



Università
Ca' Foscari
Venezia

Marketing e
Comunicazione

Tesi di Laurea
Magistrale

Sostenibile,
connessa,
autonoma.
La mobilità del
futuro.

Relatore

Cabigiosu Anna

Laureando

Marco Marcato

Matricola 863172

Anno Accademico

2020 / 2021

RINGRAZIAMENTI

In primis vorrei ringraziare la Professoressa Anna Cabigiosu, non solo per la sua disponibilità, la sua pazienza e per l'aiuto che mi ha riservato durante lo svolgimento di questo progetto di tesi, ma soprattutto per aver fatto nascere in me l'interesse nei confronti del tema dell'innovazione.

Un necessario ringraziamento va a mia madre Annuccia, senza il suo supporto non sarei mai stato la persona che sono oggi. Il nostro è un legame speciale e non finirò mai di esserle grato per tutto ciò che fa e che ha fatto per la mia vita. Grazie mamma, ti voglio bene.

Un grazie sincero va detto anche a mio padre e mio fratello, che spronandomi a dare il meglio fin dal primo giorno mi hanno portato ad essere qui oggi.

Ringrazio la persona che amo, che è stata sempre al mio fianco, che ha stimolato la mia intelligenza, placato la mia rabbia e azzerato le mie preoccupazioni. Sei sempre stata con me, non mi hai mai lasciato solo e mi hai sempre fatto sentire quanto tu credessi in me, ogni giorno, ogni minuto, dopo ogni caduta, prima di ogni vittoria. Non smetterò mai di dirti grazie Lara.

Un grazie speciale va anche alla mia collega Alessia Maiolani, con cui ho condiviso tutto questo percorso di laurea. È grazie a lei se oggi sono qui a scrivere questi ringraziamenti, ma più che per l'aiuto scolastico, vorrei ringraziarla per l'amicizia nata tra di noi. Un'amicizia sincera, inseparabile e unica.

Grazie a Sebastiano, a tutti i miei amici e ai miei colleghi per essere stati sempre presenti anche durante questa ultima fase del mio percorso di studi. Grazie per aver ascoltato i miei sfoghi, grazie per tutti i momenti di spensieratezza.

Un ringraziamento va anche fatto al mio cane, Victor, per essermi stato vicino per tutta la stesura di questo elaborato e per riportarmi il sorriso quando sono giù di morale.

Per ultimo ringraziamento ho voluto lasciare quello che ritengo più importante.

Il ringraziamento più sentito non può essere che per i miei nonni, che per tutta la vita mi sono stati accanto e mi hanno cresciuto come un figlio. Loro ci sono sempre stati, dai momenti più bui ai momenti più belli, senza mai farmi mancare nulla, fino a che hanno avuto le forze non hanno mai smesso di aiutarmi.

La dedica in particolare di questo elaborato va a te cara nonna.

Un fiume di lacrime sta accompagnando questa mia scrittura, è passato un mese dall'ultima volta in cui ci siamo visti e da quel giorno non faccio altro che pensare a te, pensare a quanto sono stato fortunato ad averti come nonna, a pensare a quanto fossi la persona più buona del mondo, a pensare a quanto bene ti ho voluto e a quanto bene ti voglio, a pensare a tutti i momenti passati insieme, 24 ore su 24 per 24 anni. A pensare quanto mi manchi e quanto ti vorrei di nuovo qui con me, anche solo per piegare ancora qualche lenzuolo insieme.

Ora tu e il nonno siete i miei angeli, spero di rendervi sempre orgogliosi di me, vi porterò sempre nel cuore. Grazie.

*“I nonni sono un tesoro.”
(Papa Francesco)*

ABSTRACT:

Alla base di questo elaborato vi è l'analisi di un settore in piena evoluzione, la storia di una tecnologia ancora in fase di crescita e di tutti i benefici e le problematiche che ne conseguono.

In un mondo alle prese con profondi e repentini cambiamenti legati a fattori ambientali (crisi climatica, perdita di biodiversità), demografici (espansione delle città, invecchiamento della popolazione), tecnologici (digitalizzazione, perdita di interazione) e industriali (lavoro, risorse, innovazioni), la mobilità è una delle sfide più complesse che la società attuale è chiamata ad affrontare. Infatti, il settore dei trasporti gioca un ruolo fondamentale per il benessere della comunità. I grandi cambiamenti sociali ed economici impongono alle aziende di indirizzare le proprie risorse in modo ancora più forte e incisivo. Un'innovazione nella mobilità può, infatti, portare a miglioramenti in termini di traffico, sicurezza, inquinamento ed emissioni

L'obiettivo di questa tesi di laurea è quello di fornire un'accurata analisi su come sta evolvendo la tecnologia in questione e quali saranno le implicazioni sociali che ne conseguiranno. L'elaborato, in questo modo, mira a proporre una visione completa di come sarà la mobilità del futuro.

È stata condotta anche un'indagine, ricorrendo ad un questionario creato dal team di ricerca che sta lavorando al progetto BECAM (Benchmark of Electric, Connected and Autonomous Mobility), un progetto che coinvolge il centro di ricerca CAMI (Center for Automotive and Mobility Innovation) del Dipartimento di Management di Ca' Foscari e che è in completa sinergia con questo elaborato. L'intervistato è stato il CEO e founder di una start up (italiana) innovativa nel settore che fa della modularità della tecnologia il suo asso nella manica. Le domande vertevano sulle performance e sullo stato della tecnologia, sull'ecosistema formatosi attorno all'azienda, sull'organizzazione del team che segue il progetto e infine sulle modalità di apprendimento delle conoscenze.

La tesi è articolata in quattro capitoli: nel primo capitolo viene fornita un'introduzione della tecnologia, attraverso un excursus storico e uno studio della componentistica. Nel secondo capitolo ci si occupa di analizzare ciò che gira intorno alla tecnologia, ovvero i fattori abilitanti, gli scenari applicativi, le criticità e le implicazioni sociali. Il terzo capitolo si

concentra sui possibili modelli di business delle aziende che lavorano in questo settore e di quali possano essere i loro vantaggi competitivi. Nel quarto capitolo l'analisi si concentra sul case study dell'elaborato, andando ad analizzare da vicino l'azienda in questione e soprattutto si procede a commentare i risultati ottenuti dall'analisi dell'elaborazione dei dati, esponendo gli elementi più rilevanti dell'indagine svolta. Infine, si traggono le conclusioni e si prova a costruire un calendario con le fasi che porteranno la mobilità così come la conosciamo ad essere sostenibile, connessa ed autonoma.

INDICE

1 I ROBOTAXI

1.1 Storia dei veicoli autonomi	1
1.2 Definizione Robotaxi	2
1.3 La ricerca europea.....	3
1.4 La ricerca americana	4
1.5 Diffusione e progetti	5
1.6 Tecnologia e performance.....	9
1.6.1 Elettificazione del trasporto	12
1.6.2 Sterzo.....	13
1.6.3 Frenata	15
1.6.4 Sistemi di ricarica	15
1.6.5 Sensori	17
1.6.6 Algoritmo di guida autonoma.....	25
1.6.7 Piattaforma Cloud e 5G	28

2 ROBOTAXI & INDUSTRIA 4.0

2.1 Città intelligenti.....	30
2.1.1 Smart roads	31
2.2 Implicazioni Robotaxi	37
2.2.1 Scenari applicativi.....	37
2.2.2 Criticità.....	41
2.2.3 Implicazioni sociali	45
2.3 Quadro giuridico	46
2.3.1 Stati Uniti	47
2.3.2 Francia.....	51
2.3.3 Germania.....	51
2.3.4 Spagna.....	52
2.3.5 Italia	53
2.3.6 Cina	53
2.4 Le tre fasi future del robotaxi.....	55

3 MODELLI DI BUSINESS

3.1 Modelli di business e vantaggio competitivo.....	57
3.2 L'ecosistema dell'industria ICV	58
3.3 Cinque modelli di business	60
3.3.1 Platform Model.....	60
3.3.2 Self-Transformation Model	61
3.3.3 T1 Reliance Model	62
3.3.4 Alliance Model	63
3.3.5 Outsourcing Model.....	64
3.3.6 Concorrenza tra imprese ICV	64
3.3.7 Cinque fattori per mantenere la competitività	65

4 I SERVIZI DI MOBILITÀ

4.1 Sistemi dinamici di trasporto e il ride-sharing	67
4.2 Sistemi di ridesharing dinamico modulare (MDRS)	70
4.3 NEXT Future Transportation	74
4.4 Progetto BECAM.....	76
4.5 Analisi del questionario	77

CONCLUSIONI 80

A Abbreviazioni 82

B Appendice 84

C Main player 92

Bibliografia 94

Sitografia 99

CAPITOLO 1 - I ROBOTAXI

1.1 Storia dei veicoli autonomi

A metà degli anni '20, Francis P. Houllina, un ingegnere elettrico con una formazione militare, equipaggiò un veicolo Chandler con un'antenna che riceveva segnali da un secondo veicolo davanti. Il controllo era realizzato attraverso un piccolo motore elettrico che eseguiva i compiti in base al movimento del primo veicolo. Il canale di comunicazione utilizzava onde radio (Wolf 2016).

Un altro visionario fu Norman Bel Geddes, un designer industriale che, con il supporto della General Motors, presentò un veicolo spinto da campi magnetici generati da circuiti incorporati nella strada nel 1939 durante la mostra "Futurama" all'Esposizione Mondiale.

Nel 1957, RCA LABS-USA ha presentato al pubblico, due veicoli forniti da General Motors che sono stati dotati di ricevitori in grado di interpretare i segnali provenienti dalla strada. I veicoli sono stati in grado di gestire lo sterzo automatico, l'accelerazione e la frenata (Bartz 2009).

Il Dr. Robert L. Cosgriff nel 1960, lavorando alla Ohio State University, ha presentato l'idea che l'automazione del veicolo basata sulle informazioni provenienti dalla strada sarebbe diventata una realtà nei successivi 15 anni. Lavorava nel laboratorio di sistemi di comunicazione e controllo.

Nel continente europeo, i pionieri in questo campo sono stati un gruppo del Transport Road Research Laboratory che, nel 1960, ha testato con successo una Citroen DS con velocità superiori a 130 km/h senza conducente in tutti i tipi di condizioni meteorologiche. Questo veicolo funzionava seguendo il campo magnetico di una serie di fili elettrici montati sulla strada. (Waugh, 2013)

L'anno 1980 ha introdotto un nuovo approccio sviluppato da Mercedes-Benz, quello che considera la "visione" come il fattore decisivo per un'auto senza conducente, che è stato utilizzato con successo sulle strade pubbliche. Questo progetto è stato condotto dal Prof. Ernst Dickman, un pioniere della visione artificiale che lavorava alla Bundeswehr University di Monaco.

Si cominciò quindi a promuovere una legislazione per questo tipo di veicolo e, nel 1997, il Dipartimento dei Trasporti degli Stati Uniti ha creato le prime leggi relative alla "dimostrazione di un veicolo automatizzato e di un sistema autostradale" (Bishop 2005).

L'aeroporto di Schiphol nel dicembre 1997 fu il primo ente pubblico a utilizzare il "Park Shuttle", chiamato "automated people mover". Questa tecnologia è stata la base per le future realizzazioni sul campo, rappresentando la prima volta che le capacità di guida autonoma sono state testate nell'uso comune pubblico (Lohman 2009)

Dal 2000, una rivoluzione della guida autonoma ha avuto luogo. Ricercatori indipendenti, società automobilistiche, società di software e società di elettronica cercano tutte di rivendicare la proprietà di questo complesso mezzo di trasporto che cambierà definitivamente le relazioni degli esseri umani con i veicoli una volta per tutte.

1.2 Definizione Robotaxi

L'introduzione dei veicoli automatizzati (AV) dovrebbe portare un cambiamento epocale nell'industria dei trasporti. Come parte di questo movimento verso gli AV, le navette automatizzate sono state recentemente impiegate in molte città americane ed europee. Secondo il Federal Transit Administration's (FTA) Strategic Transit Automation Research Plan del 2018, i robotaxi (o navette automatizzate) sono veicoli piccoli e a bassa velocità (generalmente meno di 25 km/h) che "non richiedono un operatore umano, anche se le prime dimostrazioni hanno tutte incluso un addetto umano a bordo per servire i passeggeri, registrare i dati, rispondere alle domande e servire come operatore di sicurezza se necessario" (Valdes et al., 2018).

Queste navette soddisfano tipicamente la definizione della Society of Automotive Engineers (SAE) dei livelli 2-3-4 di automazione, che sono delle modalità di alta automazione in cui viene utilizzato un sistema di guida autonoma che coinvolge l'assistenza del conducente in determinate situazioni. Inoltre, le navette sono tipicamente "limitate ad operare in determinati ambienti come parcheggi, busway, campus, quartieri del centro e comunità di pensionati" (Valdes et al., 2018).

Le ricerche sulle navette automatizzate sono intraprese da molti paesi. La ricerca europea è probabilmente la più avanzata. Questa breve revisione della letteratura si concentrerà sia sulla ricerca europea sia su quella americana. Una revisione più approfondita è stata svolta da Azad et al. (2019).

1.3 La ricerca europea sulle navette automatizzate

Molti progetti di implementazione hanno avuto luogo in Europa, tra cui sono degni di nota Citymobil2, WEpod, e CarPostal (Alessandrini et al., 2014; Navya, 2017; Pessaro, 2015; Weele, 2015). Il progetto Citymobil2 ha analizzato dodici implementazioni di navette automatizzate e ha classificato le loro posizioni di implementazione in quattro tipi: centri città, all'interno di una "struttura principale", da un nodo di trasporto pubblico a una struttura principale e da un nodo di trasporto pubblico a una zona residenziale.

Altri studi hanno analizzato le navette automatizzate dal punto di vista degli utenti, compreso il comportamento di viaggio, i dati demografici e le percezioni di sicurezza degli utenti (Yap et al., 2016; Nordhoff et al., 2017; Portouli et al., 2017; Salonen, 2018). Uno studio ha condotto un sondaggio sulle preferenze dichiarate per capire la prospettiva degli utenti degli AV condivisi come potenziale soluzione per i viaggi dell'ultimo miglio dalle stazioni di transito e ha scoperto che i viaggiatori dei treni di prima classe sono più propensi a scegliere gli AV condivisi come modalità di uscita (Yap et al., 2016). Un altro studio ha intervistato gli utenti effettivi di minibus automatizzati e ha scoperto che gli utenti regolari tendevano ad essere persone più giovani; inoltre, i passeggeri in genere non avevano preoccupazioni circa la sicurezza a bordo (Portouli et al., 2017). Un terzo studio ha condotto indagini sull'esperienza dei passeggeri dopo aver viaggiato su una navetta senza conducente e ha concluso che i passeggeri hanno percepito la sicurezza della navetta senza conducente come migliore di quella degli autobus convenzionali, mentre la sicurezza personale a bordo era più debole di quella degli autobus convenzionali (Salonen, 2018).

L'economia e l'efficacia dei costi delle navette automatizzate sono state discusse da molti autori (Cedera et al., 2018; Piao et al., 2016; Sinner et al., 2018). Uno dei primi studi ha utilizzato tecniche di simulazione per sviluppare scenari di servizio di trasporto automatizzato in risposta alla domanda (ADRTS) e ha scoperto che i costi operativi sono probabilmente simili agli attuali sistemi di autobus ma inferiori ai servizi tradizionali in risposta alla domanda, principalmente perché ADRTS elimina i costi del conducente e i vincoli di programmazione (Winter et al., 2018). Un altro studio degno di nota ha concluso che il dispiegamento di navette automatizzate sarà competitivo se la domanda è sufficiente quando distribuito in aree urbane dense (Bösch et al., 2018).

1.4 La ricerca americana sulle navette automatizzate

Gli Stati Uniti sono probabilmente in ritardo rispetto ai paesi europei in termini di distribuzione e ricerca sulle navette automatizzate, anche se ci sono state alcune ricerche di fondo (Azad et al., 2019). La maggior parte degli studi americani sulla prospettiva dell'utente è stata fatta prima della distribuzione della navetta automatizzata (ad esempio, Anania et al., 2018; Dong et al., 2019). Due di questi studi hanno rivelato un certo scetticismo sulla sicurezza della navetta. Ad esempio, uno studio ha riportato che i genitori potrebbero non essere disposti a mandare i loro figli a scuola nelle navette automatizzate (Anania et al., 2018). Un altro studio sui passeggeri del transito ha rilevato che la loro disponibilità a viaggiare in una navetta senza conducente aumenta significativamente con la presenza di personale di sicurezza a bordo (Dong et al., 2019). Tuttavia, è probabile che gli atteggiamenti cambieranno dopo che più americani avranno sperimentato la guida di una navetta automatizzata in futuro. Una quantità limitata di ricerche è stata intrapresa sugli aspetti economici delle implementazioni della navetta automatizzata negli Stati Uniti; uno studio degno di nota ha mostrato l'efficienza dei costi delle navette automatizzate rispetto ai servizi di paratransit (Lutin, 2018).

Ad oggi, sono stati pubblicati pochissimi lavori accademici rilevanti sulle navette automatizzate perché la maggior parte delle navette sono ancora nelle loro fasi di test. L'Eno Center for Transportation ha pubblicato un rapporto intitolato "Beyond Speculation 2.0: Automated Vehicles and Public Policy", che contiene raccomandazioni politiche per testare i veicoli automatizzati sulle strade pubbliche (Lewis e Grossman, 2019); tuttavia, il rapporto è per i veicoli automatizzati, non è specifico per le navette automatizzate. Il riferimento più rilevante per questo documento è un rapporto di Volpe National Transportation Systems Center del Dipartimento del Trasporto degli Stati Uniti (US DOT) che ha analizzato lo stato dell'arte dei progetti di navette automatizzate nel 2018. Il rapporto ha analizzato alcuni progetti pilota nazionali e internazionali, e ha riassunto le caratteristiche del veicolo e del servizio delle navette automatizzate, ha identificato le parti coinvolte nello sviluppo, ha elaborato i problemi relativi alla diffusione delle navette e ha fornito strategie di mitigazione per risolvere tali problemi (Cregger et al., 2018).

1.5 Diffusione e progetti realizzati

La tabella 1 di seguito presenta l'attuale flotta di navette autonome in servizio in tutto il mondo, includendo il produttore del veicolo, il numero di veicoli per percorso, il costo del trasporto e il tipo di strada dove il veicolo è in servizio.

Tabella 1: Elenco progetti bus navetta autonomi per il trasporto pubblico

Shuttle Bus	Location	Operator	Vehicles	Launch	Track	Fee	Environment
Navya Arma	Confluence Lyon, France	Keolis	2	09/2016	1.350 km	Free	Pedestrian area ¹
Navya Arma	Parc Olympique Lyonnais, France	TCL Lyon	2	11/2019	1.400 km	Free	Public road ²
Navya Arma	ZAC des Gaulnes Lyon, France	Berthelet	1	03/2019	1.200 km	Free	Public road
Navya Arma	l'Abbaye Fontevraud, France	Keolis	1	05/2018	0.800 km	Free	Pedestrian area
Navya Arma	Rue Paul Duez, Université de Lille, France	Keolis	2	12/2018	1.400 km	Free	Public road
Navya Arma	Villejean, Université de Rennes, France	Keolis	2	01/2018	1.300 km	Free	Public road
Navya Arma	Virgino-Mainati Meyrin, Geneva, Switzerland	TPG Geneva	2	09/2018	2.100 km	Free	Public road
Navya Arma	Place de la Planta Sion, Switzerland	CarPostal	2	06/2016	3.540 km	Free	Public road
Navya Arma	Neuhausen am Rheinfall, Switzerland	VB/SH	1	03/2017	1.500 km	Free	Public road
Navya Arma	l'Ancienne Marly, Fribourg, Switzerland	TPF	2	08/2017	1.300 km	On-demand	Public road
Navya Arma	Sylt Schleswig-Holstein, Germany	SVG	1	05/2019	2.700 km	Free	Public road
Navya Arma	Ilse-Arlt-Straße Wien, Austria	Wiener Linien	2	06/2019	4.000 km	Free	Public road
Navya Arma	Ommelander Hospital, Groningen, Netherlands	Arriva (DB)	1	08/2018	1.000 km	Free	Public road
Navya Arma	Contern, Luxembourg	Sales-Lentz	1	09/2018	1.000 km	Free	Public road
Navya Arma	Oslo Waterfront Oslo, Norway	Holo	4	05/2019	2.200 km	Free	Public road
Navya Arma	Lindholmen Science Park Gothenburg, Sweden	Autonomous	2	04/2019	1.400 km	Free	Public road
Navya Arma	University of Metropolia Helsinki, Finland	Metropolia	2	06/2019	2.000 km	Free	Public road
Navya Arma	St Perth Esplanade Perth, Australia	RAC	2	07/2016	3.500 km	Paid service	Public road
Navya Arma	Flinders University Adelaide, Australia	Flinders	1	06/2018	1.200 km	Free	Public road
Navya Arma	University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, US	MCITY	2	12/2016	1.600 km	Free	Public road
Navya Arma	Lake Nona Orlando, Florida, US	Beep	2	09/2019	3.540 km	Free	Public road
Navya Arma	Las Vegas Blvd Las Vegas, Nevada, US	Keolis	1	11/2017	1.000 km	Free	Public road
Navya Arma	Montcalm Candiac, Montreal, Canada	Keolis	1	08/2018	2.000 km	Free	Public road
Navya Arma	Masdar City, Abu Dhabi, United Arab Emirates	Navya	3	09/2018	0.900 km	Free	Pedestrian area
Navya Arma	Nursery Park, West Kowloon, Hong Kong	westKowloon	1	07/2017	0.300 km	Free	Pedestrian area
EasyMile EZ10	Airport Velizy-Villacoublay, Paris, France	RATP/SCA	1	06/2018	-	Air Force	Government property ³
EasyMile EZ10	First Fully Driverless Service Sorigny, France	TLD	1	11/2018	1.500 km	Free	Public road
EasyMile EZ10	Plateau de Satory Versailles, France	Transdev	1	12/2018	1.000 km	Free	Public road
EasyMile EZ10	InnoZ EUREF Campus, Berlin, Germany	BVG	1	12/2017	0.600 km	Free	Public road
EasyMile EZ10	Bad Birnbach, Germany	DB	2	10/2017	1.400 km	Free	Public road
EasyMile EZ10	Project See-Meile, Berlin, Germany	BVG	1	08/2019	1.200 km	Free	Public road
EasyMile EZ10	GreenTec Campus, Enge-Sande, Germany	BMVI	1	06/2018	2.700 km	Free	Public road
EasyMile EZ10	Bernmobil Demo Bern, Switzerland	AVOC	1	06/2019	2.000 km	Free	Public road
EasyMile EZ10	Koppl Salzburg Research, Koppl, Austria	Digibus	1	04/2018	1.400 km	Free	Public road
EasyMile EZ10	Austin Airport, Austin, Texas, US	AUS	1	08/2019	0.700 km	Free	Pedestrian area
EasyMile EZ10	Virginia Tech Blacksburg, Virginia, US	NRV	1	05/2019	0.800 km	Free	Public road
EasyMile EZ10	Calgary Zoo Calgary, Canada	PWT	1	09/2018	0.557 km	Free	Public road
EasyMile EZ10	Renmark Aged Care, Renmark, Australia	TAG	1	08/2019	4.500 km	Free	Public road
EasyMile EZ10	BusBot, Toormina, New South Wales, Australia	Busways	1	06/2019	1.000 km	Free	Pedestrian area
EasyMile EZ10	Southeast University, Nanjing, Jiangsu, China	NJNDTIG	1	10/2018	1.400 km	Free	Public road
EasyMile EZ10	National University of Singapore, Singapore	ComfortDelGro	1	07/2019	1.600 km	Free	Public road
Baidu Apollo	Software Park Xiamen, China	Baidu	1	04/2018	-	Free	Public road
Baidu Apollo	Kink Long Xiamen, China	Baidu	1	03/2018	-	Free	Pedestrian area
Baidu Apollo	Haidian Park Xiamen, China	Baidu	1	05/2019	-	Registration	Pedestrian area
Baidu Apollo	Xiongan New Area, China	Baidu	5	12/2017	4.000 km	Free	Public road
Baidu Apollo	Shenzhen, China	Shenzhen Bus	4	12/2017	1.200 km	Free	Public road
Baidu Apollo	Yangquan, Shanxi, China	Baidu	22	01/2019	26.000 km	Free	Public road
Baidu Apollo	Wuhan, China	Baidu	10	10/2018	5.000 km	Free	Pedestrian road
Local Motors Olli	ITC-ILLO Campus, Turin, Italy	ITC-ILLO	1	01/2020	-	Registration ⁴	Public road
Local Motors Olli	Goodyear, Colmar-Berg, Luxembourg	Sales-Lentz	3	03/2019	-	Free	Private property
Local Motors Olli	GoMentum Station, Concord, California, US	CCTA	1	10/2019	-	On-demand	Private property
Local Motors Olli	National Harbor, Maryland, US	MDOT	1	10/2019	-	Registration	Public road
Local Motors Olli	The Goodyear Tire, Akron, Ohio, US	Goodyear	1	02/2019	-	On-demand	Private property
Local Motors Olli	University of Buffalo, Buffalo New York, US	UB	1	09/2019	-	Free	Private property
Local Motors Olli	King Abdullah University, Thuwal, Saudi Arabia	SAPTCO	3	12/2019	-	Free	Public road

¹ Pedestrian area: type of traffic mixed with pedestrians and bikes. ² Public road: type of traffic mixed with pedestrians, bikes and motorized vehicles. ³ Government property designation for the ownership of property by governmental legal entities. ⁴ Free for registered members on <https://ridcolli.com/>.

FONTE: Iclodean et al. (2020)

ALTRI ESEMPI DI PROGETTI PILOTA (Ainsalu et al 2018) NELL'ULTIMO DECENNIO:

Berlino, Germany

A Berlino, il campus ospedaliero Charité e la BVG, il servizio di trasporto pubblico di Berlino, hanno lanciato un progetto pilota congiunto di navetta autonoma a partire da marzo 2018. Il progetto consisteva in due percorsi che mirano a trasportare studenti, pazienti e collaboratori. Per il primo anno, le navette hanno avuto un operatore a bordo in ogni momento, ma dal 2019 in poi, le navette sono state previste per viaggiare senza un membro del personale a bordo. L'obiettivo del pilota era quello di studiare l'effetto dell'introduzione dell'autonomia sull'uso del trasporto pubblico, aumentando il numero di persone che utilizzano il servizio. I partner speravano anche di ottenere informazioni sull'accettazione dei veicoli autonomi da parte dei passeggeri.

Friburgo, Svizzera

A Friburgo, l'azienda di trasporto pubblico locale, Marly Innovation Center, e diversi attori pubblici hanno lanciato il loro pilota di navetta autonoma per collegare l'area del Marly Innovation Center al servizio di trasporto pubblico. Il progetto è iniziato a settembre 2017, ed è stato disponibile per i passeggeri a partire da dicembre 2017. L'obiettivo primario di questo pilota era quello di trasportare i pendolari al loro posto di lavoro. Un altro obiettivo era quello di collegare i residenti della zona alla rete di trasporto pubblico urbano. Questa è stata la prima navetta autonoma funzionante regolarmente in Svizzera.

Château de Vincennes, Parigi, Francia

L'obiettivo di questo progetto era quello di collegare insieme la vicina stazione della metropolitana e la zona della cultura e del divertimento. Prima di questo, c'erano collegamenti molto scarsi in questa distanza di 2 km; quindi, la lunghezza del percorso è pianificata per essere estesa in fasi. I primi problemi sono descritti come incroci, aumento della velocità e inserimento progressivo nel traffico. Il progetto mirava anche a esplorare il platooning con navette autonome per risolvere il problema dei picchi di traffico.

Helsinki, Finlandia

Il primo pilota di navette autonome della Finlandia, che è stato realizzato su strade pubbliche aperte, si chiama SOHJOA. All'interno di questo progetto, un paio di autobus robot sono stati operativi in tre diverse città finlandesi. L'obiettivo era di imparare come le navette autonome si adattano alle dure condizioni invernali, ma è diventato chiaro che la tecnologia non è ancora abbastanza avanzata. Un altro obiettivo era quello di fornire una piattaforma per le aziende

finlandesi per sviluppare e testare i loro prodotti e servizi. Un esempio di queste è stata un'azienda logistica che ha pilotato la consegna dei pacchi intorno al distretto di Espoo. SOHJOA ha affrontato delle sfide perché non le è stato permesso di modificare la navetta in alcun modo. Questo progetto ha fornito anche alcune informazioni su come la gente ha ricevuto questo tipo di veicolo. Nel complesso, la SOHJOA ha fornito una comprensione completa di ciò che queste navette autonome richiedono per operare e funzionare nel traffico di veicoli misti sulle strade pubbliche.

Tallinn, Estonia

Il progetto di Tallinn, che ha avuto luogo durante la presidenza dell'UE, ha ricevuto un'attenzione positiva. Si componeva di due autobus EasyMile per tre mesi estivi nel 2017 ed è stato avviato dall'Ufficio del governo, Ministero degli affari economici e delle comunicazioni in collaborazione con il settore privato (Milrem, EasyMile, DSV, Tallink). Il progetto ha avuto luogo nel centro di Tallinn vicino alla Città Vecchia e al Porto Vecchio. I problemi principali erano legati all'approvvigionamento e al funzionamento. Per esempio, gli autobus non riuscivano a riconoscere i semafori, e gli attraversamenti pedonali dovevano essere ripresi manualmente ogni volta. Il tutto è stato gestito dalla società locale Milrem, e ha trasportato migliaia di viaggiatori.

La Defense, Parigi, Francia

La Defense è un quartiere d'affari di Parigi dove 500.000 persone vanno e vengono dal lavoro ogni giorno. Le tre navette di questo progetto operano solo nelle aree pedonali. La gente di questa zona ha adottato rapidamente questa nuova opzione di mobilità. Le navette partono ogni 10 minuti durante le ore di punta e nei periodi non di punta, ogni 20 minuti.

Sion, Svizzera

A Sion il piano si chiama SmartShuttle, e contiene due navette che operano tra i siti storici della città. Le navette sono gestite a distanza; tuttavia, a causa della legislazione, un dipendente è a bordo. L'obiettivo era esaminare se il servizio navetta autonomo è tecnicamente e operativamente fattibile nello spazio pubblico e se offre un valore aggiunto ai clienti.

Stoccolma, Svezia

Stoccolma ha lanciato il loro progetto di sei mesi nel gennaio 2018. Il pilota è stato gestito da Nobina, la più grande azienda di trasporti nordica. Il progetto ha fatto parte di Test Site Stockholm, un programma di ricerca con sede al KTH Royal Institute of Technology's Integrated Transport Research Lab. L'area pilota è chiamata "Scandinavian Silicon Valley". Lo scopo del pilota era quello di implementare alla fine queste navette nel loro sistema di trasporto pubblico.

Tolosa, Francia

Ci sono stati due progetti a Tolosa. Secondo uno studio fatto nell'ambito del primo, la navetta autonoma è stata davvero ben accolta dai passeggeri: il 97,5% degli intervistati ha trovato la navetta confortevole e la guida piacevole; il 78,5% degli utenti si è sentito sicuro a bordo della navetta; e il 90,5% delle persone sarebbe salito a bordo anche se non ci fosse stato un operatore.

Wageningen, Paesi Bassi

Wageningen ha lanciato un pilota che consiste in due navette autonome. Queste navette viaggiano tra la stazione ferroviaria della città e il campus della Wageningen University & Research. I funzionari della città hanno sottolineato che la lezione da imparare da questo pilota è la necessità per le città di chiarire gli obiettivi di apprendimento per i piloti di navette autonome e quanto sia importante comunicare i fallimenti sperimentali, così come i successi. A Wageningen, è visto come importante che le città assumano un ruolo di primo piano nello sviluppo di navette autonome, piuttosto che le industrie.

CityMobil2

Le città e i piloti del progetto finanziato dall'UE CityMobil2 erano molto diversi. Tuttavia, tutte le città e i piloti avevano lo stesso obiettivo: adattare i veicoli autonomi per essere parte del sistema di trasporto pubblico. Lo scopo era anche quello di fare una valutazione delle prestazioni di trasporto, ambientali ed economiche dei veicoli. Come il progetto più importante realizzato fino ad allora, CityMobil ha fornito una serie completa di conclusioni riguardanti l'implementazione dell'ARTS e le barriere da superare: la mancanza di un quadro di implementazione per le città, l'assenza di un quadro giuridico specifico e l'effetto economico generale sconosciuto. Superare e rimuovere queste barriere erano i principali obiettivi di CityMobil2. Inoltre, i progetti hanno raccolto informazioni sull'accettazione, le prestazioni del veicolo e l'interazione con gli altri utenti della strada.

