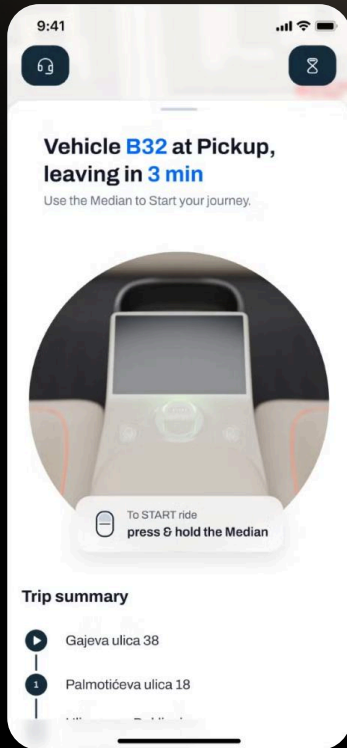
Apertura/chiusura automatica delle portiere mediante codice.



Richiesta di assistenza.



Comunicazione del tempo restante alla partenza e identificazione del veicolo.





Richiesta di assistenza.



Richiesta di ulteriore attesa del veicolo.



Notifica di arrivo del veicolo e tempo di attesa prima della partenza.



Informazioni sull'avvio del veicolo.



Riassunto del percorso della corsa.



Regolazione ambientale, personalizzazione dell'abitacolo e regolazione dei sedili.



Avvio e arresto del veicolo.



Richiesta di assistenza.



Richiesta di emergenza.



Apertura/chiusura portiere con pulsanti.



Sedili ergonomici con reclinazione elettrica e poggiatesta integrato. Nella parte anteriore dell'abitacolo è presente un'appoggio per i piedi per un'ulteriore comodità.



Richiesta di assistenza.



Posizione veicolo in mappa e tempo di arrivo a destinazione.



Visualizzazione widget delle applicazioni e personalizzazione dell'interfaccia utente anteriore, possibile utilizzo del pad tra i sedili come mouse.



Riproduzione di contenuti multimediali.



Feedback e valutazione dell'esperienza.



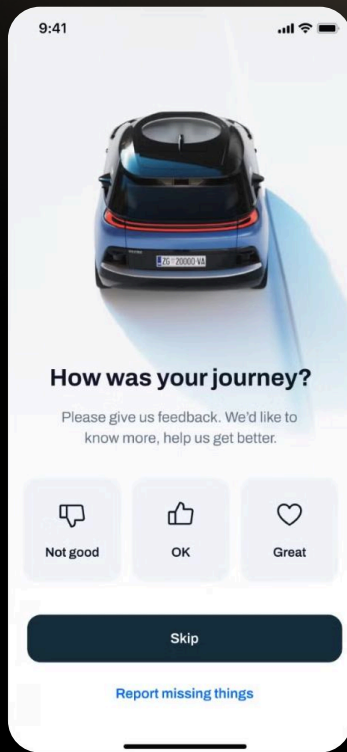
Compatibilità multi-piattaforma, prese USB-C.



Personalizzazione dell'interfaccia, preferences-oriented.

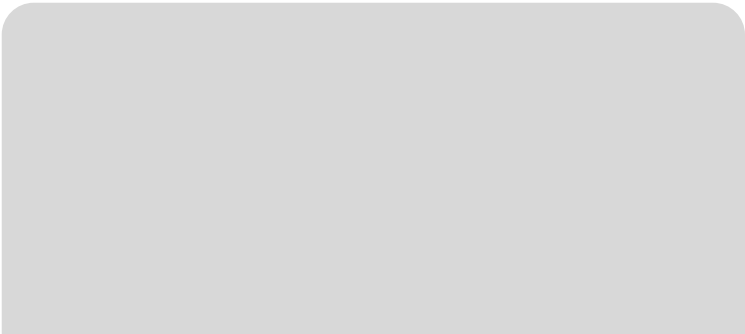


Visualizzazione stato della corsa e mappa AV dinamica 3D.

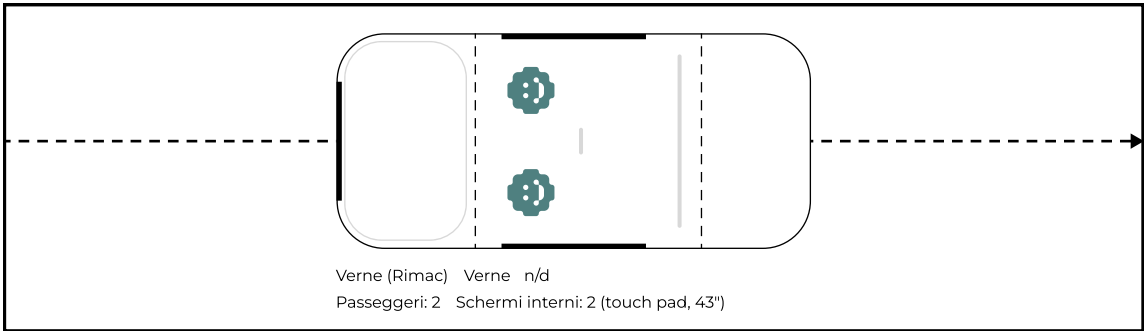


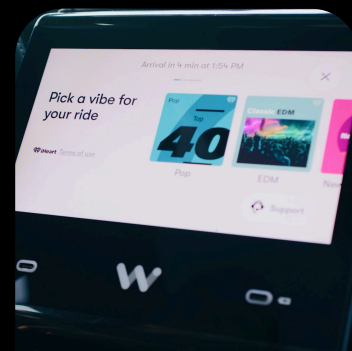
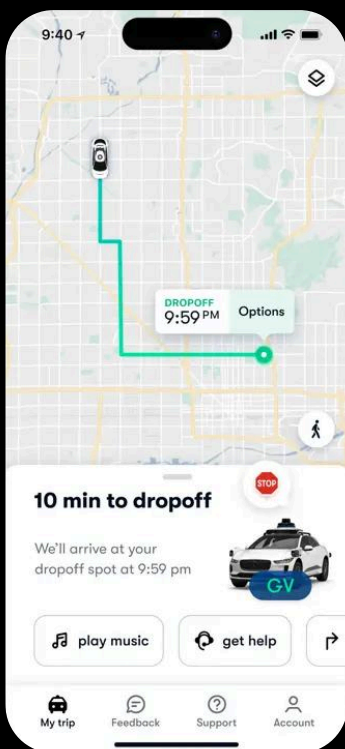
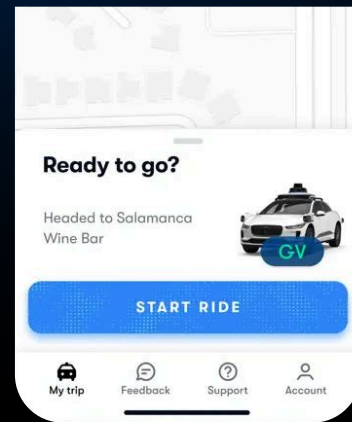
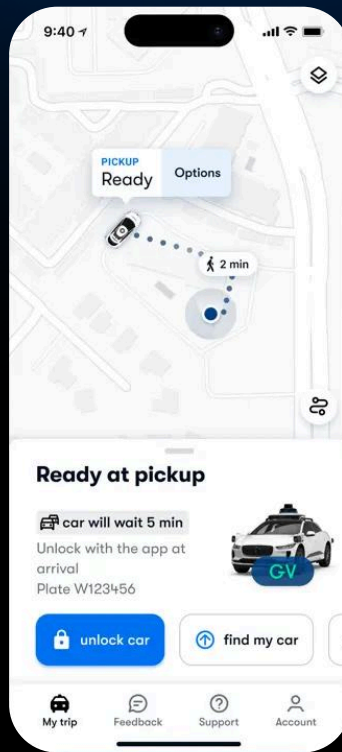
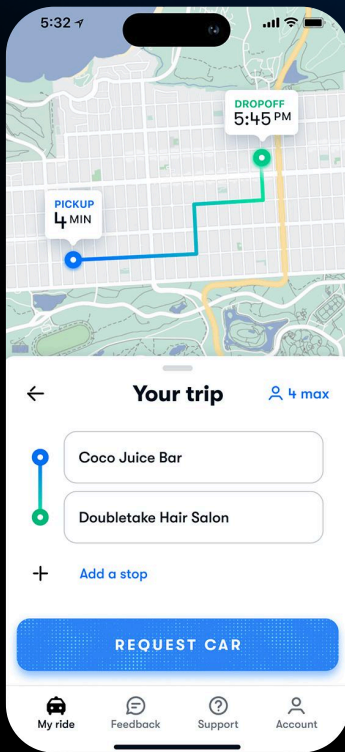


Feedback, valutazione
dell'esperienza e report di
servizio.



verne







Mappa del percorso,
tempo di attesa, ora arrivo.



Modifiche alla corsa e
aggiunta fermate.



Luogo di prelievo (pickup)
e destinazione (drop off),
massimo 4 persone,
conferma richiesta veicolo.



Richiesta di assistenza



Feedback.



Posizione utente e
distanza dal veicolo.



Arrivo del veicolo e attesa
prima della partenza.



Targa, iniziali e find my car
per l'identificazione.



Apertura/chiusura porte.



Richiesta di assistenza



Feedback.



Avvio della corsa.



Richiesta di assistenza.



Feedback.



Avvio della corsa.



Richiesta di assistenza



Mappa del percorso,
punto di drop off, orario di
arrivo.



Musica di bordo.



Richiesta di assistenza



Modifiche alla corsa e
aggiunta fermate.



Feedback.



Dati corsa e mappa 3D.



Arresto della corsa.



Richiesta SOS e assistenza.



Musica di bordo.

Temperatura dell'abitacolo.



Richiesta SOS e assistenza.



Regolazione temperatura
e intensità aria.

Regolazione musica.



Richiesta SOS e assistenza.



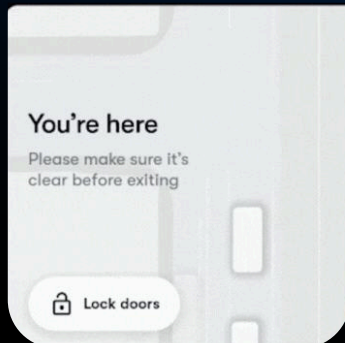
Scelta della musica.



Richiesta SOS e assistenza.



Prese USB-C.





Arrivo a destinazione

Ricordarsi i propri effetti personali e lasciare pulito.



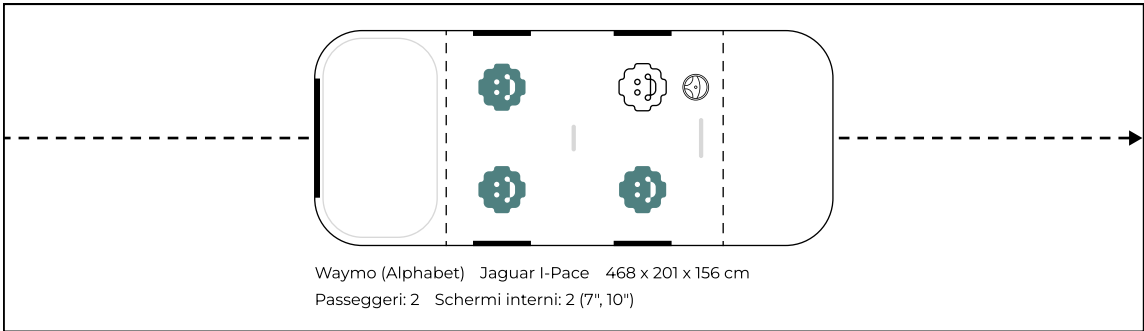
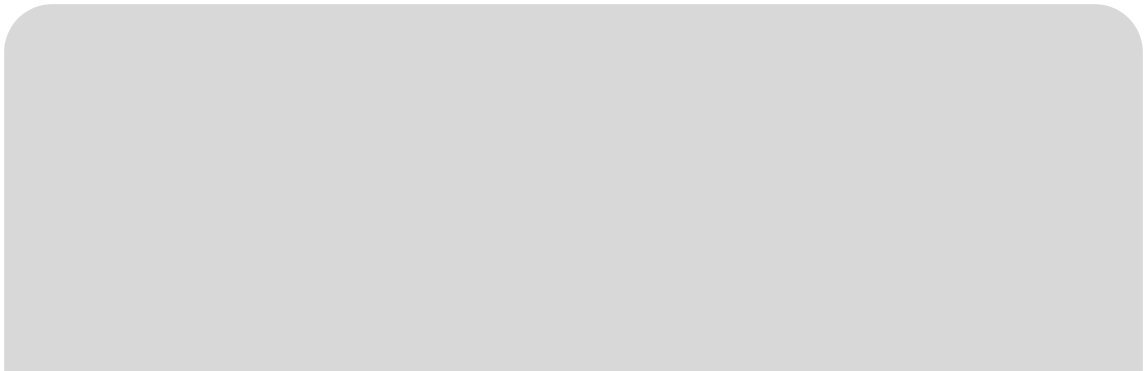
Apertura/chiusura porte.



Iniziali mostrate sullo schermo sopra al veicolo, indicazione di salire/scendere.



Avviso di non toccare il volante, il sistema di guida autonoma è sempre in controllo del veicolo.







Il veicolo adotta la stessa interfaccia interna della Jaguar I-Pace, ma si distingue per la presenza di tre schermi: uno sulla plancia e due posteriori ai sedili.

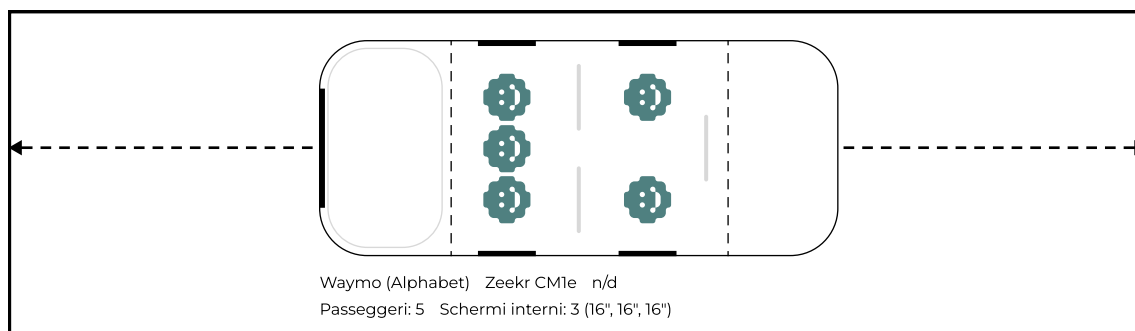


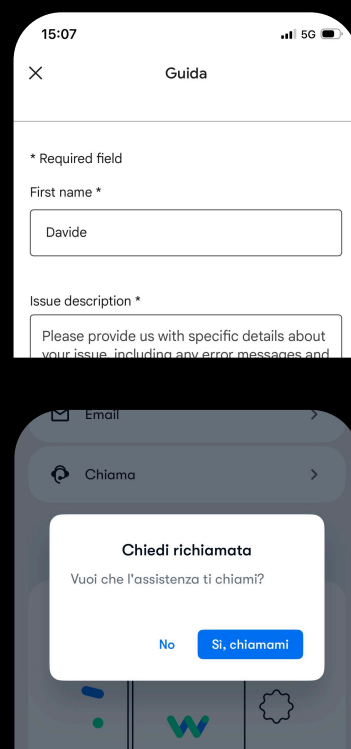
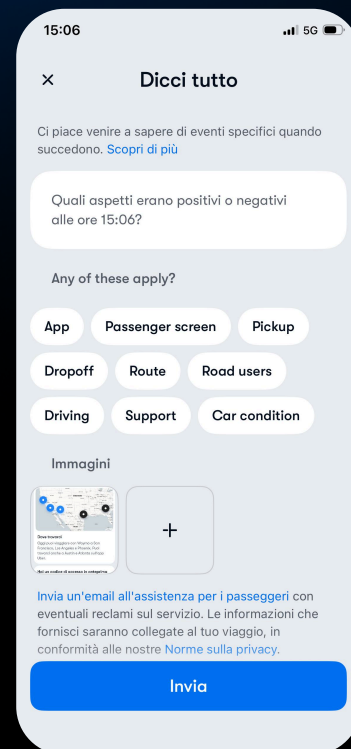
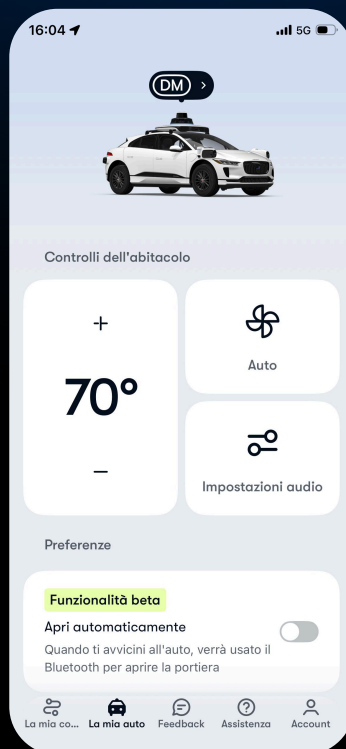
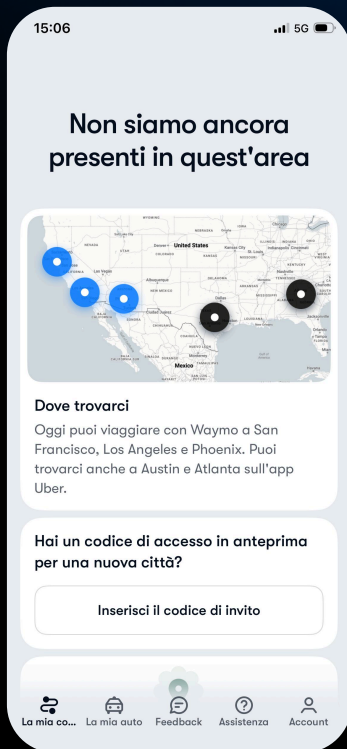
Apertura/chiusura porte.

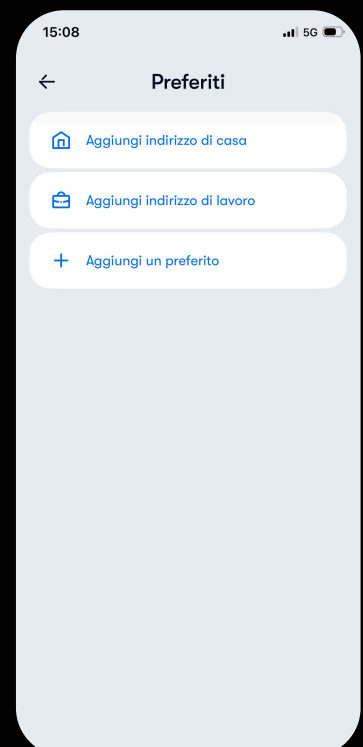
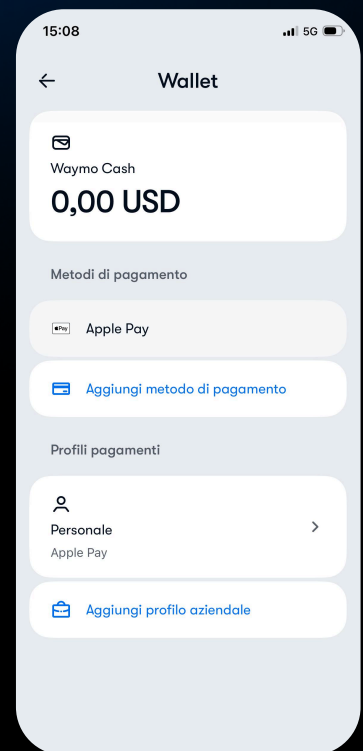
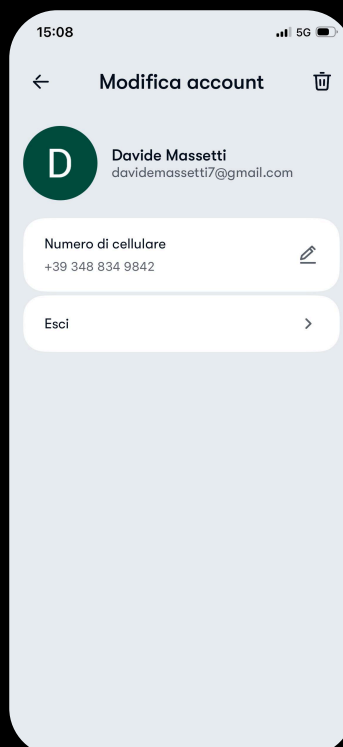
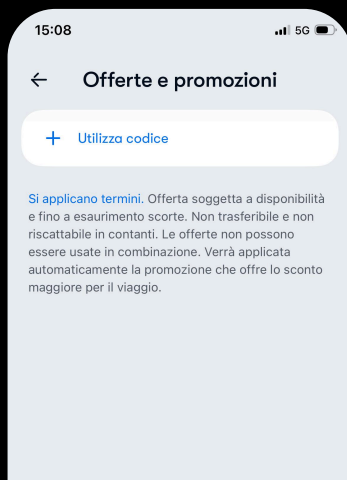
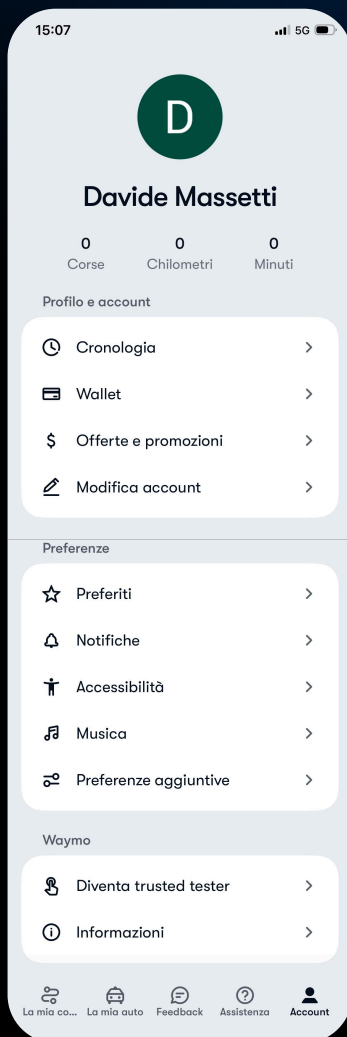


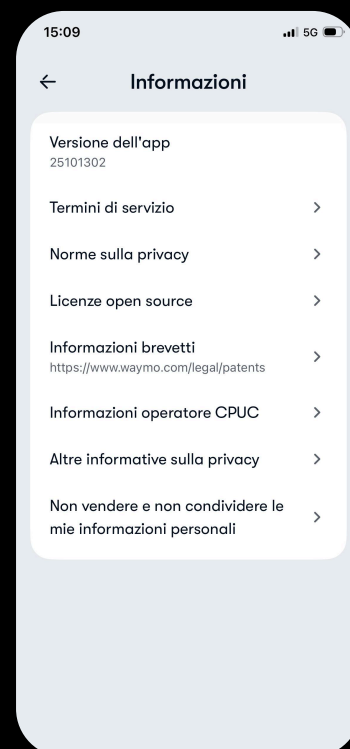
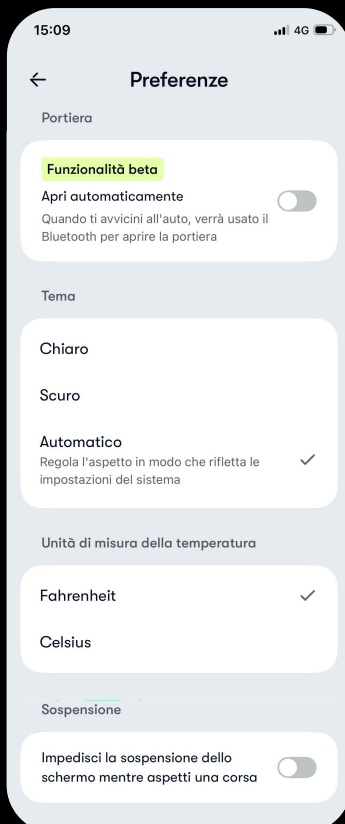
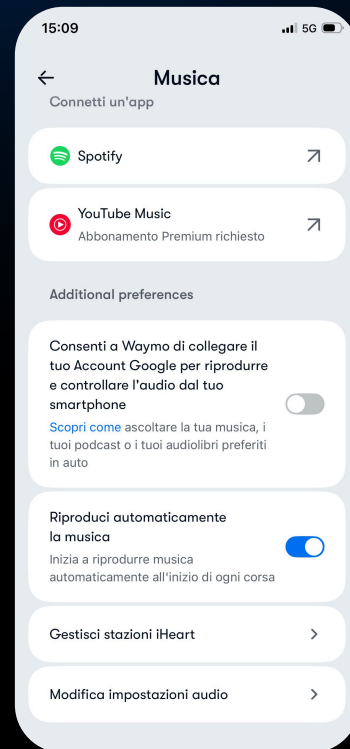
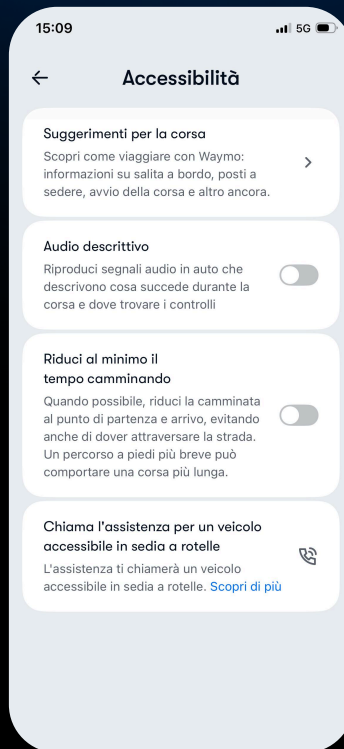
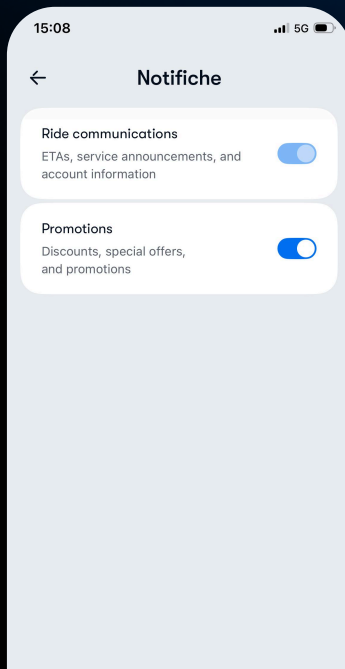
NDRTs

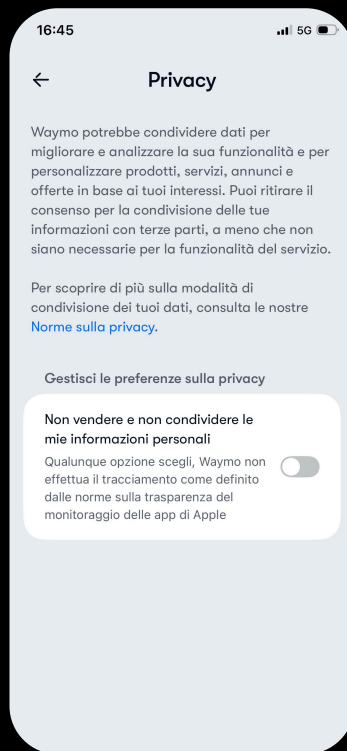
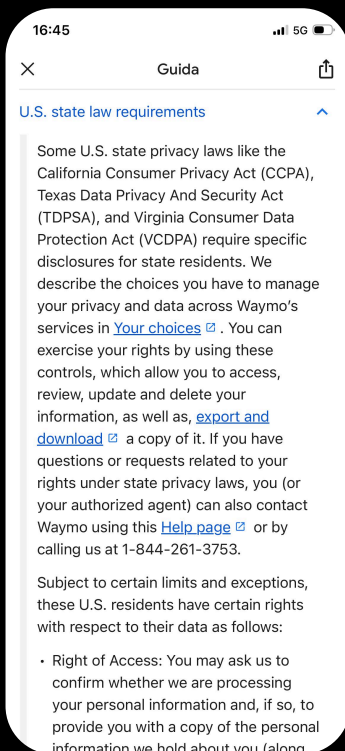
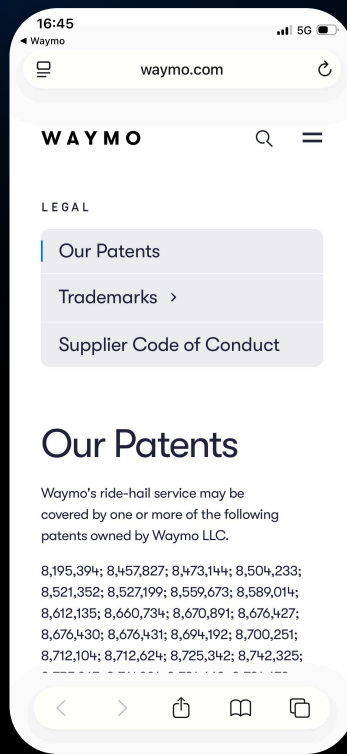
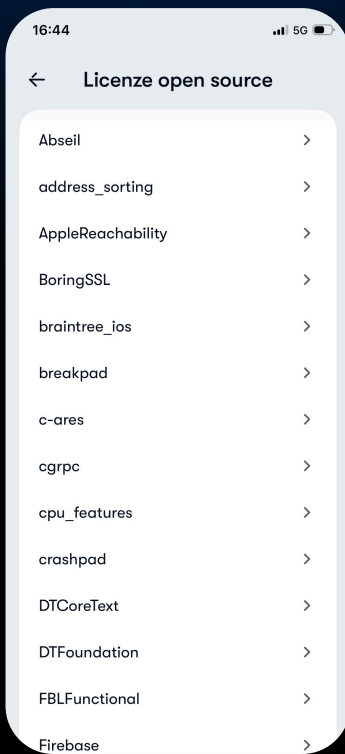
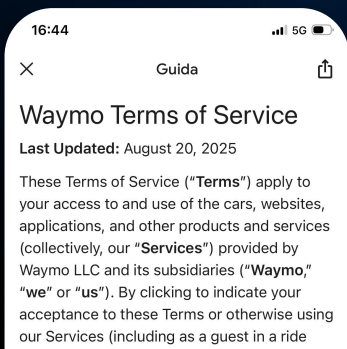
Prese USB-C.

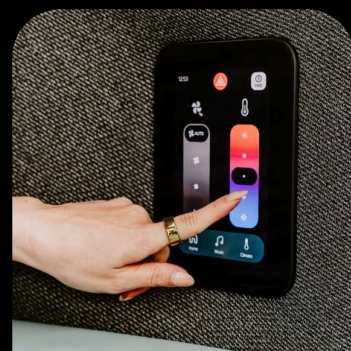
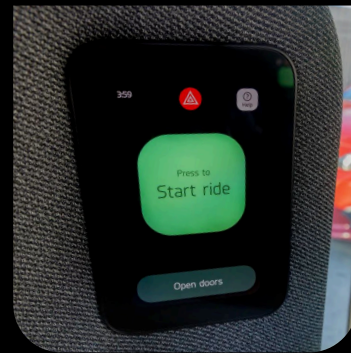
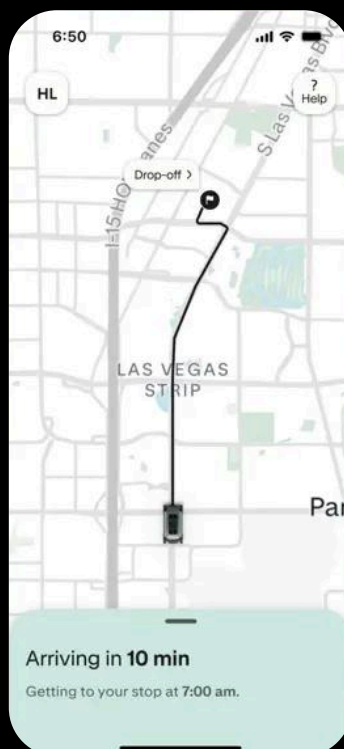
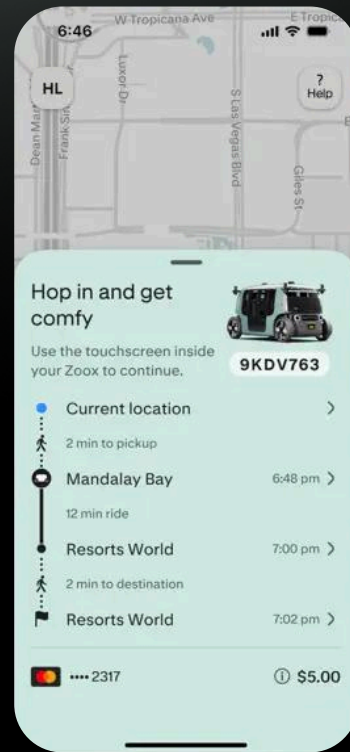
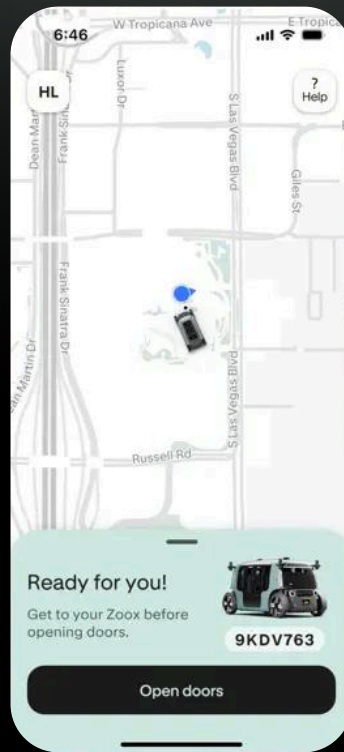
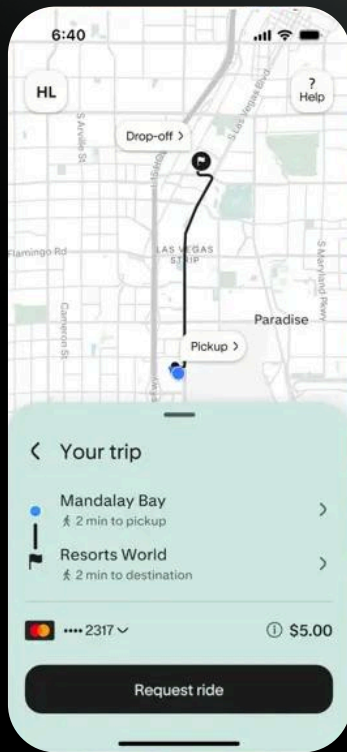














Mapa del percorso e distanza da percorrere a piedi per raggiungere punto di prelievo e destinazione.



Luogo di prelievo (pickup) e destinazione (drop off), dati di pagamento e fatturazione, conferma richiesta veicolo.



Richiesta di assistenza



Posizione utente e distanza dal veicolo.



Arrivo del veicolo presso il punto di prelievo.



Codice identificativo del veicolo



Apertura delle porte.



Richiesta di assistenza



Riassunto dati di pagamento, percorso, posizione e durata della corsa.



Codice identificativo del veicolo



Richiesta di assistenza.



Informazioni sulla corsa.



Chiusura delle porte.



Richiesta SOS e assistenza.



Mapa del percorso, punto di drop off, posizione del veicolo, durata corsa e orario di arrivo.



Richiesta di assistenza



Avvio della corsa.



Apertura delle porte.



Richiesta SOS e assistenza.



Allacciare le cinture.



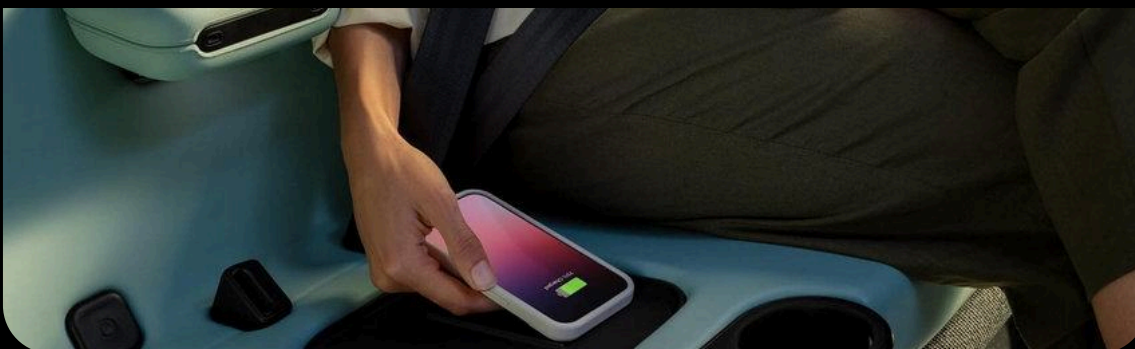
Richiesta SOS e assistenza.



Regolazione temperatura.



Richiesta SOS e assistenza.





Scelta e regolazione della musica nell'abitacolo.



Richiesta SOS e assistenza.



Durata e orario di arrivo.



Arresto della corsa.



Richiesta SOS e assistenza.



Apertura delle porte.



Richiesta SOS e assistenza.



Richiesta di emergenza.



Richiesta di assistenza.



Richiesta di emergenza, pulsante dedicato posto sul tettuccio dell'abitacolo.



Leva per apertura manuale di emergenza delle porte in caso di mancato funzionamento del touchscreen interno. Pulsante presente in prossimità di entrambe le porte.

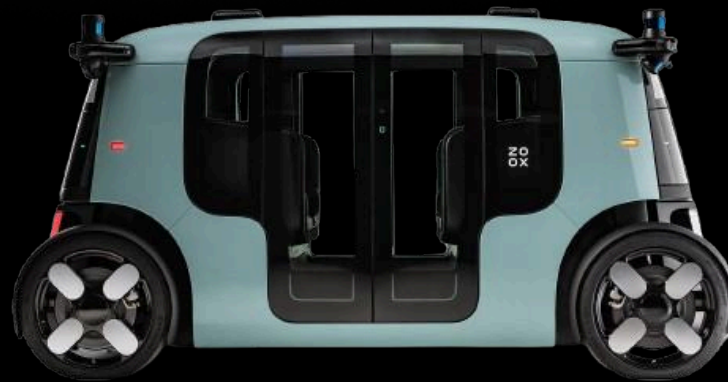
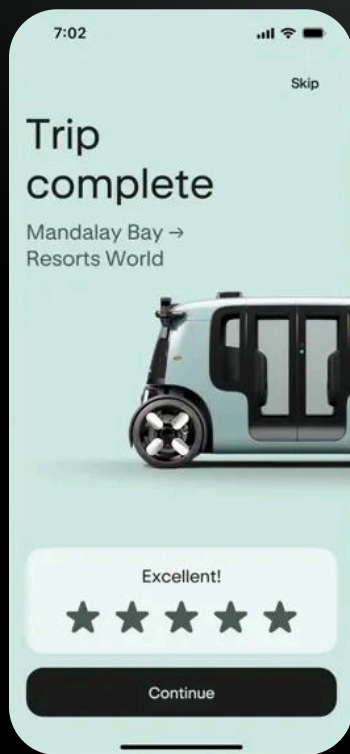


Prese USB-C.

Ricarica wireless per smartphone.

ZOOX

Capitolo 5



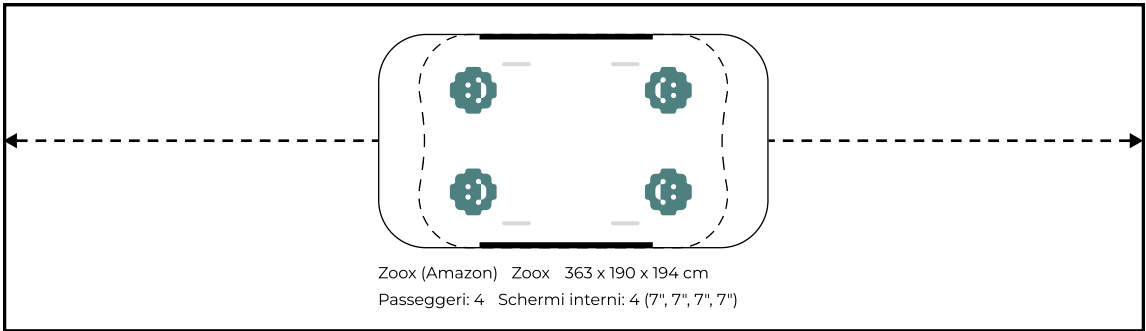
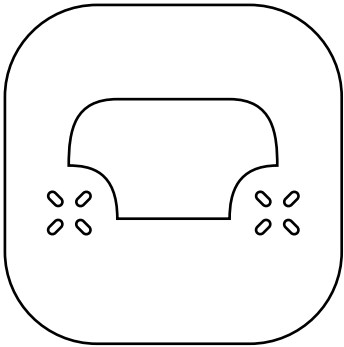


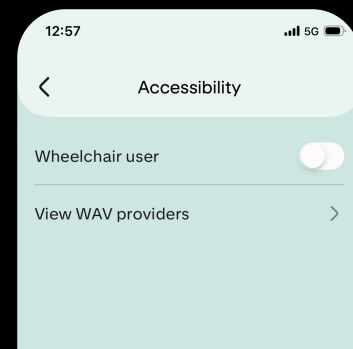
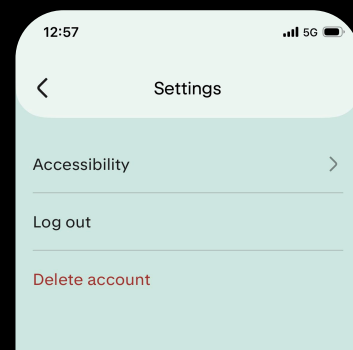
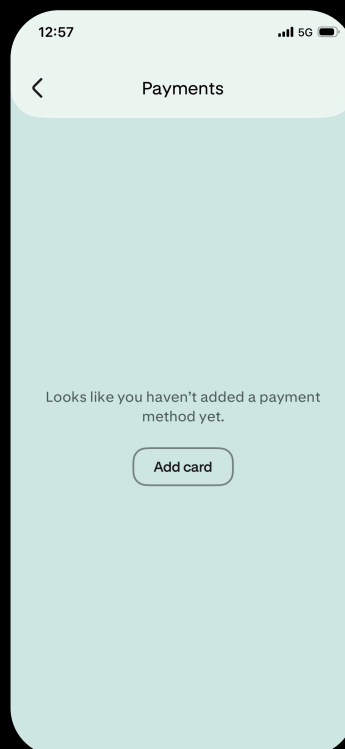
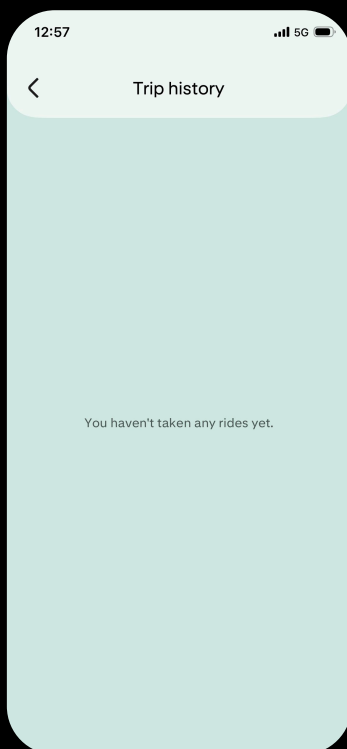
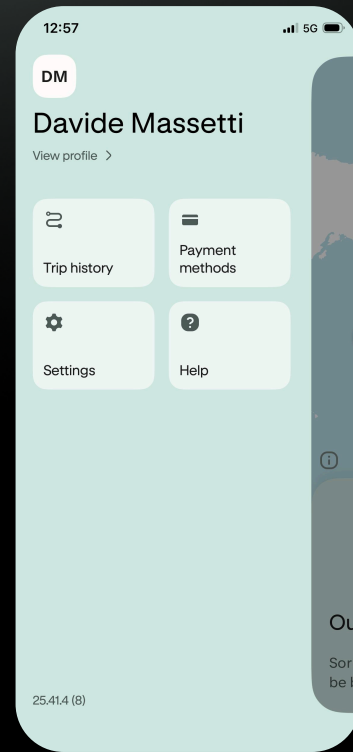
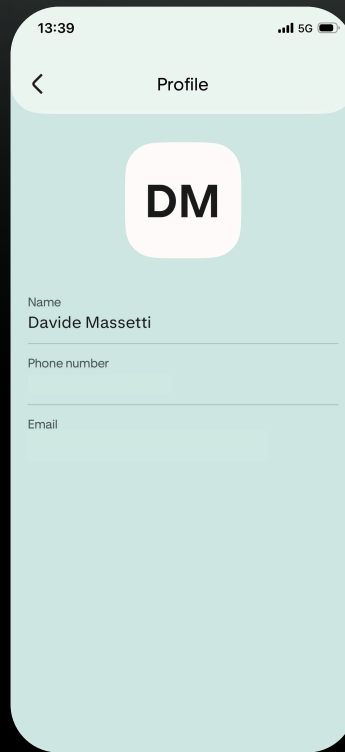
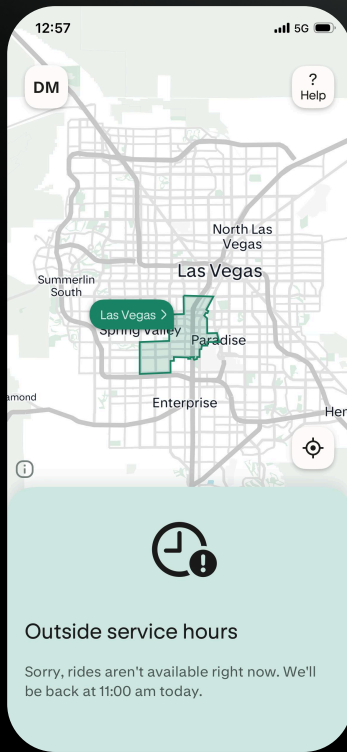
Arrivo a destinazione.

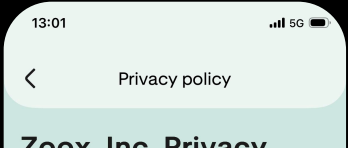
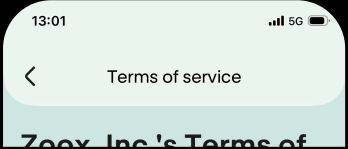
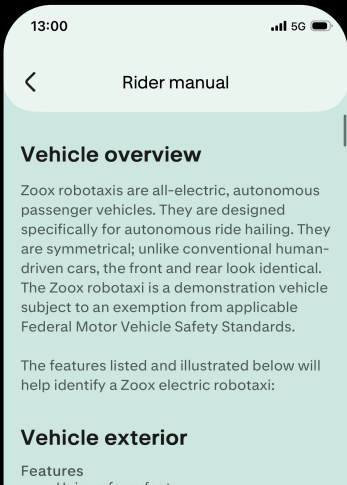
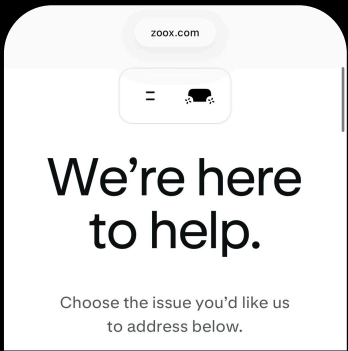
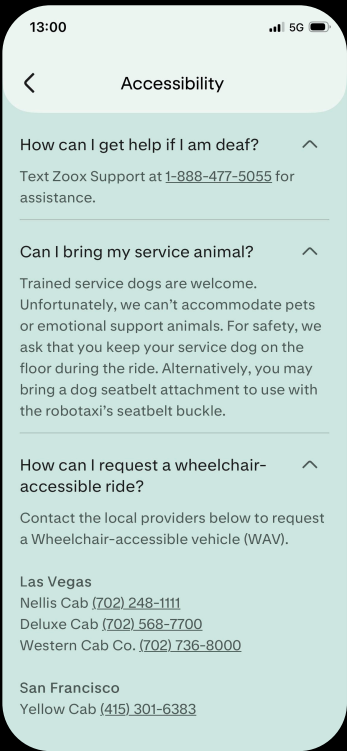
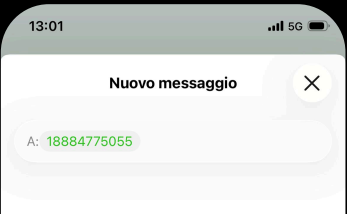
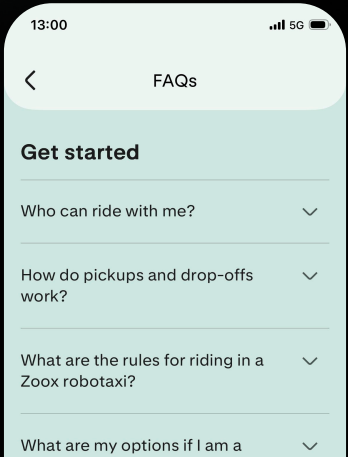
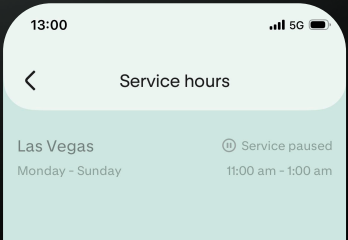
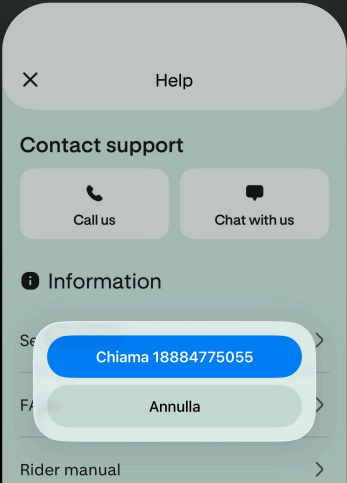
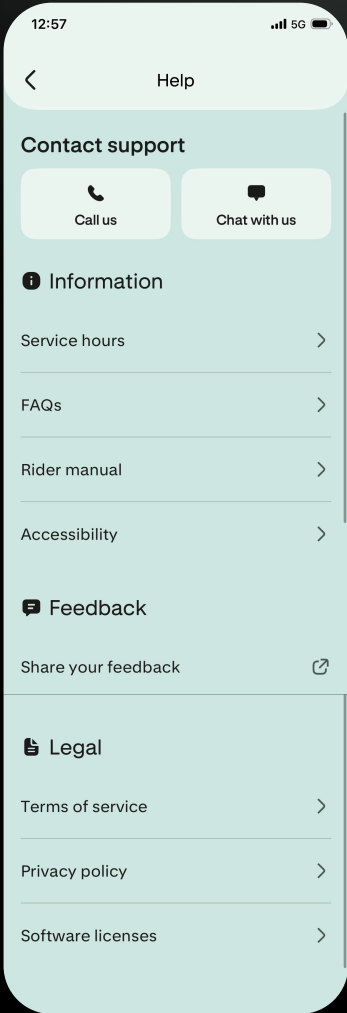
Ricordarsi i propri effetti personali.

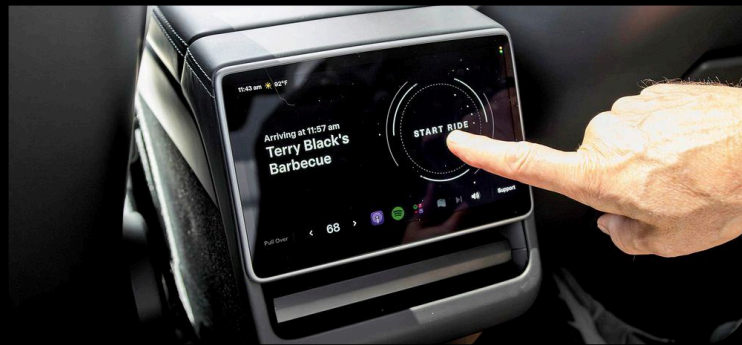
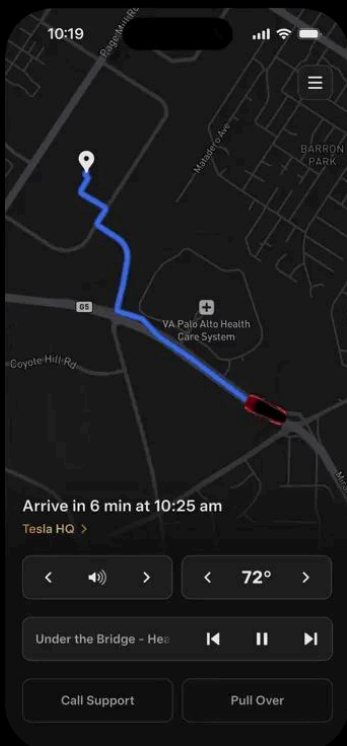
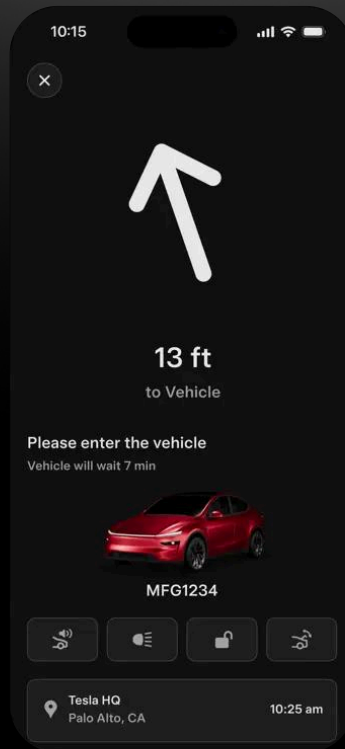
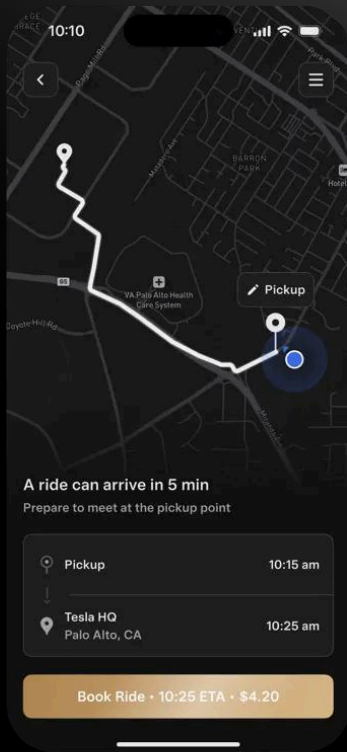


Feedback.