Lione, Francia

Questo progetto è stato il primo servizio regolare fornito da navette autonome, e ispira molti altri progetti in Francia. Navya ha creato un'applicazione mobile per i passeggeri per sapere dove si trovano le navette sul loro percorso in tempo reale e per consultare gli orari.

Aeroporto Weeze, Germania

Una parte importante del progetto "Interregional Automated Transport-I-AT" in Interreg A è lo sviluppo (ulteriore) di innovazioni tecniche e soluzioni per il settore automobilistico e logistico, in particolare nelle aree di automazione, tecnologia dell'informazione e della comunicazione, intelligenza artificiale, tecnologia di misurazione e sensori. L'operazione di test con veicoli autonomi (WEPods) ha avuto luogo all'aeroporto di Weeze (parcheggio navetta) e in un

corridoio di trasporto transfrontaliero (Aachen-Vaals). Nel progetto, istituti di ricerca, grandi imprese, PMI e istituzioni pubbliche della regione hanno lavorato in stretta collaborazione per promuovere il trasferimento di conoscenze e le innovazioni di prodotto nella zona di confine tedesco-olandese e per rafforzare l'economia regionale.

Amburgo, Germania

Il progetto HEAT (Hamburg Electric Autonomous Transportation) ha creato visibilità per la guida autonoma con bus navetta senza emissioni in una prima area di test nella HafenCity di Amburgo. L'obiettivo era quello di dimostrare che un sistema di veicolo completamente automatizzato o autonomo (SAE Level 5, cioè senza conducente) può essere integrato nel traffico stradale regolare.

1.6 Tecnologia e performance

Negli ultimi anni, la guida autonoma è diventata non solo una soluzione ipotetica di guida, ma una realtà. Il tipo di veicolo fisico utilizzato nell'implementazione di questi concetti è simile alle soluzioni preesistenti, con un volante, accelerazione e frenata a palette, ma include anche una complessa rete di sensori. A seconda del grado di automazione, questi elementi di controllo classici iniziano a scomparire e scompariranno completamente quando il grado di automazione raggiungerà il 5° livello. Parallelamente, cominciano ad emergere nuove soluzioni di gestione delle decisioni basate sul controllo degli AV in casi di emergenza o situazioni critiche. La complessità del controllo meccanico diretto da parte del conducente diminuirà, e il grado di controllo automatizzato sul comportamento dinamico del veicolo inizierà ad aumentare, fino a quando il conducente non avrà alcun controllo sul comportamento del veicolo, se non per mezzo dell'indicazione della destinazione. Questo processo di eliminazione fisica funziona in parallelo con il miglioramento del livello di autonomia. Tuttavia, sostituire completamente il conducente richiede una serie di aggiornamenti nelle aree dei sensori e nella potenza di elaborazione delle unità di controllo della guida autonoma. Gli aspetti tecnici del ruolo di ogni componente sono presentati nelle sezioni seguenti.

L'autonomia e l'elettrificazione costituiscono tecnologie abilitanti per la prossima generazione del sistema di trasporto.

I cinque livelli di automazione sono definiti dalla SAE (Society of Automotive Engineers, 2020) come di seguito:

Livello 0 (nessuna automazione della guida)

La maggior parte dei veicoli sulla strada oggi sono di livello 0: controllati manualmente. L'uomo fornisce il "compito di guida dinamica" anche se ci possono essere sistemi in atto per aiutare il conducente. Un esempio potrebbe essere il sistema di frenata d'emergenza - poiché tecnicamente non "guida" il veicolo, non si qualifica come automazione.

Livello 1 (assistenza al guidatore)

Questo è il livello più basso di automazione. Il veicolo dispone di un singolo sistema automatizzato per l'assistenza al conducente, come lo sterzo o l'accelerazione (cruise control). Il cruise control adattivo, dove il veicolo può essere mantenuto a una distanza di sicurezza dietro l'auto successiva, si qualifica come livello 1 perché il conducente umano controlla gli altri aspetti della guida come lo sterzo e la frenata.

Livello 2 (Automazione parziale della guida)

Questo significa sistemi avanzati di assistenza alla guida o ADAS. Il veicolo può controllare sia lo sterzo che l'accelerazione/decelerazione. Qui l'automazione è inferiore alla guida autonoma perché un uomo siede al posto di guida e può prendere il controllo dell'auto in qualsiasi momento. I sistemi Tesla Autopilot e Cadillac (General Motors) Super Cruise si qualificano entrambi come livello 2.

Livello 3 (automazione di guida condizionata)

Il salto dal livello 2 al livello 3 è sostanziale da una prospettiva tecnologica, ma sottile se non trascurabile da una prospettiva umana.

I veicoli di livello 3 hanno capacità di "rilevamento ambientale" e possono prendere decisioni informate da soli, come accelerare oltre un veicolo lento. Ma richiedono ancora l'intervento dell'uomo. Il conducente deve rimanere attento e pronto a prendere il controllo se il sistema non è in grado di eseguire il compito.

Livello 4 (alta automazione di guida)

La differenza chiave tra il livello 3 e il livello 4 di automazione è che i veicoli di livello 4 possono intervenire se le cose vanno male o c'è un guasto del sistema. In questo senso, queste auto non richiedono l'interazione umana nella maggior parte delle circostanze. Tuttavia, un uomo ha ancora la possibilità di intervenire manualmente.

I veicoli di livello 4 possono operare in modalità di guida autonoma. Ma finché la legislazione e l'infrastruttura non si evolvono, possono farlo solo all'interno di un'area limitata (di solito un ambiente urbano dove la velocità massima raggiunge una media di 30 miglia orarie). Questo è noto come geofencing. Come tale, la maggior parte dei veicoli di livello 4 esistenti sono orientati al ridesharing.

Per esempio:

NAVYA, una società francese, sta già costruendo e vendendo navette e taxi di livello 4 negli Stati Uniti che funzionano completamente con energia elettrica e possono raggiungere una velocità massima di 55 mph.

Waymo di Alphabet ha presentato un servizio di taxi self-driving di livello 4 in Arizona, dove hanno testato auto senza conducente - senza un pilota di sicurezza sul sedile - per più di un anno e oltre 10 milioni di miglia.

Il fornitore automobilistico canadese Magna ha sviluppato una tecnologia (MAX4) per abilitare capacità di livello 4 sia in ambienti urbani che autostradali. Stanno lavorando con Lyft per fornire kit di alta tecnologia che trasformano i veicoli in auto a guida autonoma.

Volvo e Baidu hanno annunciato una partnership strategica per sviluppare congiuntamente veicoli elettrici di livello 4 che serviranno il mercato dei robotaxi in Cina.

Livello 5 (Automazione completa della guida)

I veicoli di livello 5 non richiedono l'attenzione dell'uomo - il "compito di guida dinamica" è eliminato. Le auto di livello 5 non avranno nemmeno il volante o i pedali di accelerazione/frenata. Saranno libere dal geofencing, in grado di andare ovunque e fare qualsiasi cosa che un guidatore umano esperto può fare. Auto completamente autonome sono in fase di test in diverse sacche del mondo, ma nessuna è ancora disponibile al grande pubblico.

Figura 1: Il SAE J3016 Levels of Driving Automation è la definizione ufficiale del livello di autonomia.

	SAE LEVEL 0™	SAE LEVEL 1™	SAE LEVEL 2™	SAE LEVEL 3™	SAE LEVEL 4™	SAE LEVEL 5™
What does the human in the driver's seat have to do?	You <u>are</u> driving whenever these driver support features are engaged - even if your feet are off the pedals and you are not steering			You <u>are not</u> driving when these automated driving features are engaged - even if you are seated in "the driver's seat"		
	You must constantly supervise these support features; you must steer, brake or accelerate as needed to maintain safety			When the feature requests, you must drive	These automated driving features will not require you to take over driving	
Copyright © 2021 SAE International.						
What do these features do?	These are driver support features			These are automated driving features		
	These features are limited to providing warnings and momentary assistance	These features provide steering OR brake/acceleration support to the driver	These features provide steering AND brake/acceleration support to the driver	These features can drive the vehicle under limited conditions and will not operate unless all required conditions are met	This feature can drive the vehicle under all conditions	
Example Features	<ul style="list-style-type: none"> • automatic emergency braking • blind spot warning • lane departure warning 	<ul style="list-style-type: none"> • lane centering OR • adaptive cruise control 	<ul style="list-style-type: none"> • lane centering AND • adaptive cruise control at the same time 	<ul style="list-style-type: none"> • traffic jam chauffeur 	<ul style="list-style-type: none"> • local driverless taxi • pedals/steering wheel may or may not be installed 	<ul style="list-style-type: none"> • same as level 4, but feature can drive everywhere in all conditions

FONTE: SAE INTERNATIONAL

1.6.1 Elettificazione del trasporto ed elementi del veicolo

L'industria e la ricerca stanno lavorando insieme verso l'elettificazione e l'automazione dei veicoli urbani grazie al suo potenziale di riduzione dell'inquinamento. Sfortunatamente, la completa elettificazione non è ancora da considerarsi pienamente conveniente dal punto di vista economico, a causa degli alti costi delle batterie e della minore densità energetica nell'immagazzinamento elettrochimico rispetto al combustibile fossile, ma fortunatamente, l'automazione e le tecnologie intelligenti stanno contribuendo ad avvicinarsi a questo ambizioso obiettivo aumentando l'efficienza globale dei veicoli. Infatti, l'efficienza energetica è attualmente uno dei temi più importanti nell'industria dei veicoli stradali.

La completa elettificazione del sistema di trasporto pubblico richiede che sia i veicoli che le infrastrutture si adattino ad un nuovo concetto.

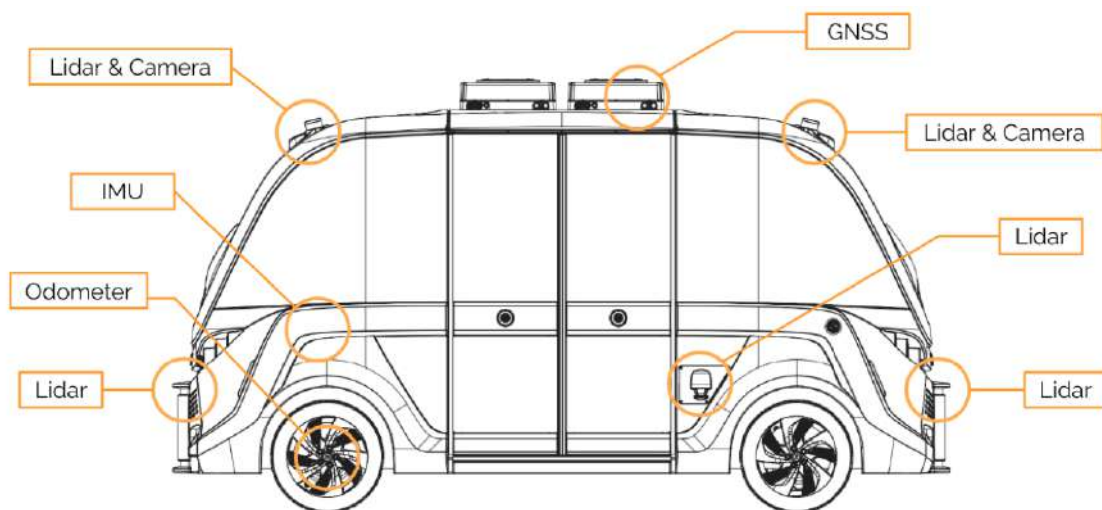
Dal punto di vista del veicolo, l'elettificazione porterebbe innumerevoli vantaggi in termini di riduzione dell'inquinamento, generazione di calore, rumore nelle aree urbane e sicurezza. Più specificamente, la densità di energia nel diesel è di circa 13.440 Wh/kg, mentre una batteria agli ioni di litio ha una densità di energia di circa 220 Wh/kg (Sanden et al 2014).

Poiché l'efficienza del motore elettrico è abbastanza alta, gli sforzi sono attualmente concentrati sull'aumento della densità di energia e dell'efficienza del processo di ricarica. Seguendo questa linea di ricerca, il mondo scientifico sta studiando materiali ad alta densità di energia elettrochimica, passando dalle vecchie batterie al piombo (Lencwe et al 2018) alle batterie agli ioni di litio (Nitta et al 2015), e persino alle batterie litio-aria (Badwa et al 2014), che dovrebbero funzionare nei prossimi decenni con densità di energia paragonabile ai combustibili fossili.

I componenti di base per l'elettrificazione sono: motori elettrici, batterie, convertitori AC/DC e DC/AC per la ricarica e l'alimentazione, sistemi di raffreddamento, cavi e componenti di sicurezza (Sanden et al 2014).

Lo schema della figura 2 descrive i principali componenti necessari per una guida autonoma.

FIGURA 2: COMPONENTI SHUTTLE AUTONOMI



FONTE: Avenue (2020)

1.6.2 Sterzo

Quando si discute dello sterzo degli AV, si è prima colpiti dalla mancanza di un volante (nei casi di alto livello di automazione), che è una componente chiave dei veicoli classici. Lo sterzo degli AV rappresenta ancora un fattore chiave, ma manca il controllo diretto. Qui, le decisioni di sterzo utilizzano più sottilmente un algoritmo di decisione supervisionato dall'ADS (Eskandarian 2012)

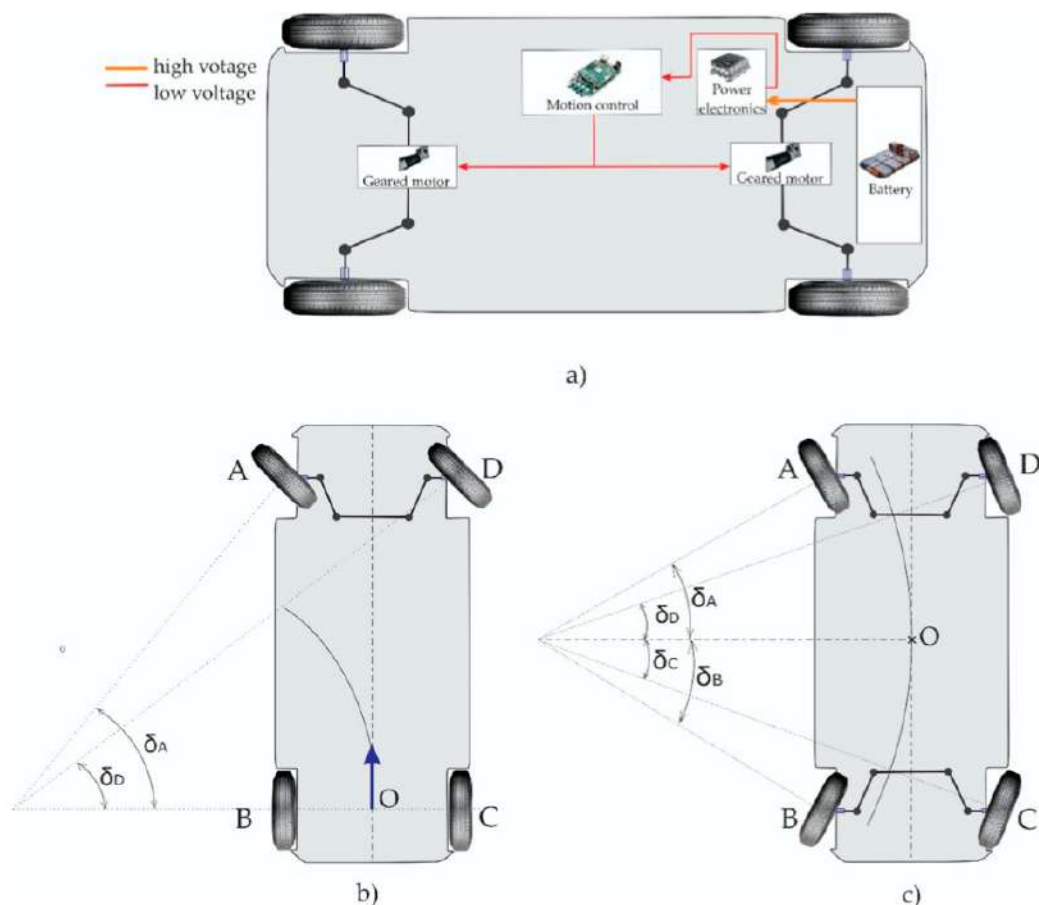
Così, non c'è libertà di tagliare le linee e non c'è la possibilità di incontrare situazioni pericolose, ma c'è sempre un metodo sicuro di guida e un equilibrio controllato tra la posizione del centro gravitazionale del veicolo e le forze dei tre assi che agiscono su ogni volante.

Le navette autonome possono essere dotate di sistemi di sterzo a due ruote o a quattro ruote. La figura 3 rappresenta una panoramica del sistema di sterzo (a) e degli altri due sistemi di sterzo che si possono trovare sugli shuttle autonomi: un sistema di sterzo con due ruote sterzanti e (b) un sistema di sterzo con quattro ruote sterzanti (c).

Nel caso dei robotaxi, le ruote dell'asse posteriore girano in direzione opposta a quelle dell'asse anteriore. I sistemi a quattro ruote sterzanti hanno grandi vantaggi, uno di questi vantaggi è la riduzione dell'angolo di sterzata, che aumenta la sicurezza riducendo il tempo di risposta richiesto. Questo sistema migliora anche la manovrabilità di un veicolo durante le curve strette o il parcheggio.

Le navette automatizzate con quattro ruote sterzanti indipendenti sono dotati di controllori di sterzo indipendenti su ogni ruota. (Chen 2017)

Figura 3: Sistema di sterzo: (a) panoramica del sistema di sterzo; (b) il sistema di sterzo con due ruote sterzanti; (c) il sistema di sterzo con quattro ruote sterzanti.



FONTE: Iclodean et al. (2020)

1.6.3 Frenata

Per i veicoli classici, il conducente usa i suoi sensi, la sua esperienza e le sue capacità per fare previsioni. Di solito, quando si usa il pedale del freno, la grande maggioranza dei conducenti sono ottimisti e non frenano intensamente fino all'ultimo tratto di strada, dove usano il freno motore. I conducenti di camion e autobus usano spesso un rallentatore prima di usare il pedale del freno. Alla fine, la frenata viene eseguita in parte istintivamente e in parte con consapevolezza. Tenendo conto di tutte queste variabili, i produttori di veicoli non assicurano un certo spazio di frenata in base alle diverse velocità del veicolo, ma equipaggiano i loro veicoli con sistemi di frenata in grado di assicurare una decelerazione minima misurata in m/s^2 . Per gli AV, si applica la stessa normativa, e tali veicoli raggiungeranno sempre il livello di decelerazione desiderato. Il problema sta nel modo in cui questa decelerazione è distribuita sulla distanza e come gli occupanti del veicolo sperimentano questa decelerazione, in particolare quelli che non sono seduti e quelli che non sono rivolti verso la strada, per riconoscere il processo di frenata. L'algoritmo che controlla la decelerazione deve essere adattabile e in grado di distinguere tra frenata normale, decelerazione o frenata dolce e frenata di emergenza (Eskandarian 2012).

In base alla decelerazione desiderata e alla distanza tra il veicolo e la manovra desiderata, l'algoritmo di controllo della frenata può decidere di utilizzare il sistema idraulico, il sistema di frenata rigenerativa, il sistema di frenata in controcorrente, o il primo e il secondo in parallelo.

1.6.4 Sistema di ricarica

La strategia di ricarica di un veicolo industriale destinato al trasporto pubblico deve prendere in considerazione che esiste una connessione diretta tra la SOH (State of Health) della batteria e la soluzione di ricarica utilizzata. L'uso continuo di stazioni di ricarica veloce (DC ad alta potenza) genererà, nel tempo, un rapido effetto di invecchiamento sul livello delle celle della batteria creando una pellicola chimica sull'elettrodo negativo (l'interfaccia dell'elettrolita solido), che eserciterà un'influenza diretta sull'affidabilità e l'usabilità dell'intero pacco batterie. Per aumentare l'affidabilità e la durata della batteria in modo che un SOH dell'80% possa essere mantenuto dopo solo diverse migliaia di cicli di carica e scarica, il rapporto tra la carica veloce (DC ad alta potenza) e la carica lenta (AC a bassa potenza) dovrebbe essere 1/3-5 cicli di carica (Sun et al 2020).

Le stazioni di ricarica sono attrezzature che caricano le batterie delle navette autonome in un intervallo di tempo ben definito a seconda della loro capacità utilizzando speciali connettori/dispositivi di accoppiamento dedicati (Sun et al 2020). Le stazioni di ricarica utilizzate per alimentare i veicoli elettrici in generale, e gli shuttle autonomi in particolare, sono caratterizzate dai seguenti termini specifici (Paulraj 2019):

- Livello di ricarica 1-3 è usato per classificare la potenza, la tensione e la corrente nominale delle stazioni di ricarica secondo le specifiche definite dalla SAE J1772 (Tabella 2) [SAE international);

- Le modalità di ricarica 1-4 sono usate per classificare la modalità di alimentazione, protezione e controllo del sistema di ricarica secondo le specifiche definite dallo standard internazionale IEC 61851-1. Così, i robotaxi sono collegati da un cavo di controllo e protezione (IC-CPD) a stazioni di ricarica compatibili con le apparecchiature di alimentazione dei veicoli elettrici (EVSE);

- I tipi di carica batterie sono utilizzati per classificare i diversi tipi di prese utilizzate per fornire energia al sistema di ricarica della navetta autonoma secondo le specifiche definite dallo standard internazionale IEC 62196-2. Ad esempio, Apollo Baidu utilizza un connettore di ricarica CHAdeMO 50 kW DC Tipo 2 (Baidu official website), EasyMile EZ10 utilizza un connettore di ricarica AC Tipo 2/Mennekes (EasyMile website), Navya Arma utilizza un connettore AC Tipo 2/Mennekes (Navya website), e Olli utilizza un connettore di ricarica AC Tipo 2/Mennekes (Local motors website).

Tabella 2: Livelli di ricarica

Level	Voltage (V)	Phases (-)	Current (A)	Power (kW)	Time
Level 1	120	1 × AC	12-16	1.4-1.9	≤17 h
	200-450	DC	≤80	≤36	≤1.2 h
Level 2	240	1 × AC	≤80	≤20	≤7 h
	200-450	DC	≤200	≤90	≤20 min
Level 3	208-600	3 × AC	no data	≤20	no data
	200-600	DC	≤400	≤240	≤10 min

FONTE: SAE J1772

1.6.5 Sensori

La domanda chiave nel caso degli shuttle autonomi è se i sensori sono in grado di sostituire un conducente umano, nel traffico urbano, soprattutto per un veicolo di trasporto passeggeri. I produttori di veicoli, in particolare le divisioni responsabili della guida autonoma, rispondono che lo sono.

Sostituire il fattore decisivo del cervello umano con una serie di algoritmi di controllo basati sulle informazioni dei sensori presenta una serie di incognite. L'elemento decisionale è il cervello del guidatore, che riceve informazioni di guida basate sui sensi (vista e udito), che insieme danno al guidatore la consapevolezza del percorso che sta percorrendo, ma questo non è sufficiente. Ci sono persone che possono sentire e vedere molto bene e non hanno la capacità di guidare perché non hanno le conoscenze e i riflessi allenati per controllare un veicolo. Così, la percezione basata sulla vista e l'udito insieme alla conoscenza allenata fornisce la capacità di guidare, ma manca un elemento: l'esperienza di guida. Ciò significa che le reazioni del guidatore sono apprese dal suo cervello per migliorare le sue capacità di guida in termini di riflessi e reazioni appropriate (come, ad esempio, cambiare stile di guida in varie condizioni meteorologiche).

Questo significa che una volta che il cervello di un guidatore è addestrato a guidare, la maggior parte delle funzioni sarà fatta quasi automaticamente (simile a scrivere senza guardare i tasti del computer), il che significa che lo sforzo mentale diventa trascurabile. Per esempio, per un guidatore che percorre la stessa strada per un lungo periodo di tempo, il cervello del guidatore diventa così familiare con il percorso che il guidatore non è più in grado di ricordare gli eventi accaduti sulla strada a meno che non siano stati eccezionali.

Nello sviluppo della guida autonoma, gli specialisti hanno deciso di addestrare i cervelli artificiali utilizzando un approccio simile all'addestramento che una persona ha, involontariamente, quando guida "automaticamente" sulla base di informazioni precedenti. I problemi emergono una volta che la routine diventa obsoleta e si verifica un evento imprevedibile, a quel punto la potenza di elaborazione del cervello umano cresce esponenzialmente e le decisioni possono essere prese in autonomia, prendendo decisioni diverse in base all'evento che è capitato.

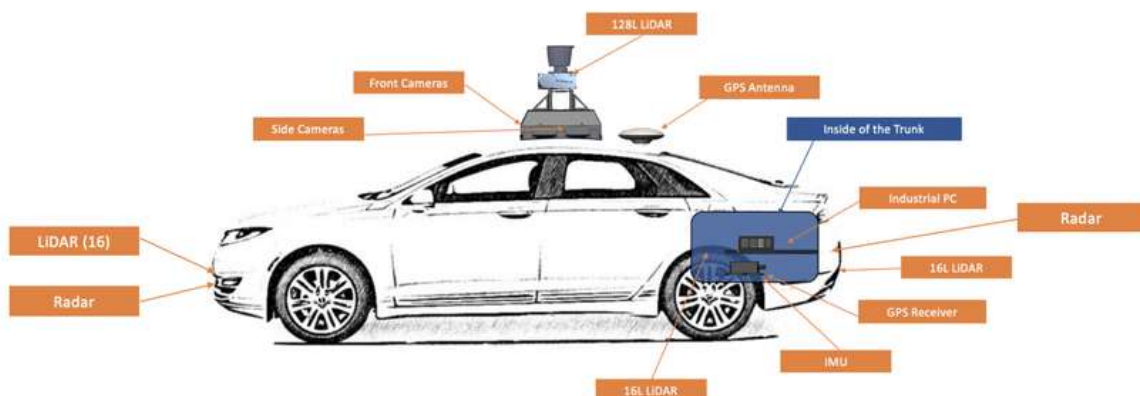
A causa della sua mancanza di potenza di elaborazione su larga scala, l'AV deve aggiornarsi con la forza sensoriale. Gli esseri umani non hanno una buona visione notturna, non possiedono capacità superiori di rilevamento del movimento tramite l'udito, non possono vedere attraverso la nebbia o la pioggia battente, ecc. Tuttavia, possono compensare queste carenze con la potenza di elaborazione del cervello e interagire e reagire ai fattori perturbatori dell'ambiente. D'altra

parte, l'algoritmo AV non ha la capacità di raggiungere lo stesso livello di potenza di elaborazione del cervello e compensa questa mancanza di indipendenza aumentando le sue capacità extra sensoriali con una serie di capacità che mancano agli umani e persino comunicando con l'ambiente (comunicazione da veicolo a veicolo e comunicazione da veicolo a infrastruttura). In questo modo, i veicoli possono compensare la loro mancanza di potenza di elaborazione per raggiungere un compito indipendente dai fattori decisionali di guida. Le capacità di rilevamento delle attuali navette autonome designate per il trasporto pubblico vengono presentate passo dopo passo in ogni caso particolare, in modo che si possa raggiungere una comprensione esaustiva della questione.

I sensori sono dispositivi tecnici di dimensioni specifiche che reagiscono a determinate proprietà ambientali. Un AV, che è privo della percezione di un operatore umano, deve essere in grado di percepire l'ambiente circostante per funzionare in sicurezza senza l'intervento di un operatore umano. Per questo processo, gli AV sono dotati di un gran numero di sensori (Figura 4) (Sotudeh 2020) che scansionano l'intero ambiente, identificando tutto ciò che si materializza intorno al veicolo, dalla segnaletica stradale e i segnali stradali agli oggetti statici e dinamici.

I segnali trasmessi dai sensori sono gestiti da piattaforme intelligenti come la piattaforma di calcolo per la guida autonoma, che è integrata nell'ADS. Su queste basi, le capacità di percezione degli AV stanno diventando sempre più sofisticate, possedendo la capacità di identificare e classificare qualsiasi oggetto statico o dinamico in prossimità dell'AV e seguire questi oggetti da un fotogramma all'altro (Nvidia website). I tipi, il numero di sensori e le loro posizioni sono determinati dai diversi produttori di robotaxi.

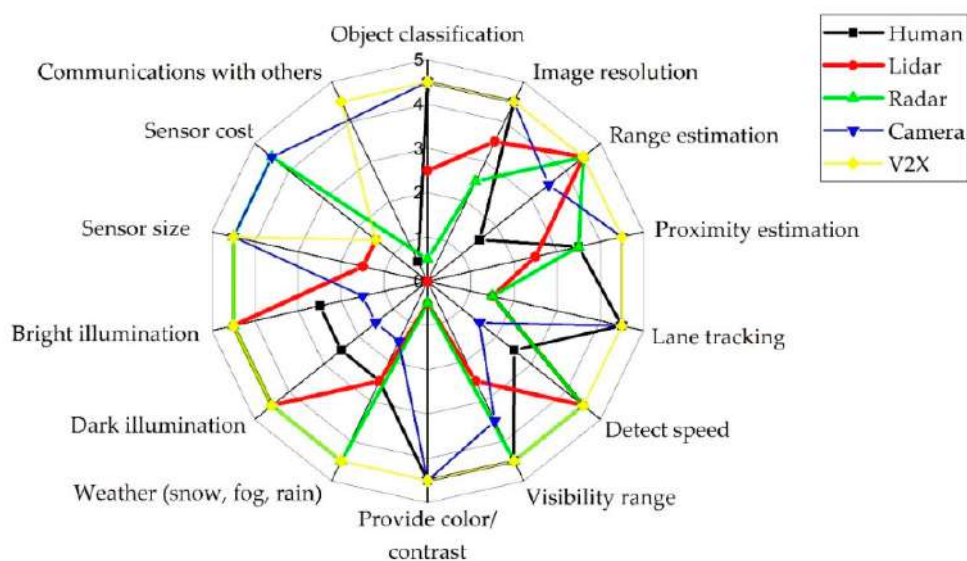
Figura 4: Sensori presenti su shuttle autonomo



FONTE: Pat et al. (2019)

Le caratteristiche dei sensori sugli AV (i valori massimi per il campo visivo, la portata, l'accuratezza, il frame-rate, la risoluzione, la percezione dei colori, e i valori minimi per gli effetti del tempo, la manutenzione, la visibilità e il prezzo) sono mostrati nella Figura 5 (dove 0 è molto povero, 1 è povero, 2 è molto giusto, 3 è giusto, 4 è buono, e 5 è molto buono) (Altmann et al 2018).

Figura 5: Caratteristiche sensori AV



FONTE: Iclodean et al. (2020)

LIDAR

I sensori LIDAR (Figura 6) basati sulla tecnologia di misurazione della distanza dei raggi laser permettono a un AV di generare un'immagine virtuale dell'ambiente in cui circola per stabilire la sua posizione precisa e rilevare gli oggetti statici o dinamici sulla strada per una mappa 2D (LIDAR 2D) o per una mappa 3D (LIDAR 3D) (Im 2018).

Il ruolo principale dei sensori LIDAR è quello di rilevare gli oggetti esistenti (pedoni, veicoli, ecc.) e di aiutare l'ADS per controllare la frenata di emergenza per evitare collisioni. I sensori LIDAR 3D utilizzano una serie di diodi laser (tra 4 e 128 canali laser) montati su un dispositivo rotante che scansiona l'ambiente in un campo visivo di 360° orizzontale e 20-45° verticale. La precisione delle immagini che formano la mappa 3D è data dal numero di raggi laser utilizzati. I sensori LIDAR 3D sono montati in modo da ridurre al minimo le aree senza copertura e

permettere loro di scansionare l'area di spostamento su un raggio circolare per creare una mappa 3D dell'ambiente virtuale in cui sono presenti gli oggetti esistenti (pedoni, veicoli, ecc.) []].

I sensori LIDAR 2D catturano informazioni dall'ambiente applicando un singolo raggio laser circolare su una superficie piana perpendicolare all'asse di rotazione. I sensori LIDAR 2D sono generalmente montati in due pezzi per ridurre al minimo le aree senza copertura e garantire una visibilità continua su tutta la superficie circolare dell'AV (CleanTechnica 2016).

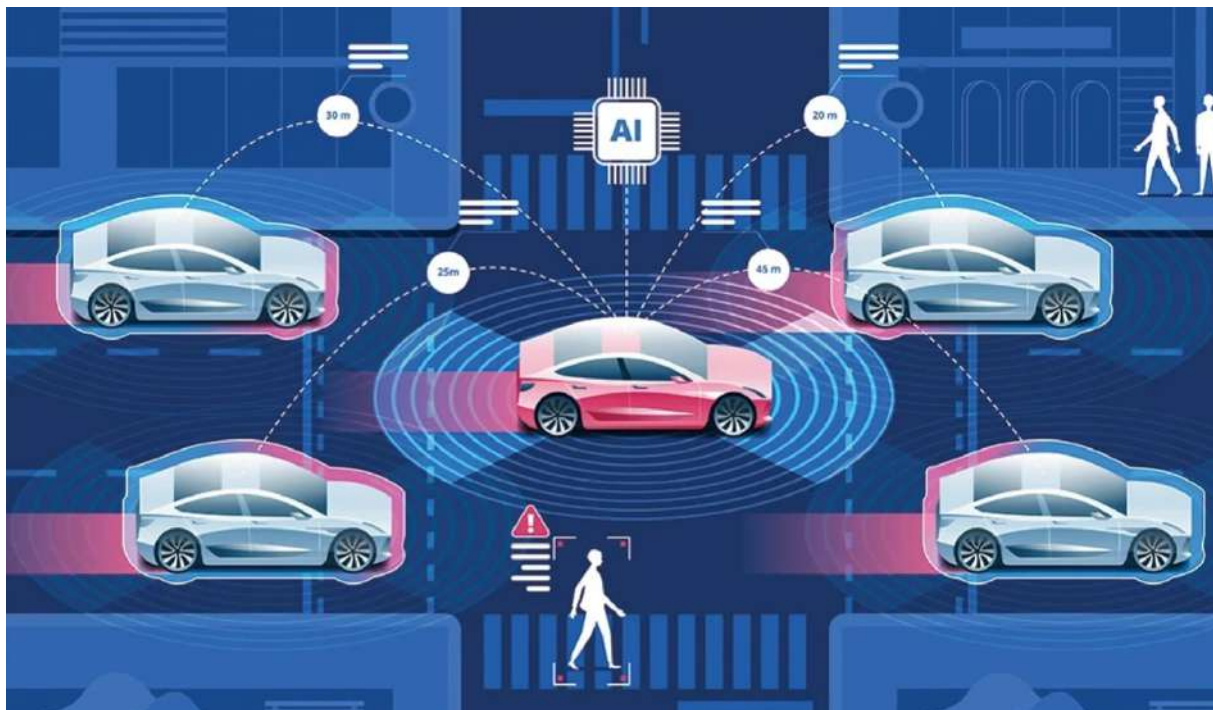
Le principali caratteristiche tecniche dei sensori LIDAR utilizzati nelle applicazioni automobilistiche sono presentate nella tabella 3 (valori generali), tratti dalle schede tecniche dei produttori di sensori LIDAR più utilizzati (Sualeh et al 2018) .

Tabella 3: Caratteristiche sensori Lidar

Lidar Sensor	Lidar 2D	Lidar 3D
Aperture angle (horizontal)	270°	360°
Aperture angle (vertical)	-	30°
Horizontal resolution	0.25–0.5°	0.1–0.4°
Vertical resolution	-	2°
Working range	0.50–50 m	1–100 m
# of lines	1	16
Scanning range (10% remission)	18–30 m	-
Scanning range (90% remission)	20–50 m	-
Scanning frequency	25 Hz/50 Hz	20 Hz

Fonte: Sick website

Figura 6: Sensore Lidar



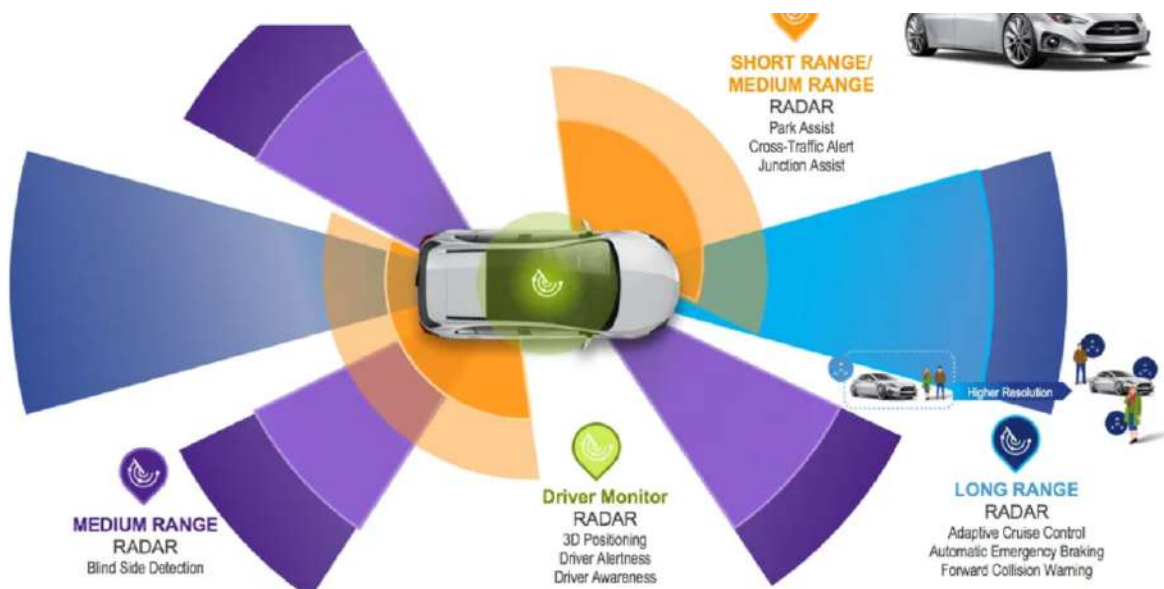
FONTE: Smith (2019)

Radar

I sensori radar di cui sono dotati gli AV sono collocati nella parte anteriore e posteriore di un veicolo per misurare la distanza degli oggetti rilevati e per calcolare la loro velocità e stimare la loro direzione di marcia (Figura 7) (Steinhardt et al 2016) .

I radar a medio raggio (MRR) sono posizionati in modo da coprire gli angoli anteriori, posteriori e laterali di un AV per rilevare gli oggetti nelle immediate vicinanze del veicolo . I sensori radar a lungo raggio (LRR) sono usati per fornire informazioni sui veicoli che viaggiano davanti all'AV e determinare il controllo adattivo della crociera (ACC) (Steinhardt et al 2016).

Figura 7: Sensore Radar



FONTE: Lapedus (2017)

Le principali caratteristiche tecniche dei sensori radar utilizzati nelle applicazioni automobilistiche sono presentate nella tabella 3 (valori generali, tratti dalle schede tecniche dei produttori di sensori radar più utilizzati) (Bosh e Osram website).

Tabella 4: Caratteristiche sensori Radar

Radar Sensor	LRR	MRR	MRR Rear
Frequency range	76–77 GHz	76–77 GHz	76–77 GHz
Detection range	0.36–250 m	0.36–160 m	0.36–80 m
Measuring range	6° (200 m)	6° (160 m)	5° (70 m)
	10° (100 m)	9° (100 m)	75° (close range)
	15° (30 m)	10° (60 m)	-
	20° (5 m)	25° (36 m)	-
	-	42° (12 m)	-
Measuring accuracy: distance	±0.12 m	±0.12 m	±0.12 m
Measuring accuracy: speed	0.11 m/s	0.11 m/s	0.14 m/s
Measuring accuracy: angle	±0.3°	±0.3°	±0.8°
Object separation: distance	0.72 m	0.72 m	0.72 m
Object separation: speed	0.4 m/s	0.66 m/s	1.4 m/s
Object separation: angle	4°	7°	7°
Maxim of detected objects	24	32	32
Cycle time	60 ms	60 ms	60 ms

Fonte: Bosh website

Telecamera

Un AV è dotato di un sistema di telecamere stereo ad alta risoluzione (due telecamere identiche che simulano la visione binoculare umana), situate nella parte anteriore e posteriore del veicolo per fornire un'immagine circolare dell'ambiente.

Queste videocamere ad alta risoluzione hanno il ruolo di monitorare/registrare permanentemente il movimento dell'AV, il percorso seguito, i segnali stradali, ecc. e sono dotate di sensori CMOS (complementary metal-oxide-semiconductor). Le videocamere monoculari catturano immagini 2D senza generare dettagli precisi sulle distanze degli oggetti rilevati, senza stimare informazioni che aiutino a stabilire scenari per evitare questi oggetti. Al contrario, le videocamere stereo hanno la capacità di stimare la distanza degli oggetti rilevati misurando la differenza tra due immagini da diverse angolazioni (Ainsalu et al 2018).

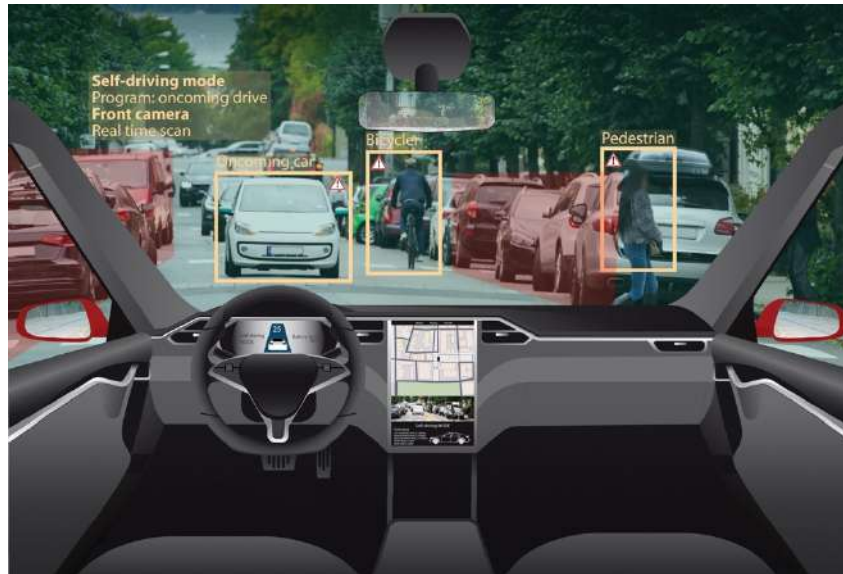
Le videocamere (Figura 8) sono state applicate a molteplici compiti per gli AV, come il rilevamento della corsia, il rilevamento della distanza di altri oggetti o veicoli dal traffico e il rilevamento dei segnali stradali.

Il funzionamento di un sensore d'immagine CMOS si basa sulla luce che passa attraverso l'obiettivo, che viene filtrata da una matrice di filtri a colori (Bayer CFA) che forniscono informazioni sull'intensità della luce nelle regioni di lunghezza d'onda. I dati grezzi

dell'immagine catturati dal sensore CMOS sono poi convertiti in un'immagine a colori da un algoritmo che converte i fotoni in fotoelettroni (Yu et al 2019).

Dopo la fase di elaborazione delle immagini, la percezione visiva viene utilizzata per riconoscere e comprendere gli oggetti rilevati nell'ambiente utilizzando l'algoritmo di classificazione.

Figura 8: Videocamera installata su AV



FONTE: International City/County Management Association (2018)

GPS/GNSS

Il sistema globale di navigazione satellitare (GNSS) comprende tutti i sistemi di navigazione satellitare, globale e regionale, e funziona sul principio del rilevamento della posizione del ricevitore (AV) rispetto a un riferimento fisso formato da un gruppo di satelliti geostazionari che orbitano a oltre 20.000 km dalla superficie della Terra. Questi satelliti emettono segnali che contengono informazioni sulla loro posizione, i parametri orbitali, ecc. Sulla base di questi segnali, i sistemi di ricezione estraggono informazioni sulla loro posizione, la velocità di viaggio e l'ora corrente (Min et al 2019).

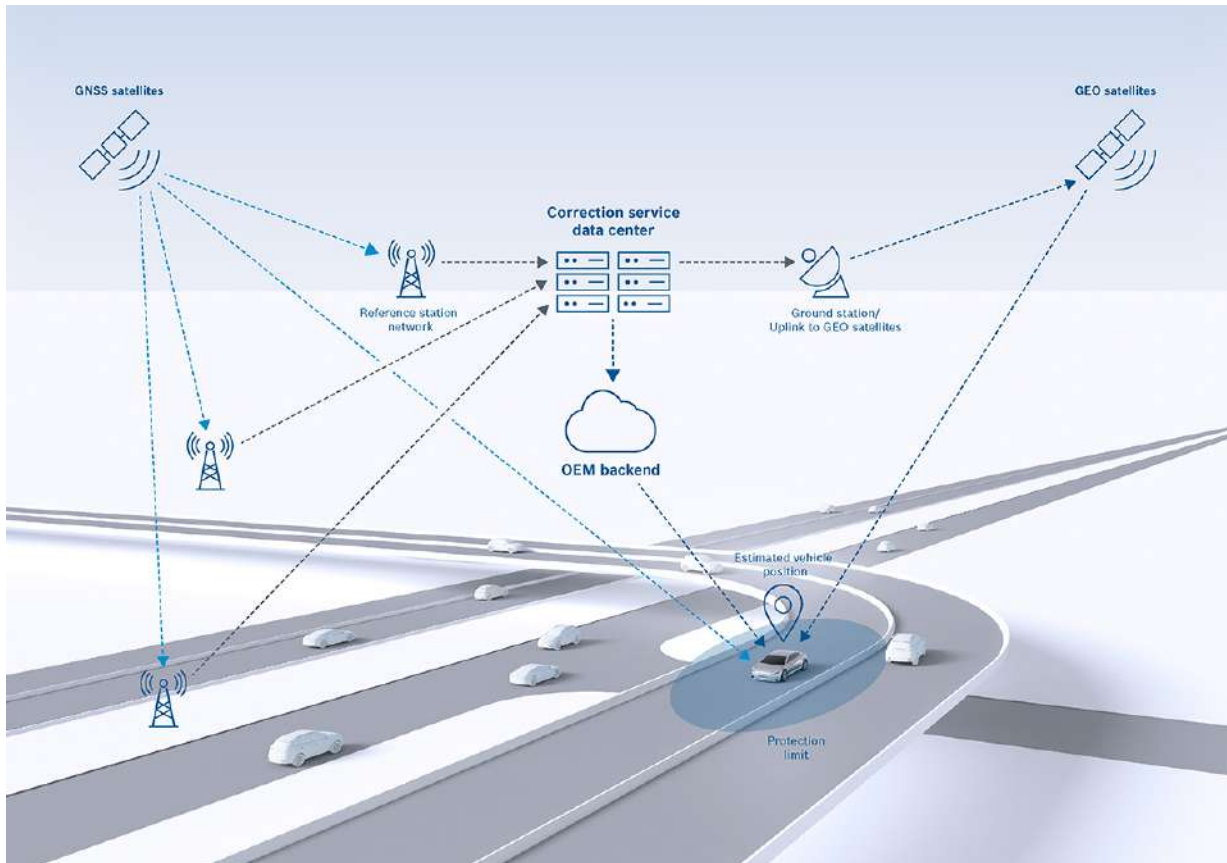
Il principio di funzionamento del GNSS si basa sul tempo esatto di trasmissione del segnale estrapolato emesso da almeno quattro satelliti visibili e ricevuto dal ricevitore, dal quale esso estrae informazioni sulle coordinate geografiche e sul tempo (Steinhardt et al 2016).

Il GNSS più comunemente usato è il sistema di posizionamento globale (GPS), che utilizza uno strumento di correzione cinematica in tempo reale (RTK) per posizionare l'AV con la massima

precisione (Figura 9). Il GNSS fornisce una precisione che può deviare di pochi metri, anche se l'ADS richiede una precisione di diversi centimetri. Questa precisione si ottiene con l'aiuto di una stazione di base. Il GNSS misura la distanza tra i satelliti e la stazione di base, ottenendo così il posizionamento con la massima precisione per l'AV. Il trasferimento delle correzioni differenziali GNSS/RTK dalle stazioni di base di riferimento all'AV avviene tramite comunicazioni mobili o Internet (3G/4G/5G) (Odijk et al 2017).

IL GNSS con RTK (usato, per esempio, da Navya) ha una bassa frequenza di aggiornamento (1-20 Hz), motivo per cui alcuni produttori di navette autonome (EasyMile) usano le capacità visive dei sensori LIDAR e delle videocamere per ricostruire lo spazio di spostamento e localizzare il veicolo in questo spazio. Questa tecnica è chiamata localizzazione e mappatura simultanea (SLAM) e consiste nella generazione di una mappa ambientale basata sulla realtà virtuale (VR) e nella localizzazione simultanea all'interno di questa mappa. Lo svantaggio di questa tecnica sta nel fatto che non c'è delimitazione dello spazio mappato, il che richiede risorse hardware e software extra.

Figura 9: Sensori GPS/GNSS

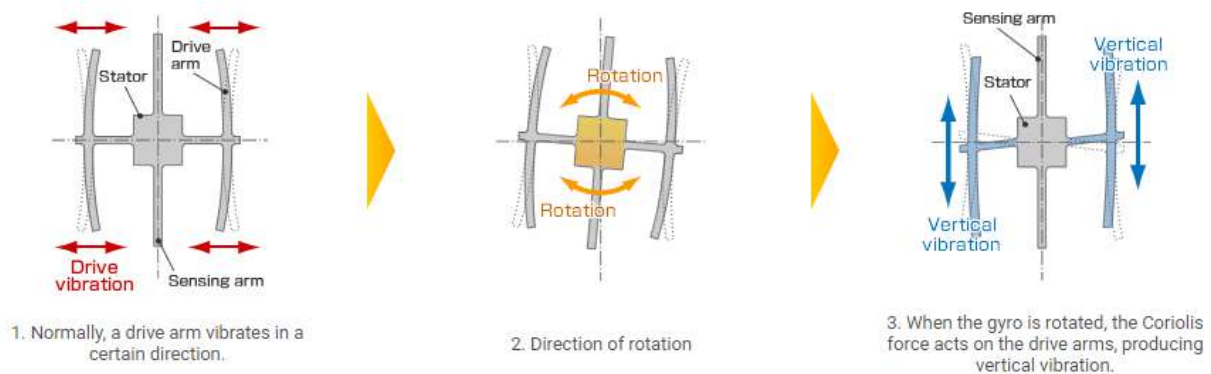


Fonte: Bosch website (2021)

Unità di misura inerziale

Un IMU (Inertial Measurement Unit) è un dispositivo che contiene un accelerometro che misura un vettore di forza specifico del corpo, un giroscopio che misura il vettore della velocità angolare inerziale, e un magnetometro che misura il vettore del campo magnetico intorno al dispositivo (Figura 10). Questi tre sensori sono montati in modo che i loro assi di misurazione costituiscano ognuno dei sistemi ortogonali distinti, ottenendo sei gradi di libertà. Un IMU offre informazioni di base sul veicolo su cui è montato (accelerazione, rotazione e orientamento). Queste informazioni possono essere utilizzate per aumentare o migliorare le misure esterne, come le coordinate GPS (Ozguner et al 2011).

Figura 10: Funzionamento IMU



FONTE: Wikipedia (2018)

1.6.6 Algoritmo di guida autonoma

Un ADS (autonomous driving system) destinato al trasporto pubblico è una soluzione hardware e software che ha la capacità di guidare senza la necessità di esseri umani per utilizzare i meccanismi di controllo del veicolo (a seconda del livello di autonomia secondo le specifiche SAE J3016™), con il monitoraggio remoto del veicolo realizzato tramite il personale di controllo attraverso un'applicazione software chiamata piattaforma di gestione (Wolf 2016).

Il grado di autonomia di una navetta autonoma destinata al trasporto pubblico che rientra nel livello 3/Livello 4 permette all'operatore umano di non intervenire nella direzione di marcia, nella velocità del veicolo o nella frenata (per tutte le funzioni dinamiche) mentre il veicolo è in funzione. Dopo l'arresto in prossimità di un oggetto e dopo che l'oggetto in questione viene

rimosso dalla prossimità della navetta autonoma, il veicolo riprende la sua funzione di guida autonoma e indipendente senza l'intervento dell'operatore umano. Questa è una delle soluzioni esistenti sul mercato in termini di attività umana/intervento attivo.

In caso di un problema (un errore di sistema, un incidente, una deviazione dal percorso, ecc.) per il Livello 4, l'ADS avrà un controllo sufficiente per superare questa situazione, e l'operatore umano interverrà solo se determina che il veicolo deve deviare dalla percezione e dalla pianificazione delle azioni del suo sistema di gestione autonoma. Quando si verifica un problema per un sistema di livello 3, sarà l'operatore umano a intervenire per riattivare l'ADS dopo aver risolto il problema.

L'ADS è un sostituto di un vero conducente che, delegando il controllo totale della guida al veicolo e descrivendo le condizioni comportamentali, svolge le seguenti funzioni indipendenti (Kala 2016):

1. Evitare gli ostacoli: scoprire gli oggetti esistenti nella direzione del movimento (pedoni, veicoli, ecc.); fermarsi in sicurezza o cambiare corsia a seconda dei casi;
2. Viaggio centrato: assicurarsi che il veicolo si muova al centro della direzione di marcia alla massima velocità di marcia;
3. Cambiare la direzione di marcia: per motivi diversi dall'evitare o superare oggetti esistenti (pedoni, veicoli, ecc.); ciò avviene cambiando la direzione di marcia quando possibile;
4. Passaggio su più corsie: assicurazione per oggetti esistenti (pedoni, auto, ecc.), cambio di direzione di marcia, sorpasso e ritorno nella corsia;
5. Passaggio su una sola corsia: assicurazione degli oggetti esistenti (pedoni, veicoli, ecc.), cambio di direzione di marcia, sorpasso quando lo spazio di manovra lo permette, e ritorno nella corsia;
6. Abbandono del sorpasso: assicurazione oggetti esistenti (pedoni, veicoli, ecc.), cambiando la direzione di marcia, evitando il sorpasso in caso di una situazione imprevista, e tornando alla corsia;
7. Sorpasso completo: raggiungere e completare il sorpasso quando le manovre gli permettono di tornare in corsia;
8. Agevolare il sorpasso: quando un altro veicolo commette un sorpasso, si evita di aumentare la velocità di marcia e di mantenere una distanza di sicurezza dal veicolo che sorpassa;

9. Mantenere la distanza: assicurare e mantenere la massima distanza di sicurezza dagli oggetti esistenti (pedoni, veicoli, ecc.) in prossimità per evitare eventuali collisioni;
10. Operazioni a bassa velocità: garantire e mantenere una distanza minima di sicurezza dagli oggetti esistenti (pedoni, veicoli, ecc.) in prossimità per evitare collisioni;
11. Interazioni con altri oggetti: evitare interazioni con altri oggetti esistenti (pedoni, veicoli, ecc.) mantenendo la distanza, regolando la velocità di movimento e passando o fermandosi come appropriato;
12. Movimento costante: nella direzione di marcia quando nessun oggetto (pedoni, veicoli, ecc.) interviene in prossimità del veicolo.

Il funzionamento dell'ADS utilizza un algoritmo di decisione basato sui seguenti principi (Kala 2016):

1. Percezione della posizione dell'AV della posizione dell'oggetto nell'ambiente;
2. Previsione/pianificazione dei comportamenti dinamici del veicolo risultanti dalla sua percezione correlata alle regole di movimento/operazione;
3. Controllo del movimento: comando e controllo dei sistemi di propulsione, sterzo e frenata in base alle decisioni stabilite nella fase di pianificazione.

Tutte le informazioni sul rilevamento degli oggetti vengono utilizzate per gestire le priorità del sistema e integrare l'AV nel traffico stradale attraverso un'area di controllo programmata, al fine di continuare il suo movimento in un regime di guida autonoma. La velocità di movimento del veicolo può essere regolata per gestire in modo sicuro gli oggetti rilevati sul percorso attraverso la previsione. L'AV accelera/decelera a seconda della traiettoria seguita e della velocità di movimento degli oggetti dinamici. La pianificazione dei comportamenti dinamici permette all'AV di interagire con gli altri partecipanti al traffico, prevenendo gli incidenti e regolando automaticamente la velocità di viaggio.

Gli shuttle autonomi attualmente in commercio (Livello 2/3/) destinati al trasporto pubblico sono costantemente monitorati attraverso la piattaforma di gestione da un operatore umano che, in situazioni potenzialmente pericolose, comanderà l'arresto dello shuttle autonomo. In questa situazione, l'ADS viene automaticamente disattivato, a quel punto la navetta autonoma può essere guidata solo manualmente dall'operatore umano a bordo attraverso un dispositivo di controllo mobile. I robotaxi sono anche dotati di un pulsante "operatore" che, se azionato, disattiva la modalità di guida autonoma e attiva la modalità di guida manuale.

1.6.7 Piattaforma cloud e tecnologia 5g

La piattaforma cloud fornisce una suite di servizi di cloud computing in esecuzione sulla stessa infrastruttura con una serie di servizi modulari che richiedono un grande spazio di archiviazione con un elevato traffico di dati. Questi servizi comprendono una mappa HD locale (mappe locali ad alta definizione), big data (dati di riferimento), sicurezza (protocolli sicuri), AI (algoritmi AI), simulazione (simulazioni di modelli virtuali per la previsione e la convalida della pianificazione), e V2X (trasmissione delle informazioni da un veicolo a qualsiasi entità che potrebbe influenzare il veicolo e viceversa).

La tecnologia V2X comporta lo scambio di grandi volumi di dati tra gli AV e tutte le "entità" intelligenti intorno al veicolo, e questi trasferimenti di dati possono essere fatti in tempo reale solo attraverso la tecnologia 5G. L'aumento delle capacità di comunicazione espandendo i volumi dei dati trasferiti e del tempo di risposta migliorerà il flusso di traffico nel traffico stradale, permettendo di aumentare la velocità degli AV, e ridurre la velocità in modo tempestivo quando la situazione lo richiede. Di conseguenza, alcuni degli sviluppatori/produttori di AV hanno ora integrato soluzioni tecniche per il 5G connesso su alcuni modelli di veicoli (produzione di serie, o prototipo), anticipando l'evoluzione tecnologica dei prossimi anni. Rispetto alla piattaforma cloud e alla suite di servizi in esecuzione su questa piattaforma, la tecnologia 5G permette l'uso della soluzione di edge computing, che offre una bassa latenza di rete (latenza 5G a 1 ms vs. latenza 4G a 50 ms), consentendo l'elaborazione locale dei dati senza la necessità di caricare il cloud.

L'edge computing è una soluzione di calcolo e archiviazione dei dati per i sistemi di cloud computing, che permette l'elaborazione dei dati ai margini di una rete (utilizzando risorse di rete), riducendo così il tempo necessario per elaborare questi dati. Affinché questa soluzione sia realizzata, sono necessarie un'alta velocità di comunicazione di rete e una bassa latenza nell'elaborazione dei dati, condizioni che possono essere garantite dall'implementazione della tecnologia 5G. Questo approccio permette ai veicoli autonomi interconnessi in una rete (V2V) di condividere i loro dati sul traffico, il percorso, ecc. in tempo reale.

La guida autonoma si basa sulla posizione in tempo reale dell'AV, che viene generata dal modulo di localizzazione in base ai dati dei sensori, dati che vengono ripresi e gestiti dal blocco integratore di dati. Questi dati sono interpretati e confrontati con i dati di riferimento delle coordinate geografiche (latitudine, longitudine e altitudine) del percorso selezionato e implementato (mappa locale), che sono permanentemente aggiornati con i dati dal sensore e memorizzati in un generatore di mappe locali del blocco di memoria.

L'unità di controllo elettronico (ECU) è il componente centrale dell'ADS che riceve informazioni da sensori, attuatori, ecc. In base alle specifiche dell'algoritmo di controllo del sistema autonomo, la centralina genera i segnali di comando e controllo dei principali sistemi di guida, il sistema di propulsione, il sistema di sterzo e il sistema di frenatura.

Il sistema di percezione riceve i dati di posizione dell'AV, dal blocco di localizzazione e i dati dal blocco di sensori per gli oggetti in prossimità dell'AV (pedoni, veicoli, ecc.). Questo modulo rileva (object detector) e classifica (object classifier) gli oggetti statici e dinamici in prossimità dell'AV. Il modulo in questione stima se gli oggetti dinamici in prossimità dell'AV possono intersecare il loro percorso con l'itinerario selezionato per il viaggio. Sulla base della velocità di movimento di questi oggetti (la velocità determinata dal sensore radar) rispetto alla velocità di movimento dell'AV, il modulo di percezione determina se c'è un rischio di collisione tra il veicolo e l'oggetto monitorato.

Sulla base di questi dati, il modulo di pianificazione selezionerà la traiettoria ottimale (traiettoria ottimale) basata su alcuni criteri predeterminati (il valutatore di traiettoria) per dirigere l'AV in un modo che permette un viaggio sicuro senza collisioni.

Il controllo del movimento trasmette comandi ai sistemi di propulsione (velocità) per la sterzata (angolo) e la frenata (freno) in base ai dati ricevuti dai moduli di localizzazione, percezione e pianificazione. Il sistema di frenatura (freno) può essere azionato in caso di emergenza dal personale di monitoraggio sulla piattaforma di gestione attraverso una rete privata virtuale sicura (VPN).

Sugli shuttle autonomi, l'ECU dell'ADS registra informazioni sul consumo di elettricità, indicando l'energia recuperata, il SOC della batteria elettrica e altri dati rilevanti sulle variazioni dei parametri funzionali dei sistemi principali e ausiliari.

Il robotaxi Baidu Apollo è dotato di una ECU dell'ADS chiamata PC industriale (IPC), che riceve i dati dai sensori attraverso un'unità di controllo, chiamata Apollo sensor unit (ASU). L'ASU raccoglie i dati dai sensori principali (LIDAR, radar, fotocamera, IMU, GPS e GNSS) tramite quattro CAN (Controller Area Network), elabora i segnali e poi li invia tramite un'interfaccia PCI Express all'IPC che gestisce il controllo del robotaxi.

CAPITOLO 2 – INDUSTRIA 4.0

Durante gli anni '80, l'avanzamento dai dispositivi elettronici e meccanici analogici alla tecnologia digitale ha portato l'umanità ad una rivoluzione, la cosiddetta Rivoluzione Digitale. Conosciuta anche come Terza Rivoluzione Industriale, da una spinta all'innovazione iniziata negli anni '60 (Xu et al 2018) ha segnato l'inizio dell'Era dell'Informazione, che è proseguita negli anni successivi, spesso denominati Età del Computer, Età Digitale o Età dei Nuovi Media. Partendo dalla definizione data da Klaus Schwab, fondatore del World Economic Forum, negli ultimi anni alcuni hanno riconosciuto una Quarta Rivoluzione Industriale basata sulla Terza (Xu et al 2018), caratterizzata dalla fusione delle moderne tecnologie intelligenti. Questa nuova rivoluzione viene spesso identificata con il termine Industria 4.0, che porterà l'informatizzazione e l'interconnessione nell'industria tradizionale, collegando il mondo fisico a quello virtuale, raggiungendo un più alto livello di automazione e migliorando la produttività e l'efficienza operativa (Alcacer et al 2019). Quello che stiamo sperimentando ora è spesso identificato come l'era delle tecnologie intelligenti, che descrive un mondo in cui gli individui si muovono tra i domini digitali con l'uso di tecnologie connesse per abilitare e gestire le loro vite (Miller et al 2016).

Al giorno d'oggi smart è un termine molto in voga usato con il suo significato di "intelligente", "furbo", "acuto", "veloce nel cogliere" per descrivere qualsiasi tipo di tecnologia disponibile con un alto contributo innovativo. In realtà, il termine "smart" può essere visto come l'acronimo di "Self-Monitoring Analysis and Reporting Technology" (Papadopoulou 2021), anche se questo acronimo è stato creato in informatica per indicare i sistemi di controllo dell'affidabilità degli hard disk (Rajashekarappa 2011). Le "smart technologies", che comprendono applicazioni sia fisiche che logiche, identificano quindi soluzioni in grado di adattarsi automaticamente al contesto, per migliorare la gestione di diversi aspetti della vita umana.

L'avvento della Smart Age ha fortemente caratterizzato e modificato molti aspetti della società odierna rispetto al passato. Importanti innovazioni in questa direzione stanno progressivamente caratterizzando molteplici aspetti della realtà attuale, dalla scienza, all'economia, all'educazione, alla salute, alla governance, modificando gli stili di vita delle persone e proponendo una nuova attenzione alla sostenibilità degli ecosistemi del pianeta. Le tecnologie intelligenti stanno cambiando profondamente i modelli di business, le istituzioni e l'intera società, rendendo disponibili e accessibili risorse collaborative. Queste includono un certo numero di tecnologie dell'informazione e della comunicazione (TIC), come il sistema di servizi

Internet per gli utenti finali, l'Internet delle cose (IoT), i servizi cloud, i Big Data, l'intelligenza artificiale (AI) e l'Edge Computing (EC).