Mappa del percorso, distanza da percorrere a piedi per raggiungere punto di prelievo, destinazione e ora di arrivo.



Luogo di prelievo (pickup) e destinazione, costo della corsa, pagamento e conferma richiesta veicolo.



Richiesta di assistenza.



Posizione utente, distanza dal veicolo, riassunto corsa.



Invito all'ingresso e tempo di attesa del veicolo.



Codice identificativo del veicolo.

Accensione luci veicolo.

Segnale sonoro dal veicolo.



Apertura delle portiere.

Apertura del bagagliaio.



Avvio della corsa.



Apertura/chiusura del veicolo.



Modifiche alla corsa e aggiunta fermate.



Richiesta di assistenza.



Arresto della corsa.



Mappa del percorso, punto di drop off, posizione del veicolo, durata corsa e orario di arrivo.



Richiesta di assistenza.



Regolazione temperatura.

Scelta della musica e regolazione del volume.



Arresto della corsa.



Destinazione e orario di arrivo.



Avvio della corsa.



Applicazioni e prese USB-C.



Temperatura e musica.



Arresto della corsa.



Richiesta di assistenza.



Velocità, limiti di velocità, posizione del veicolo su mappa dinamica 3D, destinazione, durata e % corsa, orario arrivo.



Arresto della corsa, stop in lane.



Richiesta di assistenza.

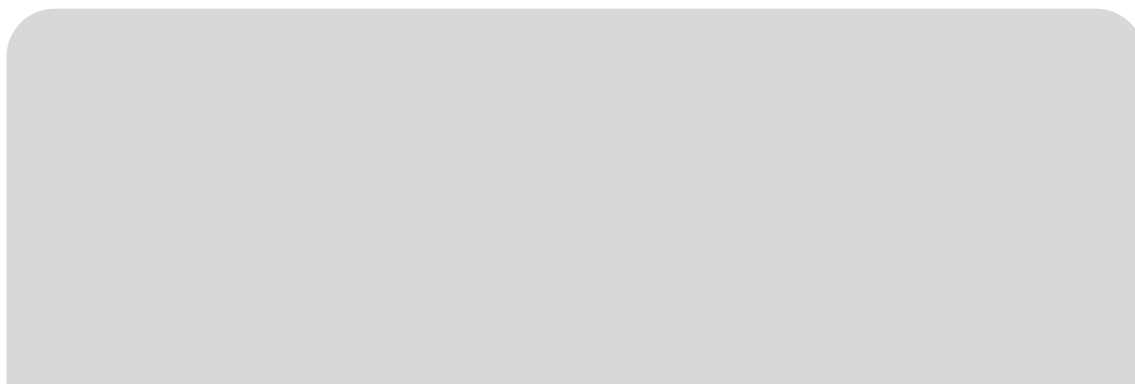


Temperatura e musica.



Compatibilità piattaforma.





NDRTs

Connessione con lo smartphone e login alle applicazioni di bordo.



NDRTs

Giochi e attività ludiche sullo schermo di bordo.



Richiesta di assistenza effettuata e connessione con l'operatore di servizio.



Arresto della corsa.



Richiesta di assistenza.



Attenzione nella discesa dal veicolo.

Ricordarsi i propri effetti personali.

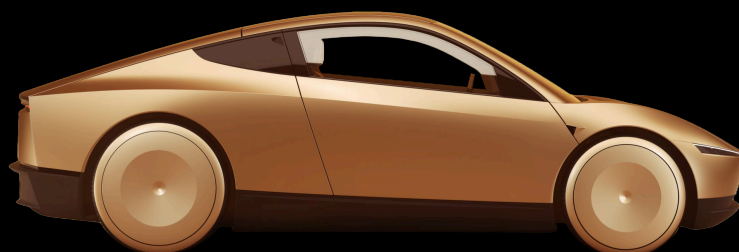
Per aprire le porte è necessario premere i pulsanti sulle portiere.



Richiesta di assistenza.



Apertura del bagagliaio.





Apertura/chiusura automatica di portiere e bagagliaio.



L'interfaccia interna presenta circa le stesse caratteristiche di quella presente nelle Tesla Model Y.



Apertura/chiusura portiere.



Temperatura e riscaldamento sedili.



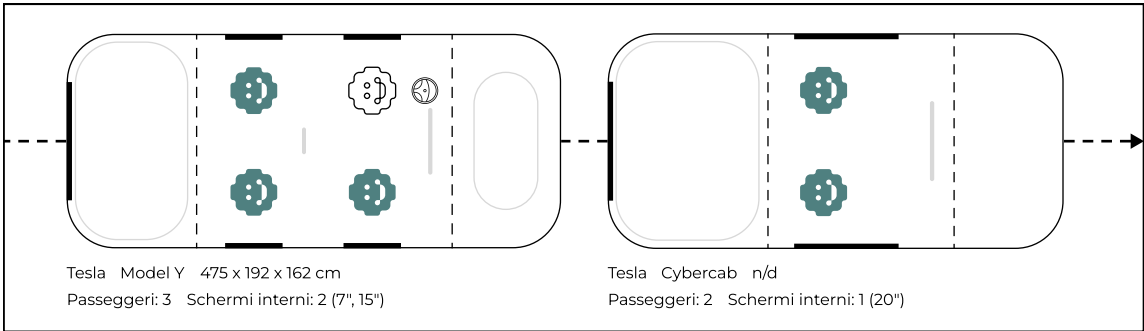
NDRTs

Compatibilità piattaforma.



START STOP

Avvio e arresto della corsa.



TOMOVE

APP

CAPITOLO

06



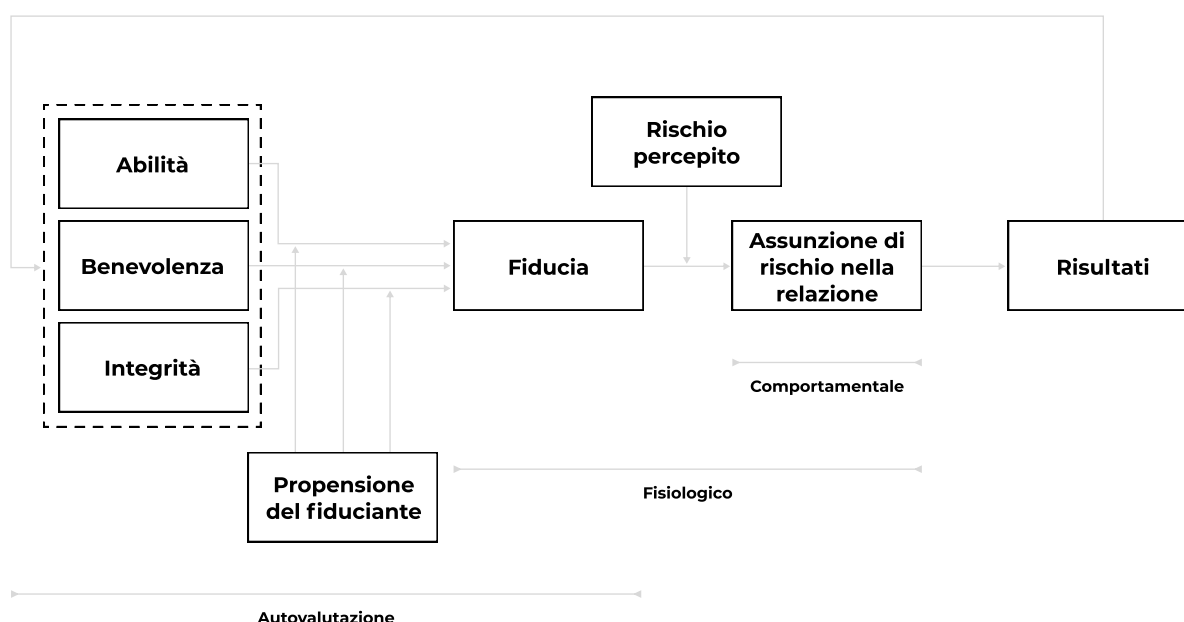
6.1 Fiducia e modello di accettazione

La diffusione dei veicoli completamente autonomi richiede che l'utente maturi un livello di fiducia tale da permettergli di delegare integralmente la guida a un sistema che agisce senza supervisione umana. A differenza dei contesti di trasporto tradizionali, in cui la presenza del conducente fornisce rassicurazione, capacità interpretativa e gestione degli imprevisti, l'esperienza con il veicolo autonomo è mediata esclusivamente dall'interazione con le sue interfacce tecnologiche. È pertanto attraverso l'applicazione mobile e la strumentazione di bordo che l'utente costruisce un'immagine coerente del sistema, ne valuta l'affidabilità e comprende in che misura esso possa essere considerato sicuro e prevedibile. Per interpretare questo processo, il modello integrato della fiducia proposto da Mayer, Davis e Schoorman [188], offre un quadro teorico particolarmente efficace. Le tre dimensioni che compongono il modello, quali competenza, benevolenza e integrità, descrivono in modo articolato il modo in cui l'individuo giunge ad affidarsi a un agente esterno, indipendentemente dal fatto che questo sia umano o artificiale. La letteratura sull'interazione uomo-automazione ha dimostrato che tali dimensioni risultano altrettanto valide nel valutare l'interazione con sistemi intelligenti e autonomi [77]. Nei veicoli senza conducente, tuttavia, queste dimensioni non possono essere dedotte dall'osservazione diretta del comportamento umano ma emergono dai segnali, dalle informazioni e dalle scelte comunicative che il sistema rende accessibili attraverso le proprie

interfacce. La prima dimensione, la competenza, riguarda la percezione della capacità tecnica del veicolo di operare in modo efficace e coerente. Poiché l'utente non può osservare i processi interni, come l'elaborazione dei dati dei sensori, la previsione delle traiettorie e la pianificazione delle manovre, la competenza deve essere trasmessa indirettamente. L'applicazione mobile, attraverso la precisione delle stime temporali, la chiarezza sulle condizioni operative e la coerenza degli aggiornamenti, fornisce all'utente una prima valutazione della stabilità e dell'affidabilità del sistema. Informazioni che risultano puntuali, prevedibili e contestualizzate contribuiscono a ridurre l'incertezza e a rafforzare l'impressione che il sistema sia in grado di gestire la complessità del traffico in modo competente. A bordo del veicolo, la strumentazione interna svolge una funzione ancora più decisiva nel rendere percepibile la competenza. Le rappresentazioni visive dell'ambiente circostante, come pedoni, veicoli, ostacoli o segnaletica, permettono all'utente di verificare che il sistema percepisca correttamente la scena. Al tempo stesso, la comunicazione delle intenzioni, unita a una dinamica di guida fluida e controllata, consente di interpretare ogni manovra come il risultato di un processo decisionale stabile e robusto. Numerosi studi sottolineano come questa forma di trasparenza cognitiva riduca l'opacità del sistema autonomo e aumenti la fiducia nella sua capacità di leggere e gestire l'ambiente. Accanto alla competenza, la benevolenza rappresenta un elemento decisivo nella costruzione della fiducia. Essa non riguarda intenzioni umane, ma la percezione che il sistema operi in modo orientato al benessere dell'utente.

L'applicazione, attraverso un linguaggio comprensibile, non allarmistico e coerente, contribuisce a ridurre la distanza emotiva tra persona e tecnologia; allo stesso modo, la possibilità di personalizzare l'esperienza, dalle impostazioni ambientali ai servizi di assistenza, suggerisce che il sistema tenga conto delle preferenze individuali e sia progettato per supportare il comfort dell'utente. All'interno del veicolo, la strumentazione di bordo consolida ulteriormente questa percezione. La chiarezza dei messaggi, la cura nella gestione del comfort, l'assenza di bruschi cambiamenti di comportamento e la capacità di spiegare in modo chiaro ed esaustivo anche situazioni inattese costituiscono indicatori che l'utente interpreta come segnali d'attenzione. In assenza di un conducente umano, tali elementi diventano veri e propri sostituti della rassicurazione sociale, contribuendo a creare un clima di sicurezza che va oltre la dimensione puramente tecnica. L'ultima dimensione individuata dal modello, l'integrità, si riferisce alla percezione che il sistema agisca in conformità a principi chiari, coerenti e rispettosi delle norme. Essa non riguarda soltanto la capacità del veicolo di seguire le regole della circolazione, ma anche il modo in cui comunica i propri limiti e gestisce situazioni non previste. L'applicazione mobile svolge un ruolo decisivo presentando in modo trasparente le condizioni in cui il sistema può operare, i limiti della tecnologia e le politiche relative alla sicurezza e alla gestione dei dati. La coerenza tra le informazioni comunicate e ciò che l'utente osserva durante l'esperienza costituisce un indicatore fondamentale della credibilità del sistema.

A bordo, la strumentazione interna rafforza questa percezione attraverso un comportamento stabile e prevedibile, pienamente aderente alle norme, e una gestione trasparente degli imprevisti. La capacità del sistema di comunicare eventuali anomalie senza occultarle, e di farlo con tono misurato e coerente con i protocolli di sicurezza, contribuisce in modo significativo alla costruzione di un'immagine di affidabilità etica oltre che tecnica. In un contesto in cui l'utente non può intervenire direttamente, la percezione di integrità risulta essenziale per sostenere la delega totale del controllo [189] [190]. Nel loro insieme, queste tre dimensioni mostrano come la fiducia nei veicoli completamente autonomi non dipenda soltanto dalle prestazioni tecniche del sistema, ma dalla capacità di trasformare tali prestazioni in segnali comprensibili e coerenti attraverso l'applicazione mobile e la strumentazione di bordo. Le interfacce non costituiscono dunque un semplice complemento del veicolo, ma una componente strutturale del suo ecosistema comunicativo. È attraverso di esse che l'utente costruisce un giudizio informato sulla competenza del sistema, percepisce un orientamento alla propria sicurezza e valuta la coerenza normativa ed etica dell'operato del veicolo. La qualità di questa mediazione rappresenta un elemento chiave per l'accettazione sociale dei veicoli autonomi. Una progettazione accurata e trasparente delle interfacce consente infatti di colmare la distanza tra l'opacità dei processi algoritmici e l'esigenza umana di comprendere, prevedere e sentirsi rassicurati. In tal senso, l'esperienza dell'utente non è un aspetto secondario, ma un vero e



Riproduzione del modello organizzativo della fiducia di Mayer (Mayer et al., 1995), che indica quali metodi di misurazione sono tipicamente utilizzati per catturare i diversi costrutti del modello

Fonte: S. C. Kohn, E. J. de Visser, E. Wiese, Y. Lee, T. H. Shaw - Measurement of Trust in Automation: A Narrative Review and Reference Guide, 2021

proprio fattore strategico per la costruzione della fiducia e, di conseguenza, per un'efficace diffusione dei sistemi di guida autonoma [191].

6.2 Linee guida e requisiti progettuali

La progettazione dell'interfaccia d'utilizzo per un sistema di mobilità autonoma di Livello 4 richiede un approccio multidisciplinare, fondato sui principi dell'ergonomia cognitiva, dell'Human-Centered Design (HCD) e dell'Human-Machine Interaction (HMI). In un veicolo autonomo privo di conducente l'interfaccia assume un ruolo centrale nel processo di comunicazione tra utente, veicolo e contesto circostante, sostituendo funzioni informative, interpretative e

rassicurative, svolte tradizionalmente dall'essere umano alla guida. In tale scenario, l'applicazione mobile, lo schermo di bordo e i sistemi di comunicazione esterna del veicolo non rappresentano elementi separati, ma componenti integrative di un unico ecosistema informativo. Essi devono cooperare per garantire che l'utente possa comprendere in modo chiaro lo stato del veicolo, le intenzioni operative, le opzioni disponibili e la corretta modalità di interazione nelle diverse fasi del servizio, dalla prenotazione della corsa fino alla sua conclusione. Parallelamente, la comunicazione esterna deve assicurare che l'ambiente circostante, costituito da pedoni e altri utenti della strada, riceva segnali non ambigui e immediatamente interpretabili. Le linee guida che seguono costituiscono un insieme

organico e coerente di principi progettuali, volto a orientare la definizione dell'interfaccia nei suoi aspetti funzionali, visivi, informativi e comportamentali. Esse stabiliscono criteri metodologici che garantiscono trasparenza, sicurezza, prevedibilità, accessibilità e continuità comunicativa. Tali principi rappresentano la base teorica e applicativa su cui è stato sviluppato il progetto dell'interfaccia oggetto del presente elaborato.

Linee guida progettuali

1. Centralità dell'utente e progettazione task-oriented:
l'interfaccia deve facilitare un'interazione immediata e priva di ambiguità, consentendo a utenti con diversi livelli di familiarità tecnologica di comprendere rapidamente le azioni disponibili. Ogni schermata deve supportare un obiettivo operativo principale, evitando dispersioni informative e riducendo il carico cognitivo complessivo.
2. Coerenza tra i diversi canali di interazione:
App, display interno e comunicazione esterna devono adottare un linguaggio visivo e terminologico uniforme, così da garantire continuità percettiva e semantica. La coerenza strutturale nella disposizione degli elementi, nei colori e nei riferimenti iconografici favorisce la prevedibilità del sistema e consolida la sensazione di familiarità con il veicolo.
3. Gerarchia informativa e chiarezza espositiva:
l'organizzazione dei contenuti deve riflettere una chiara gerarchia visiva, ponendo le informazioni essenziali, in particolare quelle relative allo stato del veicolo e alla sicurezza, in posizione di massima evidenza. I contenuti secondari devono essere collocati in livelli subordinati, così da mantenere leggibilità e ordine percettivo in ogni fase del servizio.
4. Trasparenza delle intenzioni operative del veicolo:
Il sistema deve esplicitare in modo chiaro e sintetico le azioni in corso e/o le manovre imminenti. Eventuali variazioni del comportamento del veicolo, come rallentamenti, soste impreviste o deviazioni devono essere accompagnate da spiegazioni tempestive e comprensibili. La trasparenza rappresenta un elemento fondamentale per la costruzione della fiducia e per la gestione dell'incertezza dei passeggeri.
5. Antropomorfizzazione controllata:
un uso misurato di elementi antropomorfici, quali forme comunicative ispirate al linguaggio naturale, indicatori visivi e brevi animazioni esplicative, può agevolare l'interpretazione delle azioni del veicolo e migliorare il comfort psicologico degli utenti. Tali espedienti devono, tuttavia, rimanere strettamente funzionali alla comprensione del sistema, evitando di attribuire al veicolo qualità cognitive inesistenti o crearne una percezione errata.
6. Sicurezza come principio progettuale trasversale:
La sicurezza deve guidare l'intera concezione dell'interfaccia. Le funzioni critiche devono risultare

immediatamente visibili e accessibili, mentre le operazioni potenzialmente rischiose devono prevedere meccanismi di conferma o vincoli volti a prevenire attivazioni involontarie. L'interfaccia deve inoltre promuovere comportamenti appropriati, evitando configurazioni che possano indurre l'utente in errore.

7. Feedback immediati e coerenti: ogni interazione deve generare un feedback immediato, chiaro e proporzionato al tipo di azione compiuta. Il sistema deve comunicare con continuità lo stato del viaggio e l'evoluzione delle operazioni, adottando segnali visivi, sonori o aptici che facilitino la percezione dell'esito e rafforzino la sensazione di controllo percepito.
8. Riduzione del carico cognitivo: l'interfaccia deve presentare esclusivamente le informazioni necessarie alla fase d'uso corrente, eliminando ridondanze ed elementi non utili. Un design essenziale e orientato alla funzionalità favorisce un'elaborazione efficiente delle informazioni e limita la possibilità di distrazione durante le interazioni.
9. Accessibilità e inclusività: Il sistema deve garantire la piena fruibilità a utenti con differenti capacità sensoriali, motorie o cognitive. Ciò richiede l'adozione di contrasti adeguati, tipografie altamente leggibili, icone universalmente interpretabili, compatibilità con tecnologie assistive e opzioni di personalizzazione. L'interfaccia deve risultare comprensibile anche a utenti occasionali o stranieri.

10. Multi-modalità d'interazione e informazione: per garantire robustezza nelle fasi d'interazione e comunicazione, le informazioni rilevanti devono essere trasmesse attraverso più canali percettivi. L'integrazione di segnali visivi, sonori e tattili consente di compensare limiti momentanei di attenzione o percezione, migliorando l'efficacia complessiva del sistema.

11. Adattamento dinamico al contesto: l'interfaccia deve adeguarsi alle diverse fasi operative del servizio e alle condizioni ambientali in cui l'utente si trova. In movimento, il layout deve mantenere stabilità e continuità strutturale, evitando animazioni non necessarie o transizioni improvvise che possano compromettere la leggibilità.

12. Minimizzazione delle interazioni richieste all'utente: il sistema deve ridurre al minimo il numero di operazioni necessarie, privilegiando processi automatizzati che semplificano il flusso d'uso. La conferma della destinazione, l'avvio del servizio e il riconoscimento dell'utente devono risultare fluidi e naturali, minimizzando l'impegno cognitivo richiesto.

13. Stabilità e robustezza del layout: la disposizione degli elementi deve rimanere stabile e prevedibile, affinché l'utente possa costruire rapidamente modelli mentali affidabili del funzionamento dell'interfaccia. La stabilità contribuisce alla percezione di affidabilità del sistema e facilita l'apprendimento progressivo.

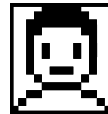
14. Tutela della privacy:
la progettazione deve rispettare i principi della privacy by design, esponendo dati personali esclusivamente quando ciò sia strettamente necessario all'uso del servizio. Le informazioni sensibili, in caso visibili solo all'utente, non devono essere visualizzate su schermi accessibili a terzi.
15. Gestione chiara delle anomalie:
in presenza di errori, malfunzionamenti o cambiamenti imprevisti del servizio, l'interfaccia deve fornire messaggi concisi, privi di tecnicismi e immediatamente attuabili. L'utente deve essere guidato attraverso un percorso risolutivo che garantisca continuità e sicurezza.
16. Comunicazione esterna nelle fasi dinamiche critiche:
durante le fasi più delicate, quali l'avvicinamento all'utente, l'arresto e la ripartenza, il veicolo deve comunicare all'ambiente circostante le proprie manovre tramite segnali chiari, standardizzati e immediatamente interpretabili. Tale comunicazione deve essere coordinata con quanto mostrato dall'app e dal display interno, garantendo coerenza temporale e semantica e contribuendo alla sicurezza complessiva del sistema autonomo.
17. * Validazione attraverso test empirici: le soluzioni progettuali devono essere sottoposte a cicli iterativi di valutazione mediante test con utenti reali, condotti in condizioni rappresentative degli scenari d'uso previsti.

Le evidenze raccolte devono orientare il perfezionamento progressivo dell'interfaccia d'utilizzo, assicurando che essa risulti efficace, inclusiva e coerente nel tempo.

Linee guida

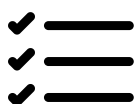
16 + 1*

Requisiti progettuali



Dati personali dell'utente:

la raccolta dei dati personali rappresenta la base per la creazione e la gestione del profilo utente, attraverso il quale vengono regolati l'accesso al servizio, le comunicazioni e la conservazione delle informazioni legate all'esperienza di utilizzo. Tali dati consentono l'identificazione univoca dell'utente e rendono possibile l'adattamento di specifici aspetti del servizio alle sue preferenze, contribuendo alla definizione di un'esperienza maggiormente personalizzata. La gestione dei dati avviene in conformità con la normativa vigente in materia di protezione dei dati personali e con i termini di utilizzo del servizio, assicurando un trattamento corretto e una tutela adeguata della privacy.



Dati per l'utilizzo del veicolo:

per predisporre ed erogare correttamente la corsa richiesta, il sistema necessita di un insieme di informazioni operative che descrivono le caratteristiche dello spostamento. Oltre alla destinazione finale, tali informazioni includono l'eventuale presenza di tappe intermedie, le preferenze di viaggio indicate dall'utente e il numero di passeggeri a bordo. Questi elementi costituiscono il quadro di riferimento entro cui il veicolo può pianificare e gestire il tragitto, assicurando che lo svolgimento della corsa avvenga in coerenza con le condizioni definite dall'utente.



Postazioni dedicate:

l'accesso al veicolo autonomo è previsto attraverso postazioni dedicate, chiaramente identificate e collocate in punti strategici del dominio operativo. Tali postazioni costituiscono i riferimenti principali per le operazioni di salita e discesa, assicurando che l'incontro tra utente e veicolo avvenga in condizioni sicure e ordinate. L'adozione di questi punti designati permette di organizzare il servizio in modo strutturato, favorendo una gestione efficace dei flussi e una maggiore regolarità nelle procedure operative all'interno dell'area servita.



Destinazioni fisse:

il servizio si basa su un insieme delimitato di destinazioni predefinite, che rappresentano gli unici punti verso cui il veicolo autonomo può essere indirizzato. Tale configurazione esclude la possibilità di indicare indirizzi arbitrari, richiedendo all'utente di selezionare una destinazione tra quelle messe a disposizione dal sistema. L'adozione di un set di destinazioni fisse permette di strutturare il servizio secondo un modello di mobilità più controllato e prevedibile, agevolando la definizione dei percorsi, la gestione operativa delle corse e la continuità del servizio all'interno dell'area.



Apertura e chiusura del veicolo:

l'accesso al veicolo autonomo richiede procedure che permettano all'utente di iniziare e terminare l'utilizzo del mezzo in modo rapido e privo di ambiguità. L'apertura segna l'assunzione della disponibilità del veicolo, mentre la chiusura ne sancisce la restituzione al sistema una volta terminata la corsa. Per garantire un'esperienza d'uso fluida, tali operazioni devono risultare intuitive, facilmente accessibili e immediate. Questo requisito consente di definire con precisione le fasi di presa in carico e rilascio del veicolo, assicurando ordine, sicurezza e tracciabilità dell'intero processo d'utilizzo.