2.1 Città intelligenti

Dal concetto di tecnologia intelligente, un'estensione naturale ci porta verso il concetto di "città intelligente". Le città moderne raccolgono molti aspetti della vita delle società moderne, e la mobilità appare in modo diffuso e ricorrente come una questione critica. Le tecnologie abilitanti chiave per le città intelligenti trovano per lo più la loro concretizzazione nel campo delle ICTs (Obaidat 2016). L'industria 4.0 e la sua espressione concreta nell'Internet of Things (IoT) permette di creare una massiccia rete di oggetti fisici interconnessi e dotati di elettronica, software, sensori e connettività di rete, diventando il mattone per le smart city di nuova generazione (Alavi et al 2018). La città intelligente, quindi, integra le informazioni provenienti da sensori, tecnologie di comunicazione e vari dispositivi fisici per ottimizzare l'efficienza delle operazioni e dei servizi della città per offrire un futuro sostenibile, prospero e inclusivo ai suoi cittadini (British standard institute). Così, le tecnologie intelligenti possono essere organizzate in modo produttivo ed efficace per promuovere schemi di mobilità intelligente e connessa, per consentire un'ottimizzazione delle funzioni e dei servizi urbani, migliorando l'efficienza energetica e favorendo la sostenibilità sociale, economica e ambientale.

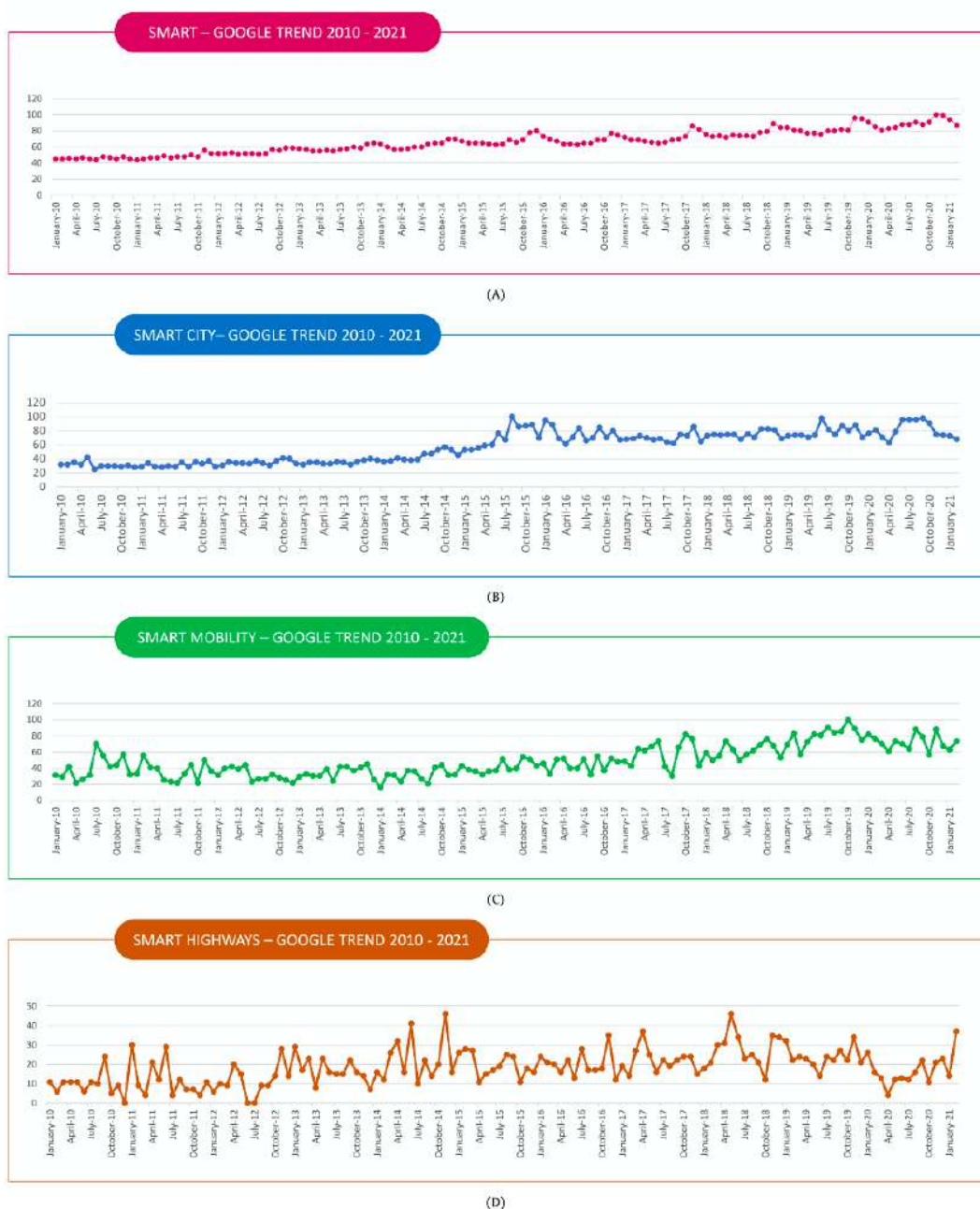
Le tecnologie dell'informazione e della comunicazione hanno permesso la progettazione e l'implementazione di sistemi di trasporto intelligenti (ITS) (Perallos et al 2015). Gli ITS combinano varie tecnologie e servizi per ottimizzare la mobilità, rendendo il settore dei trasporti più sicuro e più sostenibile ed efficiente (Meneguet et al 2018). In questo panorama, alcune questioni emergenti riguardano i sistemi di infrastrutture di trasporto e, prima di tutto, il trasporto su strada. Da questo punto di vista, sorgono alcune domande: come si inseriscono le strade in questa rivoluzione intelligente? Se c'è la necessità di fare alcuni cambiamenti rivoluzionari nei concetti di strade e autostrade, come possono diventare intelligenti? Cosa significano "smart road" e "smart highway", e cosa possono essere?

2.1.1 Smart roads

Si trovano molte definizioni per il termine "autostrada intelligente" (Zhao et al 2015), ma la più generale è che autostrade e strade intelligenti sono termini per una serie di tecnologie diverse incorporate nelle strade. In modo più profondo, è un concetto esteso per le strade di domani, guardando a idee innovative che applicano le opportunità offerte dalle nuove tecnologie in modi

intelligenti. Così, si può dire che un'autostrada intelligente combina infrastrutture fisiche con software e dati. In questi termini, la strada stessa può essere una piattaforma per le innovazioni. Un'autostrada intelligente permetterà l'integrazione tecnologica nelle attuali strade di trasporto, compresi i dispositivi connessi e l'IoT, per aumentare l'efficienza dei trasporti, la sicurezza dei conducenti e dei pedoni, il consumo di energia pulita e per promuovere la sostenibilità. Sulla scia del fascino generale per il concetto di "smart", "smart city", "smart mobility" e "smart highway" sono diventati argomenti di crescente interesse negli ultimi anni, come evidenziato dalle tendenze nelle ricerche degli utenti di Google mostrate in Fig. 11.

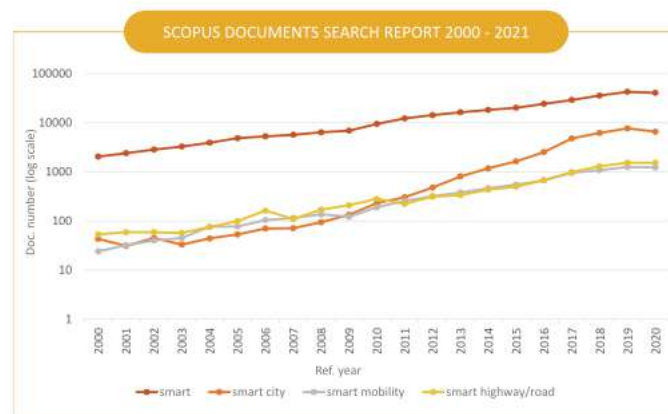
Figura 11: Google Trends (2021)



FONTE: Google Trends (2021)

Le serie temporali di Google Trends (Google trends 2021) a partire da gennaio 2010 fino a febbraio 2021 mostrano una crescita evidente per tutti e quattro i termini analizzati. In particolare, considerando i valori annuali complessivi per il 2010 e il 2020, si è registrata una crescita di circa il 94% per "smart", del 165% per "smart city", dell'82% per "smart mobility" e del 64% per "smart highway". Più specificamente, la crescita è stata molto più consistente se si guarda al campo della ricerca negli ultimi due decenni. La Fig. 12 mostra i trend di crescita esponenziale dal 2000 al 2020 del numero annuale di documenti indicizzati da Scopus (Scopus database) con la presenza dei termini "smart", "smart city", "smart mobility" e "smart highway" + "smart road" nei campi di riferimento.

Figura 12: Trend di crescita dal 2000 al 2020



FONTE: Scopus citation database (2021)

Nell'ultimo decennio sono stati avviati nel mondo diversi progetti di sperimentazione che utilizzano tecnologie innovative applicate al trasporto stradale, come sistemi e dispositivi intelligenti a supporto di progetti di gestione dei corridoi autostradali, soprattutto da parte di gestori di infrastrutture e amministrazioni locali (Toh et al 2020). Recentemente l'interesse per le strade intelligenti ha assunto una dimensione sistemica. Negli ultimi anni, molti governi e autorità di trasporto hanno interpellato il valore delle tecnologie smart non come un esperimento isolato e circoscritto a livello di un singolo corridoio infrastrutturale, ma come un progetto di sistema integrato per una gestione efficiente e innovativa dell'intera rete stradale. Le autostrade intelligenti potrebbero trasformarsi dal servire uno scopo singolare nell'essere la spina dorsale dei sistemi di trasporto di vari paesi per fornire un valore aggiunto sia per i conducenti che per gli amministratori dei trasporti. Pertanto, sembra che le strade intelligenti siano il futuro prossimo delle reti stradali, e l'intelligenza sta diventando una direzione promettente di ricerca e sviluppo nel campo dell'ingegneria stradale, sia nella costruzione che nella gestione (Zhao et

al 2015) con diverse applicazioni integrate di Building Information Modeling (BIM) (Costin et al 2018) e Intelligent Transport System (ITS) (Gordon et al 2016) che promuovono innovazione, automazione, connettività, cooperazione, proattività, sicurezza e risparmio.

Le strade intelligenti sono il pezzo chiave del piano dell'UE "Cooperative Intelligent Transport Systems" (C-ITS), che permetterà agli utenti della strada e ai gestori del traffico di condividere informazioni e usarle per coordinare le loro azioni. Innovazione, cooperazione, connettività e automazione renderanno le strade europee più intelligenti. Il 30 novembre 2016 la Commissione europea ha adottato una strategia europea per i C-ITS al fine di facilitare la convergenza degli investimenti e dei quadri normativi nei paesi europei (European Commission 2016). In questo contesto, i paesi europei (e alcuni operatori di mercato) si sono organizzati in un quadro comune per condividere progetti ed esperienze nell'innovazione delle strade intelligenti, che è la piattaforma C-ROADS.

Queste significative prese di posizione espresse a livello europeo stanno dando il via alle politiche degli stati membri, seguite dalle iniziative e dalle prime azioni degli enti e degli operatori coinvolti. Un esempio che può essere indicato a questo proposito è rappresentato dal caso italiano. Nell'aprile 2018 il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (MIT) ha emanato una specifica legge, il cosiddetto Decreto Smart Road (DM 28/02/2018) (Ministero Infrastrutture Trasporti 2018), con cui è iniziato ufficialmente l'avvento della smart road in Italia. Il Decreto Smart Road individua gli standard funzionali per creare strade più connesse e sicure, in grado di comunicare con gli utenti a bordo dei veicoli, di fornire informazioni in tempo reale su traffico, incidenti, condizioni meteo e altre informazioni grazie alle nuove tecnologie, per un miglior comfort di viaggio e una migliore gestione delle infrastrutture. Il MIT ha anche individuato i primi interventi in questa direzione innovativa, che riguarderanno la rete autostradale, considerando tratti di nuova costruzione o soggetti a manutenzione straordinaria. Nella prima fase, entro il 2025, si interverrà sulle infrastrutture italiane appartenenti alla rete TEN-T, Trans European Network-Transport, e sull'intera rete autostradale nazionale; progressivamente i servizi saranno estesi all'intera rete del sistema integrato nazionale dei trasporti. In questo solco tracciato dalle istituzioni europee e nazionali, Anas S.p.A., società per azioni che dal 2018 fa parte del gruppo FS Italiane e che gestisce strade e autostrade di proprietà dello Stato italiano, ha predisposto il suo Piano Smart Road per dotare il Paese di una rete stradale efficiente, aperta alle nuove sfide del futuro, per un investimento complessivo di circa un miliardo di euro nei prossimi 10 anni.

Tornando al contesto internazionale, come riportato da INDRA nell'ITS Industry Report 2019 (Indra Smart Roads 2020), le tecnologie smart road appartengono a un settore in espansione,

con enormi prospettive e opportunità di mercato. Il rapporto stima che la crescita di questo mercato nei prossimi anni sarà del 7% all'anno, con una previsione annuale per il 2022 che in Europa supererebbe i 2 miliardi di euro.

Nella Smart Age le strategie di controllo vanno di pari passo con le reti di sensori, la connessione e la cooperazione, l'IoT e l'AI, e questo avviene in modo esemplare nel mondo dei sistemi di trasporto. Come già accennato nell'introduzione, il Cooperative Intelligent Transportation System (C-ITS, secondo la nomenclatura europea) è una tecnologia emergente basata sulla comunicazione e cooperazione tra veicoli, così come tra veicoli e infrastrutture fisiche. Questo è così vero che i cosiddetti Connected Vehicles (CV) e il concetto di smart road sono spesso considerati sinonimi. Anche se questa è certamente una semplificazione, i CV rappresentano un elemento centrale della smart road.

In maniera molto sintetica, possiamo dire che i CV sono dotati di tecnologie di comunicazione avanzate che permettono uno scambio di informazioni tra i vari elementi del sistema di trasporto, configurando quello che viene genericamente identificato come Vehicle to Everything, o V2X. Una connessione di rete V2X è in realtà specificata rispetto alla natura della relazione tra il veicolo e il mondo esterno, tra cui Vehicle-to-Vehicle (V2V), Vehicle-to-Infrastructure (V2I), Vehicle-to-People (V2P), Vehicle-to-Network (V2N).

Le nuove tecnologie V2X, anche mescolate con veicoli non-CV, stanno suscitando un crescente interesse in quanto introducono nuovi modelli di funzionamento, cambiano i fondamenti e la gestione del flusso di traffico e ridefiniscono la sicurezza e la gestione della mobilità (Shiwakoti et al 2020). Come evidenziato da Guerrieri et al (2021), le recenti innovazioni nell'automazione dei veicoli rendono necessario studiare nuovi criteri di progettazione nell'ingegneria autostradale. Questi autori sottolineano che l'evoluzione futura delle strade produrrà una transizione dall'attuale sistema di trasporto basato sull'interazione tra i componenti umano-veicolo-strada a un sistema intelligente con la sola interazione veicolo-strada e veicolo-veicolo. Quindi, i criteri di progettazione devono essere modificati poiché i fattori umani saranno meno significativi nei processi di guida (Shiwakoti et al 2020). Partendo da questi presupposti, Guerrieri et al propongono dei criteri di progettazione per le autostrade automatizzate, riguardanti la distanza visiva di arresto, la progettazione di rettilinei, la progettazione di curve di transizione, la progettazione di curve verticali in cresta, la progettazione di curve verticali in discesa, la stima della capacità e la valutazione delle condizioni di sicurezza.

Se la connessione e la cooperazione emergono come temi fondamentali per una configurazione stradale intelligente in un contesto V2X, il punto di vista deve necessariamente essere ampliato per avere una rappresentazione completa del concetto di strada intelligente. A questo proposito,

l'approccio seguito da Zhao & Wu (2015) e basato sulla definizione enumerativa è molto utile per un'adeguata classificazione di termini e funzioni. Per questi autori, la smart road riguarda quattro elementi fondamentali (vedi Fig. 3):

- 1) autoconsapevolezza, cioè la capacità di monitorare le condizioni della strada (anche lo stato del traffico) automaticamente e in tempo reale;
- 2) interazione dell'informazione, cioè la capacità di collegare dispositivi intelligenti per il monitoraggio della strada e dei veicoli e di collegare la rete di sensori e le banche dati all'interno di un sistema di comunicazione intelligente;
- 3) auto-adattamento, cioè la capacità di adattarsi automaticamente alle varie circostanze della strada;
- 4) raccolta di energia, cioè la capacità di raccogliere energia verde dai marciapiedi, dal sottofondo e da altre infrastrutture, e fornire energia all'intero sistema stradale intelligente o ad altri oggetti.

Seguendo la definizione enumerativa, ogni oggetto si manifesta attraverso un certo numero di funzioni (ad esempio il monitoraggio della salute strutturale o il rilevamento del traffico per oggetti di servizio auto-consapevoli) che a loro volta sono implementati attraverso tecnologie (ad esempio rilevamento di sensori distribuiti).

È chiaro che per una corretta classificazione, la strada intelligente non può essere considerata come un insieme di singoli e indipendenti elementi di servizio, funzioni o tecnologie. Per sua natura, una strada intelligente è un sistema in cui gli elementi sono integrati, così come le funzioni e le soluzioni tecnologiche o progettuali che ne permettono l'implementazione. Questa integrazione deve seguire due livelli: un livello logico che definisce le connessioni tra gli oggetti (ad esempio un legame logico tra autoconsapevolezza e autoadattamento, cioè l'adattamento in base a ciò che viene monitorato; un legame logico tra autoconsapevolezza e informazione, cioè l'informazione sulle condizioni esistenti; un legame logico tra autoadattamento e informazione, cioè l'informazione sui cambiamenti in atto; e così via); una cornice fisica che è la realizzazione concreta della cornice logica attraverso l'uso di tecnologie per realizzare le funzioni della smart road.

Figura 13: Elementi fondamentali Smart Road



FONTE: Pompigna et al. (2020)

2.2 Implicazioni Robotaxi

2.2.1 SCENARI APPLICATIVI

Ci sono molti scenari applicativi che possono fare uso di navette autonome per eseguire servizi specifici in una città. In questa sezione, cerchiamo di presentare tali applicazioni per ottenere un punto di vista generale dei diversi servizi forniti e dei soggetti coinvolti, traendo aiuto dal libro *Autonomous Driving* scritto da Markus Maurer (2016) e dagli articoli di Hilgarter (2020), Paddeu (2020), Xu (2020).

Caso d'uso 1: consegna di merci all'ultimo miglio

L'idea di questo caso è l'ottimizzazione degli hub cittadini condivisi per la consegna di merci (ad esempio, pacchi, cibo e bevande) di diverse compagnie di corriere (verdi e automatizzate; all'interno della Zona a Traffico Limitato), per i cittadini, i negozi di mattoni e malta, i bar e i ristoranti. Si basa su una soluzione di servizio per ottimizzare la consegna dell'ultimo miglio, al fine di ridurre la congestione, diminuire l'inquinamento atmosferico e rendere i clienti più soddisfatti. Si concentra sul fornire ai cittadini (come acquirenti di e-commerce che vivono nel centro della città) un trasporto verde dei pacchi, meno congestione, meno inquinamento atmosferico, e pacchi consegnati in una fascia oraria più conveniente. La strategia chiave è quella di combinare la fornitura di servizi in grado di ottimizzare la consegna di diversi tipi di merci nei centri città con il trasporto intelligente delle persone utilizzando lo stesso veicolo,

cioè, il robotaxi. Questa strategia può essere resa operativa attraverso la creazione di servizi di trasporto pubblico-privato. Il valore per le parti interessate è (i) la decongestione dei centri città creando hub condivisi per la consegna delle merci; (ii) l'ottimizzazione della gestione della flotta per migliorare l'efficienza della logistica dell'ultimo miglio dei diversi corrieri di consegna nei centri città; (iii) la riduzione dei costi operativi per gli operatori logistici e la riduzione dei costi di consegna alle aziende dell'ultimo miglio.

Caso d'uso 2: Turismo / Info Mobilità / Geo Marketing

L'idea del secondo caso è di costruire un servizio per aiutare i turisti ad avere esperienze invernali ed estive memorabili ottenendo navette autonome per muoversi nella città di mare/montagna così come per connetterli alle città vicine per accedere alle più grandi infrastrutture della città (es. Musei, stadi, ospedali, ecc.). Il risultato chiave di tale servizio è quello di migliorare l'esperienza turistica nelle città creando una trazione di marketing per gli sponsor. L'obiettivo è quello di fornire servizi per lo spostamento dei turisti dagli hotel alle stazioni sciistiche e altre attrazioni turistiche, così come di fornire ai turisti nuove esperienze sportive mentre provano le navette autonome effetti di realtà virtuale e servizi tramite un grande schermo all'interno delle navette. Può essere fatto in forte collaborazione con le aziende di trasporto autonomo del governo locale e con i servizi di mobilità standard offerti dai comuni nelle aree remote.

Il valore per le parti interessate è quello di avere una corsa regolare, veloce, economica e predefinita dal punto A al punto B (ad esempio, dagli hotel alla stazione sciistica), consentendo di aumentare l'attrazione turistica verso hotel, ristoranti, stazioni sciistiche e altri punti di interesse turistico. Inoltre, il servizio può consentire ai turisti di avere una nuova esperienza di mobilità collegata a sport come lo sci, il trekking e l'arrampicata. Inoltre, per scopi pubblicitari, realizzare l'elaborazione dei social media per fornire pubblicità mirata per supportare gli hotel ad aumentare il numero di ospiti sembra essere la chiave per i modelli di business di geo-marketing degli operatori di prenotazione.

Caso d'uso 3: Navetta autonoma come mobilità condivisa e integrata

L'analisi del comportamento della micro-mobilità dai dati dei viaggiatori in città potrebbe aiutare a progettare una soluzione di taxi condivisa basata su navette autonome e che copra le esigenze dell'ultimo miglio su percorsi urbani definiti non supportati da servizi di taxi o autobus (culturali/artistici, religiosi, shopping, ecc.). Può consentire la creazione di esperienze di mobilità sostenibile e integrata per i cittadini, i turisti e le persone vulnerabili (ad esempio, bambini e anziani) con un'integrazione multimodale dei viaggi, compresi i sistemi di prenotazione e pagamento. Il servizio chiave fornito è un pianificatore di viaggio per tutte le

persone che integra anche modelli di incentivi e abilitatori di cambiamenti di comportamento. Gli obiettivi chiave sono la creazione di nuovi servizi di mobilità urbana per incentivare un comportamento di mobilità sostenibile, allo stesso tempo, creando servizi per ottimizzare la pianificazione, la prenotazione e il pagamento del trasporto multimodale pubblico-privato. In questo senso, i servizi modali integrati su richiesta, il trasporto pubblico, i meccanismi di pagamento e gli incentivi per i viaggiatori potrebbero essere un fattore chiave di successo. Inoltre, fornire info-mobilità in tempo reale per turisti, cittadini e dipendenti, così come fornire servizi di trasporto con pianificazione integrata, pagamento e sconti mirati sembra essere l'opportunità chiave anche per le aziende private. Il valore per i cittadini e i turisti è un'integrazione dei servizi di trasporto pubblico e privato. Aiuta anche le persone con l'esecuzione di transazioni per prenotazione e pagamento per opzioni di trasporto multimodale, combinando i taxi con altri mezzi di trasporto. Il valore chiave per le aziende di parcheggio pubblico è l'ottimizzazione dei servizi di parcheggio attraverso un'applicazione integrata con prenotazione e pagamento. Il valore chiave per i manager pubblici e i mobility manager è quello di fornire strumenti per sostenere i decisori sulla pianificazione della mobilità e l'evoluzione della qualità dei servizi. Inoltre, le navette autonome possono permettere la mobilità sostenibile di bambini (casa-scuola), anziani (casa-ospedale) e impiegati (casa-lavoro).

Caso d'uso 4: Gestione della sorveglianza pubblica/privata

La sicurezza della città coinvolge tutte quelle contromisure per prevenire e la protezione contro le minacce all'incolumità e all'integrità dei cittadini, compresi i disastri naturali e i crimini volontari e involontari. Grazie alla loro distribuzione nello spazio, alla sinergia nel funzionamento e alla coerenza nell'adattamento, le navette autonome possono essere utilmente sfruttate per il monitoraggio delle attività e il coordinamento delle risposte in situazioni di pericolo.

Le navette autonome, mentre si muovono su percorsi prestabiliti (es. aree critiche della città) e in un particolare momento della giornata (es. durante la notte; durante grandi eventi) possono raccogliere dati contestuali sulle abitudini e i movimenti dei cittadini/turisti con il supporto di nuove tecnologie e telecamere di movimento, termiche e RFID installate a bordo. Queste informazioni possono essere utilizzate dalla polizia locale o dalle società di sicurezza per rilevare eventi di panico dall'audio all'interno delle navette autonome e con le persone che camminano per le strade vicine.

Inoltre, un insieme di navette in movimento (cioè, flotte) può anche collaborare per reagire collettivamente a contingenze locali e globali e per fornire un riconoscimento distribuito della situazione. Coordinare la mobilità delle persone in situazioni pericolose come in spazi

sovraffollati (ad esempio, concerti, stadi, fiere) richiede un adattamento tempestivo e coordinato, poiché è facile che la devianza individuale degeneri in caos, portando a epiloghi disastrosi. Questo problema è affrontato dai cosiddetti approcci di ingegneria della folla, che possono essere risolti con l'aiuto delle navette autonome che fanno parte dello stesso ecosistema di mobilità.

La tabella 5 riassume gli scenari introdotti sopra con l'obiettivo di evidenziare: (i) i servizi forniti dalle navette autonome, (ii) i soggetti coinvolti nella realizzazione dello specifico scenario, e (iii) l'impatto sociale/ambientale in termini di benefici forniti dall'uso delle navette autonome nel contesto specifico.

Tabella 5: Scenari applicativi navette autonome

Use Case	Provided Services	Involved Stakeholders	Social/Environmental Implications
Last-mile Delivery of Goods	<ul style="list-style-type: none"> • Delivery of goods 	<ul style="list-style-type: none"> • Courier Companies • Citizens • Commercial Business Owners 	<ul style="list-style-type: none"> • Decongestion of city centers • Reduction of operational/delivery costs • Air pollution reduction • Increasing customer satisfaction
Tourism / Info Mobility / Geo Marketing	<ul style="list-style-type: none"> • Tourists' movement • Targeted marketing advertising 	<ul style="list-style-type: none"> • Tourists • Local government • Commercial business owners. 	<ul style="list-style-type: none"> • To improve the tourist experience • Marketing traction to sponsors
Autonomous Shuttle as Shared and Integrated Mobility	<ul style="list-style-type: none"> • Shared-Mobility • Multi-Modal Mobility Planning 	<ul style="list-style-type: none"> • Citizens • Tourists • Employees • Public companies 	<ul style="list-style-type: none"> • To incentivize sustainable mobility behavior • To optimize the planning, booking, and payment of multi-modal public-private transportation
Public/Private Surveillance Management	<ul style="list-style-type: none"> • Surveillance Management 	<ul style="list-style-type: none"> • Citizens • Tourists • Employees • Public companies • Private companies. • Local Police. • Security companies 	<ul style="list-style-type: none"> • Real-time contextual data retrieving • Monitoring activities and coordination of responses in dangerous situations • Detection of panic events


FONTE: Bucchiarone et al. (2020)

2.2.2 Criticità

Il rapido emergere di navette automatizzate a bassa velocità ha sollevato questioni sia tecniche che istituzionali nei settori pubblico e privato. Si noti che molte delle questioni identificate qui non sono necessariamente uniche per le navette automatizzate a bassa velocità, ma piuttosto sono comuni ai sistemi di guida automatizzata. Gli attuali modelli di navetta hanno, in certi casi, limiti tecnici significativi: richiedono ambienti altamente controllati, non sono accessibili a tutti gli utenti, e le loro basse velocità e le frequenti fermate possono limitare la domanda dei passeggeri. Ci sono anche sfide politiche e istituzionali relative ai requisiti federali, statali e locali per i test su strade pubbliche, l'accessibilità, l'ammissibilità dei finanziamenti e altre questioni. Di conseguenza, si sta generalmente procedendo con cautela. (Bagloee et al 2016; Mcauley 2017; Bartolini et al 2017; Azad et al 2019)

I punti chiave che potrebbero rappresentare i primi ostacoli allo spiegamento includono:

- Limiti della batteria
- Strategie di guida
- Assistenti di bordo
- Accettazione pubblica
- Regolamenti federali, statali e locali
- Ambiente operativo
- Pianificazione del servizio e domanda
- Costi e ritardi imprevisti
- Disponibilità di finanziamenti
- Costi e ritardi imprevisti

 **Limiti della batteria:** Le prestazioni della batteria sono un problema centrale per i veicoli elettrici. L'uso di sistemi di riscaldamento, ventilazione e raffreddamento o il funzionamento su segmenti di percorso in pendenza possono esaurire la potenza della batteria più rapidamente rispetto al funzionamento a temperature moderate o su percorsi pianeggianti. Il funzionamento in ambienti più estremi può potenzialmente ridurre le ore di servizio della metà, una considerazione importante quando si pianifica la durata del servizio. Come con qualsiasi veicolo elettrico, ci sono preoccupazioni su come l'autonomia e il tempo di ricarica si adattano alle caratteristiche del servizio pianificato (ad esempio, se la carica supporterà un'intera giornata di operazioni e se ci sarà

abbastanza tempo per ricaricare completamente la batteria tra i periodi di servizio). In un servizio di produzione orientato ai pendolari, tutti i veicoli potrebbero non aver bisogno di essere in servizio se non durante le ore di punta, quindi le ore non di punta possono essere potenzialmente utilizzate per ricaricare alcuni veicoli. Gli stessi fattori che influenzano le operazioni possono anche influenzare le prestazioni della batteria durante il suo ciclo di vita. Alcuni produttori stanno lavorando sulla ricarica induttiva, che ridurrebbe alcune delle preoccupazioni di limitazione della batteria, ma questa tecnologia è nella sua infanzia e richiederà l'installazione di infrastrutture per la distribuzione.

- ✚ Strategie di guida: Le navette potrebbero non avere le stesse strategie di guida difensiva che possono essere disponibili per altri servizi. Per esempio, una navetta può avere un clacson, ma non essere programmata per suonare il clacson ad un oggetto che sta attivamente indietreggiando verso il veicolo. Inoltre, le navette guidano in modo diverso dai veicoli a conduzione umana, il che può causare confusione per gli altri utenti della strada, compresi i conducenti, i ciclisti e i pedoni.
- ✚ Assistenti di bordo: Allo stadio attuale della tecnologia, le navette utilizzano generalmente un operatore a bordo che può intervenire in caso di emergenza (in alcuni casi, un operatore a bordo è richiesto dal regolamento), se il veicolo incontra una situazione insolita, o se il veicolo deve deviare dal suo percorso mappato (ad esempio, per aggirare un oggetto che blocca il suo percorso). L'inclusione di un addetto a bordo o di un operatore di sicurezza probabilmente aumenterà il costo del servizio oltre a quello dei servizi di trasporto non automatizzati più tradizionali (ad esempio, il servizio navetta), poiché i risparmi sui costi non sono realizzati mentre gli addetti a bordo sono ancora necessari. L'esperienza e i dati sul funzionamento della navetta in ogni sito sono necessari prima che un addetto a bordo possa essere gradualmente eliminato.
- ✚ Ambiente operativo: Le navette automatizzate a bassa velocità potrebbero non essere adatte a tutti gli ambienti e servizi. Le implementazioni iniziali sono state limitate ad ambienti relativamente semplici e premappati con modelli di servizio relativamente semplici.
Le dimostrazioni attuali sono state generalmente limitate a superfici piane e a strade private o a percorsi non stradali. Poiché le navette sono vincolate a basse velocità e ad

ambienti altamente controllati, i casi d'uso possono essere limitati (ad esempio, le navette potrebbero non essere adatte a servire aree complesse e ad alto traffico). Inoltre, i veicoli potrebbero aver bisogno di caratteristiche dell'infrastruttura (ad esempio, pali verticali, grandi massi o altre caratteristiche) aggiunte all'ambiente per fornire punti di riferimento supplementari per la localizzazione.

- ✚ **Certificazione:** Le navette automatizzate a bassa velocità utilizzate nelle applicazioni di transito devono soddisfare gli standard di sicurezza federali e statali applicabili. Gli standard di sicurezza e i protocolli di test per le funzioni automatizzate non sono ancora ben definiti, quindi questa rimane una questione aperta.

- ✚ **Pianificazione del servizio e domanda:** Poiché alcuni operatori sono relativamente nuovi nelle operazioni di transito, possono avere una limitata esperienza precedente con la pianificazione del servizio e, di conseguenza, i percorsi di distribuzione e le caratteristiche del servizio (ad esempio, le ore di funzionamento) non sono sempre ben allineati alle esigenze dei potenziali passeggeri. L'incertezza della domanda dei passeggeri rappresenta una sfida per le implementazioni iniziali, anche se è probabile che la domanda dei passeggeri si evolva insieme alle capacità dei veicoli.

- ✚ **Costi e ritardi imprevisti:** Nella maggior parte dei casi, le implementazioni pilota hanno incontrato costi e ritardi imprevisti. Per esempio, può essere necessario molto più tempo del previsto per il personale di una comunità per preparare ed eseguire un test - un intervistato ha citato un aumento del 300 per cento. Allo stesso modo, gli sponsor potrebbero non essere preparati per i tempi morti legati alla pianificazione e alla calibrazione, alla manutenzione o ad altre attività.