Avvio del veicolo:

l'attivazione del movimento del veicolo autonomo deve essere subordinata a una conferma esplicita da parte dell'utente, che ne autorizza l'inizio della corsa. Questa azione costituisce il passaggio formale dalla fase di predisposizione del servizio alla sua effettiva esecuzione, assicurando che l'avvio avvenga in condizioni pienamente intenzionali e sotto il diretto controllo dell'utente. Tale requisito contribuisce a garantire un'interazione sicura e coerente con le procedure operative del sistema.



Feedback di stato del veicolo:

l'utente deve poter visualizzare informazioni relative alle condizioni interne del veicolo e alla corretta disposizione dei passeggeri. Tali feedback riguardano, ad esempio, l'allacciamento delle cinture di sicurezza, la verifica della seduta, eventuali avvisi legati alla sicurezza a bordo e lo stato dei principali sistemi veicolari. La disponibilità di queste indicazioni permette di controllare che l'ambiente interno sia predisposto in modo appropriato e che il veicolo operi nelle condizioni richieste per lo svolgimento del servizio.



Informazioni e gestione della corsa:

durante il viaggio, l'utente deve poter consultare un insieme completo e aggiornato di informazioni utili alla comprensione dello svolgimento della corsa. Ciò comprende la visualizzazione della mappa del percorso, la posizione corrente del veicolo, le previsioni di durata, le tappe previste e lo stato generale del servizio e del veicolo. La disponibilità di queste informazioni contribuisce a rendere l'esperienza trasparente, comprensibile e monitorabile, permettendo all'utente di seguire l'evoluzione della corsa attraverso un supporto informativo esaustivo.



Modifiche all'itinerario:

Il servizio deve prevedere la possibilità di aggiornare l'itinerario definito in fase di avvio della corsa, consentendo all'utente di indicare una nuova destinazione o di aggiungere ulteriori tappe durante il viaggio. Questa funzionalità permette al sistema di rispondere a esigenze che possono emergere in itinere e di adattare il percorso alle condizioni sopravvenute, ricalcolando il tragitto e ridefinendo le relative operazioni di navigazione in base alle nuove istruzioni fornite.



Comunicazione esterna del veicolo:

il veicolo deve poter essere riconosciuto con immediatezza dall'utente, sia in termini di identità sia di posizione nello spazio, così da rendere agevoli le fasi di avvicinamento e di accesso al servizio. Oltre al riconoscimento diretto, il veicolo deve comunicare in modo esplicito le proprie manovre agli altri utenti della strada, soprattutto nei momenti critici di partenza e arrivo. Segnali e/o indicatori dedicati devono rendere comprensibili le intenzioni del veicolo, facilitando l'interazione con pedoni, ciclisti e conducenti di altri mezzi. Questa comunicazione contribuisce alla gestione ordinata delle dinamiche di movimento e supporta la sicurezza delle persone presenti nell'area circostante.



Arresto del veicolo:

L'arresto del veicolo deve poter essere richiesto dall'utente in qualsiasi momento, sia per effettuare una sosta intermedia sia per interrompere anticipatamente la corsa. La funzione dedicata deve essere sempre disponibile e intuitiva, così da permettere un'attivazione immediata e priva di ambiguità. Una volta ricevuta la richiesta, il sistema deve procedere a fermare il veicolo in condizioni controllate, seguendo le procedure necessarie a garantire una manovra corretta e sicura.



Notifiche e avvisi:

Un sistema strutturato di notifiche incaricato di comunicare all'utente, in modo tempestivo, sia lo stato operativo del veicolo sia gli eventi che possono incidere sullo svolgimento della corsa. Le notifiche includono aggiornamenti relativi ai tempi di arrivo, alle condizioni del traffico e dell'ambiente circostante, informazioni sul funzionamento dei sistemi di bordo e conferme o negazioni delle azioni richieste dall'utente durante l'interazione con le interfacce di servizio. Questo insieme di comunicazioni permette di mantenere una consapevolezza continua dell'andamento del viaggio e del comportamento del sistema, offrendo un supporto informativo puntuale durante l'intera esperienza.

NDRTs

Non-Driving-Related Tasks:

l'assenza di compiti di guida permette all'utente di impiegare il tempo di viaggio per brevi attività non legate alla conduzione, compatibili con la durata generalmente contenuta delle corse. Le NDRTs possono includere attività comunicative, informative, lavorative o ricreative, selezionate o suggerite anche in base alle preferenze e ai dati forniti dall'utente. Il veicolo deve inoltre offrire gli elementi necessari a supportarle, come punti di ricarica per dispositivi personali o altre dotazioni utili a un utilizzo efficace e confortevole del tempo a bordo.



Richiesta di assistenza:

l'utente deve poter disporre di un canale dedicato per ottenere supporto in situazioni che non presentano carattere di emergenza, ma che richiedono chiarimenti, informazioni aggiuntive o indicazioni sull'utilizzo del servizio. La funzione di assistenza deve essere facilmente accessibile e permettere un'interazione diretta, o mediata dal sistema, con personale o risorse in grado di fornire il supporto necessario. Ciò garantisce che eventuali dubbi o difficoltà operative possano essere gestiti in modo tempestivo, sostenendo una fruizione continua e regolare del servizio.



Richiesta di emergenza:

in situazioni critiche, o percepite come tali dall'utente, deve essere disponibile un meccanismo immediato attraverso il quale segnalare l'emergenza e attivare le procedure di risposta previste dal servizio. La funzione deve essere chiaramente identificabile, sempre accessibile e utilizzabile anche in condizioni di difficoltà, così da garantire una comunicazione tempestiva del problema. Una volta ricevuta la segnalazione, il sistema deve avviare la gestione dell'emergenza secondo i protocolli stabiliti, includendo, quando

necessario, il coinvolgimento di operatori esterni o dei servizi di soccorso. Tale requisito è fondamentale in un contesto di mobilità autonoma, in cui l'utente affida la gestione dello spostamento a un sistema automatizzato e necessita di un canale prioritario per tutelare la propria sicurezza.



AI Explainability (spiegabilità del comportamento del veicolo autonomo):

il sistema deve essere in grado di fornire all'utente una spiegazione comprensibile delle decisioni e dei comportamenti adottati dal veicolo autonomo, in particolare quando questi risultano inattesi o difficili da interpretare. La disponibilità di informazioni che chiariscano le motivazioni alla base delle azioni del veicolo consente all'utente di comprendere il funzionamento dell'automazione e di orientarsi rispetto alle scelte compiute dal sistema, soprattutto nelle situazioni meno intuitive. Questo requisito risponde alla necessità di rendere leggibili i processi decisionali dell'intelligenza artificiale, facilitando l'interazione e promuovendo una relazione più consapevole con il veicolo.



Personalizzazione dell'esperienza e dell'ambiente di bordo:

l'utente deve poter intervenire sulla configurazione dell'ambiente interno all'abitacolo, disponendo di controlli dedicati alla regolazione degli elementi che influenzano il comfort e la qualità dell'esperienza di viaggio. Rientrano in questo ambito parametri quali illuminazione, climatizzazione, impostazioni sonore e altri aspetti che possono essere adattati in base alle preferenze personali. Oltre all'ambiente fisico, la personalizzazione può riguardare anche le modalità di presentazione delle informazioni e dei contenuti di servizio. Tali configurazioni possono essere definite di volta in volta oppure basarsi sui dati e sulle preferenze associate al profilo utente, permettendo al sistema di predisporre automaticamente un ambiente coerente con le esigenze individuali. Questo requisito garantisce che l'utente mantenga un adeguato livello di controllo sull'esperienza a bordo, senza interferire con il funzionamento operativo del veicolo autonomo.



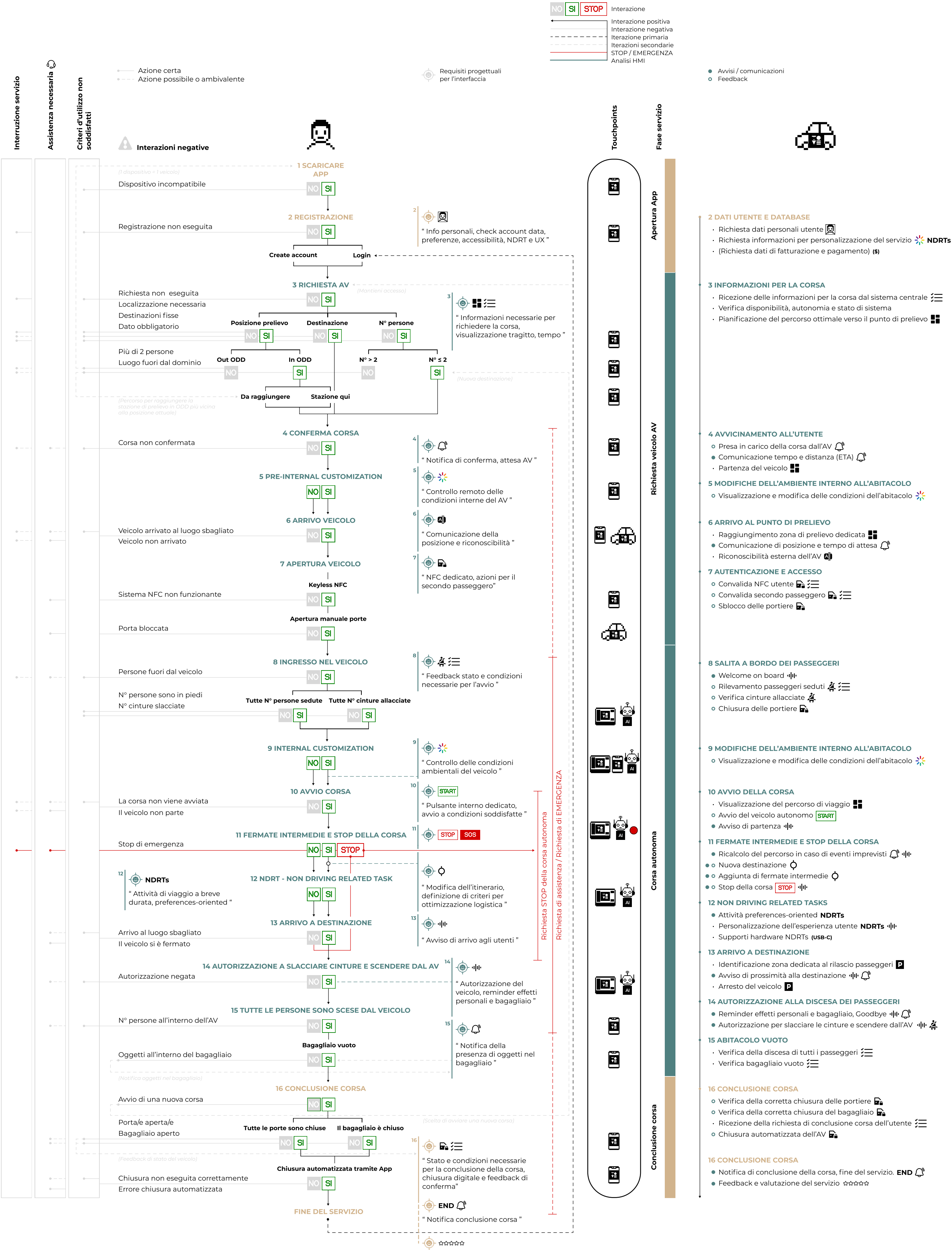
Feedback e valutazione del servizio:

deve essere prevista una funzione attraverso la quale l'utente può fornire una valutazione strutturata dell'esperienza di viaggio. Tale strumento consente di esprimere considerazioni sulla qualità del servizio, di segnalare eventuali problemi riscontrati e di proporre indicazioni utili allo sviluppo di miglioramenti futuri. La raccolta metodica di queste valutazioni rappresenta un elemento centrale per il monitoraggio continuo delle prestazioni del sistema e per l'evoluzione del servizio sulla base delle esigenze e delle percezioni degli utenti.

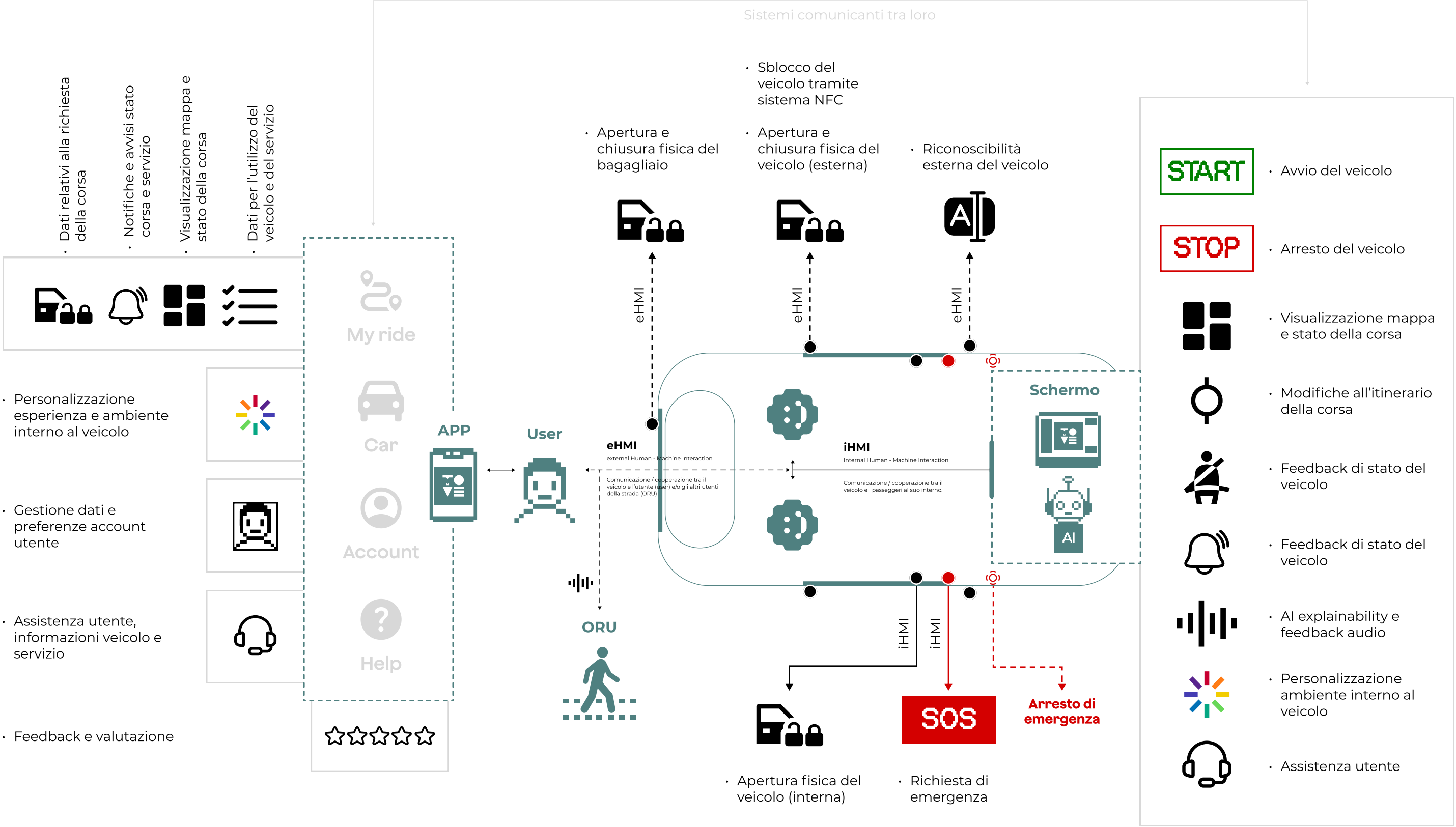
Requisiti

18

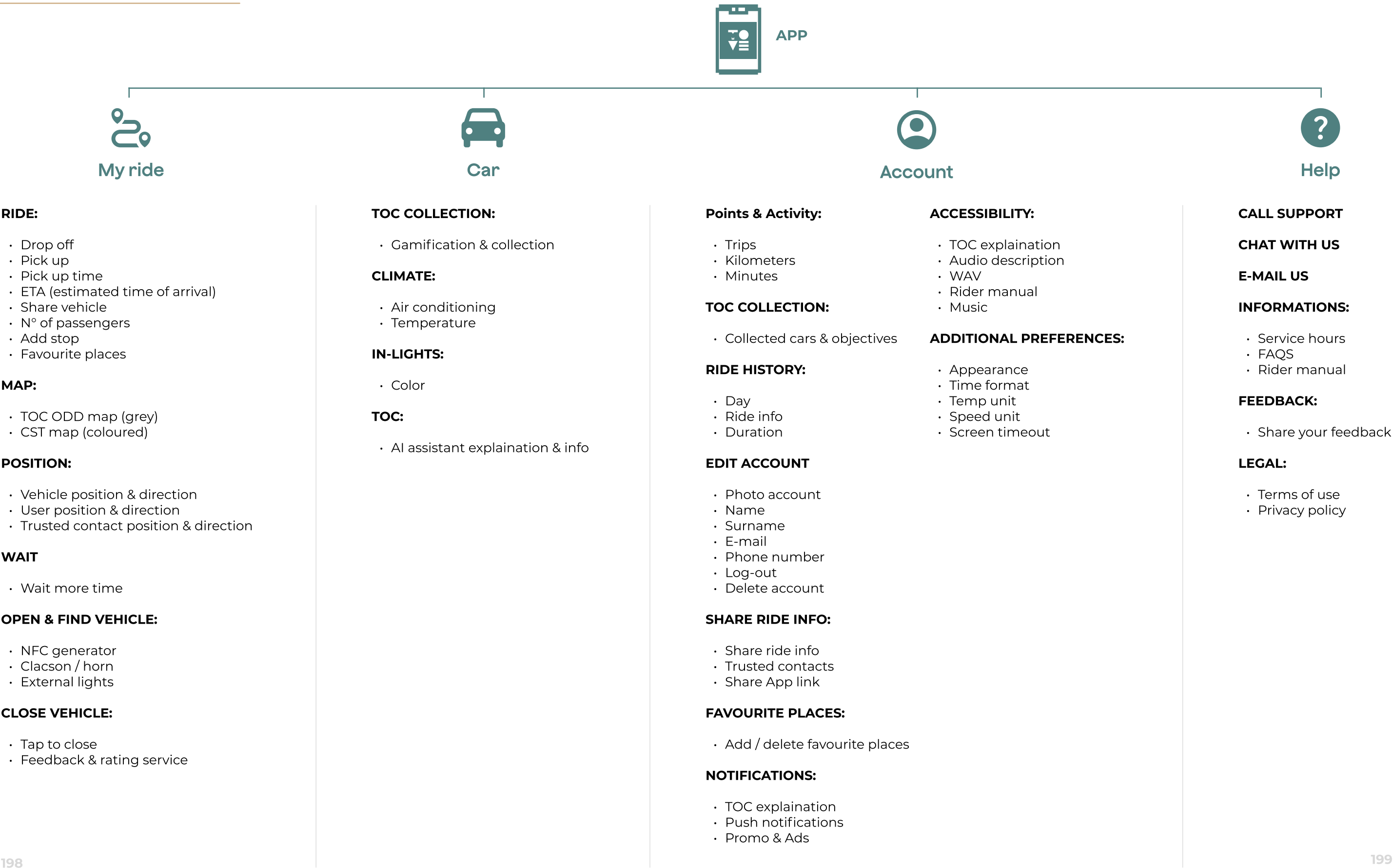
6.3 Interaction flow diagram

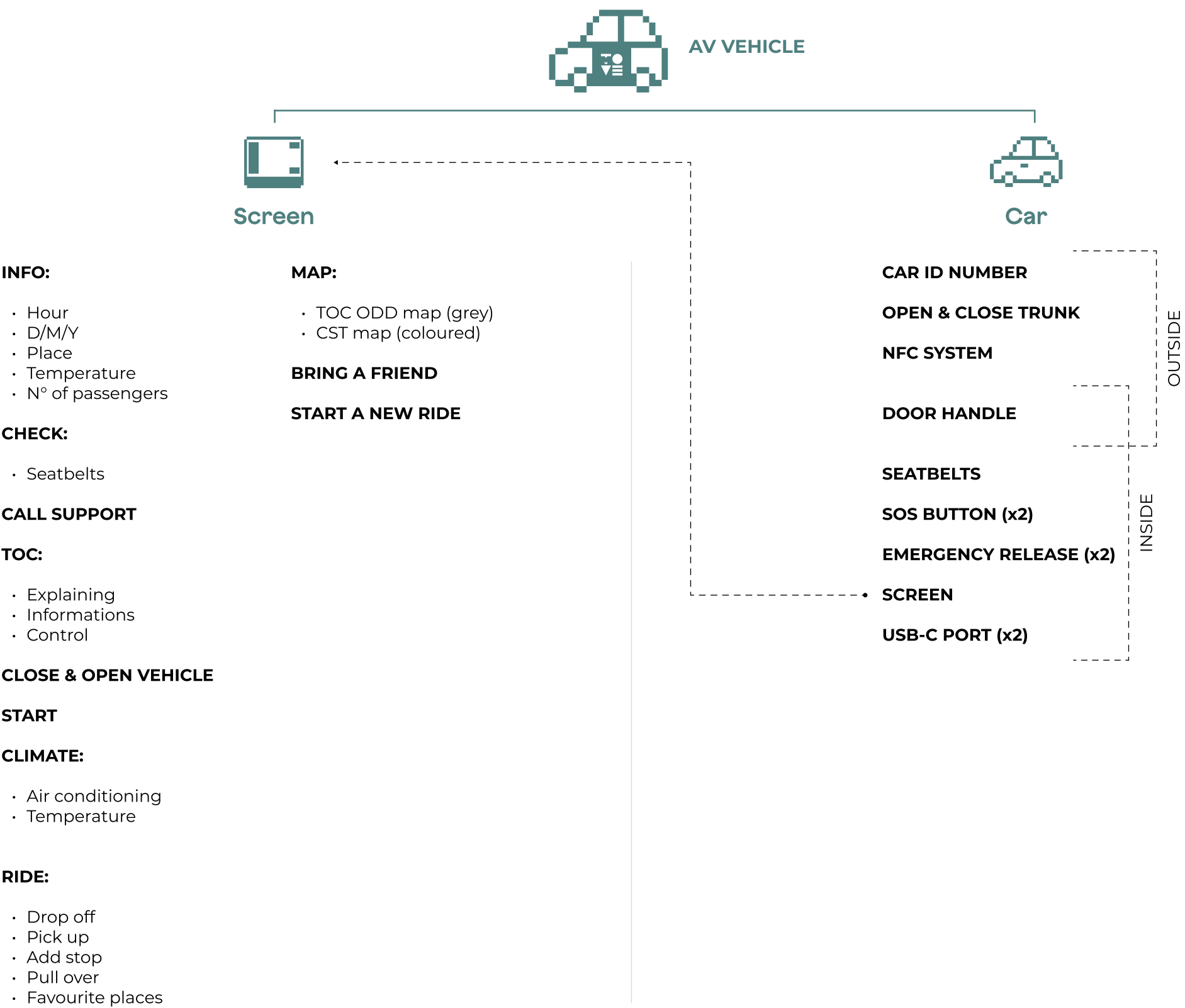


6.4 HMI map



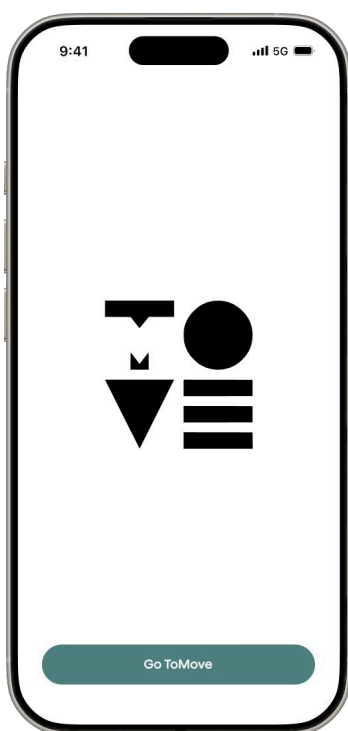
6.5 Sitemap e content inventory



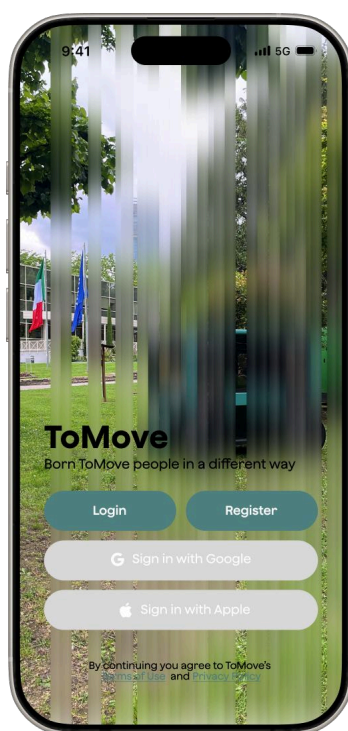


6.6 ToMove APP

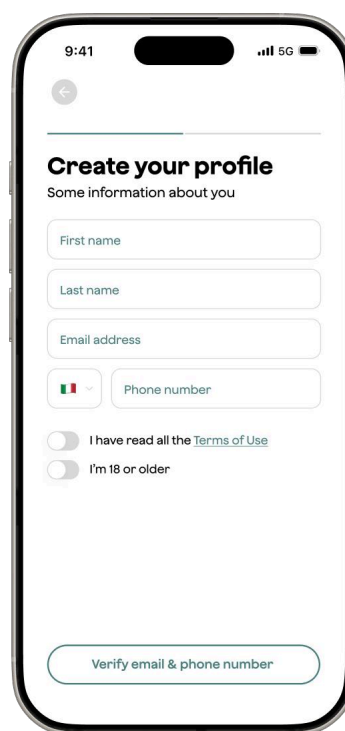
DATI UTENTE REGISTRAZIONE



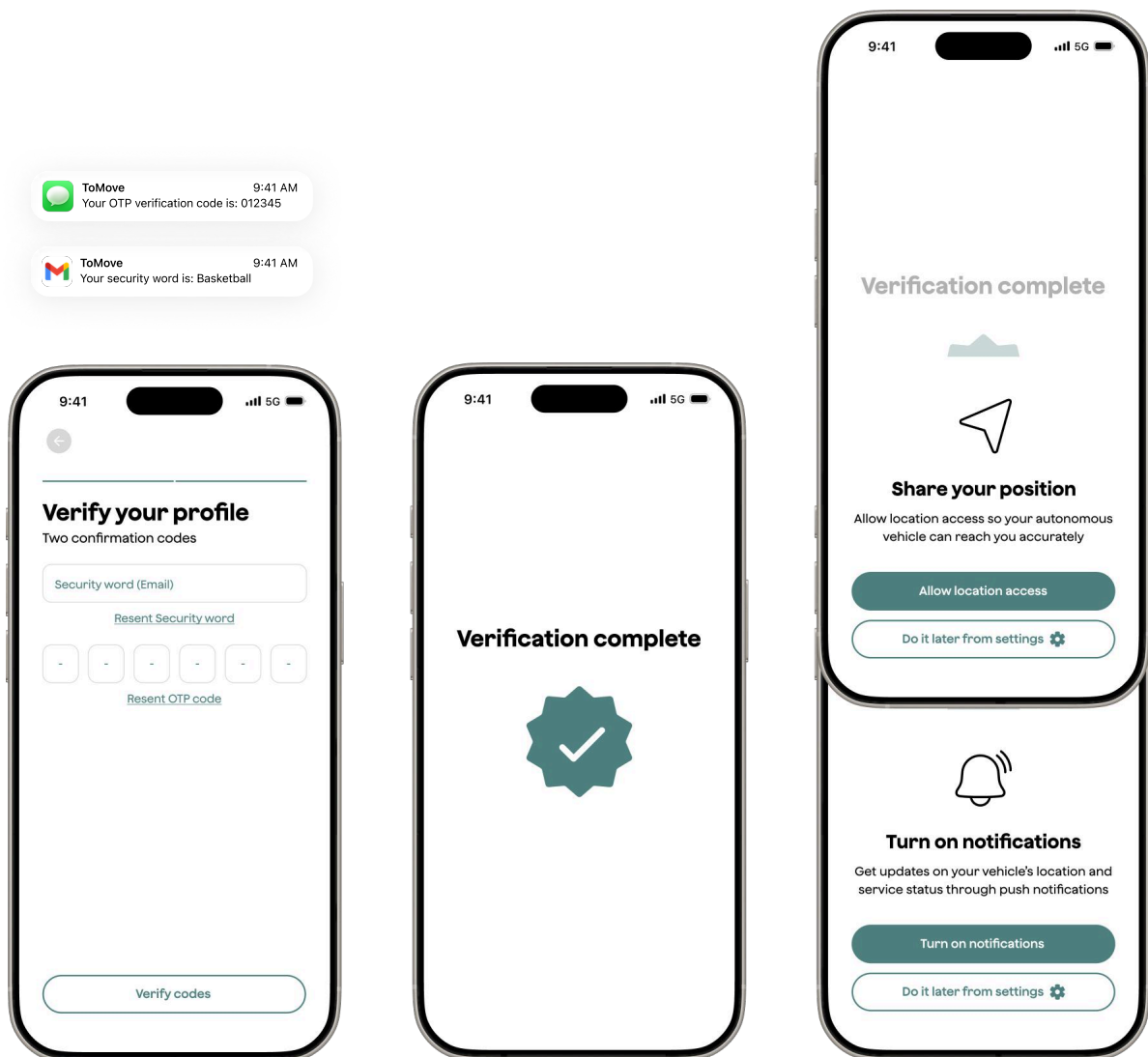
Avviare l'applicazione per usufruire del servizio di mobilità autonoma mediante la ToMove APP.



Effettuare l'accesso mediante le credenziali o registrare un nuovo account.



Informazioni necessarie alla creazione dell'account, necessario accettare i termini e le condizioni di utilizzo e dichiarare la maggior età per proseguire.

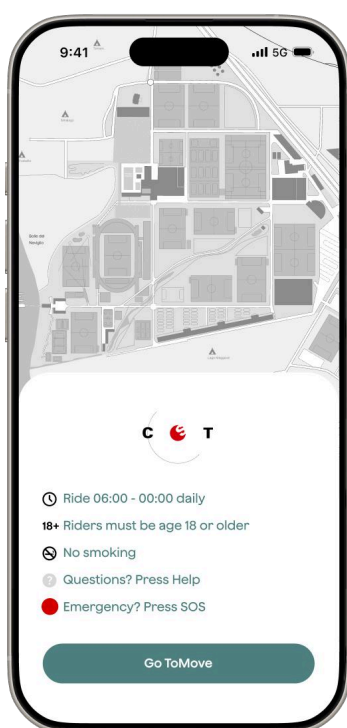


Inserire i codici di sicurezza ricevuti per verificare le informazioni fornite e la proprietà dei contatti.

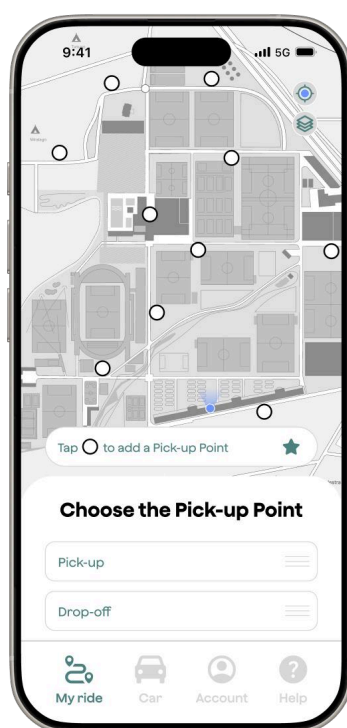
Verifica completata.

Per usufruire pienamente del servizio evitando discontinuità risulta necessaria l'attivazione delle notifiche e della localizzazione del dispositivo.

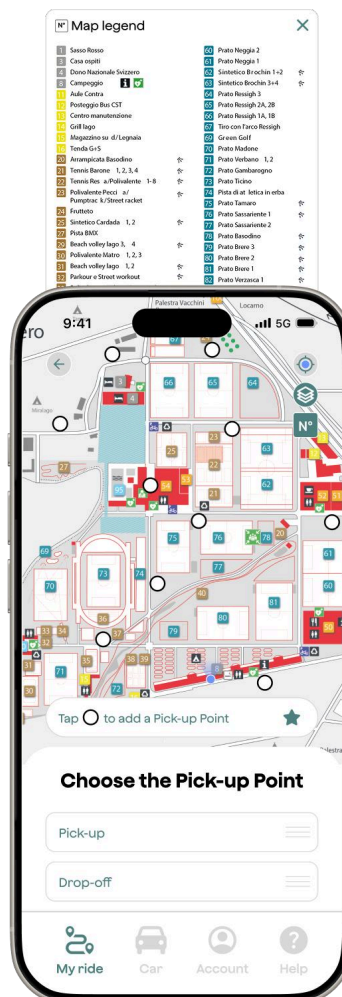
DATI PER L'UTILIZZO DEL VEICOLO RICHIESTA CORSA



Orario di attività, regole di utilizzo e informazioni utili all'utenza.

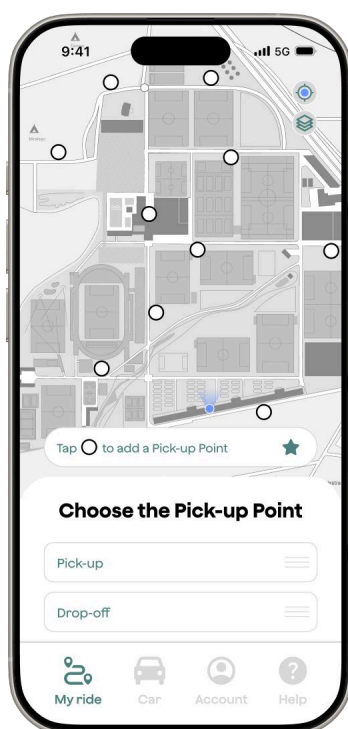


Per aggiungere un punto di pick-up è possibile ricercare la stazione desiderata usufruendo della barra di ricerca e ottenere ulteriori informazioni cliccando sopra al punto in mappa corrispondente.

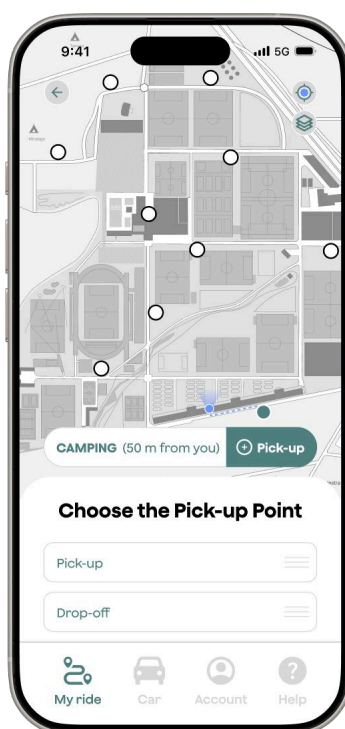


La visualizzazione a colori della mappa permette una consultazione efficace e senza ambiguità anche a utenti estranei al luogo. Inoltre la visualizzazione pop up dei punti di interesse permette un'ulteriore guida per l'utente permettendogli di impostare la corsa scegliendo le stazioni più vicine ai propri punti di interesse o necessità

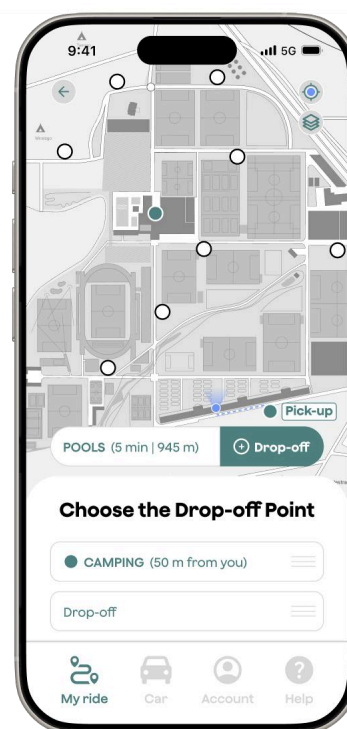
★ CAMPING (Home)	⌚ Pick-up
★ POOLS	⌚ Pick-up



Durante la fase di selezione del punto di pick-up (e di drop-off) è possibile scegliere tra i luoghi salvati nei preferiti dall'utente.

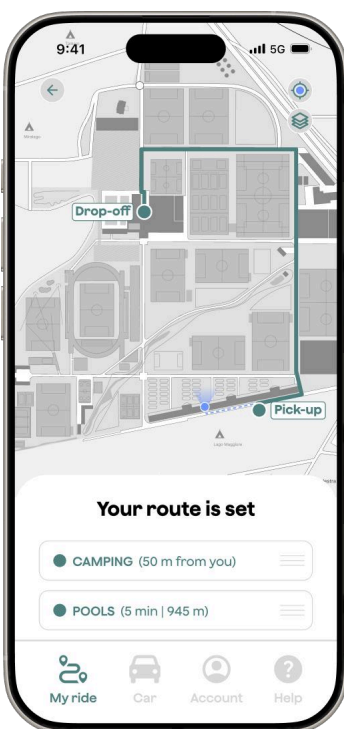


Per aggiungere un punto di drop-off è possibile ricercare la stazione desiderata usufruendo della barra di ricerca e ottenere ulteriori informazioni cliccando sopra al punto in mappa corrispondente.

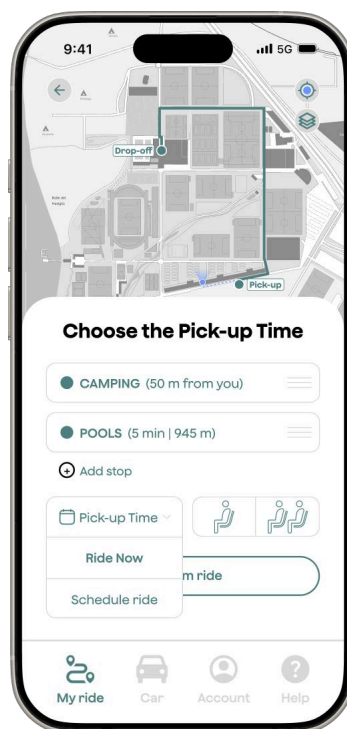


Cliccando sul pulsante di aggiunta del pick-up e del drop-off l'utente imposta il punto di prelievo e di arrivo del veicolo autonomo.

DATI PER L'UTILIZZO DEL VEICOLO RICHIESTA CORSA

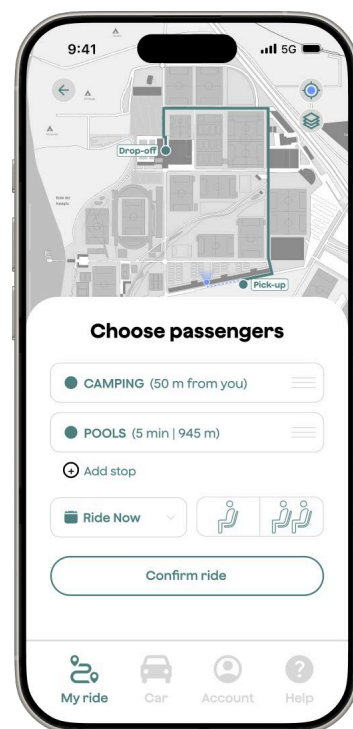


L'utente ha impostato punto di pick-up e punto di drop-off.

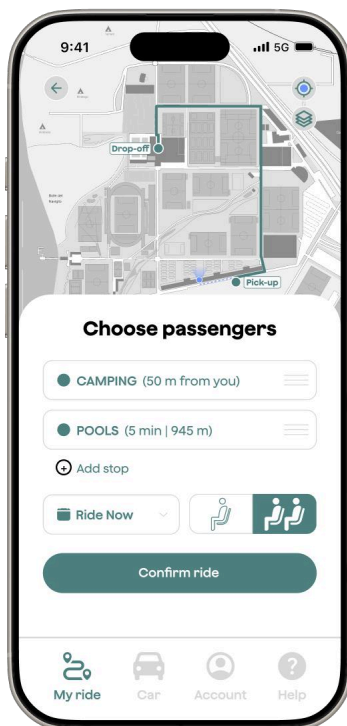
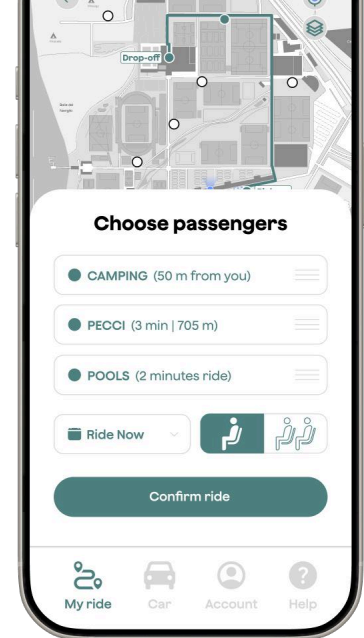


Aggiungere il momento in cui si desidera richiedere il veicolo autonomo:

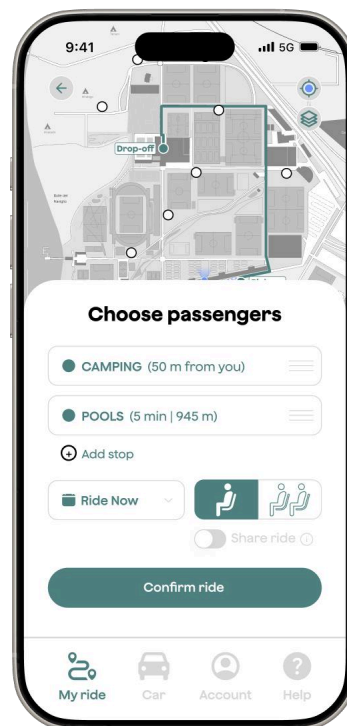
- RIDE NOW: il veicolo arriverà nel minor tempo possibile al punto di pick-up.
- SCHEDULE RIDE: richiedere una corsa da avviare in un secondo momento.



Indicare il numero di passeggeri che usufruiranno del servizio per la richiesta della corsa.

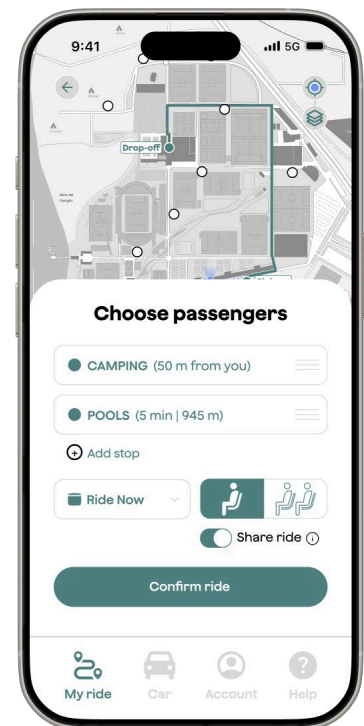


L'utente richiede una corsa per due passeggeri.



L'utente richiede una corsa solo per se stesso.

Non attivando SHARE RIDE si troverà a usufruire del servizio in completa autonomia, senza che terze persone possano condividere con esso la corsa.

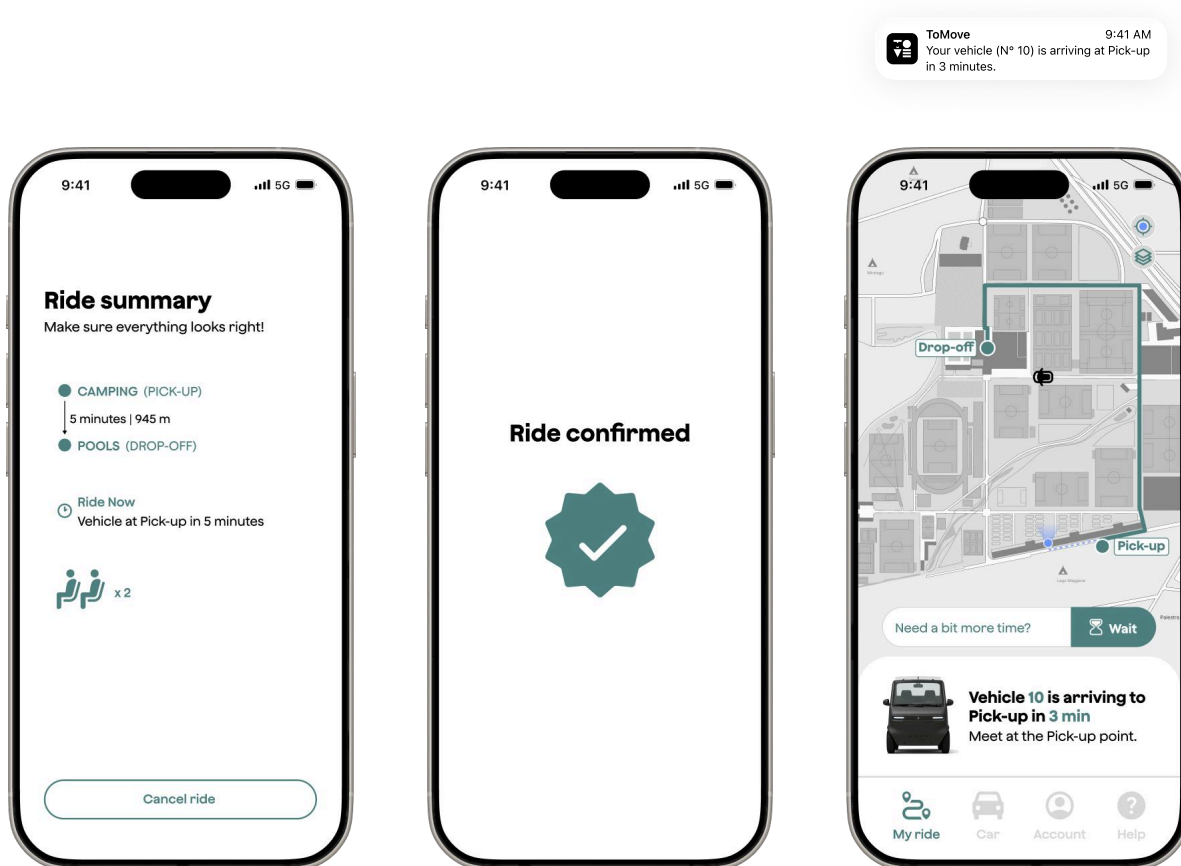


L'utente richiede una corsa solo per se stesso.

Attivando SHARE RIDE si troverà a usufruire del servizio con possibilità di caricare una terza persona che ha richiesto anch'essa una corsa lungo il tragitto impostato.

Funzione attivabile solo se l'utente non ha inserito fermate intermedie.

CONFERMA DELLA CORSA ATTESA VEICOLO



Riassunto della corsa richiesta dall'utente e overview sui dati forniti.

Possibilità di cancellare la corsa entro 7 secondi.

Conferma dell'avvenuta richiesta del veicolo.

Visualizzazione del tempo richiesto al veicolo per raggiungere il punto di pick-up impostato.

Se necessario è possibile prolungare il tempo di attesa del veicolo di ulteriori 10 minuti.

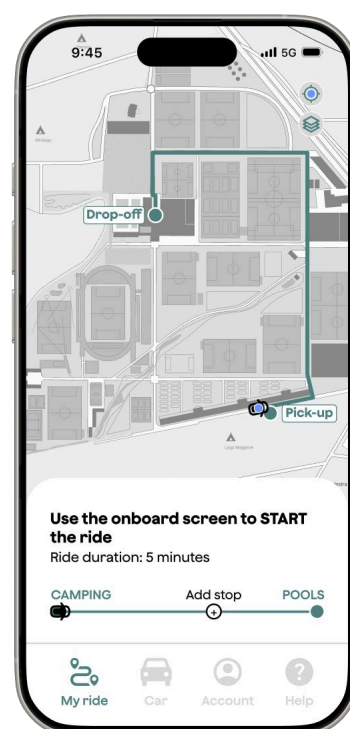
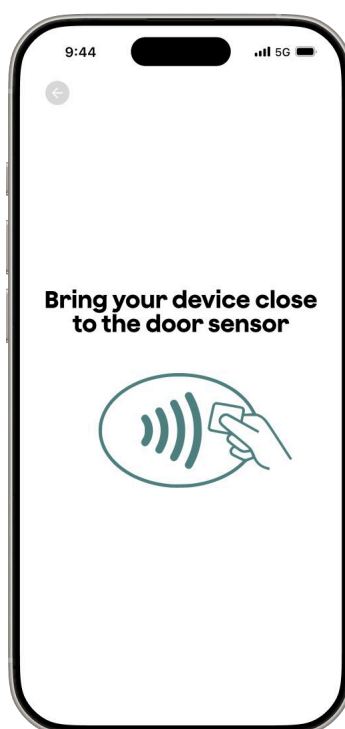
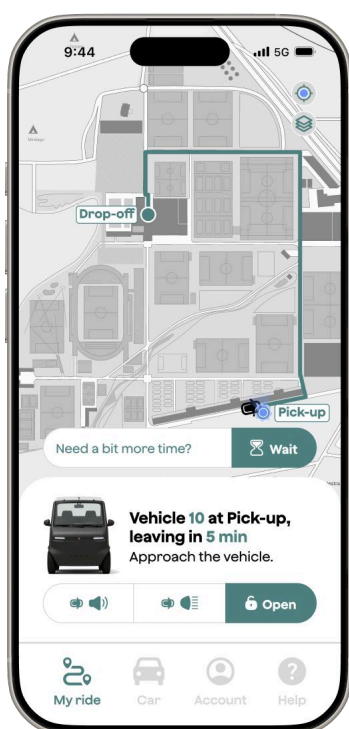
ATTENZIONE: in caso di scadenza del tempo non sarà possibile richiedere una nuova corsa per i successivi 15 minuti.

ToMove 9:44 AM
Your vehicle (N° 10) is at Pick-up, leaving in 5 minutes.

Vehicle unlocked



ARRIVO DEL VEICOLO
SBLOCCO DEL VEICOLO



Per l'identificazione del veicolo è possibile, far suonare il clacson o far lampeggiare i fari del veicolo.

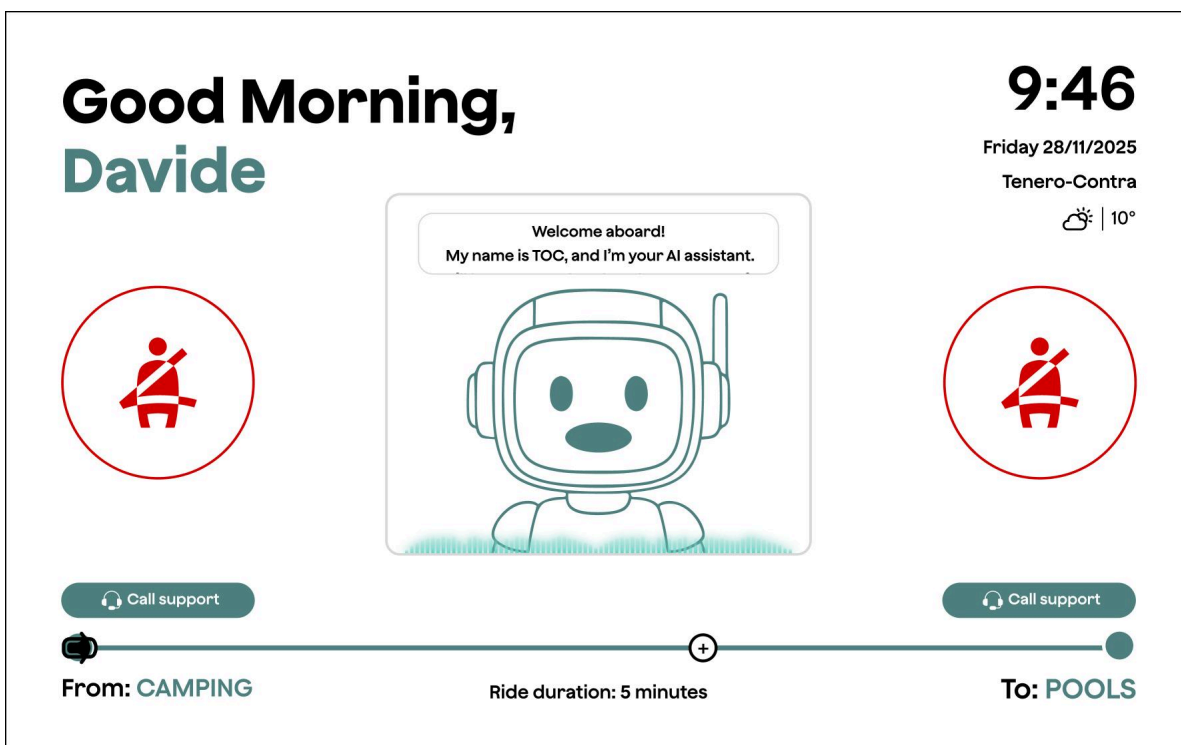
Ciò permette agli utenti, in particolare con disabilità visive, di trovare in modo più agevole il veicolo.

Cliccando sul tasto per l'apertura del veicolo viene fornito un NFC utile allo sblocco del mezzo.

Una volta avvenuto lo sblocco è possibile aprire manualmente la portiera del veicolo.

Per avviare la corsa utilizzare l'interfaccia di bordo del veicolo (schermo 10").