- ✚ **Disponibilità di finanziamenti:** I distributori potrebbero non avere le risorse finanziarie per acquistare navette automatizzate a bassa velocità (o la manutenzione richiesta e l'infrastruttura di supporto) ad un prezzo elevato. I distributori potrebbero anche non vedere le navette automatizzate a bassa velocità come un uso economicamente vantaggioso dei fondi a causa di vari fattori di rischio o di un ritorno limitato sull'investimento percepito. Ad oggi, nessuna dimostrazione di navette automatizzate negli Stati Uniti sta facendo pagare le tariffe ai passeggeri, quindi saranno necessarie ulteriori ricerche e test per determinare se esiste un business case sostenibile. Mentre ci

sono alcuni finanziamenti a fondo perduto disponibili per navette automatizzate a bassa velocità (ad es. ATCMTD Program, il Congestion Mitigation and Air Quality Program, e il Federal Lands Transportation Program), l'idoneità al finanziamento dovrà essere determinata caso per caso.

- 🗨️ Accettazione pubblica: L'espansione dello spiegamento di navette a bassa velocità completamente automatizzate senza personale a bordo potrebbe ridurre l'occupazione per gli operatori di trasporto e quindi potrebbe incontrare l'opposizione dei dipendenti del trasporto e dei sindacati, così come di altre parti interessate, compreso il pubblico in generale. Anche l'espansione dello spiegamento di navette automatizzate a bassa velocità con personale di sicurezza a bordo e ulteriori posti di lavoro di manutenzione tecnica e di servizio può essere osteggiato a causa della percezione che tali progetti rappresenterebbero un passo nella direzione della perdita di posti di lavoro o di una "dequalificazione" del ruolo dell'operatore del veicolo.

Sebbene le future implementazioni di veicoli automatizzati possano variare significativamente dai test e dalle dimostrazioni di oggi, le prime implementazioni di navette automatizzate a bassa velocità possono rappresentare la prima esposizione pubblica alle tecnologie e ai modelli di guida automatizzata e possono quindi influenzare l'accettazione pubblica più in generale. L'accettazione del pubblico è una delle cose chiave che gli attuali progetti stanno testando, ma è anche difficile da testare a causa di problemi di selezione (coloro che scelgono di viaggiare sulle navette possono non riflettere la popolazione generale e possono escludere gruppi specifici). È anche difficile ottenere risposte più dettagliate dagli utenti (semplici sondaggi a domanda singola somministrati quando i passeggeri salgono o scendono dalle navette ottengono alti tassi di risposta, ma i sondaggi online più lunghi hanno bassi tassi di risposta). Quando le comunità testano nuove tecnologie di automazione come le navette automatizzate a bassa velocità, l'opposizione pubblica potrebbe essere forte se il pubblico non capisce la logica. Potrebbe anche esserci un disagio più generale sulla prospettiva di veicoli senza conducente e di un rapido cambiamento tecnologico. Alcuni aspetti dell'automazione potrebbero anche generare preoccupazioni per la privacy (per esempio, se il pagamento elettronico delle tariffe potrebbe essere usato per tracciare le origini e le destinazioni dei passeggeri) o impattare su altre libertà civili. Ci si potrebbe anche aspettare un'opposizione se le navette automatizzate a bassa velocità creassero o fossero percepite come tali ineguaglianze o disparità di servizio inaccettabili. Tutti questi fattori potrebbero dissuadere i potenziali utilizzatori dal considerare

livelli maggiori di automazione, o addirittura proibirli del tutto se l'opposizione pubblica si traduce in azioni legislative o di finanziamento.

Mentre molte implementazioni pilota stanno cercando di valutare l'accettazione degli utenti attraverso giri dimostrativi e sondaggi, tutti i progetti e i test attualmente hanno assistenti a bordo, limitando la rilevanza delle conclusioni sull'accettazione degli utenti. Gli utenti che sono disposti a utilizzare una navetta automatizzata a bassa velocità con un addetto a bordo potrebbero non essere disposti a fare corse simili con estranei se il veicolo è altrimenti incustodito a causa delle preoccupazioni sulla sicurezza. Fino ad oggi, poco o nessun lavoro è stato fatto sull'accettazione degli utenti dei servizi di corsa condivisa in veicoli automatizzati incustoditi.

2.2.3 Implicazioni sociali

L'impatto sociale di ogni nuova tecnologia deve essere valutato in termini di efficienza e vantaggi per la società, così come il suo impatto diretto sull'ambiente di lavoro. La società deve prepararsi a queste nuove tecnologie, prima per accettarle e poi per abbracciarle.

La guida autonoma avrà un impatto massiccio, positivo o negativo, sulla società. I vantaggi di questa tecnologia sono evidenti, ma poiché ci sono esseri umani direttamente coinvolti, questi esseri umani devono imparare ad accettare che un computer prenda decisioni al loro posto. Quindi, i produttori di veicoli devono presentare scenari di decisione e di rischio validi e trasparenti a tutti coloro che sono interessati a capire come vengono prese le decisioni pertinenti. L'elemento chiave in questo processo di accettazione è la trasparenza. Usando questo approccio, la paura comincerà a scomparire. Milioni di chilometri di test diventeranno alla fine milioni di chilometri di utilizzo quotidiano. Solo allora il prodotto potrà essere considerato accettato. Un elenco generale che presenta i vantaggi e gli svantaggi delle implicazioni sociali viene presentato di seguito (Kockelman et al 2016; Hasan et al 2020; Bucchiarone et al 2021)

I vantaggi di sostituire i mezzi di trasporto classici con una flotta di bus navetta autonomi porteranno benefici in termini di quanto segue:

- Riduzione degli ingorghi stradali;
- Tempi di funzionamento (24 ore al giorno);
- Sicurezza stradale;
- Riduzione dell'inquinamento attraverso un funzionamento efficiente dal punto di vista energetico;
- Affidabilità degli orari;

- Gestione automatica e interattiva della flotta;
- Nuovi posti di lavoro; e
- Nuovi usi/utilizzi del trasporto pubblico autonomo durante una pandemia (per esempio, COVID-19). Tali veicoli possono essere usati per trasportare pazienti infetti tra gli ospedali evitando l'interazione umana o per trasportare campioni o test tra diversi centri di indagine, tra le altre possibilità.

Non c'è un approccio buono o cattivo. Non c'è giusto o sbagliato. C'è solo un approccio in avanti.

2.3 Quadro giuridico

Da quando ci sono stati mezzi di trasporto che utilizzano fonti di energia esterne, c'è stata la necessità di controlli e regole pertinenti, anche se tali regolamenti sono talvolta inappropriati e sproporzionati al potenziale dannoso dei mezzi di trasporto. Per esempio, il "Locomotive acts" approvato dal Parlamento britannico nel 1865 stabiliva che si poteva guidare una carrozza a vapore o una macchina a motore a non più di 2 mph all'interno della città e 4 mph fuori città solo se c'era una persona che camminava davanti al veicolo soffiando un fischiello e portando una bandiera rossa.

Se analizziamo il contenuto di questa legislazione al giorno d'oggi, potrebbe sembrare uno scherzo, ma è stato, tuttavia, delineato dal Parlamento britannico. La necessità di cambiare e aggiornare le leggi e le loro basi sulla base della tecnologia attuale è sempre più sentita, dato che la tecnologia cambia, anche radicalmente, ogni 3-5 anni. Tale legislazione è a volte fatta post-factum, poiché la realtà riempie gli spazi vuoti con fattori che non sono mai stati considerati da nessun sistema legislativo, portando a volte a una sovra regolamentazione.

Per la guida autonoma, la tecnologia è abbastanza matura da richiedere una legislazione dedicata, ma per generare un tale movimento, c'è bisogno di lobbying e persuasione in modo che i produttori interessati possano cambiare lo status dei loro prodotti dalla ricerca e sviluppo (R&S) in prodotti accettati con libero accesso ai consumatori. Qui, i tre principali attori di questo mercato (Stati Uniti, Europa e Cina) non sono ancora giunti a una decisione comune. Per il momento, questi prodotti, anche se attivi sulle strade pubbliche, sono trascurati a causa del piccolo numero di unità.

Retrospectivamente, il Parlamento britannico nel 1865 cercava di proteggere i cavalli e le carrozze contro le "bestie di ferro". Tuttavia, in meno di 100 anni, non c'erano più cavalli sulle strade pubbliche del Regno Unito (ora c'è una politica contro l'accesso di cavalli e carrozze su

alcune strade pubbliche). Questo sarà anche il caso dei robotaxi. Attualmente, ci sono alcuni regolamenti fissi che impediscono ai veicoli di essere "guidati" senza conducente, ma tra 100 anni, i veicoli guidati da conducenti umani non saranno ammessi su certe strade a causa di una possibile perturbazione della ritmicità e della continuità del traffico offerta dagli AV. Per ora, gli aspetti legali relativi al trasporto pubblico si concentrano su sicurezza, accessibilità pubblica, ritmicità ed emissioni. Questi aspetti possono essere naturalmente raggiunti utilizzando una navetta autonoma. Pertanto, è necessario sviluppare una nuova legislazione per fornire un quadro chiaro ai produttori di veicoli per ottenere l'approvazione di conformità per i loro prodotti. Un nuovo argomento basato sulla mancanza di conducenti negli AV è in fase di dibattito per il caso di sfortunati crash/incidenti. Questo dibattito coinvolge la responsabilità e la copertura legale di una licenza e codifica di guida autonoma e anche i relativi aspetti assicurativi.

Questo territorio legale inesplorato deve presto popolarsi di regole abbastanza flessibili che la loro validità possa durare per almeno diversi decenni.

Il quadro legislativo per regolare la circolazione degli AV sulle strade pubbliche si basa su due componenti essenziali: le regole di comportamento nel traffico e la regolamentazione dell'equipaggiamento tecnico allegato a questi veicoli. Secondo il presidente della Repubblica francese Macron (2018) per armonizzare le specifiche del regolamento 79/2008 (European Union Law) con le condizioni del traffico AV, è necessario che le funzioni di automazione, il monitoraggio dell'attenzione del conducente e le manovre di emergenza necessarie per garantire la sicurezza stradale siano proporzionali al grado di automazione.

2.3.1 Stati Uniti

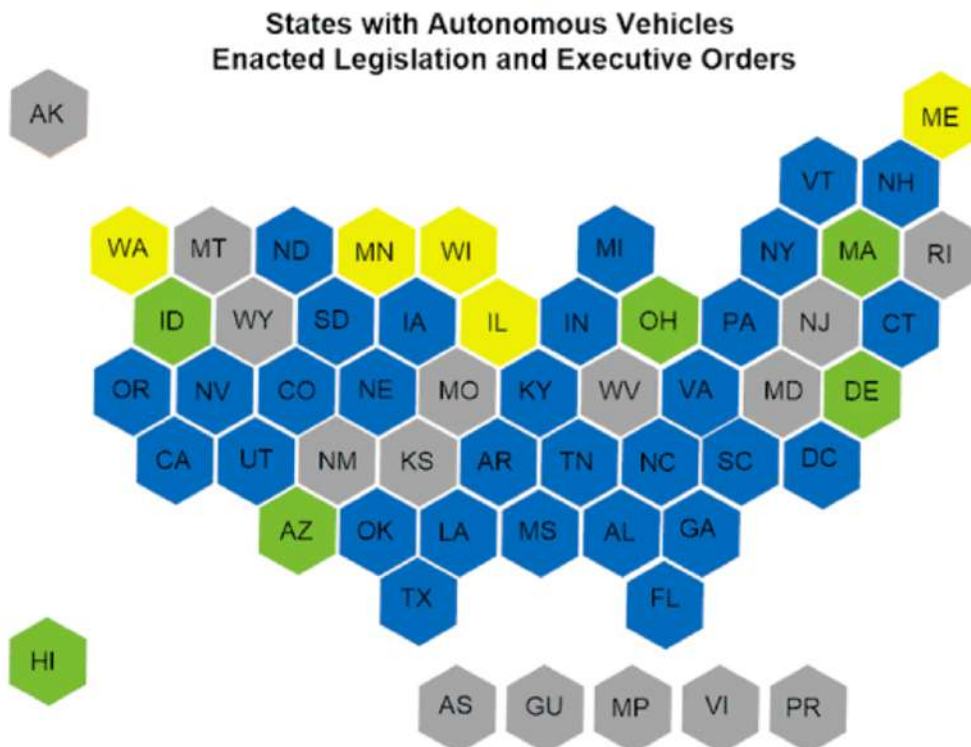
Negli Stati Uniti (USA) i regolamenti riguardanti la sicurezza degli AV sono soggetti ai governi statali, mentre la loro registrazione e applicazione alle strade pubbliche sono soggette alle leggi del governo federale. Nel 2017, il Dipartimento dei Trasporti degli Stati Uniti (DOT) e la National Highway Transportation Safety Association (NHTSA) hanno lanciato il programma "Automated Driving Systems 2.0: A Vision for Safety", programma progettato per promuovere e migliorare la sicurezza, la mobilità e l'efficienza degli AV (Norton Rose Fulbright 2018). I criteri imposti dalla NHTSA riguardo alla definizione dei criteri di sicurezza per gli AV si riferiscono in particolare alle seguenti questioni (NHTSA):

1. Sicurezza del sistema: conformità e implementazione degli standard di sicurezza dell'International Standards Organization (ISO) e del SAE International;

2. Dominio di progettazione operativa (ODD): documentazione sulle seguenti informazioni: tipi di strade, area geografica, velocità di viaggio, condizioni ambientali e altri vincoli;
3. Rilevamento e risposta di oggetti ed eventi: il rilevamento e la reazione dell'AV in caso di comparsa di un oggetto statico o dinamico, indipendentemente dagli eventi;
4. Fallback (condizione di rischio minimo): garantire le condizioni di rischio minimo dell'ADS;
5. Metodi di convalida: metodi di convalida dell'algoritmo di controllo ADS;
6. HMI: l'interazione tra l'AV e il conducente;
7. Cybersecurity: garantire i protocolli di sicurezza implementati nel controllo dell'ADS;
8. Crashworthiness: garantire la protezione dei passeggeri in caso di incidente (sistemi di sicurezza attiva e passiva);
9. Comportamento ADS post-crash: garantire la protezione dei passeggeri post incidente (disconnessione dell'elettricità e dei sistemi principali);
10. Registrazione dei dati: registrazione dei dati degli eventi di monitoraggio e degli errori di funzionamento;
11. Educazione e formazione dei consumatori: programmi per tutto il personale coinvolto nella manutenzione (funzionamento) degli AV;
12. Leggi federali, statali e locali: conformità alle leggi/regolamenti federali, statali e locali applicabili al funzionamento degli AV.

Il numero degli stati che hanno adottato una legislazione sulle AV negli ultimi anni è gradualmente aumentato. La Figura 13 mostra la situazione attuale negli stati che hanno adottato tale legislazione (blu), hanno emesso ordini esecutivi (verde), hanno adottato una legislazione ed emesso ordini esecutivi (arancione), o non hanno preso alcuna azione autonoma sui veicoli a motore (grigio). Per le abbreviazioni degli stati, vengono usate le abbreviazioni tradizionali degli Stati Uniti (National Conference of State Legislatures).

FIGURA 13: Situazione attuale negli stati che hanno adottato una legislazione negli USA.



FONTE: Autonomous Vehicles | Self-Driving Vehicles Enacted Legislation (NCSL)

Secondo la Costituzione degli Stati Uniti d'America, ogni stato ha un gruppo indipendente di leggi che mirano a promuovere i propri interessi. Di conseguenza, la legislazione riguardante gli AV differisce significativamente da uno stato all'altro. Così, mentre alcuni stati (California, Connecticut, D.C., Florida, Massachusetts, New Mexico, New York, South Dakota e Washington) specificano chiaramente i loro requisiti per la presenza di un operatore umano a bordo di un'AV per tutta la durata del suo test, altri stati (Arizona, Missouri, North Carolina, Tennessee e Texas) permettono il movimento delle AV sulle strade pubbliche senza essere accompagnati da un operatore umano (Haney et al 2018).

I concetti stessi di AV sono percepiti e definiti in modo diverso per ciascuno degli stati americani. Così, per D.C., nel Codice del Distretto di Columbia, sezione 23A., gli AV sono definiti come veicoli in grado di navigare sulle strade del distretto e di interpretare i dispositivi di controllo del traffico senza un conducente attivo che operi uno dei sistemi di controllo del veicolo (Code of the District of Columbia). Lo Stato dell'Illinois, nel Senate Bill 791/2017, definisce un AV come un veicolo dotato di un ADS (hardware e software) che è in grado di eseguire l'intero compito di guida dinamica su base duratura senza essere limitato a una particolare area operativa. La Louisiana, nel House Bill 1143/2016, definisce la tecnologia autonoma come una tecnologia che è installata su un veicolo e garantisce la capacità di guidare

un veicolo in condizioni di elevata o completa automazione senza la supervisione di un operatore umano, compresa la capacità di portare automaticamente il veicolo in uno stato minimo di rischio in caso di un guasto critico del veicolo (Illinois Vehicle Code). La Georgia, nel Senate Bill 219/2017, definisce la condizione di rischio minimo come una modalità di funzionamento a basso rischio in cui l'AV che opera senza conducente fornisce condizioni ragionevolmente sicure, vale a dire l'arresto completo del veicolo in caso di un malfunzionamento dell'ADS o di un guasto che rende il veicolo incapace di adempiere al compito di guida dinamica completa.

Dal punto di vista della sicurezza del traffico sulle strade pubbliche, alcuni stati hanno adottato criteri più rigorosi per quanto riguarda le condizioni di prova degli AV. Così, nel Senate Bill AB-669/2017, il Dipartimento dei Trasporti della California richiede che sia mantenuta una distanza minima di 100 piedi tra qualsiasi veicolo o combinazione di veicoli che sono in circolazione su strade pubbliche durante il corso di qualsiasi test (senate Bill 219), e, nel Senate Bill 2005/2017, lo stato di New York ha stabilito che i test con gli AV su strade pubbliche possono essere eseguiti solo sotto la supervisione diretta della polizia di stato (Assembly Bill 669/2017).

Per testare gli AV, la maggior parte degli stati americani richiede all'operatore dei test di dimostrare la propria stabilità finanziaria provando l'esistenza di un'assicurazione che copra eventuali incidenti che possono verificarsi durante l'intero periodo di funzionamento degli AV.

Europa

In Europa non ci sono regolamenti chiari per quanto riguarda l'approvazione, la registrazione e l'entrata in servizio degli AV sulle strade pubbliche destinate al traffico. I produttori di AV (in particolare quelli classificati come Livello 3/Livello 4) utilizzano la direttiva 2007/46/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 5 settembre 2007, che stabilisce un quadro per l'approvazione dei veicoli e dei rimorchi, nonché dei sistemi, dei componenti e delle unità tecniche separate destinati a tali veicoli (EurLex 2007).

Il processo di approvazione è diverso a seconda del paese a causa del fatto che gli AV sono veicoli speciali per i quali alcuni stati hanno regolamenti specifici, mentre altri concedono esenzioni o autorizzazioni provvisorie per scopi sperimentali.

Gli stati dell'Unione Europea che hanno adottato una legislazione sugli AV e permettono l'uso di questi veicoli per i test sono i seguenti: Austria, Belgio, Finlandia, Francia, Germania, Grecia, Italia, Lussemburgo, Paesi Bassi, Spagna e Svezia.

2.3.2 Francia

La Francia è il paese d'origine di due aziende che sviluppano navette autonome per il trasporto pubblico (Navya e EasyMile). Attualmente, la Francia è il paese con il maggior numero di progetti di veicoli autonomi per il trasporto pubblico che operano su strade pubbliche in condizioni di test (vedi Tabella1). Secondo la legge europea, l'adozione di un quadro legislativo per l'omologazione AV nel trasporto pubblico in un paese membro dell'UE comporterà automaticamente il riconoscimento di quel tipo di omologazione in tutti gli altri stati membri (BackerMeckenzie 2018).

Nel periodo 2015-2018, la Francia ha emanato una serie di leggi, regolamenti e ordini che permettono agli AV di essere messi in circolazione sulle strade pubbliche a scopo di test. La legge più importante, ratificata dal Parlamento francese nel maggio 2018, è la "Véhicule à délégation total ou partielle de conductivité", che stabilisce le condizioni di autorizzazione per un veicolo sperimentale che si impegna nella guida autonoma su strade pubbliche. Il requisito principale è che l'AV sia permanentemente accompagnato da un operatore umano presente a bordo.

Un altro importante requisito che si applica a tutti gli stati membri dell'UE è la protezione degli individui per quanto riguarda il trattamento dei dati personali e la libera circolazione di tali dati (regolamento UE 679/2016).

2.3.3 Germania

In Germania c'è un grande interesse sia da parte delle case automobilistiche che del governo federale per sviluppare il settore della guida autonoma. Molti dei grandi attori del settore automobilistico tedesco hanno sviluppato modelli di auto autonome (Audi, BMW, Daimler e VW). Così, le case automobilistiche tedesche hanno adottato un approccio graduale, concentrandosi principalmente sull'introduzione di funzioni di guida automatizzata nelle serie di auto classiche, riservando alle AV (livello 3/Livello 4 con operatore umano) il ruolo secondario di test su strade pubbliche, campus universitari, aree pedonali, ecc. (vedi Tabella1). Di conseguenza, il legislatore federale tedesco (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz) ha rivisto e modificato le sue leggi sulla circolazione stradale

(Straßenverkehrsgesetz), introducendo regolamenti specifici per l'introduzione di veicoli con funzioni di guida autonoma sulle strade pubbliche.

Questi regolamenti includono quanto segue:

- L'ADS deve riconoscere e rispettare tutte le regole del traffico proprio come sarebbero riconosciute e rispettate da un conducente;
- L'ADS deve poter essere disattivato in qualsiasi momento dall'operatore umano, che può in qualsiasi momento assumere il controllo del veicolo; e
- L'ADS deve notificare al conducente qualsiasi situazione critica in cui il conducente deve assumere il controllo del veicolo o in cui l'ADS viene utilizzato in modo contrario alle condizioni stabilite.

La legge tedesca richiede che gli AV soggetti a registrazione siano approvati in conformità con le specifiche della legge europea, vale a dire la direttiva 2007/46/CE, che stabilisce un quadro per l'approvazione di veicoli e rimorchi, nonché dei loro sistemi, componenti ed entità tecniche separate destinate a tali veicoli. Poiché gli AV non soddisfano tutti i requisiti della direttiva 2007/46/CE nella sua forma attuale (soprattutto per quanto riguarda i sistemi di sterzo e di frenatura), il regime tedesco di registrazione dei veicoli prevede un'esenzione per i veicoli che sono messi in circolazione sotto un regime di prova (BackerMeckenzie 2018).

2.3.4 Spagna

In Spagna, i veicoli sulle strade pubbliche sono regolati dal Codice sul traffico e la sicurezza stradale (Code de Tráfico y Seguridad Vial). Questo codice fornisce gli standard di sicurezza per la circolazione dei veicoli sulle strade pubbliche, le procedure di immatricolazione, i regolamenti sul trasporto pubblico di passeggeri, ecc. Nella legislazione

non esiste una legge che regoli l'introduzione degli AV in circolazione sulle strade pubbliche.

Nel novembre 2015, il Ministero dell'Interno, attraverso la Direzione Generale del Traffico (Dirección General de Tráfico), ha emesso l'istruzione Notice 15/V-113 (Autorizzazione di prove o test di ricerca effettuati con veicoli a guida automatica su strade, aperte al traffico in generale) che stabilisce un quadro legale di test per gli AV nel traffico stradale. In conformità con le disposizioni dell'atto normativo, l'AV deve soddisfare i seguenti requisiti minimi:

1. L'AV deve essere dotato di un sistema per garantire che possa fermarsi in caso di emergenza;
2. L'ADS può essere disattivato in qualsiasi momento dall'operatore umano, che può prendere il controllo del veicolo;

3. L'AV deve essere dotato di una sicurezza informatica che fornisca protezione contro gli attacchi informatici.

2.3.5 Italia

In Italia, la circolazione dei veicoli sulle strade pubbliche è regolata dal decreto legislativo 285/1992 (Codice della Strada), che delinea le norme specifiche riguardanti la circolazione di tali veicoli sulle strade pubbliche nelle regioni italiane (Codice della Strada). Nel febbraio 2018, il Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti ha emanato il decreto 18A02619, che disciplina le modalità di attuazione degli strumenti operativi necessari alla sperimentazione dei veicoli intelligenti, connessi e automatizzati sulle strade pubbliche.

Questo decreto stabilisce standard funzionali basati sulle nuove tecnologie introdotte nelle infrastrutture stradali che possono comunicare con gli utenti dei veicoli per fornire informazioni in tempo reale su traffico, incidenti, condizioni meteorologiche, ecc. Allo stesso tempo, il decreto stabilisce le condizioni per testare gli AV sulle strade pubbliche in condizioni di sicurezza per gli altri partecipanti al traffico stradale. La principale condizione imposta da questo regolamento è che l'AV deve essere permanentemente accompagnato da un operatore umano presente a bordo (BackerMeckenzie 2018).

2.3.6 Cina

In Cina, le autorità governative hanno, dal 2017, fornito regolamenti locali che consentono la sperimentazione di AV. La Cina ha promulgato il loro piano strategico "National Road-Testing Guide", che mira a modernizzare l'industria automobilistica entro il 2025. Il primo robotaxi (Baidu) che è stato messo in circolazione per i test a Pechino nel marzo 2018 ha avuto accesso al settore delle strade pubbliche per una lunghezza totale di 105 km in periferia, lontano dalle zone ad alto traffico.

Attualmente, la circolazione degli AV sulle strade pubbliche cinesi è regolata dalle "Regole amministrative per i test su strada dei veicoli intelligenti e connessi (per l'attuazione di prova)", che comprende tutte le regole amministrative per i test dei veicoli autonomi e connessi sulle strade pubbliche (Norton Rose Fulbright 2018).

Questo atto normativo include una serie di requisiti di sicurezza che gli AV devono soddisfare per essere ammessi ai test sulle strade pubbliche, tra cui i seguenti (China National Rules of Road):

- I veicoli autonomi, connessi e intelligenti devono essere dotati di sensori, controllori e attuatori, e dispositivi di comunicazione e connessione in rete, che possono sostituire il conducente e garantire una guida sicura ed efficiente;
- Gli AV devono essere permanentemente accompagnati da un operatore umano che deve essere presente a bordo dei veicoli;
- Le funzioni di guida autonoma devono poter essere disattivate in qualsiasi momento dall'operatore umano, che può in ogni momento riprendere il controllo del veicolo;
- Il funzionamento degli AV deve essere costantemente monitorato in tempo reale a distanza dal personale di controllo attraverso una piattaforma di gestione;
- Le persone giuridiche che conducono i test devono essere registrate in Cina, avere competenza nella ricerca, sviluppo e produzione di AV, e assumersi la piena responsabilità per qualsiasi evento che possa verificarsi durante i test;
- Gli AV, indipendentemente dalla loro modalità operativa (autonoma o manuale), devono rispettare tutte le norme e i regolamenti del traffico stradale.

Attualmente, i robotaxi per il trasporto pubblico di passeggeri (Livello 3/Livello 4) sono presenti nel traffico urbano in molte località della Cina, comprese le strade pubbliche o le aree pedonali nelle principali città, nei parchi software e tecnologici e nelle aree industriali (vedi Tabella1). Circolano liberamente o su richiesta, con passeggeri su percorsi predeterminati, e sono monitorati da un operatore umano che può intervenire in qualsiasi momento per prendere il controllo dell'ADS.

2.4 Le tre fasi future dei robotaxi:

Oggi, la guida autonoma rimane in fase di sviluppo, affidandosi all'uomo per prendere il controllo del veicolo in caso di pericolo. Dato lo stato attuale e la tecnologia esistente, si pensa che i robo-taxi si evolveranno in tre fasi sulla loro strada verso la piena autonomia. (McKensey & Company, 2018)

Queste fasi avranno profili profondamente diversi quando si tratterà di potenziali miglia percorse, strade percorse e viaggi consentiti.

- Robo-taxi 1.0, dal 2021 al 2023. Con circa 200 miliardi di miglia di viaggio totale, il robo-taxi 1.0 studia l'ambiente operativo e potrebbe accumulare dati importanti per il suo sviluppo. I vincoli includono il funzionamento le condizioni climatiche e la bassa velocità, su strade con linee di corsia e cordoli liberi, e nel traffico leggero. Per esempio, i robo-taxi in questa fase potrebbero portare in giro i clienti, per esempio, nei quartieri della Silicon Valley, andandoli a prendere a casa e portarli in altri luoghi locali a bassa velocità, evitando le autostrade.
- Robo-taxi 2.0, dal 2025 al 2027. Da qui le cose cambiano, dato che i robo-taxi accumulano un incredibile 3,5 trilioni di miglia percorse. La fase due dà ai robo-taxi la libertà di manovrare nel traffico denso e nei centri città, e su strade e autostrade a velocità più elevata. Oltre alle tariffe suburbane, i robo-taxi potrebbero venire a casa e traghettare via autostrada in città per lavorare o giocare, sia di notte che di giorno. Tuttavia, i viaggi intracity probabilmente predomineranno. La capacità di guidare sulle autostrade permetterà ai robo-taxi di accumulare molto più chilometraggio facendo i pendolari tra varie regioni suburbane e urbane.
- Robo-taxi 3.0, entro il 2030. Con circa 4,9 trilioni di miglia percorse, la terza fase rappresenta una vera emancipazione della tecnologia. Permette a un robo-taxi di andare a prendere un cliente a Lincoln Park e portarlo a Chicago (o viceversa), viaggiando anche su strade povere, non mappate o poco chiare se necessario. E lo farà praticamente in qualsiasi condizione atmosferica, compresa la nebbia, la grandine e la pioggia, e su strade coperte di neve o fanghiglia, condizioni che metterebbero a dura prova anche i guidatori umani molto esperti.

La capacità di viaggiare sulle autostrade nell'evoluzione del robo-taxi rimane oggetto di dibattito. Alcuni sostengono che è più semplice che viaggiare in periferia con direzioni relativamente costanti e un minimo di casi limite. Altri, tuttavia, dicono che le velocità più elevate e la congestione episodica potrebbero provocare incidenti più pericolosi quando qualcosa potrebbe andare storto.

I robo-taxi, durante le prime fasi, potrebbero accumulare miglia facendo commissioni senza passeggeri. Per esempio, si potrebbe concepibilmente inviare l'AV a casa per portare i figli a scuola mentre i genitori lavorano, accompagnarli a teatro, trovare automaticamente un parcheggio, pagare elettronicamente e poi tornare a prenderli a seconda delle loro esigenze.

CAPITOLO 3 – MODELLI DI BUSINESS

3.1 Modelli di business e vantaggio competitivo

Attualmente, la rivoluzione industriale innescata dal nuovo ciclo di rivoluzione scientifica e tecnologica globale ha portato opportunità e sfide senza precedenti allo sviluppo dell'industria automobilistica (Zhou et al 2015). I cambiamenti nell'industria automobilistica hanno dato vita a opportunità storiche (Zhao 2016). Gli ICV (Intelligent connected vehicles) hanno enormi benefici sociali, il loro dispiegamento è considerato una soluzione significativa per migliorare la sicurezza stradale, la gestione dei trasporti e l'efficienza energetica, di cui i benefici totali possono raggiungere 13,25-24,02 trilioni di CNY nel 2050 in Cina (Tan et al 2020).