INGRESSO NEL VEICOLO
AI EXPLAINING E ALLACCIO DELLE CINTURE (2 UTENTI)



(Schermata di bordo per 2 utenti)

Entrando nel veicolo, TOC, l'assistente AI di bordo invita gli utenti a prendere posizione, allacciare le cinture e fornisce informazioni utili al corretto utilizzo del mezzo e svolgimento della corsa.

TOC:

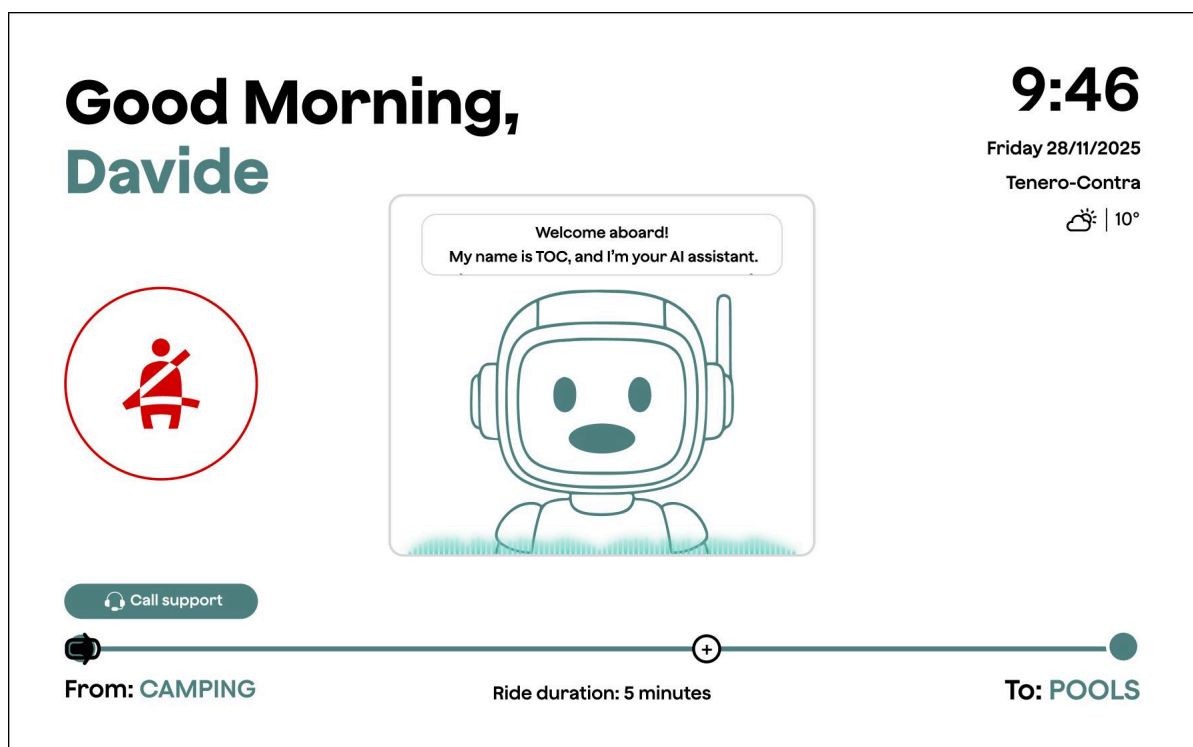
L'assistente AI fornisce feedback audio e visualizzazione dei messaggi su schermo (così da rendere possibile una corretta e completa interpretazione anche da persone con disabilità visive e/o uditive).

CALL SUPPORT:

Richiesta di supporto e chiamata immediata dell'assistenza.

Presenza di 2 pulsanti per una completa indipendenza degli utenti a bordo e rafforzamento del controllo percepito.

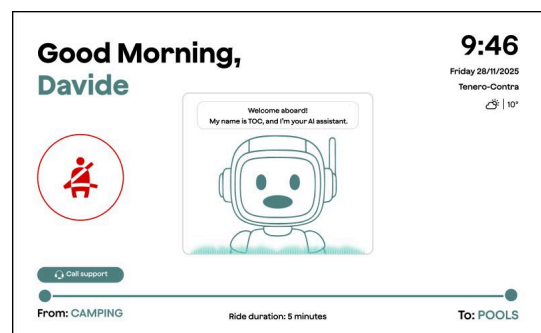
INGRESSO NEL VEICOLO AI EXPLAINING E ALLACCIO DELLE CINTURE (1 UTENTE)



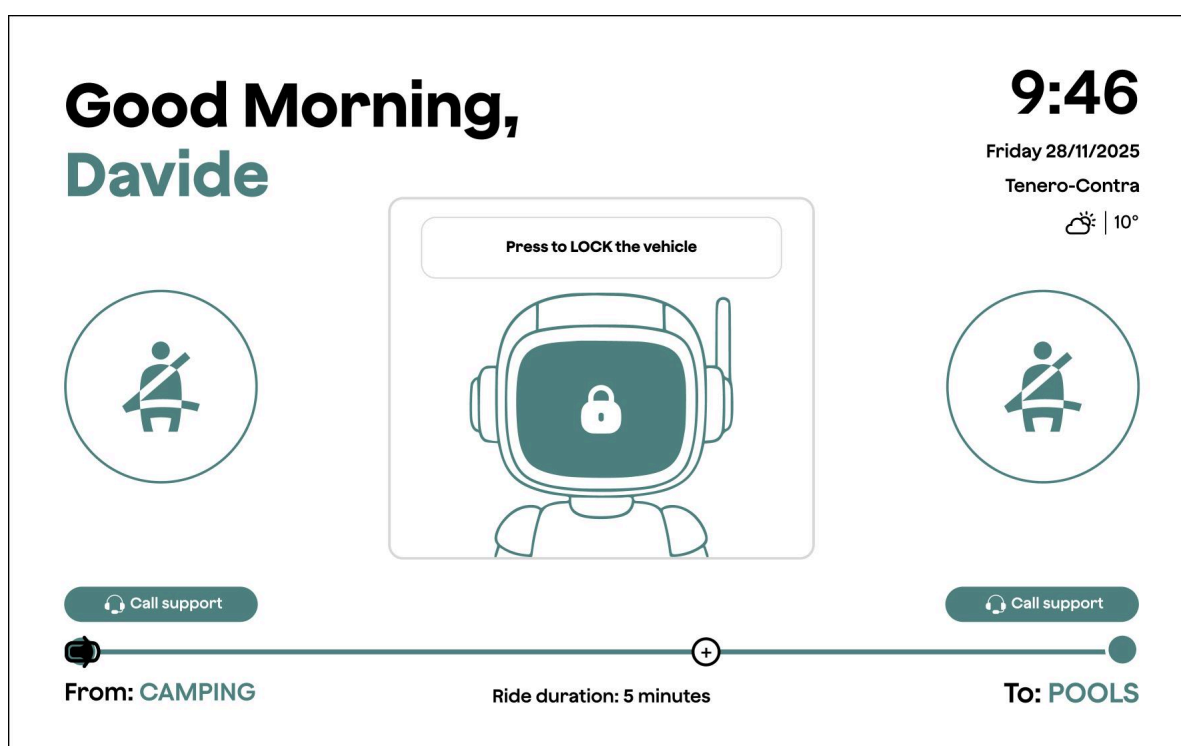
(Schermata di bordo per utente singolo)

La schermata si differenzia per layout mantenendo però una coerenza grafica, stilistica e d'interazione.

Se l'utente ha attivato la possibilità di condivisione del veicolo (SHARE RIDE ON), la possibilità di aggiungere fermate intermedie non sarà visibile sull'interfaccia.



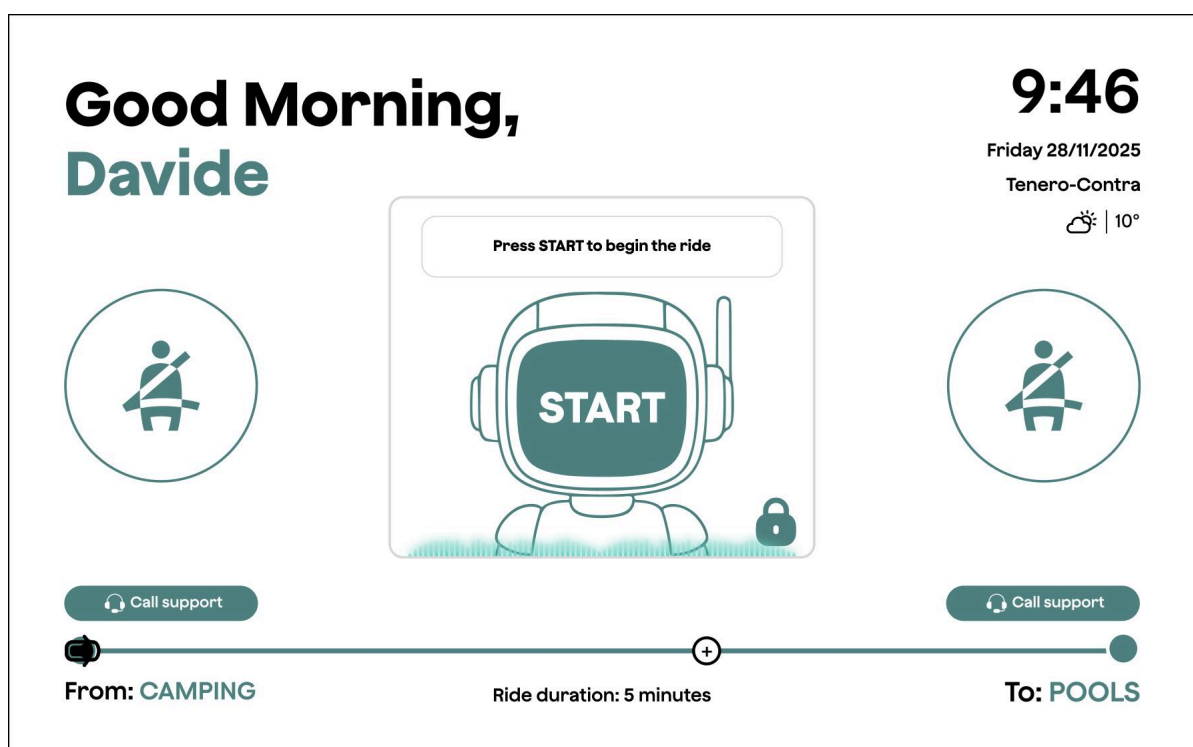
INGRESSO NEL VEICOLO
CHIUDURA DEL VEICOLO



(Schermata di bordo per 2 utenti)

Allacciate le cinture è possibile chiudere il veicolo utilizzando l'interfaccia di bordo.

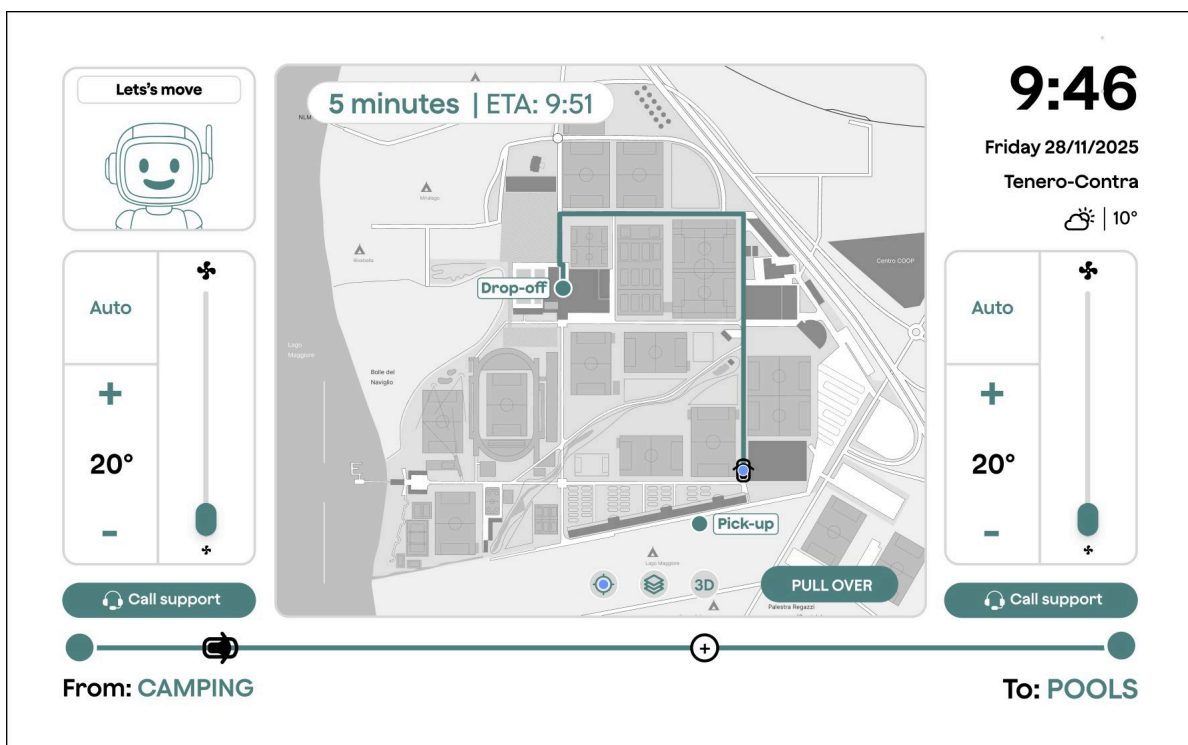
INGRESSO NEL VEICOLO
AVVIO DELLA CORSA



(Schermata di bordo per 2 utenti)

Allacciate le cinture e chiuso il veicolo è possibile avviare la corsa utilizzando l'interfaccia di bordo.

CORSA VEICOLO AUTONOMO CORSA IN SVOLGIMENTO



(Schermata di bordo per 2 utenti)

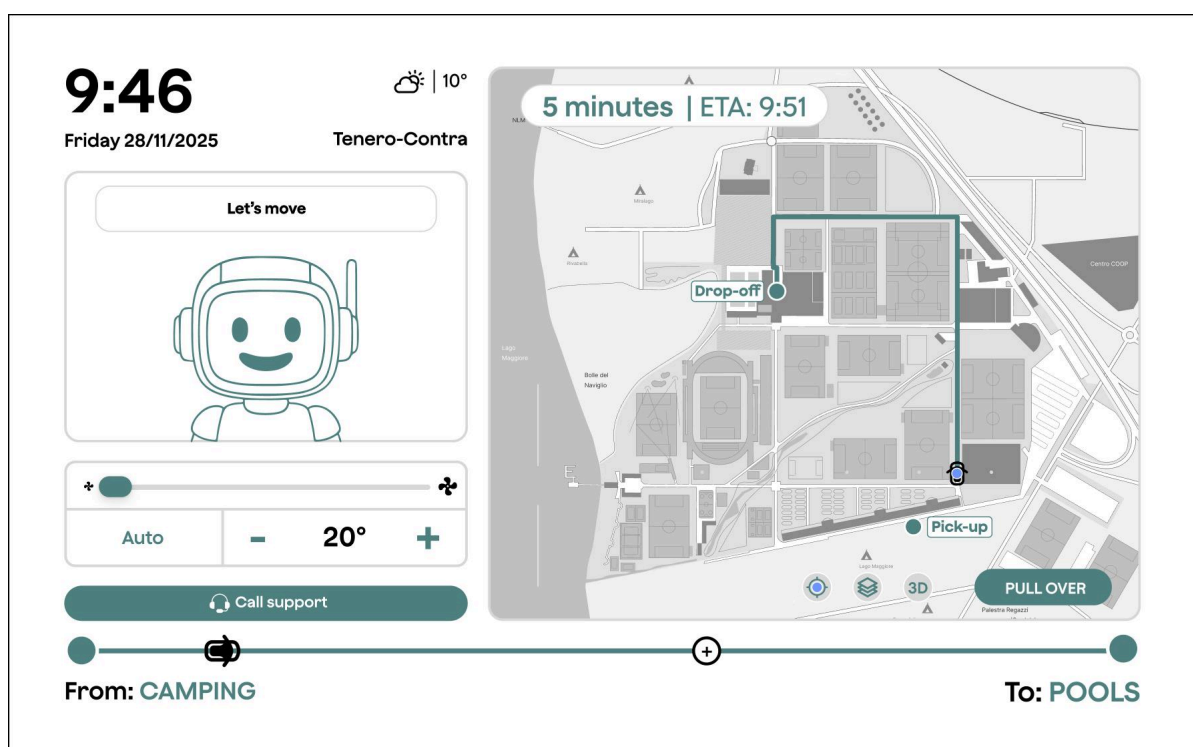
TOC:

durante la permanenza a bordo è possibile interagire con TOC (attivandolo a piacimento pronunciando "HEY TOC" all'interno dell'abitacolo) per informazioni riguardanti la corsa o per intrattenimento personale.

MAPPA: la mappa del ODD (dominio operativo) mostra i punti di pick-up e drop-off impostati e il tragitto.

PULL OVER: cliccando il tasto pull-over l'utente richiede al veicolo di arrestare la corsa al punto di sosta più vicino alla posizione nell'istante della richiesta, indipendentemente dal punto di drop-off impostato precedentemente.

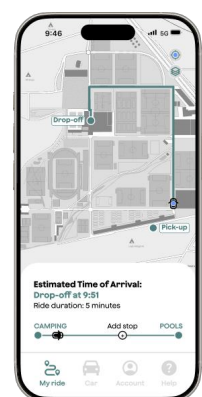
CORSA VEICOLO AUTONOMO CORSIA IN SVOLGIMENTO



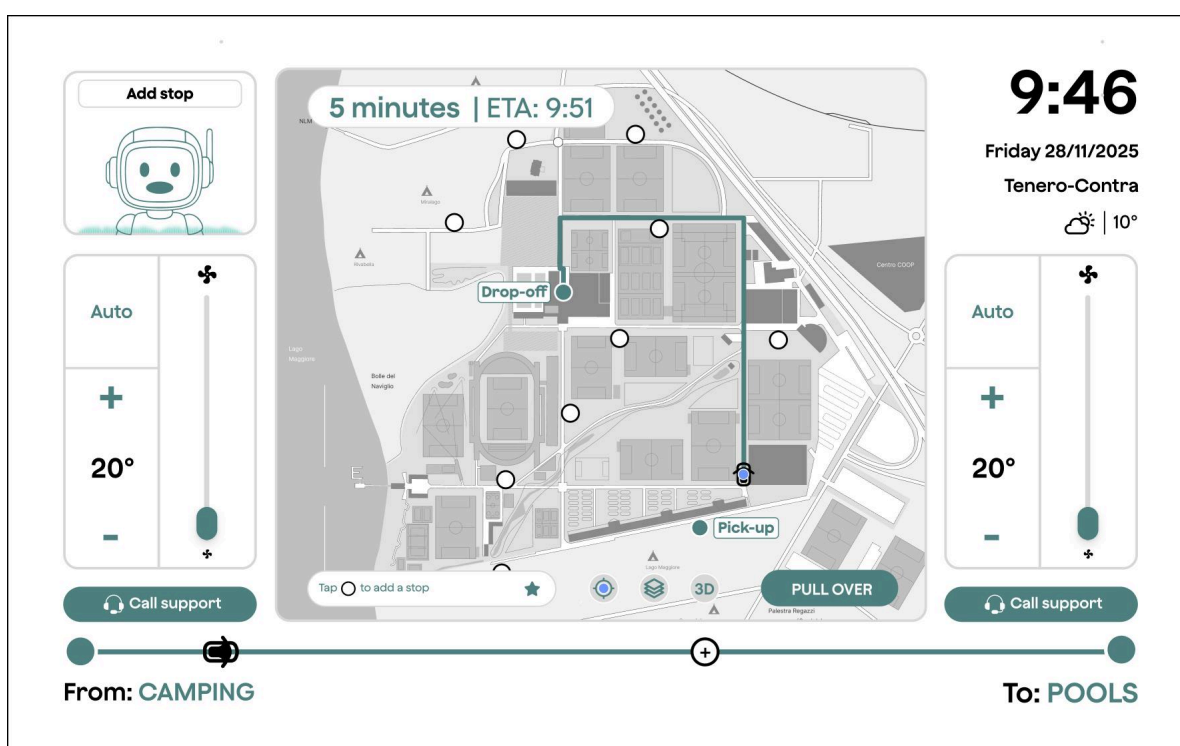
(Schermata di bordo per utente singolo)

La schermata si differenzia per layout mantenendo però una coerenza grafica, stilistica e d'interazione.

La consultazione delle informazioni, ad esclusione dei comandi del veicolo e di TOC, è possibile anche dall'applicazione mobile di ToMove.



CORSA VEICOLO AUTONOMO AGGIUNTA STOP INTERMEDIO



(Schermata di bordo per 2 utenti)

Per aggiungere una fermata intermedia, le interazioni richieste sono le stesse previste per l'aggiunta dei pick-up point e dei drop-off point durante la fase di prenotazione.

TOC:

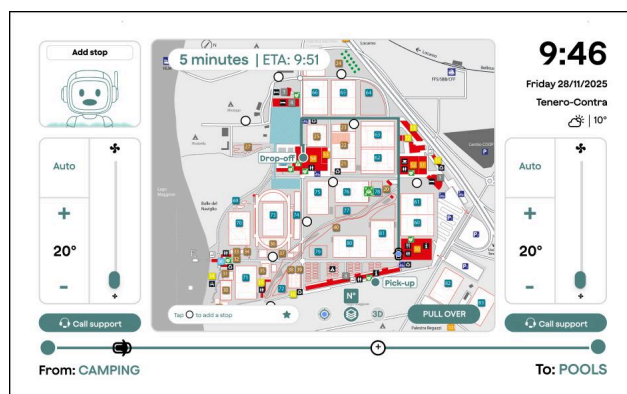
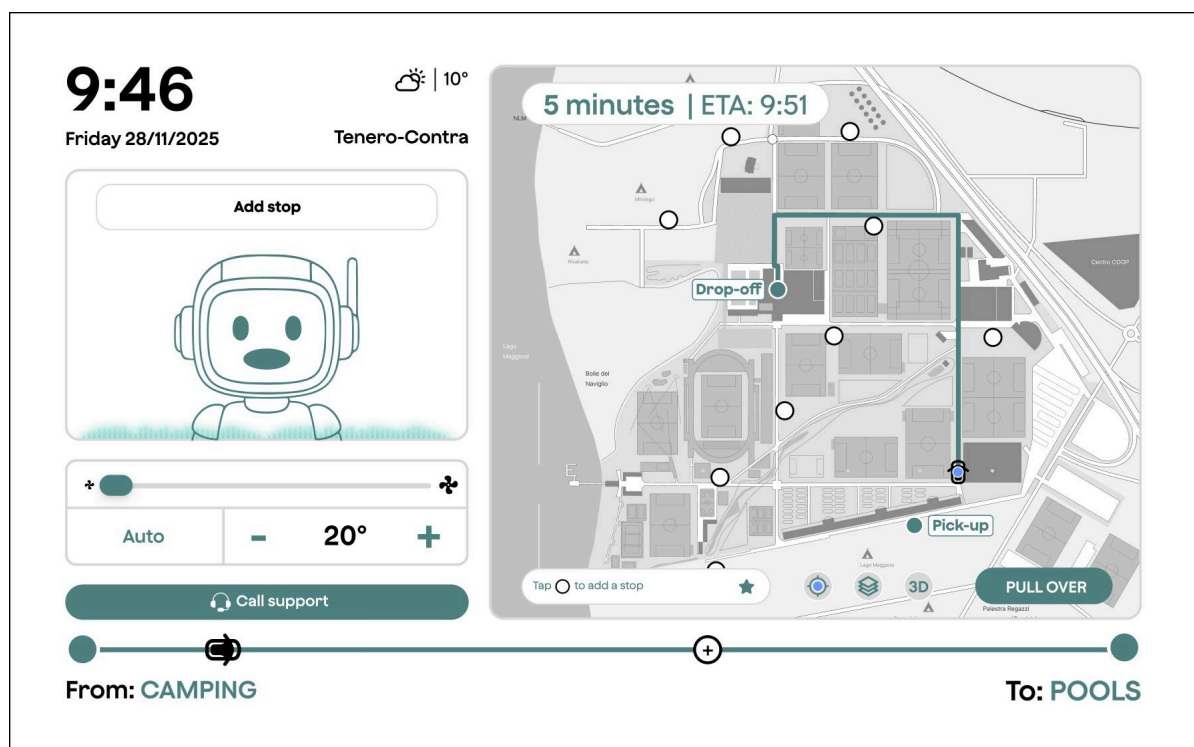
È possibile richiedere vocalmente l'aggiunta di una fermata intermedia tramite l'assistente di bordo.

ATTENZIONE:

È possibile aggiungere al massimo 1 fermata intermedia e solo entro il completamento del 60% della corsa.

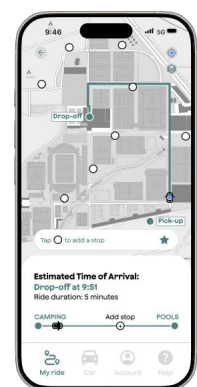
In caso di condivisione del veicolo con altri utenti (SHARE RIDE ON), non è consentita l'aggiunta di fermate intermedie.

CORSA VEICOLO AUTONOMO AGGIUNTA STOP INTERMEDIO



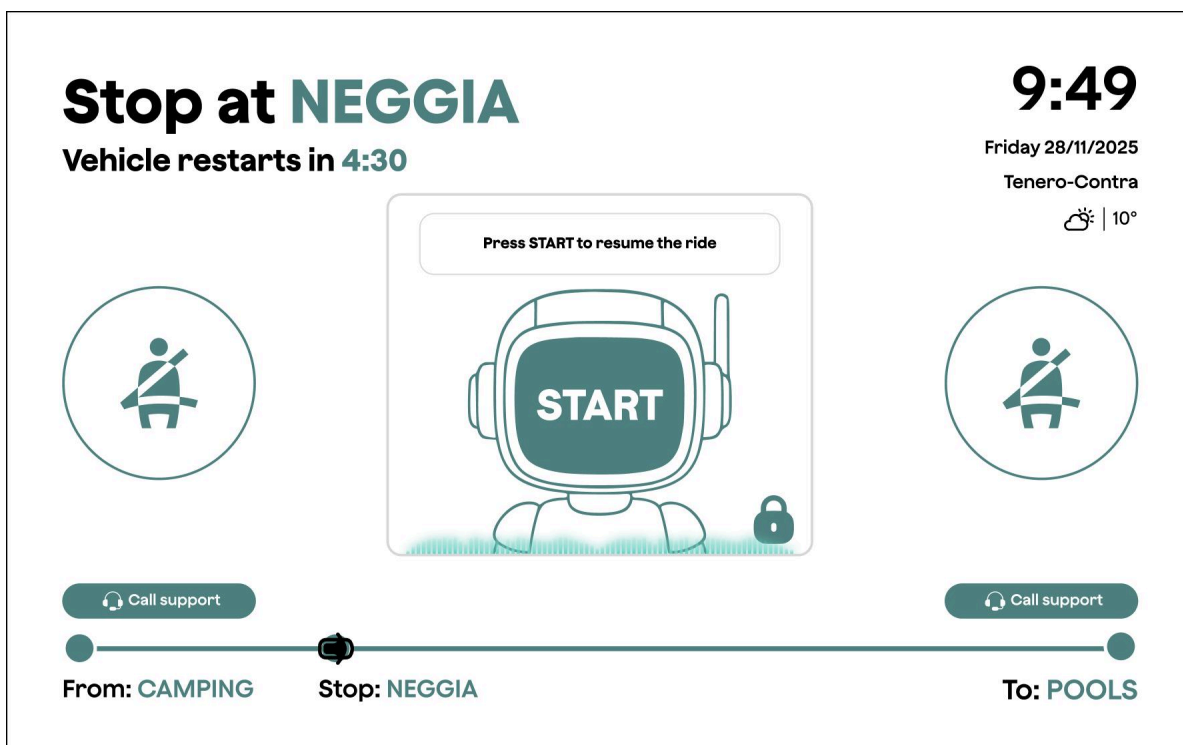
(Schermata di bordo per utente singolo)

Mappa CST, progettata per garantire una visualizzazione chiara ed efficace anche agli utenti che non conoscono il luogo e che potrebbero incontrare difficoltà nell'orientamento.