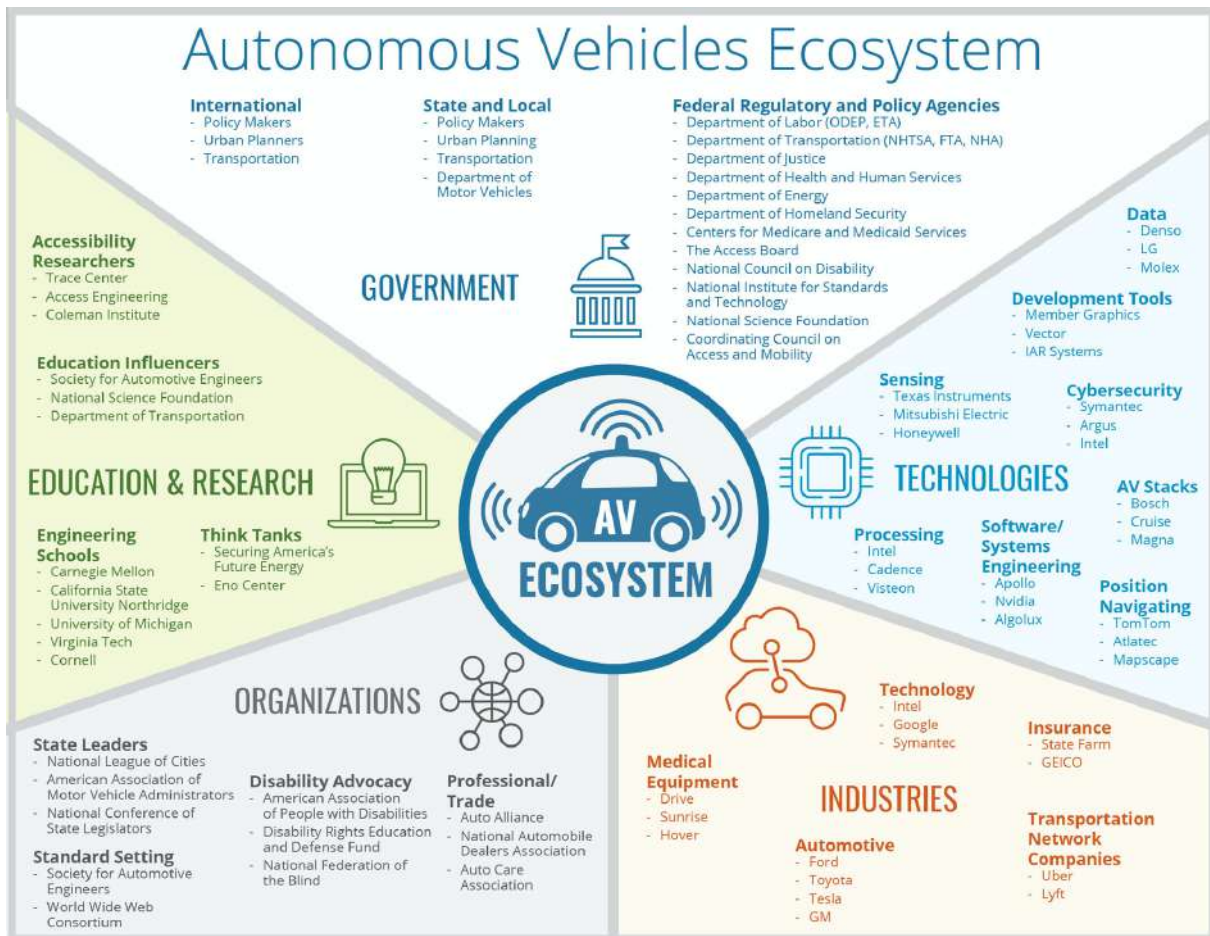
Negli ultimi anni gli ICV, sotto la promozione dei governi di alcuni Paesi, hanno saltato grosse tappe e sono passati da "potrebbero essere realizzati" a "saranno realizzati" a "diventeranno sicuramente realtà". Gli OEM tradizionali e le aziende tecnologiche stanno correndo per rendere gli ICV una realtà attraverso molteplici modelli di business. Sulla base della classificazione SAE dei veicoli autonomi (Liu et al 2019), nella pratica industriale, alcune aziende rivoluzionarie sostengono di poter saltare la fase 3 e dirigersi direttamente verso la fase 4 e puntare a mercati emergenti con un grande potenziale come i servizi di mobilità e i servizi di distribuzione automatica. Tuttavia, alcune aziende conservatrici sostengono un'evoluzione graduale da fase 3 e credono che i prodotti di fase 3 abbiano un valore commerciale e possano risolvere i punti critici degli utenti in certi scenari (Zhao et al 2016).

L'industria automobilistica è caratterizzata da un grande effetto scala, senza contare l'importanza primaria di capitale e tecnologia. (Toglaw et al 2018). I produttori di automobili hanno bisogno di creare un nuovo mercato per questi veicoli creando e delineando un valore reale per i clienti (Liu 2017). Il modello di business ha un enorme impatto sugli OEM, e sulle altre aziende che prendono parte dell'ecosistema che gira intorno agli ICV, poiché è un'importante fonte di competitività tra le aziende (Liu et al 2016) e un importante fattore trainante per lo sviluppo innovativo degli OEM. È stato identificato che il modello di business è molto importante nelle industrie in cui la tecnologia gioca un ruolo fondamentale (Yun et al 2016).

3.2 L'ecosistema dell'industria ICV

Il concetto di ICV rappresenta il punto più alto del prodotto automobilistico, che avrà un impatto significativo sulla catena del valore della futura industria. L'ICV consiste in un ecosistema di sviluppo sostenibile formato da varie parti funzionali, tra cui gruppi di sviluppo e produzione dell'ICV, gruppi di introduzione sul mercato e supporto legale, assicurativo e infrastrutturale. Nessuna azienda può avere successo da sola, e la cooperazione è d'obbligo. Guardando più da vicino la composizione dell'intero ecosistema dell'industria ICV, ci sono fornitori di soluzioni di cybersecurity rappresentati da Harman, fornitori di servizi di big data rappresentati da IBM, fornitori di V2X rappresentati da Huawei, fornitori di mappe rappresentati da Here, fornitori di piattaforme di calcolo rappresentati da Nvidia, fornitori di chip rappresentati da NXP, produttori di sensori rappresentati da Valeo, startup di software ICV rappresentate da nuTonomy, fornitori di piattaforme ICV rappresentati da Baidu, fornitori tradizionali T1 rappresentati da Bosch, nuovi OEM rappresentati da Tesla, e OEM tradizionali rappresentati da GM, che insieme costituiscono il gruppo di sviluppo e produzione ICV. Inoltre, le società di ride sharing rappresentate da Uber e Lyft, e le società di manutenzione ICV rappresentate da Avis costituiscono il gruppo operativo di mercato. Il gruppo di sviluppo e produzione di ICV, il gruppo di introduzione e funzionamento del mercato, insieme ai legislatori, alle compagnie di assicurazione, agli operatori di infrastrutture e ai fornitori di contenuti costituiscono insieme l'ecosistema dell'industria ICV. (Figura 14)

Figura 14: Ecosistema dell'industria ICV



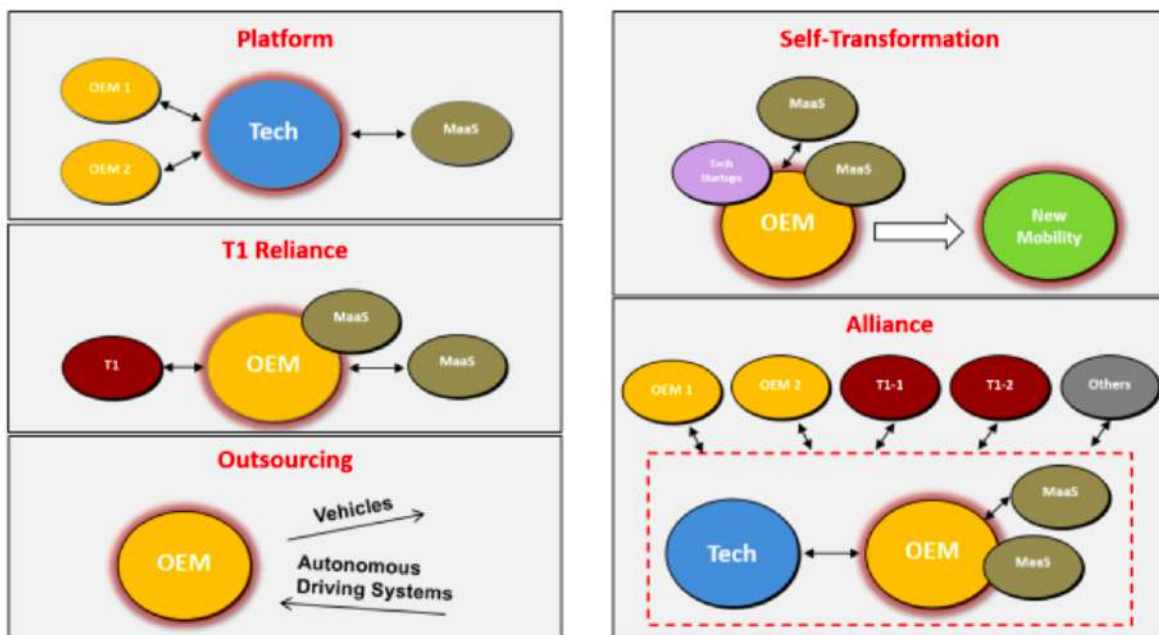
FONTE: The Autonomous Vehicles Ecosystem (PEAT)

A giudicare dalla composizione dell'intero ecosistema dell'industria ICV, l'industria automobilistica è passata da un'industria incentrata sul prodotto a un'industria orientata al servizio. Il primo lotto di ICV sarà anche usato per servizi di mobilità condivisa su richiesta (Renneby et al 2018) e raccoglierà costantemente dati nel servizio che giocherà un ruolo crescente in futuro.

3.3 Cinque modelli di business per l'industria ICV

Le aziende tecnologiche e gli OEM tradizionali si sono riversati nell'ecosistema dell'industria ICV, e i modelli di business hanno continuato ad espandersi da un unico modello di business (produzione e vendita di automobili) a modelli vari. Di seguito sono spiegati cinque possibili modelli di business per le aziende del settore. (Figura 15)

Figura 15. Cinque modelli di business di ICV.



FONTE: Zhao et al. (2020)

3.3.1 Platform Model

Il platform model è un modello di business in cui le aziende tecnologiche collaborano con altre imprese dell'ecosistema per fornire loro piattaforme di guida autonoma. Le aziende rappresentative sono Waymo, Uber, Baidu e Apple. Un esempio di queste aziende è Waymo ha collaborato con OEM come Fiat e Jaguar per fornire una piattaforma di guida autonoma basata su hardware Intel, ha poi installato il sistema sulle auto di queste aziende per farli diventare veicoli autonomi, e infine li ha consegnati a Lyft per il funzionamento e ad Avis per la manutenzione.

Sulla base dell'analisi SWOT del platform model, i vantaggi interni di modello sono due. Il primo è che viene data piena libertà alle aziende tecnologiche di sfruttare le loro conoscenze e la loro esperienza nel software, nella tecnologia di connettività e nei sensori (LiDAR, radar,

telecamera, microfono); allo stesso tempo, i passaggi tra tipologie di aziende differenti sono semplici e definiti, velocizzando in questo modo la produzione del veicolo.

Inevitabilmente, questo modello ha i suoi svantaggi interni, infatti, le aziende tecnologiche non hanno un hardware automobilistico sviluppato in proprio e mancano di esperienza nell'industria automobilistica e di conoscenza del mercato.

Naturalmente, le minacce più grandi vengono rappresentate dalle aziende tecnologiche che possono svilupparsi in aziende di trasporto in virtù dell'espansione aziendale, dell'acquisizione di OEM e di altri metodi, oppure dagli OEM che allo stesso modo continueranno a sforzarsi di ridurre le dipendenze. Col tempo, quando i sistemi di guida autonoma diventeranno merci ordinarie, si perderanno vantaggi competitivi e per questo motivo, la più grande sfida del platform model è come mantenere una posizione competitiva.

3.3.2 Self-Transformation model

Il Self-Transformation model è un modello di business in cui gli OEM investono pesantemente nella tecnologia e nelle start-up di ride-sharing, sviluppano attivamente le loro capacità e migliorano la loro competitività. Le aziende rappresentative sono GM (General Motors), Ford, Audi e Nissan. Per esempio, GM ha acquisito la startup di veicoli autonomi Cruise e la startup di sensori LiDAR Strobe, mentre nel 2016 ha investito nella piattaforma di ride-sharing Lyft. General Motors in questi anni ha anche acquisito la società di car sharing di San Francisco Sidecar e ha collaborato strategicamente con IBM per introdurre la tecnologia AI di IBM nei suoi veicoli.

Dopo tutte queste acquisizioni e questi investimenti, GM ha lanciato il servizio di car-sharing Maven nel 2017 e i robo-taxi nel 2019.

Un altro esempio è Ford. Essa ha acquisito Autonomic, un fornitore di soluzioni di misurazione e architettura con sede nella Silicon Valley, TransLoc, un fornitore di piattaforme software, SAIPS, una società israeliana di apprendimento automatico e tecnologia di visione artificiale, Chariot, un fornitore di servizi di crowdsourcing con sede a San Francisco, e altre startup di servizi di guida autonoma e mobilità. Allo stesso tempo Ford ha collaborato attivamente con il gigante dell'intelligenza artificiale IBM, il gigante dell'elettronica e delle telecomunicazioni Qualcomm, il gigante delle comunicazioni AT&T, la società LiDAR Velodyne, il gigante del

software open source Pivotal, la startup di mappe 3D Civil Maps, altri fornitori di tecnologia per la R&S dei veicoli autonomi e ha collaborato con le piattaforme di noleggio a tempo e di car-sharing su Internet Zipcar e Lyft, la catena di pizza Domino's Pizza, e la società di consegna di terze parti Postmates per implementare i servizi di robo-taxi e di consegna logistica.

Attraverso l'analisi SWOT, il vantaggio interno di questo modello è che gli OEM, oltre a essere dotati di solide capacità per lo sviluppo di veicoli autonomi, godranno del diritto di proprietà intellettuale, che favorirebbe il mantenimento della competitività a lungo termine. Inevitabilmente, questo modello ha anche lo svantaggio riguardante la lentezza del processo iniziale di R&S e l'enorme onere dei costi di sviluppo nella fase iniziale, il che porterà gli OEM una grande pressione finanziaria. Il grosso fallimento avverrebbe nel caso in cui il reparto di R & S fallisse e l'enorme investimento non venisse recuperato; in caso contrario, le approvazioni normative e l'accettazione del mercato saranno le maggiori sfide.

3.3.3 T1 Reliance Model

Il T1 (Un'azienda di primo livello è il membro più importante di una catena di approvvigionamento, che fornisce componenti direttamente al OEM) Reliance model è un modello di business in cui gli OEM e i fornitori T1 cooperano per sviluppare un veicolo autonomo. La sua azienda rappresentativa è Mercedes-Benz.

Mercedes-Benz ha stretto una partnership con Bosch per avere due anni di diritti esclusivi su qualsiasi prodotto a marchio Bosch utilizzato nei suoi veicoli autonomi. Bosch, sulla base della sua cooperazione con Tomtom (un'azienda olandese con risorse di mappe digitali), AutoNavi (un'azienda di mappe digitali), Nvidia (un'azienda di processori grafici leader nel mondo), Sony (una potente azienda di tecnologia dei sensori di immagini in Giappone), Baidu (un'azienda di piattaforme di guida autonoma), NavInfo (un'azienda di servizi IoV e di informazioni dinamiche sul traffico), ecc. ha assistito Mercedes-Benz nella R&S di tecnologie e prodotti di guida autonoma. Oltre alla cooperazione con T1 Bosch, Daimler ha anche acquisito tre piattaforme di servizi online di auto a pagamento: RideOut, My Taxi ed e-Hail, e ha lavorato con il dipartimento di servizi di mobilità della BMW, l'impresa di mobilità condivisa Uber, la piattaforma di noleggio auto peer-to-peer Getaround e altri fornitori di servizi di mobilità per lanciare la propria app di car sharing Car2go.

Attraverso l'analisi SWOT, il vantaggio di questo modello è certamente la partnership a lungo termine tra OEM e fornitori T1. Entrambe le parti si fidano l'una dell'altra, il che favorisce l'integrazione del software, dell'hardware, dei sistemi e delle capacità di test, dando pieno sfogo alle competenze tecniche degli OEM nello sviluppo su larga scala di veicoli sicuri ed efficienti,

e permettendo agli OEM di possedere i diritti di proprietà intellettuale per un periodo di tempo dopo il successo della R&S.

Le minacce provengono, da un lato, dalla partnership perché quando la cooperazione con T1 è terminata, gli OEM perderanno il controllo dei diritti di proprietà intellettuale, e dall'altro, dai tempi del mercato perché le aziende pioniere della R&S di successo degli ICV possono avere un enorme impatto sulla legislazione, rendendo difficile per gli altri giocatori lanciare sistemi competitivi.

3.3.4 Alliance Model

L'Alliance Model definisce una situazione in cui gli OEM e le aziende tecnologiche formano un'alleanza di base e invitano altre aziende ad unirsi per co-sviluppare veicoli autonomi. L'azienda rappresentativa è BMW.

BMW e Mobileye, la società di elaborazione della visione di Intel, formano il nucleo dell'alleanza, invitando gli OEM FCA, le società Tier1 Magna, Continental, Aptiv, LiDAR società Innoviz, e i loro rispettivi ecosistemi ad aderire all'alleanza per aiutarsi congiuntamente nella distribuzione della R & S del sistema di guida autonoma. D'altra parte, BMW ha acquisito le startup di mobilità Drive Now e Parkmobile, e ha collaborato con Ridecell, un fornitore di software di servizi di mobilità, Zirx, una società di parcheggiatori su richiesta, Scoop, una società di applicazioni di ride-sharing, e zendrive, una società di big data di mobilità.

Sempre analizzando l'analisi SWOT, il vantaggio dell'Alliance Model è che i membri dell'alleanza possono condividere alti costi di R&S, e ogni membro ha diverse competenze, che possono accelerare il lancio del prodotto. Inevitabilmente, il modello ha anche degli svantaggi, che si riflettono nella debole capacità di sviluppo indipendente dei membri, che rende difficile mantenere i propri vantaggi competitivi e l'unicità del marchio. Se l'alleanza avrà successo, le relazioni estremamente complicate tra i membri renderanno difficile gestire efficacemente i diritti di proprietà intellettuale. Dal punto di vista dell'ambiente di mercato, c'è un'opportunità per l'alleanza di attrarre molti OEM incapaci di gestire la ricerca da soli e diventare partner di sviluppo iniziale, lavorando insieme per monetizzare il sistema. La probabile minaccia esterna sono gli altri OEM con maggiori vantaggi competitivi.

3.3.5 Outsourcing Model

Il modello di outsourcing si riferisce al fatto che gli OEM si affidano a società tecnologiche o alleanze invece di migliorare attivamente la loro capacità di sviluppare autonomamente la guida autonoma. L'azienda rappresentativa è Fiat Chrysler. Fiat, da un lato, fornisce veicoli tradizionali per Waymo, di proprietà di Google, e dall'altro porta ulteriore ingegneria e manodopera tecnica all'alleanza BMW-Intel, e non ha mai cercato di stabilire una leadership da sola.

Sfruttando la matrice SWOT, il vantaggio del modello di outsourcing è che può consentire ai veicoli autonomi di entrare nel mercato più velocemente e ottenere elevati ritorni di vendita nella fase iniziale. Inevitabilmente, lo svantaggio di questo modello è la mancanza di competenze indipendenti e di diritti di proprietà intellettuale di base. In termini di ambiente di mercato, la possibile opportunità da parte delle aziende è quella di migliorare la capacità di indipendenza acquisendo alcuni partner, così da poter sfruttare le proprie conoscenze da fornitore di veicoli, e sommarle a quelle riguardanti l'hardware automobilistico.

3.3.6 Concorrenza tra imprese ICV

L'industria automobilistica e molte aziende high-tech stanno attivamente realizzando la diffusione della guida autonoma, scatenando così un meccanismo di concorrenza globale. Waymo ha lanciato il suo servizio di ride-hailing basato su AV in Arizona, negli Stati Uniti, nella seconda metà del 2020, sconfiggendo il suo concorrente più vicino, GM.

Global Motors, analogamente, prevede di promuovere un servizio di ride-hailing autonomo basato sulla Chevrolet Bolt nella seconda metà del prossimo anno. Le due aziende stanno per raggiungere gli obiettivi di business prefissati attraverso la capacità di sviluppo indipendente e le partnership strategiche, e sono senza dubbio leader del settore.

Fiat Chrysler, Daimler, Audi, Nissan e BMW, con le loro chiare strategie di business, hanno dimostrato capacità di guida quasi autonoma e sono leader del settore. Rispetto ai leader GM e Waymo, le altre aziende come Ford, Volvo, Peugeot Citroen, Volkswagen, Tesla e Uber non hanno le giuste partnership, gli investimenti o la fiducia dei consumatori, stanno quindi affrontando progressi lenti nello sviluppo e sono veloci inseguitori nel campo della guida autonoma.

Toyota, Jaguar Land Rover, Honda, Hyundai, Baidu e BAIC sono relativamente conservatori e non hanno modelli di business chiari e coerenti, sufficienti prove su strada pubbliche, abbastanza partner e investimenti, e sono seguaci nel campo della guida autonoma.

Tuttavia, negli ultimi tempi, Jaguar e Waymo hanno forgiato la cooperazione, e anche Honda sta discutendo la cooperazione con Waymo. Le posizioni delle due aziende attraverso questa cooperazione possono cambiare significativamente.

Apple, nonostante sia un gigante tecnologico, è un ritardatario e un lento seguace della guida autonoma.

3.3.7 Cinque fattori per mantenere la competitività

In una situazione di concorrenza in costante cambiamento, come dovrebbero le aziende sviluppare o mantenere i vantaggi competitivi?

In generale, le aziende possono sviluppare o mantenere vantaggi competitivi su 5 fattori: tecnologia, tempi di mercato, esperienza del cliente, marchio e dati. A breve termine, la selezione del modello di business avrà un impatto diretto sulla competitività tecnologica dell'impresa. Lo sviluppo completamente indipendente della tecnologia di guida autonoma dedicata è il fattore di differenziazione più critico. Se il sistema di guida autonoma sviluppato in-house è più avanzato dei sistemi di altre aziende, esso avrà naturalmente forti vantaggi competitivi. Se non c'è alcuno sviluppo interno, ma un acquisto diretto di un sistema universale di guida autonoma senza diritti di proprietà intellettuale, questo non porterà alcun vantaggio tecnico significativo. Non sarà sufficiente ottenere il mercato per primo, anche se sarà una buona posizione per investire di più e continuare a innovare più velocemente dei concorrenti. Nel lungo periodo, i sistemi di guida autonoma alla fine saranno mercificati, e allora sarà difficile migliorare i vantaggi competitivi attraverso le tecnologie.

Quando le condizioni tecniche chiave saranno uguali o simili, una soluzione che consideri gli attributi e i bisogni fondamentali dell'uomo e fornisca un'esperienza di guida personalizzata diventerà la chiave per la differenziazione. Il valore di un veicolo rispetto a un altro sarà differenziato in base alla convenienza, al comfort e ai servizi personalizzati forniti ai passeggeri, e le aziende che forniscono ai consumatori un alto livello di servizio e sono in grado di combinare domanda e offerta creeranno probabilmente il massimo valore e profitto.

La costruzione del marchio e la segmentazione del mercato rimangono importanti. I servizi Uber black, Uber pool e UberX sono disponibili anche nel campo dei servizi di mobilità per diversi segmenti di mercato. Di conseguenza, i marchi premium hanno mercati specifici in termini di mobilità come servizio (Maas) e veicoli autonomi privati per i ricchi. In futuro, le aziende dovranno affrontare mercati diversi, richieste diverse e gruppi di clienti completamente

diversi. I player che avranno capacità di fornire le situazioni necessarie ai diversi segmenti di mercato avranno vantaggi competitivi.

Nel segmento dei veicoli intelligenti, i dati si evolveranno fino a diventare un fattore chiave per la sopravvivenza delle imprese. In futuro, infatti, i dati diventeranno un importante mezzo di produzione, e le imprese con dati fondamentali avranno vantaggi competitivi.

CAPITOLO 4 – I SERVIZI DI MOBILITÀ

4.1 Sistemi dinamici di trasporto e il ride-sharing

A livello globale, i sistemi di trasporto sono diventati fortemente dipendenti dalle automobili di proprietà privata. Diversi studi di economisti hanno identificato il processo attraverso il quale alti livelli di dipendenza automobilistica sono creati da una crescita dipendente dal percorso attuata da meccanismi di feedback positivi (Unruh, 2000; Cowan e Hultén, 1996; Briggs et al., 2015). In particolare, l'automobile è stata identificata come il motore chiave di un esodo di massa degli abitanti delle città dal centro città verso le aree suburbane. Tali luoghi remoti a bassa densità hanno reso i sistemi di trasporto pubblico sempre più costosi e l'auto privata sempre più necessaria. Nelle aree urbane dallo spazio limitato, la conseguente congestione automobilistica ha creato un'intensa competizione tra i sistemi di trasporto pubblico e privato. Mentre la ferrovia pesante si presenta come il mezzo più efficace per gestire la congestione del centro città, il suo costo crescente è diventato una grande barriera alla sua estensione in una soluzione globale.

Ci sono stati diversi sforzi, anche nel secolo scorso, per ideare forme ibride di transito rapido (PRT) più personalizzate che potrebbero fornire una seria concorrenza all'automobile privata (Papilloud, 2018; Brunello, 2018; Lichtenberg et al., 2009; Ponsford, 2006).

I problemi però causati dalla tecnologia non molto evoluta dell'epoca e delle normative non specializzate hanno rallentato i progetti fino a farli terminare, ma oggi la situazione è cambiata.

La ricerca attuale indica che con l'avvento dell'elettronica moderna, i sistemi di progettazione PRT su binari potrebbero funzionare in modo sicuro a intervalli di mezzo secondo e possibilmente raggiungere una capacità di trasporto di 10.000 passeggeri all'ora.

Come forma alternativa di trasporto di massa, lo svantaggio chiave del PRT è stato che tipicamente ospita meno passeggeri di un treno, una ferrovia leggera e spesso meno di un autobus. La ferrovia leggera (cioè i sistemi metropolitani) può e i sistemi di bus rapid transit dedicati possono spostare circa 15.000 passeggeri all'ora, i tram in genere ne spostano fino a 7500 e la ferrovia pesante 50.000 (MacKechnie, 2018). Per compensare i suoi vincoli di volume, i sistemi PRT hanno bisogno di offrire una, o una combinazione delle seguenti cose: velocità medie più elevate, percorsi diversificati più convenienti e headway più brevi (separazione temporale tra i pod durante il platooning). Gli studi hanno indicato che con headway di due secondi e veicoli a quattro persone, una singola linea PRT può raggiungere una

capacità massima teorica di 7200 passeggeri all'ora (Railsystem, 2018). Tuttavia, le critiche dei sistemi PRT su binari possono essere suddivise in diverse questioni di costo e di efficienza temporale. In primo luogo, essendo su binari fissi il sistema ha costi di installazione relativamente alti.

Una soluzione parziale per ridurre l'eccessiva impronta urbana dei veicoli di proprietà privata è l'avvento del car sharing che ha avuto le sue origini circa 65 anni fa (Shaheen e Cohen, 2007). Tuttavia, la sua popolarità ha avuto un'accelerazione relativamente recente a causa della maggiore convenienza creata dalla gestione digitale dei sistemi di condivisione su internet. Un'indagine del 2010 ha indicato che il carsharing era già operativo in 1100 città in tutto il mondo ed era diventato il mezzo di trasporto principale di oltre 1 milione di persone (Kent e Dowling, 2014). Nel 2015 le stime indicavano il numero totale di utenti in tutto il mondo a 5,8 milioni (Harrington, 2018). Tuttavia, il carsharing è ancora solo una piccola parte del mercato del trasporto privato basato sulle automobili ed è sempre più considerato un sistema di transizione piuttosto che una "killer app".

Ciononostante, l'uso di DRS per facilitare il car sharing si è rivelato un mezzo altamente conveniente per ridurre la congestione. Una simulazione basata su New York di Alonso-Mora et al. (2017) ha impiegato veicoli con capacità di passeggeri da 2 a 10 passeggeri. Un tipico risultato che simula l'uso di auto in grado di trasportare 4 passeggeri ha mostrato che solo 2000 veicoli - o il 15% dell'attuale flotta di taxi - potrebbero gestire il 98% della domanda con un tempo medio di attesa di 2,8 min e un ritardo medio di viaggio di soli 3,5 min.

C'è, tuttavia, una crescente consapevolezza che con l'avvento degli AV, i SAV adattati a un DRS hanno il potenziale di aumentare notevolmente l'utilità del car sharing. I conducenti di taxi assorbono circa il 40-50% di una tariffa tipica nei paesi sviluppati. I SAV di proprietà pubblica hanno quindi il potenziale per fornire un trasporto radicalmente più economico e prendere il posto di una parte sostanziale delle auto convenzionali di proprietà privata. Kockelman et al. (2016), simulando l'uso dei SAV ad Austin Texas, hanno scoperto che non solo la congestione potrebbe essere sostanzialmente ridotta dal loro uso, ma anche ridurre il costo del servizio di due terzi. Inoltre, un tale sistema ha dimostrato di essere altamente redditizio per i proprietari della flotta (un ritorno del 19% basato su un costo del SAV di \$ 70.000 e una tariffa di \$ 1 per miglio). Altre simulazioni indicano una diffusione molto più ampia dei vantaggi una volta che i SAV sono uniti a forme di trasporto pubblico. Gli studi basati su modelli di scelta (Krueger et al., 2016) indicano che i fattori critici per la propensione ad adottare i SAV sono il costo del viaggio, il tempo di viaggio e il tempo di attesa. Essi diventano ancora più importanti quando le persone si trovano di fronte alla scelta di possedere un AV o di usare solo SAV. Così, Krueger

trova che la disponibilità marginale a pagare per i SAV è notevolmente maggiore quando il DRS è una caratteristica dei SAV.

I vantaggi economici del connubio tra DRS e AV sono stati sostenuti con forza in una serie di studi che si concentrano sui costi di viaggio, sugli incidenti e sui più ampi costi sociali della congestione. Kockelman et al. (2016) hanno stimato che se gli AV (di cui il 10% condivisi) rappresentano il 50% e il 90% della popolazione automobilistica, è probabile una riduzione degli incidenti rispettivamente del 75% e del 90%. Le riduzioni equivalenti della congestione sono indicate rispettivamente al 35% e 50% per le autostrade e al 10% e 15% per le strade secondarie.

Tuttavia, diversi studi hanno indicato la probabilità che i SAV, dato il loro potenziale di ridurre i costi di viaggio e i tassi di incidenti, possano produrre un passaggio da forme di trasporto AV pubblico a privato e portare a un aumento della congestione. Uno studio di Davidson e Spinoulas (2015) indica che gli AV hanno il potenziale di portare ad aumenti molto grandi sia della lunghezza del viaggio che del tempo di viaggio dei residenti urbani. Questo, sottolineano, sarebbe dovuto al grande aumento del comfort associato agli AV in ambienti urbani congestionati. La tendenza a passare dal trasporto pubblico sarebbe ulteriormente rafforzata dall'uso dei SAV e dal loro costo molto più basso - in particolare sotto forma di SAV elettrici condivisi (SEAV). Essi calcolano che un passaggio al 25% di SEAV (livello 3 - cioè, capacità di autonomia completa ma con backup del conducente) potrebbe essere simile all'aumento della congestione dovuto a 5 anni di crescita della popolazione e al 75% di penetrazione EV simile a 15 anni di crescita della popolazione.

Questo perché mentre i veicoli autonomi condividono la strada con le auto a guida manuale, e sono tenuti ad avere un conducente autorizzato in ogni momento, avranno un effetto negativo sulla congestione, sui tempi di viaggio e sulla produttività totale. Questo potrebbe portare a un ciclo di rinforzo, in cui coloro che usano gli AV aumenteranno la congestione per tutti, ma sperimenteranno meno gli impatti; saranno più rilassati nei loro veicoli, e le loro batterie elettriche useranno poca energia quando sono al minimo. La congestione extra sarà sofferta in modo più accurato da coloro che sono in veicoli tradizionali; avranno la frustrazione di condizioni di stop-start più frequenti, e pagheranno il prezzo extra di far funzionare motori mentre aspettano in coda. Questo potrebbe aumentare l'adozione di veicoli autonomi.

L'analisi indica che gli AV, e in particolare i SAV con capacità DRS, potrebbero diventare vittime del loro stesso successo in termini di costi e benefici, andando oltre la sostituzione del trasporto privato e cannibalizzando il trasporto pubblico. Una tale eventualità aumenterebbe sia il numero di veicoli sulla strada che il livello di congestione. In termini di gestione del traffico,

questo apre la prospettiva di un pesante intervento da parte dei governi attraverso limiti legislativi alla concorrenza dei SAV con il trasporto di massa. Una soluzione alternativa e almeno parziale è l'uso della tecnologia sia per sviluppare forme più sofisticate di DRS e/o in combinazione con nuove forme modulari di DRS.

Il primo percorso è stato esplorato in una serie di studi che sviluppano algoritmi che segnalano quando passare dal trasporto su percorso fisso a quello dinamico non fisso (o viceversa) quando la domanda di trasporto cambia (Chien e Schonfeld, 1997; Peeta e Ziliaskopoulos, 2001; Androutsopoulos e Zografos, 2009). Questi studi hanno sviluppato sistemi che indicano come i veicoli di trasporto misti di diversi tipi e dimensioni di veicoli possono essere allocati nel modo più efficace in termini di costi tra diversi servizi di trasporto in momenti diversi. In particolare, aziende come Uber hanno investito molto in sistemi che ottimizzano variamente l'instradamento dinamico, la tariffazione dinamica e i tempi di attesa dinamici.