App mobile

CORSA VEICOLO AUTONOMO
FERMATA STOP INTERMEDIO



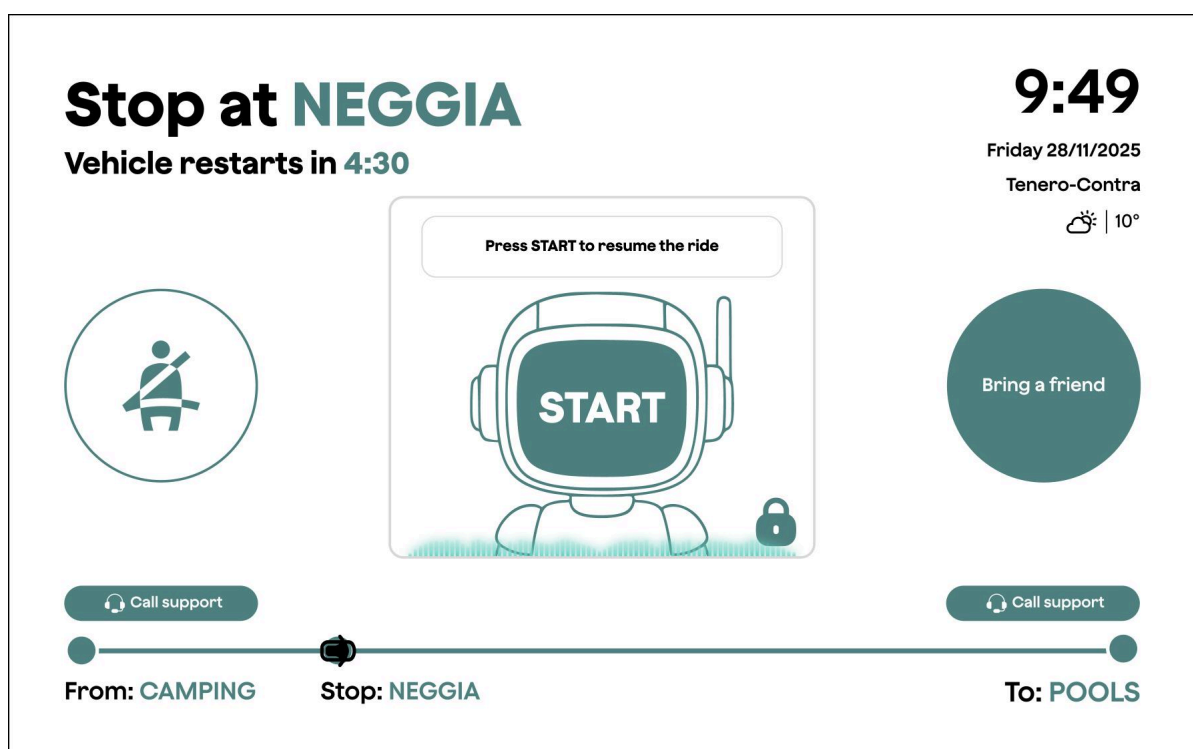
(Schermata di bordo per 2 utenti)

Durante la fermata intermedia è possibile scendere dal veicolo, che si bloccherà automaticamente non appena non rileverà più il dispositivo mobile a bordo.

La durata della fermata intermedia non può superare i 5 minuti.

Per riprendere la corsa, è necessario che tutti gli utenti siano seduti con la cintura allacciata, che il veicolo risulti chiuso e che l'utente impartisca nuovamente il comando di avvio tramite l'interfaccia di bordo.

CORSA VEICOLO AUTONOMO
AGGIUNTA STOP INTERMEDIO



(Schermata di bordo per utente singolo)

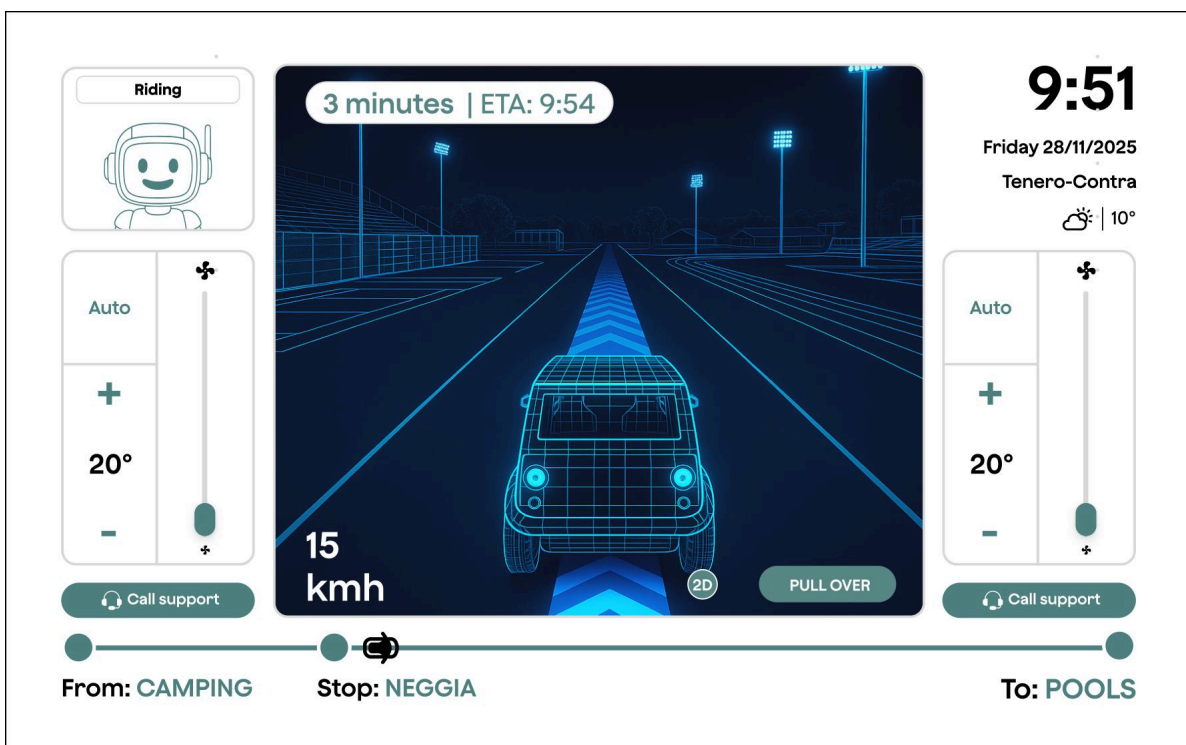
Nel caso in cui l'utente che viaggia in autonomia e senza condivisione della corsa (SHARE RIDE OFF) desideri consentire la salita a bordo di un'altra persona presso una stazione intermedia, può cliccare sul pulsante BRING A FRIEND. In questo modo, il veicolo aggiornerà le informazioni della corsa e adatterà il layout dell'interfaccia.

L'applicazione mobile mostra, per tutta la durata della corsa, le informazioni e lo stato del veicolo.



CORSA VEICOLO AUTONOMO

MAPPA SLAM (Simultaneous Localization And Mapping)

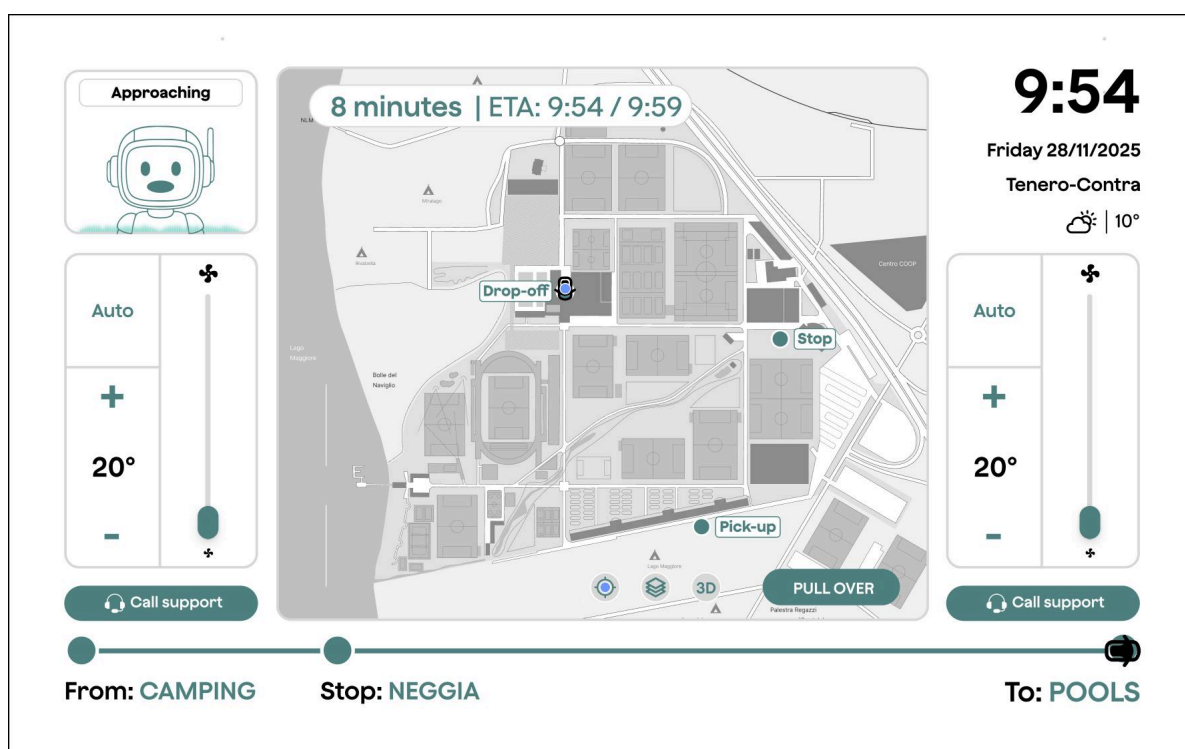


(Schermata di bordo per 2 utenti)

La mappa SLAM è fondamentale nei veicoli a guida autonoma, poiché consente all'utente di comprendere con precisione ciò che il sistema sta percependo nell'ambiente circostante.

Una latenza ridotta e un maggior livello di dettaglio rappresentano fattori determinanti per incrementare la fiducia dell'utente e rafforzare la percezione delle capacità del veicolo.

ARRESTO VEICOLO AUTONOMO ARRIVO A DESTINAZIONE



(Schermata di bordo per 2 utenti)

Durante l'arrivo a destinazione, l'assistente AI di bordo, TOC, informa gli utenti dell'imminente arresto e li invita a osservare tutte le precauzioni di sicurezza durante la fase di discesa dal veicolo. Fornirà il via libera una volta che il mezzo sarà completamente fermo e in condizioni di garantire una discesa sicura.

Ricorda inoltre agli utenti di non dimenticare i propri effetti personali a bordo e di lasciare l'abitacolo pulito.

ARRESTO VEICOLO AUTONOMO
FINE DELLA CORSA

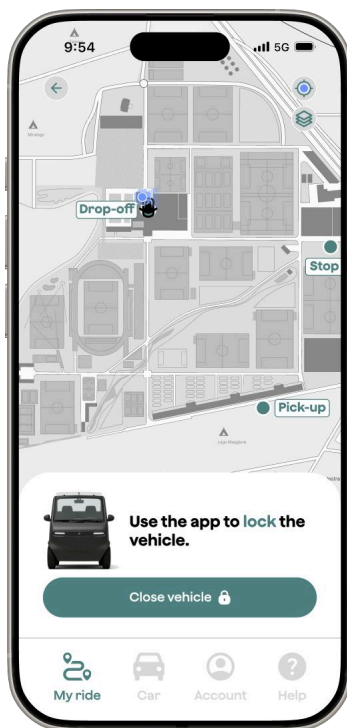


(Schermata di bordo per 2 utenti)

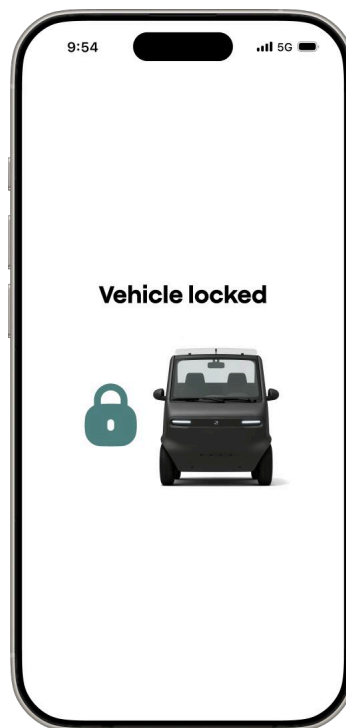
Al termine della corsa è possibile sbloccare il veicolo e scendere, oppure avviare una nuova corsa ripetendo il ciclo di interazione e cliccando sul pulsante START A NEW RIDE.

CONCLUSIONE DELLA CORSA BLOCCO DEL VEICOLO

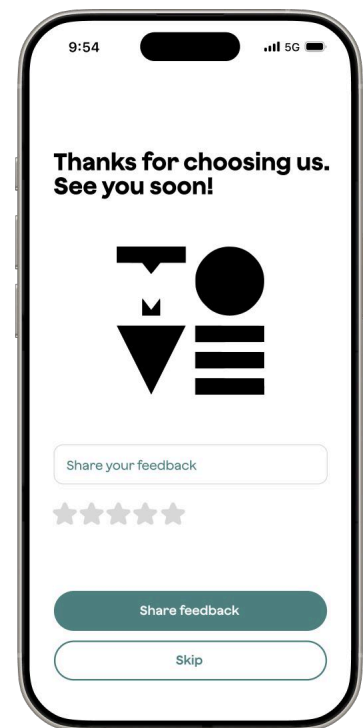
ToMove 9:54 AM
Ride completed, until next time!



Una volta sceso dal veicolo, e dopo che il sistema ha verificato la corretta chiusura di portiere e bagagliaio, l'utente può cliccare il pulsante CLOSE VEHICLE per terminare la corsa.



Conferma dell'avvenuta chiusura del veicolo.

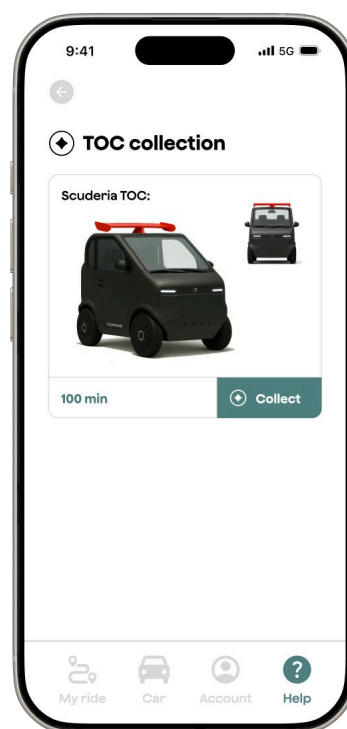
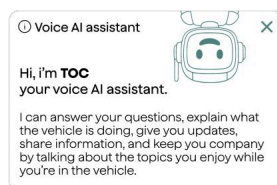
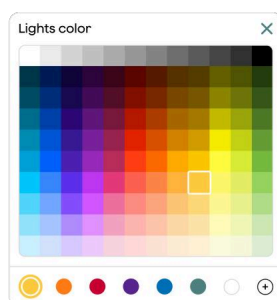
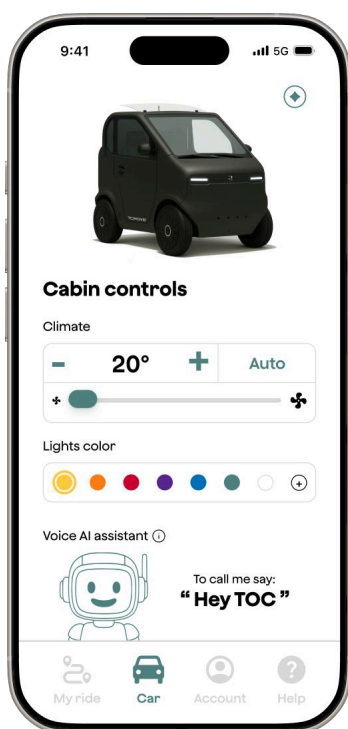


Feedback e valutazione del servizio di ToMove.

SEZIONE APP CONTROLLO VEICOLO



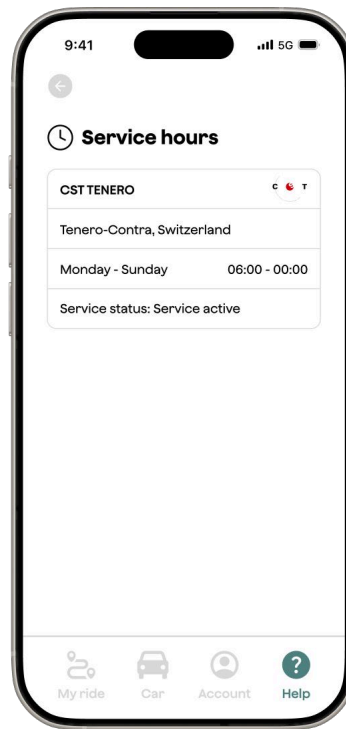
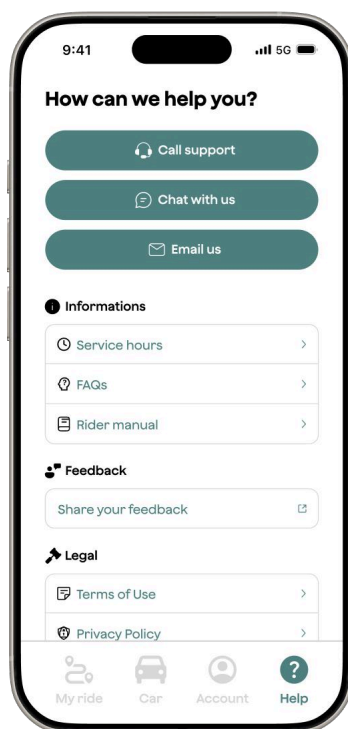
Car





Help

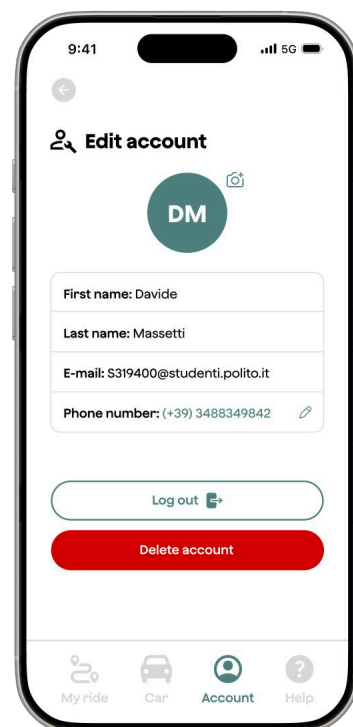
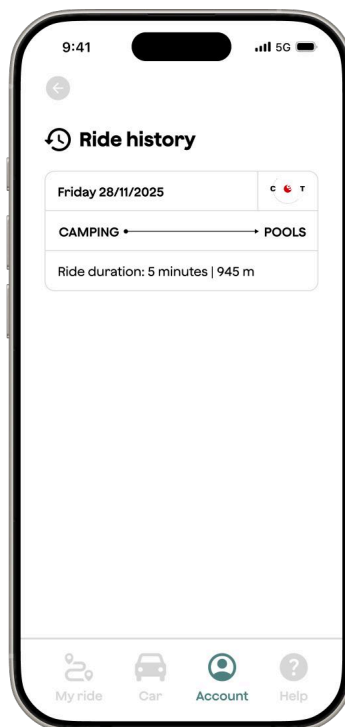
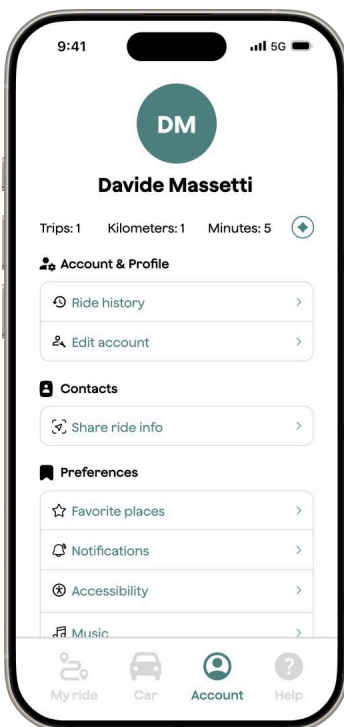
SEZIONE APP
HELP

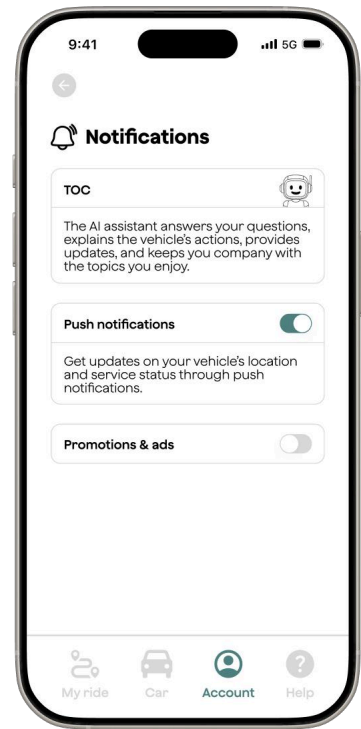
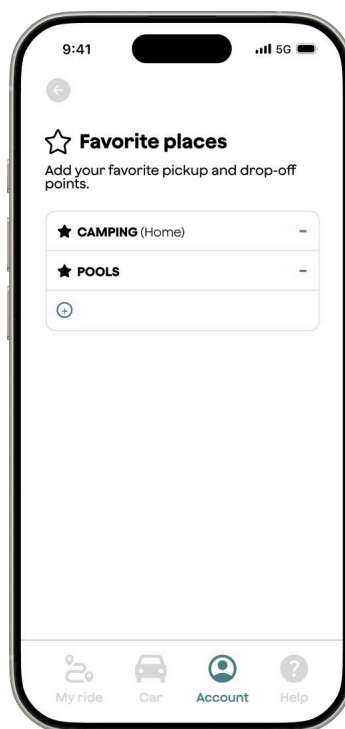
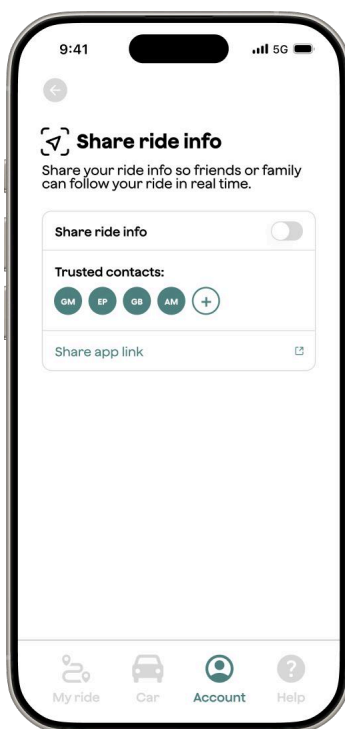
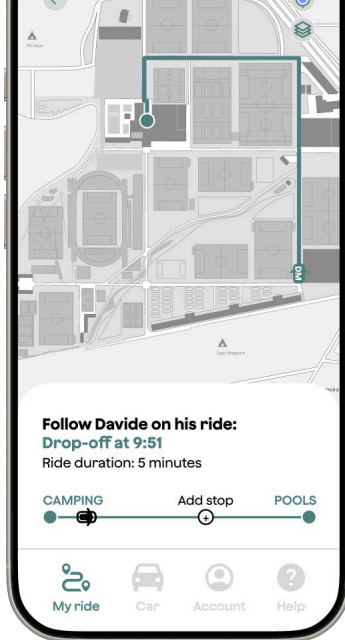


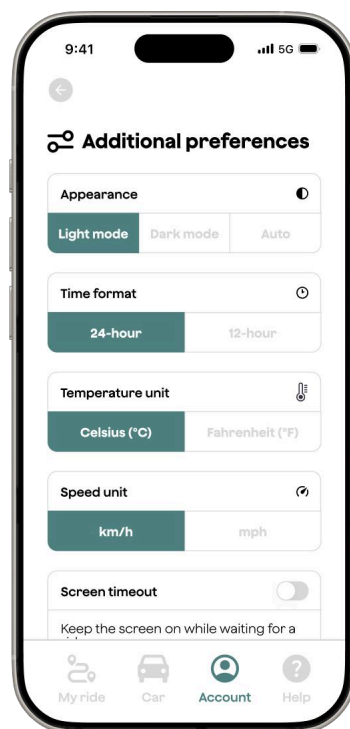
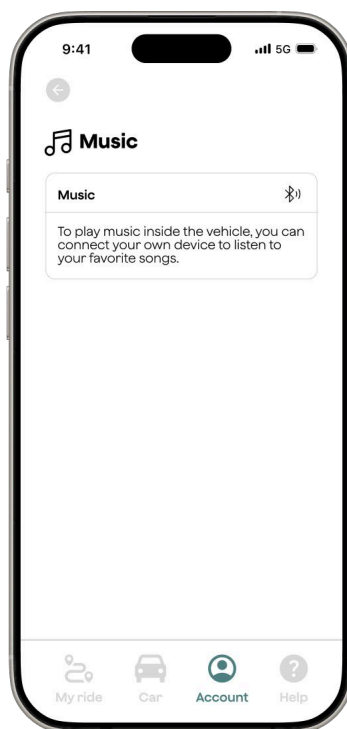
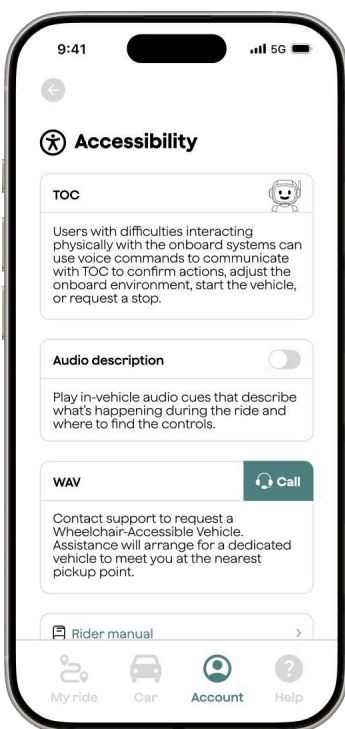


Account

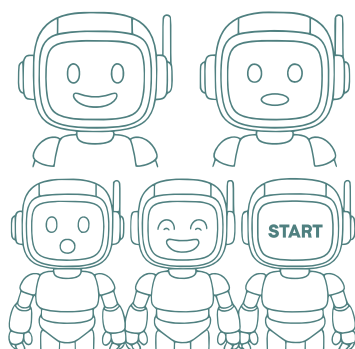
SEZIONE APP ACCOUNT PERSONALE







TOC ASSISTENTE AI



ACCESSIBILITÀ E SICUREZZA IMPLEMENTAZIONI DEL VEICOLO AUTONOMO

TOC, l'assistente interno al veicolo, presenta un'espressività antropomorfa progettata per rendere le interazioni con l'utente più efficaci e naturali. È possibile interagire con lui sia vocalmente sia visivamente: tutti i messaggi forniti da TOC sono infatti consultabili in qualsiasi momento della corsa. Questo approccio rende il veicolo maggiormente inclusivo e adatto anche a persone con disabilità visive e/o uditive, garantendo un'interazione accessibile tramite comando vocale o interfaccia visiva.

BAGAGLIAIO



Il bagagliaio del veicolo può essere aperto quando il mezzo è fermo, sbloccato e con gli utenti fuori dall'abitacolo. È dotato di un pulsante dedicato all'apertura e di targhette identificative, disponibili anche in braille, per garantirne il riconoscimento e l'utilizzo in sicurezza anche da parte di persone non vedenti.



PORTIERA VEICOLO



L'apertura della portiera avviene tramite sistema NFC, avvicinando il telefono alla portiera. Per facilitarne l'interazione è presente una targhetta esplicativa, insieme alla scritta in braille, così da garantirne il riconoscimento anche alle persone con disabilità visive.

BRING PHONE NEAR DOOR TO UNLOCK

BRING PHONE NEAR DOOR TO UNLOCK



SOS (EMERGENZA)



All'interno dell'abitacolo sono presenti due pulsanti di emergenza SOS, uno per lato passeggero, entrambi situati sulle portiere. Per attivare la richiesta di emergenza è necessario tenere premuto il pulsante per 3 secondi: ogni secondo corrisponde a una vibrazione, che permette all'utente di percepire il corretto funzionamento del sistema e l'avvenuto invio della richiesta di emergenza.

PRESS HERE IN CASE OF EMERGENCY →

PRESS HERE IN CASE OF EMERGENCY →



ARRESTO DI EMERGENZA



In caso di grave malfunzionamento del sistema o di mancata risposta ai comandi, è possibile sollevare la protezione e premere il pulsante dedicato per attivare l'arresto di emergenza del veicolo. L'attivazione comporta anche l'inoltro automatico di una chiamata di emergenza all'assistenza, con eventuale notifica ai soccorsi. Il dispositivo è presente su entrambi i lati dell'abitacolo, uno per ciascun passeggero.

SOS (EMERGENZA)



Per consentire un'identificazione rapida ed efficace del veicolo, sulle superfici frontale e laterali è riportato un numero identificativo, comunicato all'utente durante la fase di prenotazione. Accanto al numero è presente anche la relativa trascrizione in braille. Si raccomanda che il perimetro del numero sia realizzato in rilievo, così da garantirne ulteriormente il riconoscimento tattile anche da parte di persone con disabilità visive. La marcatura deve inoltre rimanere chiaramente leggibile in condizioni di bassa luminosità o al buio. In fase progettuale si è scelto di adottare sistemi privi di alimentazione elettrica, con l'obiettivo di ridurre i consumi energetici e destinare l'energia disponibile alle funzioni operative prioritarie del veicolo.

BIBLIOGR

AFA

CAPITOLO

07

07 BIBLIOGRAFIA

- [1] The European House - Ambrosetti su dati EEA (European Environment Agency) European City Air Quality Viewer, 2023.
- [2] The European House - Ambrosetti su dati Isfort Audimod, 2023.
- [3] The European House - Ambrosetti su dati Commissione Europea, 2023.
- [4] Carlos Moreno - "The 15 minutes-city: for a new chrono-urbanism", 2019.
- [5] FSResearch Centre - Technical papers 3° edizione, Il mobility-as-a-service (maas): verso un nuovo paradigma di mobilità, 2024.
- [6] Treccani - Città, Dizionario di storia, 2010.
- [7] Neodemos - Popolazione, società e politiche, 2024.
- [8] D.Meadows, D. Meadows, J. Randers, W. Beherens - The Limits to Growth, 1972.
- [9] Maldonado, Critica della ragione informatica, 1997.
- [10] D. Meadows, D. Meadows, J. Randers - Beyond the limits: Confronting Global Collapse, Envisioning a Sustainable Future, 1992.
- [11] S. Joss - Smart Cities: From Concept to Practice. University of Westminster, 2015.
- [12] Wikipedia - Triple bottom line, 07/08/2025.
- [13] European Parliament - Mapping Smart Cities in the EU, 2014.
- [14] United Nations Development Programme – Sustainable Development Goals, 07/08/2025.
- [15] H. Ahvenniemi, A. Huovila, I. Pinto-Seppä, M. Airaksinen - What are the differences between sustainable and smart cities? VTT Technical Research Centre of Finland, 2017.
- [16] IEEE Xplore - International Conference on Computer and Information Technology, 2014.
- [17] R. Giffinger, C. Fertner, H. Kramar, R. Kalasek, N. Pichler-Milanovic, E. Meijers - Smart cities: Ranking of European medium-sized cities, su Smart Cities, Vienna, Centre of Regional Science, 2007.
- [18] European Commission - Urban Mobility Package, 2013.
- [19] European Commission - Implementation of the ITS Action Plan, 2008.
- [20] S. A. Shaheen, A. Cohen, M. Randolph et al. - Shared Mobility Policy Playbook, 2019.
- [21] European Data Portal - Open Data Maturity Report, 2020.
- [22] International Energy Agency - Global EV Outlook, 2023.
- [23] A. Tsakalidis, M. van Balen, K. Gkoumas, G. Haq, A. Ortega Hortelano, M. Grosso, F. Pekár - Research and Innovation in Smart Mobility and Services in Europe: An assessment based on the Transport Research and Innovation Monitoring and Information System, 2020.
- [24] F. Arena, G. Pau - An Overview of Vehicular Communications, 2019.
- [25] World Economic Forum - The Future of the Last-Mile Ecosystem, 2020.
- [26] Rupprecht Consult, European Commission - Guidelines for developing and implementing a Sustainable Urban Mobility Plan (2nd ed.), 2019.
- [27] Osservatori.net - Cos'è la Smart Mobility, come funziona e a che punto siamo, 07/08/2025.
- [28] Wired Italia - Auto a guida autonoma in Italia, 60 sindaci sono già pronti alla sperimentazione, 07/08/2025.
- [29] Governo Italiano - Mobility as a Service for Italy, 07/08/2025.
- [30] Osservatori.net - Mobilità Aerea Innovativa: ENAC e Italia in prima linea, 07/08/2025.
- [31] Governo Italiano - Smarter Italy, 07/08/2025.
- [32] Governo Italiano - PNRR: infrastrutture per una mobilità sostenibile, 11/08/2025.

- [33] MEF - The National Recovery and Resilience Plan (NRRP), 11/08/2025.
- [34] Italia Domani - Le risorse per la crescita, 11/08/2025.
- [35] Assolombardia - PNRR, Missione 3: infrastrutture per mobilità sostenibile, 11/08/2025.
- [36] S. A. Shaheen, N. D. Chan - Mobility and the sharing economy: Potential and impacts. Research in Transportation Business & Management, 2016.
- [37] D. Kondor, Z. H. Zhang, R. Tachet, P. Santi, C. Ratti - Estimating savings in parking demand using shared vehicles for home-work commuting, 2017.
- [38] E. Martin, S.A. Shaheen - The impact of carsharing on vehicle ownership, 2011.
- [39] A. Cohen, S.A. Shaheen - Planning for Shared Mobility, 2018.
- [40] T. D. Chen, K.M. Kockelman - Carsharing's life cycle impacts on energy use and greenhouse gas emissions, 2016.
- [41] D.M. Papadakis, A. Savvides, A. Michael, A. Michopoulos - Advancing sustainable urban mobility: Insights from best practices and case studies, 2024.
- [42] Osservatorio Nazionale Sharing Mobility - 8° rapporto nazionale sulla sharing mobility, 2024.
- [43] P. DeMaio - Bike-sharing: History, Impacts, Models of Provision, and Future, 2009.
- [44] S. A. Shaheen, N. Chan, A. Cohen, A. Bansal - Sharing strategies: carsharing, shared micromobility (bikesharing and scooter sharing), transportation network companies, microtransit, and other innovative mobility modes, 2020.
- [45] E. Fishman, S. Washington, N.L. Haworth - Bike share: A synthesis of the literature, 2013.
- [46] L. Mitropoulos, A. Kortsari, G. Ayfantopoulou - A systematic literature review of ride-sharing platforms, user factors and barriers, 2021.
- [47] Department of Transportation – Shared Mobility Current Practices and Guiding Principles, 2016.
- [48] X. Ahang, J. Li, Y. Wang - How app-based ride-hailing services influence travel behavior: An empirical study from China, 2019.
- [49] Interreg Europe - Demand-responsive transport, 2018.
- [50] Wikipedia - Multimodal transport, 14/08/2025.
- [51] E. Murati - Mobility-as-a-service (MaaS) digital marketplace impact on EU passengers' rights, 2020.
- [52] European Commission - A European Strategy for Low-Emission Mobility, 2016.
- [53] Hedyla - Che cos'è il trasporto merci intermodale? Tipi e vantaggi, 14/08/2024.
- [54] Wikipedia - Coopetizione, 18/08/2025.
- [55] Boston Consulting Group, Università di San Gallo - Can Self-Driving Cars Stop the Urban Mobility Meltdown? 2020.
- [56] Computerhistory - Where to? A history of autonomous vehicles, 19/08/2025.
- [57] Wikipedia - Futurama (New York World's Fair), 19/08/2025.
- [58] IEEE Spectrum - The Electronic Highway: How 1960s Visionaries Presaged Today's Autonomous Vehicles, 19/08/2025.
- [59] D. Pomerleau - ALVINN: An Autonomous Land Vehicle in a Neural Network. Carnegie Mellon University, 1989.
- [60] E. D. Dickmanns, A. Zapp - Autonomous High Speed Road Vehicle Guidance by Computer Vision, 1987.
- [61] S. Thrun, M. Montemerlo, H. Dahlkamp et al. - Stanley: The robot that won the DARPA

Grand Challenge, 2006.

[62] J. Levison, J. Askeland, J. Becker, J. Dolson, D. Held, S. Kammel et al. - Towards Fully Autonomous Driving: Systems and Algorithms, 2011.

[63] Waymo.com, 20/08/2025.

[64] Tesla.com - Guida autonoma al massimo potenziale (sorvegliato), 20/08/2025.

[65] Agenzia Digitale - Tesla accecata uccide un passante: possiamo fidarci dell'AI al volante? 20/08/2025.

[66] SAE International - Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles, 2021.

[67] Synopsys - The 6 Levels of Vehicle Autonomy Explained, 20/08/2025.

[68] R. Ayala, T. K. Mohd - Sensors in Autonomous Vehicles: A Survey, 2021.

[69] S. Sun, A. P. Petropulu, H. V. Poor - MIMO Radar for Advanced Driver-Assistance Systems and Autonomous Driving: Advantages and Challenges, 2020.

[70] E. Focante, N. J. Myers, G. Joseph, A. Pandharipande - Adaptive Beamforming for Situation-Aware Automotive Radars Under Uncertain Side Information, 2024.

[71] B. Paden, M. Čáp, S. Z. Yong, D. Yershov, E. Frazzoli - A survey of motion planning and control techniques for self-driving urban vehicles, 2016.

[72] M. Bojarski et al. - End to End Learning for Self-Driving Cars, 2016.

[73] S. Grigorescu, B. Trasne, T. Cocias, G. Macesanu - A Survey of Deep Learning Techniques for Autonomous Driving, 2019.

[74] OpenTrain AI - Sensor Fusion, AI Glossary, 21/08/2025.

[75] J.-F. Bonnefon, A. Shariff, I. Rahwad - The social dilemma of autonomous vehicles, Science, 2016.

[76] E. Awad, S. Dsouza, R. Kim, J. Schulz, J. Henrich, A. Shariff, J.-F. Bonnefon, I. Rahwan - The Moral Machine experiment, Nature, 2018.

[77] J. D. Lee, K. A. See - Trust in Automation: Designing for Appropriate Reliance, 2004.

[78] P. A. Hancock, J. Y. C. Chen, K. E. Schaefer, E. de Visser - A meta-analysis of factors affecting trust in human-robot interaction, 2011.

[79] D. Gunning, D. W. Aha - DARPA's Explainable Artificial Intelligence (XAI) Program, 2019.

[80] Edge Case - What ISO 26262 Expects from Your AV Safety Case, 25/08/2025.

[81] Wikipedia - ISO 26262, 25/08/2025.

[82] Visure Solutions - Che cosa è SOTIF? (ISO 21448), 25/08/2025.

[83] Perforce Software - What Is UL 4600?, 25/08/2025.

[84] ATS Europe - Regolamenti UNECE nel 2025, 25/08/2025.

[85] J. M. Anderson, N. Kalra, K. D. Stanley, P. Sorensen, C. Samaras, O. A. Oluwatola - Autonomous Vehicle Technology: A Guide for Policymakers. RAND Corporation, 2016.

[86] S. Shalev-Shwartz, S. Shammah, A. Shashua - On a Formal Model of Safe and Scalable Self-driving Cars, 2017.

[87] K. Eykholt, I. Evtimov, E. Fernandes, B. Li, A. Rahmati, C. Xiao, A. Prakash, T. Kohno, D. Song - Robust Physical-World Attacks on Deep Learning Visual Classification, 2018.

[88] Quattroruote - Cybersecurity - Valasek e Miller hackerano una Jeep Cherokee, 25/08/2025.

[89] National Transportation Safety Board - HWY18MH010, Collision Between Vehicle Controlled by Developmental Automated Driving System and Pedestrian, 25/08/2025.

[90] European Commission - Shaping Europe's digital future - Ethics guidelines for trustworthy AI, 25/08/2025.

[91] Ugo.legal - Le auto a guida autonoma: normativa italiana ed europea, 23/09/2025.

- [92] Astra.admin - Ordinanza sulla guida automatizzata, 23/09/2025.
- [93] Blog.astra.admin - Guida automatizzata: le domande più frequenti, 23/09/2025.
- [94] NHTSA - Automated Driving Systems: A Vision for Safety, 2017.
- [95] Wikipedia - Waymo, 29/09/2025.
- [96] Wikipedia - Cruise (autonomous vehicle), 29/09/2025.
- [97] Esquire - General Motors ferma i robotaxi Cruise ma non la guida autonoma, 29/09/2025.
- [98] Zoox.com, 29/09/2025.
- [99] Wikipedia - Zoox, 29/09/2025.
- [100] Bloomberg - Amazon's Zoox Seeks Approval for Driverless Car Deployment, 29/09/2025.
- [101] Motional - Motional's All-Electric IONIQ 5 Robotaxis Test Highway Speeds Autonomously at Hyundai's Proving Grounds, 29/09/2025.
- [102] Forbes Italia - Waymo continua la sua crescita: 150.000 corse in robotaxi e 1 milione di chilometri a settimana, 29/09/2025.
- [103] Apollo.go.com, 29/09/2025.
- [104] Le Monde - Baidu, China's robotaxi leader, sets sights on Europe, 29/09/2025.
- [105] Bloomberg - Baidu Eyes Australia, Southeast Asia for Next Robotaxi Expansion, 29/09/2025.
- [106] Corriere.it - Robotaxi: dove funzionano già nel 2025 e quando arriveranno in Italia? 29/09/2025.
- [107] Weride.ai, 29/09/2025.
- [108] La Stampa - Il grande passo dell'azienda cinese di auto a guida autonoma che va alla conquista di Wall Street, 29/09/2025.
- [109] Wikipedia - WeRide, 29/09/2025.
- [110] Corriere.it - Lanciato in Francia il primo servizio di minibus a guida autonoma in Europa, 29/09/2025.
- [111] Pony.ai - Story, 29/09/2025.
- [112] Wikipedia - Pony.ai, 29/09/2025.
- [113] Nvidia.com - Pony.ai Automotive Partner, 29/09/2025.
- [114] Aurora.tech - Aurora Begins Commercial Driverless Trucking in Texas, Ushering in a New Era of Freight, 29/09/2025.
- [115] Wikipedia - Aurora Innovation, 29/09/2025.
- [116] Dfcmodeling.com - Aurora Innovation, Inc. (AUR): history, ownership, mission, how it works & makes money, 29/09/2025.
- [117] Wikipedia - Nuro, 02/10/2025.
- [118] Nuro - The Future of Ride-Hailing: Powered by Nuro, Lucid & Uber, 02/10/2025.
- [119] Nuro - Driving Forward: Nuro Goes Driverless in 3 Cities, 02/10/2025.
- [120] Nuro - Meet Our Fleet, 02/10/2025.
- [121] May Mobility - Locations, 02/10/2025.
- [122] May Mobility - May Mobility Launches Ride-Hail API, Signaling Readiness to Scale Autonomous Deployments Globally, 02/10/2025.
- [123] Wikipedia - Wayve, 02/10/2025.
- [124] StartupItalia - Dopo Microsoft, Nvidia e Softbank anche Uber sale a bordo di Wayve AI, startup UK della guida autonoma, 02/10/2025.
- [125] Wayve - Wayve AI Driver: Redefining automated driving technology for OEMs, 02/10/2025.

- [126] People's Government of Pingshan District - AutoX speeding in autonomous driving, 26/10/2025.
- [127] Gasgoo - AutoX's RoboTaxis allowed for unmanned passenger transport service in Shanghai, 02/10/2025.
- [128] Ilmessaggero - AutoX lancia RoboTaxi autonomi senza autista in Cina. Startup di Alibaba utilizza piattaforma con 28 telecamere, 02/10/2025.
- [129] Wikipedia - DeepRoute.ai, 02/10/2025.
- [130] Automotive World - DeepRoute.ai brings mass-production ready DeepRoute IO 2.0 platform to IAA 2025, 02/10/2025.
- [131] Deeproute.ai - Product, 02/10/2025.
- [132] Mobileye - Mobileye and SIXT Plan New Robotaxi Service, 02/10/2025.
- [133] Mobileye - Volkswagen ADMT announces agreement with Mobileye for autonomous driving, 02/10/2025.
- [134] Mobileye - Mobileye at IAA Mobility | Munich, 02/10/2025.
- [135] Mobileye - From pilot testing to auto-pilot – Driven by Mobileye™, 02/10/2025.
- [136] Letsverne - Verne: Journey to the future of mobility, 02/10/2025.
- [137] Ansa - Si chiama Verne il nuovo robotaxi a due soli posti di Rimac, 02/10/2025.
- [138] Mobileye - Verne unveils urban mobility service driven by Mobileye, 02/10/2025.
- [139] Didiglobal - DiDi Autonomous Driving Debuts Mass-Production-Ready L4 Robotaxi Model, Unveils Latest Updates in Partnership with GAC Aion News Detail, 02/10/2025.
- [140] Wikipedia - DiDi, 02/10/2025.
- [141] Tesla - Robotaxi, 15/10/2025.
- [142] The Guardian - Tesla - Tesla set to unveil self-driving car service in Austin, 15/10/2025.
- [143] Il Sole 24 ORE - Tesla lancia i robotaxi: per Musk scommessa da mille miliardi. Titolo +10%, 15/10/2025.
- [144] HB4 Holding - Home, 06/10/2025.
- [145] Casalini srl - Home, 06/10/2025.
- [146] Reinova - Home, 06/10/2025.
- [147] Reitech - Home, 06/10/2025.
- [148] Reply - Soluzioni per il settore Automotive, 06/10/2025.
- [149] Technocad Group - Technocad AV, 06/10/2025.
- [150] Tazzari-zero.com, 06/10/2025.
- [151] Wikipedia - Classificazione dei veicoli, 06/10/2025.
- [152] Wikipedia - Battery electric vehicle, 06/10/2025.
- [153] Infineon - Light electric vehicles (LEVs) 06/10/2025.
- [154] Tazzari-Zero - Zeromax, 06/10/2025.
- [155] World Economic Forum - Autonomous Vehicles: Timeline and Roadmap Ahead, 04/2025.
- [156] Cstenero - Agli albori di una storia di successo, 15/10/2025.
- [157] Schweizerischenationalspende - Storia Centro sportivo nazionale della gioventù (CST), 15/10/2025.
- [158] Tenero-contra - Il 50° anniversario del centro sportivo CST, 15/10/2025.
- [159] Cemea - Centro sportivo nazionale della gioventù di Tenero, 15/10/2025.
- [160] Cstenero - Come arrivare, 15/10/2025.
- [161] Cstenero - Resoconto annuale 2024, 15/10/2025.
- [162] Bbl.admin - Pacchetto clima, 15/10/2025.
- [163] Divisare - Andreas Kipar, F&M Ingegneria.com, MANENS-TIFS S.P.A., Giorgio Pettenò

architetti, Umberto Ferro · Centro sportivo nazionale di nuoto a Tenero, 15/10/2025.

[164] Baspo.admin - Centro sportivo di Tenero: posa della prima pietra per il nuovo centro natatorio, 18/10/2025.

[165] Bbl.admin - Nuovo edificio con alloggi presso il Centro sportivo di Tenero, 18/10/2025.

[166] T. M. Yekta, J. Schöning - Keep Calm and Relax-HMI for Autonomous Vehicles, 2024.

[167] M. Yan, L. Rampino, G. Caruso - Comparing User Acceptance in Human-Machine Interfaces Assessments of Shared Autonomous Vehicles: A Standardized Test Procedure, 2024.

[168] J. A. Mandujano-Granillo, M. O. Candela-Leal, J. J. Ortiz-Vazquez, M. A. Ramirez-Moreno, J. C. Tudon-Martinez, L. C. Felix-Herran, A. Galvan-Galvan, J. de J. Lozoya-Santos - Human-Machine Interfaces: A Review for Autonomous Electric Vehicles, 2024.

[169] AAA Foundation for Traffic Safety - Human-Machine Interfaces and Vehicle Automation: A Review of the Literature and Recommendations for System Design, Feedback, and Alerts, 2022.

[170] J. D. Lee, K. A. See - Trust in Automation: Designing for Appropriate Reliance, 2004.

[171] C. Cui, Y. Ma, X. Cao, W. Ye, Z. Wang - Drive as You Speak: Enabling Human-Like Interaction with Large Language Models in Autonomous Vehicles, 2024.

[172] I. Grobelna, D. Mailland, M. Horwat - Design of Automotive HMI: New Challenges in Enhancing User Experience, Safety, and Security, 2025.

[173] R. Verstegen, R. Gao, R. Bernhaupt, P. Bazilinskyy, M. Martens - Combining Internal and External Communication: The Design of a Holistic Human-Machine Interface for Automated Vehicles, 2024.

[174] A. Kumar, K. Rana, R. Gupta, D. Gupta, A. Mahida, Sonia - Human-Centered AI for Autonomous Vehicles: A Review of Interaction Strategies and Technologies, 2024.

[175] J. Guo, Q. Yuan, J. Yu, X. Chen, W. Yu, Q. Cheng, W. Wang, W. Luo, X. Jiang - External Human-Machine Interfaces for Autonomous Vehicles from Pedestrians' Perspective: A Survey Study, 2022.

[176] G. K. de Clercq, J. de Winter, A. Dietrich - External Human-Machine Interfaces on Automated Vehicles: Effects on Pedestrian Crossing Decisions, 2019.

[177] J. de Winter, D. Dodou - External human-machine interfaces: Gimmick or necessity? 2022.

[178] L. Hobert, A. Festag, I. Llatser, L. Altomare, F. Visintainer, A. Kovacs - Enhancements of V2X Communication in Support of Cooperative Autonomous Driving, 2015.

[179] A. Rouchitsas, H. Alm - External Human-Machine Interfaces for Autonomous Vehicle-to-Pedestrian Communication: A Review of Empirical Work, 2019.

[180] J. Carmona, C. Guindel, F. Garcia, A. de la Escalera - eHMI: Review and Guidelines for Deployment on Autonomous Vehicles, 2021.

[181] R. Cumbal, D. G. Broo, G. Castellano - Crowdsourcing eHMI Designs: A Participatory Approach to Autonomous Vehicle-Pedestrian Communication, 2025.

[182] K. Zeeb, A. Buchner, M. Schrauf - What determines the take-over time? An integrated model approach of driver take-over after automated driving, 2015.

[183] Y. Cai, H. Baume, N. Bert, M. Zare - Designing for Comfort: Non-Driving Activities in Level 4 Autonomous Vehicles, 2024.

[184] M. D. Basil - Multiple Resource Theory, 1994.

[185] M. Bisson - ENVIRONMENTAL DESIGN 4th International Conference on Environmental Design, Pag. 317, 2024.

[186] McKinsey - Autonomous driving's future: Convenient and connected, 13/11/2025.

- [187] R. Oldenburg – The Great Good Place, 1989.
- [188] R. C. Mayer, J. H. Davis, F. D. Schoorman - An Integrative Model of Organizational Trust, 1995.
- [189] S. C. Kohn, E. J. de Visser, E. Wiese, Y. Lee, T. H. Shaw - Measurement of Trust in Automation: A Narrative Review and Reference Guide, 2021.
- [190] K. Hoff, M. Bashir - Trust in Automation: Integrating Empirical Evidence on Factors That Influence Trust, 2014.
- [191] W. Müller, M. Leyer, M. Gaugel - Trust towards using autonomous taxis: Evidence from Germany, 2025.

* Tutte le reference presenti nell'elaborato, sia testuali sia relative alle immagini, includono il link all'articolo, al paper o al sito corrispondente. È sufficiente cliccare sulla reference desiderata essere reindirizzati al documento originale.