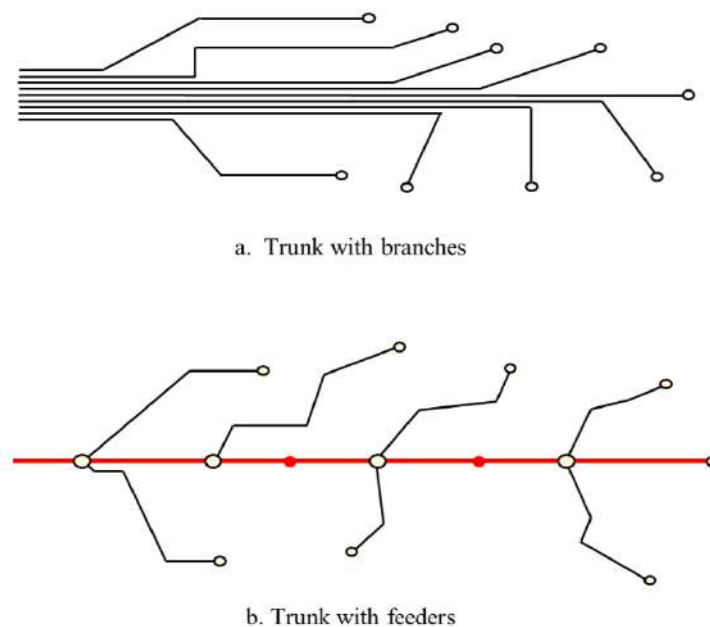
4.2 Sistemi di ridesharing dinamico modulare (MDRS)

Una grande innovazione è in particolare quella in fase di sviluppo dal sistema Next Future Transportation (Next Future Transportation, 2018). Come sistema modulare, fornisce una forma concettualmente nuova di transito con le sue radici nei precedenti sistemi PRT (Personalised Rapid Transit). Tuttavia, differisce fundamentalmente in due aspetti importanti. In primo luogo, il sistema Next non utilizza binari fissi ma piuttosto strade esistenti. In secondo luogo, rispetto al platooning (metodo per collegare i veicoli fisicamente o utilizzando la tecnologia informatica in modo che possano viaggiare vicini in un gruppo, come un modo per risparmiare spazio, carburante o denaro), ha la capacità unica di aumentare e diminuire dinamicamente la sua capacità di trasporto attraverso l'accoppiamento e disaccoppiamento fisico diretto dei pods di trasporto. In questo modo ogni pod può operare indipendentemente come un veicolo di trasporto di 10 passeggeri o fondersi come un veicolo composito - tipicamente come un veicolo di lunghezza bus di 4 pod con una capacità di trasporto di 40 persone. Dato che l'accoppiamento può essere effettuato dinamicamente in movimento, questo permette il trasferimento dei passeggeri ai pod che hanno destinazioni variabili a seconda della domanda.

La flessibilità intrinseca nella dimensione del veicolo permette a un MDRS di essere usato in più ambienti di trasporto. Così, come baccelli singoli o collegati, può essere usato variamente, per il trasporto intra-suburbano o CBD (Central Business District). Ma allo stesso modo, può anche diventare parte del sistema di transito rapido stesso.

Gli attuali sistemi di trasporto in autobus, per esempio, prevedono un certo numero di percorsi separati lungo le principali arterie con diverse destinazioni finali (a nella Fig. 17). In alternativa, le linee di autobus confluiscono in percorsi principali con punti di trasferimento lungo il percorso (b in Fig. 17).

Figura 17: Due differenti sistemi di trasporto



FONTE: Chao (2018)

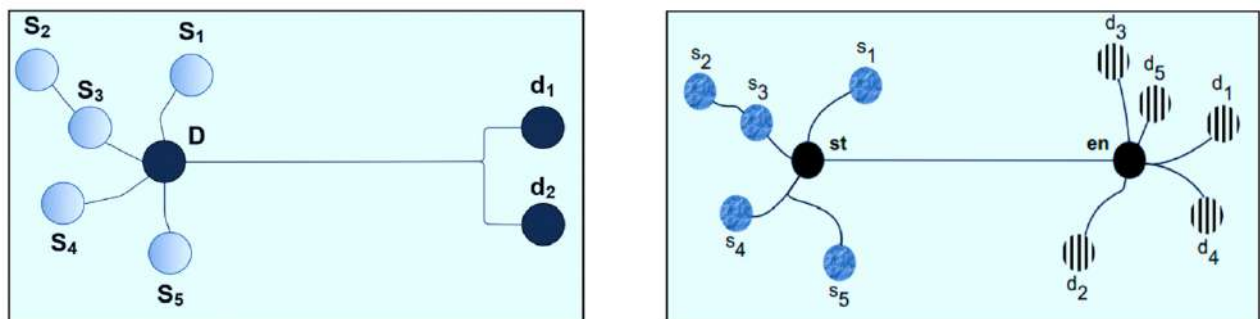
Tuttavia, come nota Chao (2018):

"Virtualmente tutti i principali ed efficienti sistemi di transito che attraggono un gran numero di passeggeri si basano pesantemente su reti di linee ferroviarie tronche e sul transito degli autobus stradali come rete complementare, nonché su linee di alimentazione e distribuzione. La flotta NEXT Future Transportation potrebbe abbinare l'origine e la destinazione dei passeggeri per raggruppare automaticamente i passeggeri e accoppiare il veicolo per offrire zero spostamenti a piedi (porta a porta) o trasferimenti minimi".

La chiave del sistema Next è il suo accoppiamento dinamico che permette ai pod guidati o autonomi di accoppiarsi e disaccoppiarsi secondo il percorso e la domanda. Questo è illustrato

nella Fig. 18 che mostra come origini multiple (da S1 a S5) possono essere servite da bacelli multipli, riaccoppiati come un singolo veicolo al punto D e gestiti come un autobus di transito rapido convenzionale. A una destinazione intermedia i pod sono di nuovo disaccoppiati e viaggiano verso le destinazioni del miglio finale da d1 a d5. Un servizio convenzionale consentirebbe tipicamente un veicolo originale o un trasferimento ad un secondo veicolo (tipicamente della stessa dimensione) per consegnare i passeggeri alle destinazioni non dell'ultimo miglio d1 e d2. Un tale sistema è stato progettato per diventare parte del trasporto rapido di Dubai.

Figura 18: Sistema di trasporto ad accoppiamento dinamico



FONTE: New York University PowerPoint presentation (2018).

Nel modello fornito da Guo et al. (2017) viene valutato l'MTS di Next che comporta la divisione tra due diverse dimensioni del veicolo (cioè, come singolo o come veicolo accoppiato). I risultati complessivi mostrano che un sistema MTS (Modular Transport System) come quello di Next può ridurre i costi fino al 72% rispetto ai sistemi che dipendono da postazioni fisse.

Tale modellazione, tuttavia, non affronta i costi complessivi della modularità in un sistema dominato da percorsi fissi convenzionali serviti da navette di grande capacità. Walker (2015, 2018) si concentra sul problema di quello che lui chiama "microtransit" in cui operano pod individuali (non collegati) che, ovviamente, sono intrinsecamente più costosi data l'assenza di percorsi fissi più brevi e l'uso di veicoli di capacità inferiore e di costo pro capite superiore. Come tale, il costo più elevato può soddisfare le persone benestanti, ma molto meno quelle con mezzi nella media. Inoltre, tali servizi, egli nota, eliminerebbero semplicemente la necessità di camminare (presumibilmente una distanza non irragionevole) fino alle fermate degli autobus a percorso fisso.

Chiaramente, la critica mossa da Walker è sostanzialmente meno valida quando si impiega un sistema di trasporto modulare con la sua capacità di collegare i moduli tra loro e di seguire progressivamente percorsi più fissi e di maggior volume. Inoltre, la modularità crea l'opzione per i clienti che pagano di più di prendere un modulo a basso volume presso o vicino alla loro residenza o per i clienti che vogliono pagare di meno di camminare fino a una fermata fissa e poi usufruire del servizio. Tuttavia, il costo può ancora essere un fattore dato il numero di autisti coinvolti, anche se questo dipende dall'ambiente in cui operano. Nelle città del terzo mondo gli autisti rappresentano molto meno del 40-50% dei costi che rappresentano nei paesi sviluppati. Infatti, città come Jakarta sono infestate da veicoli di microtransito a basso costo. Qui, un sistema modulare fornisce un ulteriore vantaggio, data la sua capacità di evolvere progressivamente in un sistema a percorso fisso di grande capacità senza la necessità di trasferire i passeggeri da una forma all'altra.

Negli ambienti del primo mondo i costi di guida del microtransit sono chiaramente un importante fattore di costo. Tuttavia, ci sono effetti più ampi sia del microtransit che dei sistemi modulari che devono essere presi in considerazione. Nella loro forma più evoluta - autonoma e su richiesta - la combinazione di maggiore convenienza e minore costo può diventare abbastanza grande da portare alla sostituzione dei veicoli di proprietà privata. Specialmente nelle aree urbane ad alta densità, il fattore costo agirà con maggiore forza nello spingere i proprietari di auto private a passare al trasporto modulare condiviso ad alta convenienza. Un ulteriore vantaggio del trasporto modulare non identificato da Walker ma identificato dal CTO DI Next Future Transportation è la capacità di usare moduli disaccoppiati in orari non di punta per percorsi a basso volume che altrimenti sarebbero serviti da grandi veicoli di transito antieconomici o non serviti affatto a causa del costo.

Ad oggi l'impresa possiede prototipi funzionanti in scala reale, mockup, sviluppo e progettazione di software PLM, simulazioni 3D virtuali e CAD, visualizzazione, analisi strutturale e produzione di prototipi.

4.3 NEXT FUTURE TRANSPORTATION

Andando ad analizzare l'azienda più approfonditamente, NEXT Future Transportation è una startup di robotica e AI che sta sviluppando un veicolo modulare, autonomo ed elettrico ("Pod", figura 19) e il sistema operativo di supporto necessario per portare le sue soluzioni di "Transportation-as-a-Service" al mercato del transito comunale e della logistica su scala. (NEXT future Transportation website)

Essa si compone di due fondatori: Tommaso Gecchelin, fisico e designer industriale di Padova, ed Emmanuele Spera, un imprenditore con una vasta esperienza e passione nella sanità, nell'informatica e nei trasporti. Il team è composto da altre 12 persone.

I valori fondamentali in cui si rivede Next sono la sinergia (il potere combinato di un gruppo quando lavora insieme è maggiore del potere totale raggiunto dal singolo), la collaborazione (l'interazione e lo scambio di informazioni, ritenuta la chiave per ottenere risultati senza precedenti), la versatilità (la mobilità deve adattarsi ai bisogni delle persone, non viceversa) e infine la sostenibilità (la qualità di non causare danni all'ambiente e quindi di poter continuare a lungo). (Talk Tommaso Gecchelin, YouTube)

Il servizio di NEXT si rivolge a diversi mercati. Infatti, la flotta di robotaxi può sia servire come mezzo di trasporto per le persone, sia come trasporto di cibo o generi alimentari su richiesta e sia come mezzo di movimento per merci da fabbriche, magazzini, porti a negozi.

Per questo motivo i target di clienti di Next sono i comuni e aziende di trasporto pubblico o privato, interessati a soluzioni di trasporto altamente innovative.

La strategia di business dell'azienda si articola in quattro fasi, dove la prima sarà quella d'implementazione del prodotto con alla guida autisti umani, mentre la seconda vedrà protagoniste operazioni autonome modulari all'interno di campus e fabbriche.

La terza fase, secondo i piani, si svilupperà attorno a operazioni di transito di massa (in modo completamente autonomo) e la quarta ed ultima fase riguarderà servizi specializzati come ristoranti ed unità alberghiere.

L'investimento più importante fino ad ora è stato ricevuto da RTA Dubai (Road and Transport Authority) e supera il milione di dollari.

Tutto nasce infatti nel febbraio 2018, quando NEXT ha presentato ufficialmente la sua soluzione al pubblico durante il World Government Summit di Dubai.

Il WGS è uno degli incontri più importanti al mondo, che riunisce i leader del governo per un dialogo globale sul processo e le politiche governative con un focus sui temi del futurismo,

della tecnologia e dell'innovazione, oltre ad altri argomenti. Il summit agisce come un centro di scambio di conoscenze tra funzionari governativi, leader di pensiero, politici e leader del settore privato, e come una piattaforma di analisi per le tendenze future, i problemi e le opportunità che la società deve affrontare. Il summit ospita oltre 100 relatori da 150 paesi partecipanti e oltre 4000 partecipanti.

NEXT era al centro del WGS, messo in evidenza come l'innovazione principale che cambierà il futuro del trasporto pubblico. L'azienda è stata selezionata da Sua Altezza lo Sceicco Mohammed Al Maktoum (Primo Ministro degli Emirati Arabi Uniti (UAE), e sovrano dell'Emirato di Dubai), e successivamente supportata dalla Dubai Roads and Transport Authority (RTA).

Figura 19: Immagine dei veicoli modulari Next



FONTE: NEXT Future Transportation (2020)

4.4 Progetto BECAM

Il Progetto BECAM (Benchmark of Electric, Connected and Autonomous Mobility) comprende un team di ricercatori internazionali, accumulati da una grande esperienza nell'industria automobilistica e nelle dinamiche dell'innovazione. L'obiettivo di questo progetto è fornire approfondimenti su come gli attori dell'ecosistema di mobilità stiano guidando l'attuale trasformazione della mobilità (verso la sua versione elettrica, connessa ed autonoma), in termini di costi, gestione delle risorse, nonché di processi decisionali.

La metodologia di questa iniziativa sfrutta l'esperienza accumulata dagli attori dell'industria automobilistica globale, indagando su progetti reali con un approccio strutturato a questionario (Appendice A), somministrato agli interpreti chiave come gli OEM, i fornitori Tier 1, gli operatori di mobilità, le principali società tecnologiche ed anche le autorità coinvolte.

Il progetto di ricerca è guidato dal CRG (Center for Management Research) dell'Ecole Polytechnique, che coopera attivamente con:

- Dipartimento Technology & Operations Management (Rotterdam School of Management)
- CAMI (Center for Automotive and Mobility Innovation) dell'Università Ca' Foscari di Venezia
- Manufacturing Management Research Center (MMRC) presso la Facoltà di Economia dell'Università di Tokyo
- National Institute for Innovation Management (NIIM) della Zhejiang University
- School of Business, Hanyang University e Korea Institute of Science e Technology Evaluation and Planning a Seoul, Corea del Sud
- Mack Institute for Innovation Management presso la Wharton School, University of Pennsylvania

4.5 Analisi del questionario

Considerando che gli obiettivi del presente elaborato si ritrovano pienamente con quelli del progetto sopracitato, è stato presentato il questionario al CEO di NEXT Future Transportation, Tommaso Gecchelin.

Di seguito si trovano una descrizione del contenuto del questionario ed un'analisi basata sulle risposte ricevute.

Nella prima sezione si entra in tema di strategie di business, tecnologie abilitanti e poste in gioco finanziarie.

La seconda sezione si concentra sui casi d'uso della mobilità che l'azienda sta conducendo o a cui sta contribuendo, per capire cos'è un ecosistema di mobilità e come funziona.

Nella terza ed ultima sezione si vanno ad indagare quali siano le sfide di gestione e, nonostante le aziende siano di differenti tipologie (first mover/follower, ecc) e siano organizzate in modi diversi (team di ricerca autonomi oppure un aiuto coordinato tra le varie divisioni esistenti), lo studio mira ad andare oltre queste caratteristiche e a stabilire chiaramente archetipi coerenti e modelli associati per affrontare tali situazioni incerte e complesse.

PARTE 1 SERVIZIO E PERFORMANCE

Tommaso descrive NEXT come un “jolly della mobilità”, attribuendogli tre aggettivi quali “elettrico”, “modulare” e “flessibile”. Proprio nella modularità si instaura il suo vantaggio competitivo rispetto alle altre aziende di ride sharing tradizionale, poiché essa è “una caratteristica unica del nostro mezzo e garantisce livelli di efficienza attorno al 75% in termini di traffico generato, costi e consumi.”

La flotta modulare può fungere sia come bus, taxi o auto condivisa per car sharing, ma anche come trasporto di merci (per brevi e lunghi tratti) ed hub di interscambio.

L'azienda si occupa di sviluppare la tecnologia dall'hardware al software del veicolo, incentrando i propri ricavi nella vendita/noleggio del prodotto e nella concessione della licenza di software, mentre i costi vengono identificati in costi di produzione, ricerca e sviluppo e mantenimento della piattaforma software.

Al momento, come già detto in precedenza, la normativa sui veicoli a guida autonoma limita quasi completamente lo sviluppo di tecnologie di livello 4 e 5, questo comporta che fino a che

non ci sarà una svolta da questo punto di vista tutti i veicoli di NEXT dovranno essere guidati da una persona designata che possa intervenire in caso di emergenza.

Tommaso identifica tutti gli attributi proposti che guidano la progettazione dei loro servizi di mobilità come molto importanti, dando il primo posto alla flessibilità (ovvero alla possibilità di dare priorità selettivamente a uno degli attributi proposti in base alla domanda); questo vuol dire che NEXT non sacrifica originariamente nessun attributo per favorirne un altro, ma si dedica totalmente all'ascolto del mercato e delle sue esigenze.

Per quanto riguarda invece i valori che ispirano la progettazione dei loro servizi di mobilità spiccano tra tutti quello di ridurre l'inquinamento atmosferico, il traffico e il restituire l'uso dello spazio pubblico alla popolazione. Questi tre valori vengono richiamati molto anche dallo stesso Tommaso nei numerosi talk a cui ha partecipato.

Per quanto riguarda i fattori chiave abilitanti che permettono lo sviluppo del prodotto spiccano sicuramente le tecnologie e gli standard dei veicoli e l'ottenimento di permessi, mentre di poca rilevanza vengono dichiarate le tecnologie e gli standard standard front/back office e l'integrazione di più tecnologie con diversi livelli di maturità. Per quanto riguarda i colli di bottiglia che inibiscono lo sviluppo della loro iniziativa spiccano nuovamente le tecnologie e gli standard dei veicoli, sullo stesso livello troviamo il numero e l'omogeneità degli stakeholder coinvolti nell'operazione e l'acquisto dei veicoli.

Sfortunatamente alcune domande sono state ritenute confidenziali e per questo non hanno ricevuto risposta.

PARTE 2. ATTORI ED ECOSISTEMA

Nella parte di questionario dedicata agli attori e all'ecosistema ritroviamo che NEXT coopera maggiormente con università, autorità ed istituzioni pubbliche ed assicurazioni. Il partner più importante di NEXT si occupa dell'erogazione del servizio e della produzione del prodotto, ovvero dà un aiuto allo sviluppo della tecnologia, ed è stato scelto per la sua flessibilità nella produzione. Da questo si può evincere che il partner più importante dell'azienda ha competenze simili all'azienda stessa, seppur non del tutto uguali.

Dall'ultima risposta, infine, si evince che la frequenza di interazioni tra le due aziende è alta, vi è infatti uno scambio di informazioni ogni settimana.

PARTE 3. ORGANIZZAZIONE E APPRENDIMENTO

Nella terza parte del questionario dedicata all'organizzazione dell'azienda si può notare come lo scenario su carta è stato effettuato nel 2012. Poi, per quanto riguarda i primi test, si è passati al 2015, ma per arrivare a dei prototipi veri e propri si è dovuti aspettare fino al 2018. Questo fa capire quanto sia impegnativo e laborioso questo lavoro, dal 2018 ci sono stati due anni di test fino al lancio definitivo che avverrà quest'anno nel 2021.

La struttura organizzativa del progetto è una struttura pesante, ovvero un team con un project manager e componenti dedicati prevalentemente al progetto, diversamente da una struttura leggera e da una autonoma, dove nel primo caso troviamo un team dedicato al progetto a tempo parziale e nel secondo un team interamente dedicato al progetto. La struttura pesante del team sta a significare che vi sono altri progetti in ballo per l'azienda. Il manager è una figura senior, quindi ha più di 5 anni di esperienza nel ruolo e risponde direttamente al consiglio di amministrazione (CDA). Il processo di realizzazione del progetto viene diviso in fasi, al termine delle quali bisogna effettuare dei controlli per constatare che tutto stia andando secondo i piani. Questi controlli vengono effettuati una volta al mese. I membri del progetto possono attivare reti esterne di partnership e l'apprendimento trasversale all'interno dell'azienda è favorito dalla presenza di diversi progetti, consentendo così momenti istituzionali di apprendimento trasversale.

Nell'ultima parte del questionario viene dichiarato che il progetto sviluppato da NEXT è nuovo in assoluto, quindi non solo per il settore o per l'impresa, ma per tutti. Le funzioni maggiormente coinvolte nell'azienda sono quelle di ricerca e sviluppo e quella di produzione. I principali ostacoli che riguardano l'acquisizione di competenze per l'azienda sono i vincoli di bilancio, e forse proprio per questo, la strategia di acquisizione delle competenze è quella del learning by doing (“imparare facendo”), sfruttando la realizzazione di prototipi, esperimenti sul campo e molto altro.

Conclusioni:

In questo elaborato, prima è stata fatta una revisione dello stato dell'arte dei robotaxi, discutendo anche le motivazioni che stanno portando la ricerca e l'industria verso soluzioni di trasporto più sostenibili dal punto di vista ambientale e più efficienti in tema di costi e benefici per la comunità. Lo studio discute anche una panoramica tecnologica sui concetti più importanti nelle tecnologie di guida autonoma e sui componenti di elettrificazione. Su questo argomento è stato evidenziato come la tecnologia 5G avrà una grande influenza nello sviluppo della tecnologia di guida autonoma, specialmente per il livello 5 di autonomia, rendendo i robotaxi più connessi, più intelligenti, più sicuri e più veloci, e trasformandoli in veri centri dati mobili con informazioni in tempo reale, non solo per loro ma anche per gli altri veicoli con cui sono connessi (V2V).

Inoltre, è stato affrontato il tema fondamentale delle questioni legislative, che sono considerate molto importanti nella pianificazione dell'uso di veicoli autonomi per un'evoluzione della mobilità ed è emerso che sono una di quelle criticità che sta rallentando lo sviluppo di questa tecnologia.

L'argomento centrale dell'elaborato è il grande cambiamento che il trasporto affronterà nei prossimi anni, e di come questo sia possibile. Si è studiato come gli AV e i DRS (Dynamic ride sharing system) abilitati digitalmente abbiano il potenziale, almeno inizialmente, di fornire risparmi molto sostanziali sui costi e aumenti sulla convenienza. La loro probabile rapida diffusione potrebbe non produrre, tuttavia, riduzioni a lungo termine del traffico complessivo e anzi potrebbe solo aumentarlo. Cioè, l'uso diffuso di SAV e DRS potrebbe semplicemente aumentare l'uso del trasporto individualizzato a spese del trasporto pubblico.

Una potenziale soluzione tecnologica a questo problema è stata individuata in forme di trasporto modulare abilitato da DRS. Un sistema basato sull'MTS (Modular Transport System) come quello di Next Future Transportation ha la capacità di disaccoppiare dinamicamente i veicoli della lunghezza di un autobus in pod individuali che possono poi essere utilizzati su percorsi a bassa densità nei periodi non di punta.

Inoltre, un tale sistema permette un uso molto più efficiente dei veicoli. La capacità di trasporto dei servizi di transito convenzionali, per necessità, è governata dai carichi di picco molto alti per far fronte alla domanda delle ore di punta, di conseguenza gli autobus di grande capacità sono inattivi per la maggior parte del giorno o sono impiegati in modo inefficiente in percorsi

a bassa capacità. Gli MTS permettono una più ampia diffusione di servizi a costi contenuti, serviti da singoli pod nei periodi e negli orari non di punta. Come tali, gli MDRS hanno il potenziale di fornire una forma di trasporto (quasi) pubblico efficace in termini di costi, con la flessibilità di fornire un livello di personalizzazione che prima non era possibile. Per tali caratteristiche, in combinazione con i SAV, potrebbero finalmente fornire una seria concorrenza a quella parte del sistema di trasporto che, per oltre un secolo, è stata dominata dai veicoli automobilistici di proprietà privata.

Essendo il fautore di questa innovazione tecnologica, al founder di Next Future Transportation è stato somministrato un questionario derivato dal progetto Becam, che studia come gli attori dell'ecosistema di mobilità stiano guidando l'attuale trasformazione della mobilità.

Dalle risposte va evidenziato come tra tutti i valori che ispirano la progettazione dei loro servizi di mobilità spiccano quello di ridurre l'inquinamento atmosferico, il traffico e il restituire l'uso dello spazio pubblico alla popolazione, e che il partner più importante dell'azienda si occupa dell'erogazione del servizio e della produzione del prodotto, ovvero dà un aiuto allo sviluppo della tecnologia, ed è stato scelto per la sua flessibilità nella produzione. Il team di ricerca e sviluppo è un team interfunzionale a struttura pesante, che nello sviluppo del progetto ha utilizzato la tecnica dello stage & gate ponendosi le barriere una volta al mese.

Un'espansione di questo studio a nuove aziende proponenti nuovi sistema di mobilità si potrebbero stabilire chiaramente archetipi coerenti e modelli associati per affrontare tali situazioni innovative incerte e complesse.

Al termine di questo elaborato si vuol specificare che nonostante ci siano, naturalmente, ancora delle questioni che stanno rallentando o che non consentano pienamente l'espansione e l'adozione di questa una nuova forma di mobilità *in toto* (problemi tecnici, finanziari, di accettazione e legali), sicuramente il futuro del trasporto sarà autonomo, sostenibile e connesso o non sarà affatto.

A. Abbreviazioni:

AC Corrente alternata
ACC Controllo di crociera adattivo
ADS Sistema di guida autonoma
AI Intelligenza artificiale
API Interfaccia di programmazione dell'applicazione
ASU Unità sensore Apollo
AV Veicolo autonomo
BMS Sistema di gestione della batteria
CAN Controller area network
CFA Matrice di filtri a colori
CMOS Semiconduttore a ossido di metallo complementare
CUDA Architettura di dispositivi unificati di calcolo
DC Corrente diretta
ECU Unità di controllo elettronico
EVSE Apparecchiatura di alimentazione del veicolo elettrico
GNSS Sistema globale di navigazione satellitare
GPS Sistema di posizionamento globale
HD Alta definizione
HMI Interfaccia uomo-macchina
IC-CPD Dispositivo di controllo e protezione del cavo IPC PC industriale (Baidu Apollo)
IT Tecnologia dell'informazione
LIN Rete di interconnessione locale
LRR Radar a lungo raggio
MODT Rilevamento e inseguimento di oggetti multipli
MOST Trasporto di sistema orientato ai media
MRR Radar a medio raggio
ODD Dominio di progettazione operativa
RTK Cinematica in tempo reale
RTOS Sistema operativo in tempo reale
SAE Society of Automotive Engineers
SLAM Localizzazione e mappatura simultanea
SOC Stato di carica
SOH Stato di salute

UN Nazione unita

V2X Vehicle-to-everything

VPN Rete privata virtuale

VR Realtà virtuale

B. Appendice:

L'obiettivo della ricerca:

identificare e caratterizzare nuove iniziative di mobilità elettrica, connessa e autonoma

TEMI DELL'INDAGINE

Quali sono le prestazioni/valori connessi ai nuovi modelli di mobilità? Quali attori e tecnologie abilitanti partecipano a questi processi di apprendimento? Qual è il loro ruolo? Quali sono i risultati ottenuti?

LA PREGHIAMO DI RISPONDERE DOPO AVER SCELTO IL PROGETTO IN CORSO CHE RITIENE PIU' INNOVATIVO E LEGATO ALLA MOBILITA' SOSTENIBILE.

BREVE DESCRIZIONE DEL PROGETTO
(PRODOTTO/SERVIZIO) _____

PARTE 1 SERVIZIO E PERFORMANCE

1. Come definireste in 3 parole il concetto di mobilità che state sviluppando?

[_____
_____]

2. Qual è il vostro contributo a questo servizio di mobilità (competenze, tecnologie, ecc.)?

[_____
_____]

3. Qual è il vostro modello di business (value proposition, fattori critici di successo, principali ricavi e costi)?

[Value proposition _____
_____]

[Fattori critici _____
_____]

[Ricavi _____
_____]

[Costi _____
_____]

4. Su quale livello di automazione, in una scala 0-5 sotto definita, vi state focalizzando maggiormente nel vostro modello di business? _____

Livello 0: Nessuna automazione.

Livello 1: Guida assistita.

Livello 2: Automazione parziale. Il sistema assicura il controllo per un certo tempo o in situazioni particolari.

Livello 3: Automazione condizionata: Come al livello 2, ma il sistema assicura un maggior controllo e il guidatore deve poter riprendere il controllo del mezzo su segnalazione del sistema.

Livello 4: Automazione elevata: Il veicolo è in grado di gestire in modo automatico tutte le situazioni. Prima della disattivazione il conducente viene esortato a riprendere la guida e se non lo fa il veicolo si mette nella situazione di minor rischio (ad es. arresto sulla corsia di emergenza).

Livello 5: Automazione totale.

5. Quali possono essere i principali problemi e vincoli del servizio di mobilità che intendete offrire in una situazione di viabilità mista? (Veicoli a guida autonoma e non)
- [_____]

6. Qual è il vantaggio competitivo che avete rispetto alle altre aziende presenti nei molteplici business case nel settore della mobilità? (Auto privata autonoma, ride-sharing ...)

[_____]

7. Quali sono gli attributi della mobilità che guidano la progettazione dei vostri servizi? Utilizzare una scala nella quale 1=poco e 5=molto

- Comfort [_____]
- Sicurezza [_____]
- Riduzione del tempo di viaggio [_____]
- Valorizzazione del tempo libero [_____]
- Accessibilità [_____]
- Costo [_____]
- Affidabilità del servizio [_____]
- Altro: _____ [_____]

8. Quali sono i valori che ispirano la progettazione dei vostri servizi di mobilità? Utilizzare una scala nella quale 1=poco e 5=molto

- Riduzione dell'inquinamento atmosferico [_____]
- Riduzione del traffico [_____]
- Riduzione delle vittime/morti [_____]
- Riduzione dell'inquinamento acustico [_____]
- Aumento della portata (di passeggeri, merci...) [_____]
- Ottimizzazione degli investimenti [_____]
- Restituire l'uso dello spazio pubblico agli abitanti [_____]
- Inclusione sociale [_____]
- Miglioramento qualità della vita [_____]
- Altro: _____ [_____]

9. Quali sono i fattori chiave abilitanti che permettono lo sviluppo del vostro prodotto/servizio e quali invece i colli di bottiglia/rischi che inibiscono la vostra iniziativa?

Utilizzare scala nella quale 1=poco e 5=molto;

B = Fattori chiave abilitanti; **E** = Colli di bottiglia/rischi. Un fattore può essere contrassegnato sia come B sia come E.

Per quanto riguarda la *maturità delle tecnologie e degli standard*:

- Tecnologie e standard dei veicoli [____] **B**
E
- Tecnologie e standard dei processi di produzione/progettazione [____] **B**
E
- Tecnologie e standard front office [____] **B**
E
- Tecnologie e standard back office [____] **B**
E
- Altro: _____ [____] **B**
E

Per quanto riguarda la *complessità del sistema/piattaforma*:

- L'integrazione di più tecnologie con diversi livelli di maturità [____] **B**
E
- La complessità dei veicoli utilizzati nel sistema di mobilità [____] **B**
E
- L'impatto sull'infrastruttura esistente [____] **B**
E
- Il numero degli stakeholder coinvolti nell'operazione [____] **B**
E
- L'omogeneità degli stakeholder coinvolti nell'operazione [____] **B**
E
- Lo sforzo/dispensio nella formazione interna [____] **B**
E
- Lo sforzo nella formazione dei clienti [____] **B**
E
- L'ottenimento di permessi [____] **B**
E
- Lo sviluppo di smart roads [____] **B**
E
- Altro: _____ [____] **B**
E

Per quanto riguarda i *costi di investimento*:

- L'acquisto dei veicoli [____] **B**
E
- La creazione di nuovi impianti o infrastrutture (impianti di ricarica, Hub..) [____] **B**
E
- La modifica di infrastrutture esistenti [____] **B**
E
- Le licenze delle tecnologie [____] **B**
E
- Lo sforzo nella formazione [____] **B**
E
- Altro: _____ [____] **B**
E

PARTE 2. ATTORI ED ECOSISTEMA

10. Quali sono i principali partner con cui cooperare in questa iniziativa? Indicare per i partner con cui collaborate l'ordine di importanza da 10= molto importante, in giù.

- Carmaker [_____]
- Fornitore di livello 1 [_____]
- Fornitore di tecnologia [_____]
- Azienda IS / IT [_____]
- Fornitore di servizi [_____]
- Azienda manifatturiera (es. pneumatici) [_____]
- Università [_____]
- Operatore di mobilità [_____]
- Autorità pubblica [_____]
- Subappaltatore di ingegneria [_____]
- Impresa di costruzioni [_____]
- Assicurazioni [_____]
- Istituzioni pubbliche [_____]
- Altro: _____

11. Fasi del progetto in cui si innesta la cooperazione con il partner più importante (indicare le risposte corrette):

- Studio a monte
- Sviluppo della conoscenza
- Sviluppo della tecnologia
- Sviluppo del business
- Erogazione del servizio/produzione del prodotto
- Altro: _____

12. Scopo/i della cooperazione con il partner più importante (indicare le risposte corrette):

- Sviluppo della tecnologia di prodotto/servizio
- Sviluppo della tecnologia di processo
- Sviluppo di una piattaforma di servizi complementari
- Consulenza per la tecnologia o piattaforma (Quale tecnologia o sistema o piattaforma?)
- Sviluppo del business model
- Sviluppo della catena del valore
- Altro: _____

13. Aspettative generate da questa cooperazione (indicare le risposte corrette):

- Sviluppo di conoscenza o competenza
- Acquisire una tecnologia o allearsi nello sviluppo tecnologico
- Vendite di un prodotto o un servizio
- Cooperazione nell'erogazione/produzione (produzione, vendite, servizi di mobilità, ...)
- Altro: _____

14. Ragioni per stabilire una cooperazione con questo partner (indicare le risposte corrette):

- Precedente esperienza positiva di collaborazione
- Migliori competenze tecnologiche
- Migliori competenze organizzative
- Flessibilità nella produzione
- Importanza strategica del campo della sperimentazione
- Su iniziativa del partner

- Altro: _____

15. Calendario della cooperazione:

Data di inizio _____, data di fine pianificata _____, data di fine reale _____.

16. Tipo di alleanza siglate con il partner più importante:

- Accordo di cooperazione
- Progetto collaborativo
- Joint venture
- Memorandum of understanding (*un documento che registra i dettagli di un accordo tra due aziende o organizzazioni, che non è stato ancora approvato legalmente)
- Informale
- Accordo di fornitura
- Contratto di rete
- Altro: _____

17. L'accesso a brevetti è rilevante per la scelta dei partner? Utilizzando una scala 1-5, dove 1= poco e 5= molto. _____

18. Modalità di coordinamento. Utilizzando una scala 1-5 esprimere quanto si è d'accordo con le seguenti affermazioni, dove 1= poco e 5= molto.

- La gestione della relazione si basa su rapporti informali (ad es., accordi verbali tra imprese) [_____]
- La gestione della relazione si basa su rapporti formali (ad es. contratti/accordi tra i membri della rete) [_____]
- La relazione tra i partner è di lunga data (oltre i 5 anni) [_____]
- Le relazioni hanno richiesto la condivisione di conoscenze tecniche ed operative comuni [_____]
- Nelle vostre partnership è molto importante che siano coerenti la compatibilità strategica degli obiettivi, gli stili imprenditoriali, i comportamenti organizzativi del partner [_____]
- Esiste un piano operativo comune di medio/lungo termine [_____]
- Le relazioni hanno dato vita a strutture organizzative formali congiunte (organo comune, team, task force, comitati, ecc.) [_____]
- I partner si sono sempre comportati correttamente durante le negoziazioni [_____]
- Vi sono state spesso situazioni di significativo disaccordo tra i partner [_____]
- Nel complesso, le attività sono ben coordinate [_____]

19. Il partner principale ha competenze diverse e complementari a quelle della vostra azienda o competenze simili?

Utilizzare scala da 1 a 5 dove 1= sempre complementari e 5= sempre simili
[_____]

20. Frequenza delle interazioni con il partner principale:

- Molto bassa (meno di una volta al mese)
- Bassa (una volta al mese)
- Media (due volte al mese)
- Alta (ogni settimana)
- Molto alta (ogni giorno)

PARTE 3. ORGANIZZAZIONE E APPRENDIMENTO

21. Per ognuna delle seguenti fasi del progetto, indicare se è stata realizzata e in che anno.

- Scenario su carta _____
- Simulazione, test virtuali _____
- Mock up (prototipi basati su illustrazioni) e dimostrazioni _____
- Prototipi funzionali _____
- Esperimenti sul campo in area riservata / protetta _____
- Esperimenti sul campo in area aperta _____
- Lancio _____
- Altro: _____

22. Qual è la struttura organizzativa del progetto?

- Team di progetto specifico dedicato (team dedicato a tempo pieno al progetto e con project manager)
- Struttura leggera (team con project manager e con membri dedicati al progetto a tempo parziale)
- Struttura pesante (team con project manager e componenti dedicati prevalentemente al progetto)
- Struttura funzionale (non esiste un project manager e i componenti delle funzioni lavorano al progetto a tempo parziale)
- Altro: _____

23. Per quanto riguarda le competenze del progetto e l'anzianità dei manager indichi le risposte corrette:

- Il manager è una figura senior (più di 5 anni di esperienza nel ruolo)
- Il manager è una figura junior (meno di 5 anni di esperienza nel ruolo)
- Il team è fatto da membri che hanno già lavorato insieme ad altri progetti
- Il team comprende prevalentemente membri senior (con pregressa esperienza nel ruolo di almeno 5 anni)
- Il team è interfunzionale e copre le seguenti aree (es. marketing, produzione, ecc.): _____

24. Il manager di progetto a chi risponde?

- Consiglio di amministrazione
- Divisione prodotti e pianificazione
- Ricerca e Sviluppo
- Altro: _____

25. Periodicità dei controlli sui risultati (go / no go o stage and gate):

- Una volta l'anno
- Ogni 6 mesi
- 4 volte l'anno
- Una volta al mese
- Altro: _____

26. L'apprendimento trasversale all'interno dell'azienda è favorito da (indicare le risposte corrette):

- Una divisione dedicata alle iniziative di mobilità (precisare il budget)
- Presenza di un unico team dedicato alle nuove iniziative di mobilità

- Presenza di vari progetti con momenti istituzionali di apprendimento trasversale
- Altro: _____

27. Per quanto riguarda la gestione della rete esterna di partner (indicare le risposte corrette):

- Il progetto è integrato in un'iniziativa esterna, ad esempio in un progetto europeo finanziato (specificare) _____
- Collaboratori esterni fanno parte del team
- I membri del progetto possono attivare reti esterne
- Altro: _____

28. Investimenti fatti in processi di apprendimento trasversali.

Per ogni anno indicare OPEX (spesa operativa = costo necessario per gestire un prodotto, business o sistema) e CAPEX (spesa di capitale = costo per sviluppare o fornire asset durevoli per il prodotto o il sistema).

1. Budget OPEX del progetto (in milioni di € / globale e annuale)

[_____]

2. Budget CAPEX del progetto (in milioni di € / globale e annuale)

[_____]

29. Livello di novità del progetto (indicare le risposte corrette):

- Nuovo in assoluto
- Nuovo rispetto settore
- Nuovo per l'impresa
- Acquisizione di nuove competenze molto significative
- Acquisizione di competenze significative
- Il solito business
- Altro: _____

30. Funzioni maggiormente coinvolte (indicare le risposte corrette):

- Ricerca e sviluppo
- Pianificazione strategica
- Marketing
- Acquisti
- Produzione
- Vendite
- Post-vendita
- Logistica
- Approvvigionamenti
- Risorse umane
- Altro: _____

31. Strategia di acquisizione delle competenze (indicare le risposte corrette):

- Formazione dei dipendenti
- Assunzione di dipendenti
- Cooperazione
- Learning by doing (prototipi, esperimenti sul campo, altro)

- Nessuna
- Altro: _____

32. Principali ostacoli che riguardano l'acquisizione di competenze (indicare le risposte corrette):

- Competenze non disponibili
- Vincoli di bilancio
- Inerzia aziendale
- Nessuno
- Altro: _____

C. Main Player

NAVYA

Navya è un'azienda francese leader nei sistemi di guida autonoma. Con 280 dipendenti in Francia (Parigi e Lione) e negli Stati Uniti (Michigan), Navya mira a diventare l'attore principale per la fornitura di sistemi di guida autonoma per il trasporto passeggeri e merci. Dal 2015, Navya è stata la prima a commercializzare e mettere in servizio soluzioni di mobilità autonoma. L'Autonom® Shuttle, principale asse di sviluppo, è stato lanciato nel settembre 2015 e quasi 160 unità sono state vendute al 31 dicembre 2019, in particolare negli Stati Uniti, in Francia, Germania, Svizzera, Giappone e Australia. L'Autonom® Tract è dedicato al trasporto merci. Creata nel 2014 con il sostegno di Robolution Capital, fondo d'investimento gestito da 360 Capital Partners, suo azionista di riferimento, tra gli azionisti di Navya figurano anche il fondo Gravitation e il Paris Region Venture Fund (Région Île-de-France) gestito da Cap Decisif Management, nonché i gruppi Valeo e Keolis. Navya è quotata sul mercato regolamentato Euronext di Parigi.

EASYMILE

EasyMile è un pioniere nella tecnologia senza conducente e nelle soluzioni di mobilità intelligente.

La start-up in rapida crescita sviluppa software per automatizzare le piattaforme di trasporto senza la necessità di infrastrutture dedicate. La tecnologia all'avanguardia di EasyMile sta rivoluzionando il trasporto di passeggeri e merci, offrendo opzioni di mobilità completamente nuove. Ha già implementato oltre 210 progetti senza conducente con più di 320.000 persone trasportate su 250.000 km. I clienti includono i più grandi operatori di trasporto del mondo, autorità cittadine, aeroporti, aziende, parchi commerciali e università.

Fondata nel 2014, EasyMile ha una presenza globale con sede centrale a Tolosa (Francia) e uffici regionali a Denver (USA), Berlino (Germania), Melbourne (Australia) e Singapore. L'azienda impiega oltre 140 dipendenti altamente qualificati e appassionati, specializzati in robotica, visione artificiale e dinamica dei veicoli.

Oltre ai due fondatori, il CEO Gilbert Gagnaire e il membro del consiglio di amministrazione Philippe Ligier, EasyMile beneficia del sostegno di azionisti di minoranza e di partner strategici, Alstom, Continental e Bpifrance.

BAIDU

Baidu è uno dei motori di ricerca più popolari e una delle più grandi compagnie internet nel mondo. Al momento, Baidu è il primo motore di ricerca internet in Cina e controlla oltre il 75% della quota di mercato cinese. È paragonabile a Google in quanto l'azienda fornisce una vasta gamma di servizi, in particolare servizi legati a internet e AI. L'azienda ha anche divisioni per auto a guida autonoma, mappe, ricerca di immagini e servizi cloud.

Il gigante della ricerca cinese è la sesta azienda a ricevere un permesso di test completamente autonomo dal Dipartimento dei veicoli a motore dello stato (gli altri sono Cruise, Waymo, Nuro, Zoox e AutoX). Attualmente, 60 aziende hanno un permesso attivo per testare veicoli autonomi con un pilota di sicurezza in California. A settembre 2020, l'azienda ha dimostrato i suoi veicoli completamente autonomi di livello 4 alla sua conferenza degli sviluppatori, Baidu World.

L'azienda, inoltre, ha recentemente annunciato piani per realizzare veicoli elettrici con l'aiuto di Geely, la più grande casa automobilistica privata del paese e la società madre di Volvo. In particolare, Baidu e Geely sono in trattative per utilizzare la piattaforma scalabile di veicoli elettrici di quest'ultima che ha annunciato alla fine dello scorso anno. Ma Baidu possiederà una quota di maggioranza nella nuova società e quindi controllerà la sua direzione.

BIBLIOGRAFIA:

- A. Perallos, U. Hernandez-Jayo, E. Onieva, I.J.G. Zuazola (Eds.), *Intelligent Transport Systems: Technologies and Applications*, John Wiley & Sons, New York, 2015.
- A.H. Alavi, P. Jiao, W.G. Buttlar, N. Lajnef, *Measurement* 129 (2018) 589–606.
- Aditya Ambadipud; *Gauging the disruptive power of robo-taxis in autonomous driving*; McKinsey & Company (2017)
- *Advanced Driver Assistance (ADAS) Solutions Guide* Ti.com/adas 2015. Available online: <https://uk.farnell.com/wcsstore/ExtendedSitesCatalogAssetStore/cms/asset/images/urope/common/applications/automotive/pdf/ti-adas-solution-guide.pdf> (accessed on 12 March 2021).
- Ahmed, S.; Huda, M.N.; Rajbhandari, S.; Saha, C.; Elshaw, M.; Kanarachos, S. *Pedestrian and Cyclist Detection and Intent Estimation for Autonomous Vehicles: A Survey*. *Appl. Sci.* 2019, 9, 2335.
- Alonso-Mora, J., Samaranayake, S., Wallar, A., Frazzoli, E., Rus, D., 2017. *On-demand high-capacity ride-sharing via dynamic trip-vehicle assignment*. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 114 (3), 462–467.
- Andrea Pompigna , Raffaele Mauro; *Smart roads: A state of the art of highways innovations in the Smart Age* (2020)
- Androutsopoulos, K.N., Zografos, K.G., 2009. *Solving the multi-criteria time-dependent routing and scheduling problem in a multimodal fixed scheduled network*. *European J. Oper. Res.* 192 (1), 18–28.
- Antonio Bucchiarone , Associate Member, IEEE, Sandro Battisti , Annapaola Marconi , Roberto Maldacea, and Diego Cardona Ponce; *Autonomous Shuttle-as-a-Service (ASaaS): Challenges, Opportunities, and Social Implications* (2021) *IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS*, VOL. 22, NO. 6, JUNE 2021
- B. M Joerss, F. Neuhaus, and J. Schroder. *How customer demands are reshaping last-mile delivery*. <https://www.mckinsey.com/industries/travel-transport-and-logistics/our-insights/how-customer-demands-are-reshaping-last-mile-delivery>. *The McKinsey Quarterly*, 17, 1–5, 2016.
- Badwal, S.P.; Giddey, S.S.; Munnings, C.; Bhatt, A.I.; Hollenkamp, A.F. *Emerging electrochemical energy*
- *BakerMcKenzieGlobalDriverlessVehicleSurvey*. Available online: <https://www.bakermckenzie.com/-/me>
- Bishop, R. *Intelligent Vehicle Technology and Trends*; Artech House: Norwood, MA, USA, 2005; pp. 7–24.
- Briggs, M., Webb, J., Wilson, C., 2015. *Automotive Modal Lock-in: The role of path dependence and large socio-economic regimes in market failure*. *Econ. Anal. Policy* 45, 58–68.
- British Standards Institute. PAS 181, 2014.
- Brunello, L.R., 2018. *Access Transit Strategies*. In: *High Speed Rail and Access Transit Networks*, Springer, Cham, pp. 75–101.

- Calin Iclodean, Nicolae Cordos and Bogdan Ovidiu Varga; Autonomous Shuttle Bus for Public Transportation: A Review (2020); *Energies* (2020)
- Chehria, A.; Mouftah, H.T. Autonomous vehicles in the sustainable cities
- Chen, Y.; Yu, H.; Graaf, R.; Wang, X.; Wan, J. Robust vehicle longitudinal motion control subject to in-wheel-motor driving torque variations. In *Proceedings of the 2017 American Control Conference (ACC)*,
- Chien, S., Schonfeld, P.M., 1997. Optimizing of grid transit system in heterogeneous urban environment. *J. Transp. Eng.* 123, 28–35.
- Conversion and storage technologies. *Front. Chem.* 2014, 2, 79. Sandén, B.; Wallgren, P. *Systems Perspectives on Electromobility*; Chalmers University of Technology: Goteborg, Sweden, 2014.
- Cowan, R., Hultén, S., 1996. Escaping lock-in: the case of the electric vehicle. *Technol. Forecast. Soc. Change* 53 (1), 61–80.
- D. Miller, *Natural Language: The User Interface for the Fourth Industrial Revolution*, Opus Research, San Francisco, 2016.
- Davidson, P., Spinoulas, A., 2015. Autonomous vehicles: what could this mean for the future of transport. In: *Proceedings of the Australian Institute of Traffic Planning and Management (AITPM) National Conference*, June, Brisbane, Australia.
- Dominic Stead and Bhavana Vaddadi. Automated vehicles and how they may affect urban form: A review of recent scenario studies. *Cities*, 92:125 – 133, 2019.
- *Energies* 2020, 13, 2917 45 of 45
- EU Commission. *A European Strategy for Low-Emission Mobility*; Technical Report 2016; EU Commission: Brussels, Belgium, 2016.
- EURLex. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0283>
- European Commission. Directorate-General for Research and Innovation. *Electrification of the Transport System—Studies and Reports*; European Commission: Brussels, Belgium, 2017.
- European commission: *RECENT ADVANCES IN SOFTWARE, SENSORS AND COMPUTATION PLATFORMS USED IN AUTONOMOUS VEHICLES, A SURVEY* (2020)
- European Union. *EU Transport in Figures, 2017*; Publications Office of the European Union: Luxembourg, 2017.
- Fatnassi, E., Chebbi, O., Siala, J.C., 2013. Two strategies for real time empty vehicle redistribution for the personal rapid transit system. In: *Intelligent Transportation Systems-(ITSC), 2013 16th International IEEE Conference on*, October. IEEE, pp. 1888–1893.
- Fuquan Zhao, Hong Tan, Zongwei Liu; *Analysis of the Business Models of the Intelligent and Connected Vehicle Industry* (2020); *MATEC Web of Conferences* 325, 04002 (2020)
- Guo, Q.W., Chow, J.Y., Schonfeld, P., 2017. Stochastic dynamic switching in fixed and flexible transit services as market entry-exit real options. *Transp. Res. C.*
- H. Zhao, Wu D, in: L. Sun (Ed.), *New Frontiers in Road and Airport Engineering*, ASCE, Reston, 2015, pp. 204–218.
- Harrington, C., 2018. Automakers are making car ownership optional. *Transportation* (May), <https://www.wired.com/story/automakers-subscription-car-ownership-optional/>.
- Herrmann, A.; Brenner, W.; Stadler, R. *Autonomous Driving: How the Driverless Revolution will Change the World*; Emerald Publishing Limited: Bingley, UK, 2018; pp. 141–150.

- How 5G Will Influence Autonomous Driving Systems, White Paper. Available online: <https://www.keysight>
- Im, J.-H.; Im, S.-H.; Jee, G.-I. Extended Line Map-Based Precise Vehicle Localization Using 3D LIDAR. *Sensors* 2018, 18, 3179.
- Isa, K.B.; Jantan, A.B. An Autonomous Vehicle Driving Control System. *Int. J. Eng. Educ.* 2005, 21, 855–866.
- Jaagup Ainsalu et al. State of the Art of Automated Buses; sustainability (2018)
- João Valsecchi Ribeiro de Souza, Adriana Marotti de Mello, and Roberto Marx. When is an innovative urban mobility business model sustainable? a literature review and analysis. *Sustainability*, 11(6), 2019.
- K.M. Rajashekarappa, S.S. In *Computer Networks and Intelligent Computing*.
- Kara Kockelman et al. Implications of Connected and Automated Vehicles on the Safety and Operations of Roadway Networks: A Final Report; Center for Transportation Research (2016)
- Kent, J., Dowling, R., 2014. 1000 cars and no garage – why car sharing works. <https://theconversation.com/1-000-cars-and-no-garage-why-car-sharing-works-31179>.
- Kerry Taylor-Smith, B.Sc. (Hons) What is a LiDAR Sensor? Azosensor (2019) available at: <https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=1110>
- Kirk, B. Business Opportunities in Automated Vehicles; NRC Research Press: Ottawa, ON, Canada, 2016.
- Kockelman, K., Avery, P., Bansal, P., Boyles, S.D., Bujanovic, P., Choudhary, T., Clements, L., Domnenko, G., Fagnant, D., Helsel, J., Hutchinson, R., 2016. Implications of connected and automated vehicles on the safety and operations of roadway networks: A final report (No. FHWA/TX-16/0-6849-1).
- Krueger, R., Rashidi, T.H., Rose, J.M., 2016. Preferences for shared autonomous vehicles. *Transp. Res. C* 69, 343–355.
- L. Papadopoulou, T.A. Maniou, In *Encyclopedia of Information Science and Technology*, Fifth Edition; Khosrow-Pour, M., Ed.; IGI Global: Hershey, 2021; Chap. 78, pp. 1130–1139.
- Lee, B.; Madland, O.; et al. State of the Art of Automated Buses. *Sustainability* 2018, 10, 3118.
- Lencwe, M.; Chowdhury, S.D.; Olwal, T. Performance studies of lead acid batteries for transport vehicles. In *Proceedings of the 2017 IEEE PES PowerAfrica, Accra, Ghana, 27–30 June 2017*; pp. 528–532.
- Lichtenberg, A., Guimarães, P., Podsiedkowska, H., 2009. Planning for sustainable mobility with personal rapid transit in small European cities. In: *Highway and Urban Environment*. Springer, Dordrecht, pp. 3–14.
- M. Xu, J.M. David, K.S.H. *Int. J. Financial Res.* 9 (2) (2018) 90–95.
- M.S. Obaidat, P. Nicopolitidis, *Smart Cities and Homes: Key Enabling Technologies*, Morgan Kaufmann, Burlington, Massachusetts, 2016.
- MacKechnie, C., 2018. What Is the Passenger Capacity of Different Modes of Transit?.
- Mark LaPedus; Here Comes High-Res Car Radar (2017); semiengineering conductor; available at: <https://semiengineering.com/here-comes-high-res-car-radar/>

- Min, H.; Wu, X.; Cheng, C.; Zhao, X. Kinematic and Dynamic Vehicle Model-Assisted Global Positioning Method for Autonomous Vehicles with Low-Cost GPS/Camera/In-Vehicle Sensors. *Sensors* 2019, 19, 5430.
- Mohd. Hafiz Hasan, Pascal Van Hentenryck; The benefits of autonomous vehicles for community-based trip sharing; *Transportation Research Part C* 124 (2021)
- Next Future Transportation, 2018. Next Future Transportation Inc. Viewed 2018 <http://www.next-future-mobility.com/>.
- Nitta, N.; Wu, F.; Lee, J.T.; Yushin, G. Li-ion battery materials: Present and future. *Mater. Today* 2015, 18, 252–264.
- Odijk, D. Positioning Model. In *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems*; Teunissen, P.J.G., Montenbruck, O., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2017; pp. 606–635.
- Özgüner, Ü.; Acarman, T.; Redmill, K. *Autonomous Ground Vehicles*; Artech House: Norwood, MA, USA, 2011; pp. 193–216.
- Pal et al. RECENT ADVANCES IN SOFTWARE, SENSORS AND COMPUTATION PLATFORMS USED IN AUTONOMOUS VEHICLES, A SURVEY (2019)
- Papilloud, C., 2018. Bruno Latour and Relational Sociology. In: *The Palgrave Handbook of Relational Sociology*. Palgrave Macmillan, Cham, pp. 183–197.
- Peeta, S., Ziliaskopoulos, A.K., 2001. Foundations of dynamic traffic assignment: The past, the present and the future. *Netw. Spat. Econ.* 1 (3–4), 233–265.
- Ponsford, A., 2006. PPT-Personalised Public Transport. An Automated, Hybrid Electric Transport System Offering the Best of All Worlds Whilst Saving This One.
- R. Gordon, *Intelligent Transportation Systems*, Springer, Cham, 2016.
- R.I. Meneguette, R.E. De Grande, A.A. Loureiro, *Intelligent Transport System in Smart Cities*, Springer, Cham, 2018.
- Railsystem (viewed 2018). ‘Personal Rapid Transit’. <http://www.railsystem.net/personal-rapid-transit/>.
- Ryan McCauley; *The 6 Challenges of Autonomous Vehicles and How to Overcome Them; government technology* (2017)
- Sandén, B.; Wallgren, P. *Systems Perspectives on Electromobility*; Chalmers University of Technology: Goteborg, Sweden, 2014.
- Schreurs, M.A.; Steuwer, S.D. Autonomous driving-political, legal, social, and sustainability dimensions. In *Autonomes Fahren*; Springer: Berlin, Germany, 2015; pp. 151–173.
- Shaheen, S.A., Cohen, A.P., 2007. Growth in worldwide carsharing: An international comparison. *Transp. Res. Rec.* 1992 (1), 81–89.
- Smolnicki, P.M.; Sołtys, J. Driverless mobility: The impact on metropolitan spatial structures. *Proced. Eng.* 2016, 161, 2184–2190.
- Tommaso Gecchelin, Jeremy Webb; *Modular dynamic ride-sharing transport systems* (2020) *Economic Analysis and Policy* 61 (2019) 111–117
- Unruh, G.C., 2000. Understanding carbon lock-in. *Energy Policy* 28 (12), 817–830.
- UrbanSense 5G Edge Computing Challenge. Available online: <https://forumvirium.fi/en/> (accessed on 13 May 2021)
- V. Alcácer, V. Cruz-Machado, *Eng. Sci. Technol. Int. J.* 22 (3) (2019) 899–919.

- Walker, J., 2015. Explainer: The Transit Ridership Recipe. Human Transit. <https://humantransit.org/2015/07/mega-explainer-the-ridership-recipe.html>.
- Walker, J., 2018. Is - - -- Microtransit a Sensible Transit Investment? Human Transit. Invest. <https://humantransit.org/2018/02/is-microtransit-a-sensible-transit-investment.html>.
- Wevolver. A Review of Autonomous Vehicle Safety and Regulations. Available online: <https://www.wevolver.com/article/a.review.of.autonomous.vehicle.safety.and.regulations> (accessed on 12 April 2021).
- Winner, H.; Schopper, M. Adaptive cruise control. Handbook of Driver Assistance Systems: Basic Information,
- Wolf, I. The Interaction Between Humans and Autonomous Agents. In Autonomous Driving Technical, Legal and Social Aspects; Maurer, M., Gerdes, J.C., Lenz, B., Eds.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2016; pp. 103–124.
- Zhang, Z.; Pan, H.; Salman, W.; Rasim, Y.; Liu, X.; Wang, C.; Yang, Y.; Li, X. A novel steering system for a Space-Saving 4WS4WD Electric Vehicle: Design, Modeling, and Road Tests (2016)
- Zheng, H.; Yang, S. A trajectory tracking control strategy of 4WIS/4WID electric vehicle with adaptation of driving conditions. Appl. Sci. 2019, 9, 168

SITOGRAFIA:

- Apollo Minibus. Available online: <http://apollo.auto/minibus/index.html> (accessed on 11 April 2021).
- Apolong. Available online: <https://www.pngkey.com/maxpic/u2e6e6i1a9o0q8a9/> (accessed on 18 April 2021).
- Assembly Bill 669/2017. Available online: <https://legiscan.com/CA/text/AB669/2017> (accessed on 18 April 2021).
- Autonomous Technology. Available online: <https://legiscan.com/LA/text/HB1143/id/1415397/Louisiana-2016-Chaptered.pdf> (accessed on 25 April 2021).
- Autonomous Vehicles. Available online: <https://code.dccouncil.us/dc/council/code/titles/50/chapters/23A/> (accessed on 20 April 2021).
- Autonomous Vehicles. Available online: <https://www.ncsl.org/research/transportation/autonomous-vehicles-self-driving-vehicles-enacted-legislation.aspx#enacted> (accessed on 20 April 2021).
- Autonomous Vehicles. Available online: <https://www.sae.org/publications/books/content/pt-158/> (accessed on 30 April 2021)
- Bosch website, available at: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/>
- Budget Bill 3005/2017. Available online: https://nyassembly.gov/2017budget/budget_bills/A3005C.pdf (accessed on 20 April 2021).
- CleanTechnica. Available online: <https://cleantechnica.com/2016/07/29/tesla-google-disagree-lidar-right/> (accessed on 12 April 2021).
- CodedelaRoute. Available online: <https://www.codedelaroute.be/texteslegaux/sections/ar/code-de-la-route> (accessed on 20 April 2021).
- Codice Della Strada. Available online: https://www.edscuola.it/archivio/norme/decreti/dlvo285_92.htm (accessed on 20 April 2021).
- Código Tráfico. Available online: <https://boe.es/legislacion/codigos/codigo.php?id=20&modo=2¬a=0> (accessed on 20 April 2021).
- DGT Instrucción 15/V-113. Available online: <http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/normativa-legislacion/otras-normas/modificaciones/15.V-113-Vehiculos-Conduccion-automatizada.pdf> (accessed on 20 April 2021).
- Directive2007/46/EC. Available online: <https://eurlex.europa.eu/eli/dir/2007/46/oj> (accessed on 20 April 2021).
- EasyMile EZ10. Available online: <https://landtransportguru.net/easymile-ez10/> (accessed on 18 April 2020).
- EasyMile. Available online: <https://easymile.com/solutions-easymile/ez10-autonomous-shuttle-easymile/> (accessed on 20 April 2021).
- EckertSeamansTheAutonomousVehicleLegislativeSurvey. Available online: https://www.eckertseamans.com/app/uploads/PLAC_Eckert_Seamans_AV_Survey-1.pdf (accessed on 20 April 2021).

- Exceptioneel Vervoer. Available online: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0018680/2015-07-01> (accessed on 25 April 2021).
- Förordning 309/2017. Available online: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2017309-om-forsoksverksamhet-med_sfs-2017-309 (accessed on 22 April 2021).
- Gacha Autonomous Shuttle Bus. Available online: <https://sensible4.fi/gacha/> (accessed on 18 May 2021).
- International City/County Management Association, Preparing for Autonomous Vehicles Is a Local Government Reality 2018 available at: https://medium.com/@webanalytics_31234/preparing-for-autonomous-vehicles-is-a-local-government-reality-a81a2b10f0a9 (accessed on 18 May 2021).
- KPMG 2019. Available online: <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/xx/pdf/2019/02/2019-autonomous-vehicles-readiness-index.pdf> (accessed on 20 April 2021).
- Legifrance. Available online: <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2018/4/17/TRER1717820A/jo/texte> (accessed on 20 April 2021).
- Local Motors Lab. Available online: <https://www.theverge.com/2016/6/17/11962776/local-motors-olli-3d-printed-autonomous-bus-photos> (accessed on 18 April 2021).
- Magic. Available online: <https://archive.org/details/magicmotorways00geddrich/page/n9/mode/2up> (accessed on 11 May 2021).
- Meet Olli Local Motors. Available online: <https://localmotors.com/meet-olli/> (accessed on 11 April 2021).
- Navya Autonom Shuttle. Available online: <https://navya.tech/shuttle/> (accessed on 11 April 2021).
- NCSL; Autonomous Vehicles | Self-Driving Vehicles Enacted Legislation (2020)
- NHTSA ADS 2.0. Available online: https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/13069a-ads2_0_090617_v9a_tag.pdf (accessed on 20 April 2021).
- Park Shuttle. Available online: <http://faculty.washington.edu/jbs/itrans/parkshut.htm>
- Regulation (EU) 2016/679. Available online: <https://eurlex.europa.eu/eli/reg/2016/679/oj> (accessed on 20 April 2021).
- Regulation 79/2018 (UN/ECE). Available online: <https://eurlex.europa.eu/eli/reg/2018/1947/oj> (accessed on 20 April 2021).
- SAE International. Available online: https://www.sae.org/standards/content/j3016_201806/ (accessed on 12 May 2021)
- Safer Roads Automated Vehicles. Available online: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/safer-roads-automated-vehicles.pdf> (accessed on 12 April 2021).
- Sensor Fusion. Available online: <http://umich.edu/~umtriswt/PDF/SWT-2017-12.pdf> (accessed on 12 April 2021).

- Smart Road. Available online: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/gu/2018/04/18/90/sg/pdf> (accessed on 15 May 2021).
- Straßenverkehrsgesetz. Available online: <https://www.gesetze-im-internet.de/stvg/BJNR004370909.html> (accessed on 20 April 2021).
- The Autonomous Vehicles Ecosystem; PEAT; available at: <https://www.peatworks.org/futureofwork/av/autonomous-vehicles-ecosystem/>
- TheIllinoisVehicleCode.Availableonline: <http://www.ilga.gov/legislation/publicacts/100/PDF/100-0352.pdf> (accessed on 20 April 2021).
- TI E2E Forums. Available online: https://e2e.ti.com/blogs_/b/behind_the_wheel/archive/2014/09/25/cars-are-becoming-rolling-sensor-platforms (accessed on 12 April 2021).
- TIME Magazine. Available online: <http://content.time.com/time/magazine/0,9263,7601250810,00.html> (accessed on 11 April 2021).
- Transportation Research Board. Available online: <https://trid.trb.org/view/1289421> (accessed on 11 April 2021).
- USStateAbbreviations.Availableonline: <https://www.bu.edu/brand/guidelines/editorial-style/us-state-abbreviations/> (accessed on 20 April 2020).
- Wegenverkeerswet1994.Availableonline: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0006622/2020-01-01>(accessed on 20 April 2021).
- Wired. Available online: <https://www.wired.com/2009/11/autonomous-cars/> (accessed on 11 April 2021).