

# POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in  
Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

**Metodologia per lo sviluppo del dominant design e  
l'analisi del processo di adozione della tecnologia  
della guida autonoma**



**Relatore:**

Prof. Marco Cantamessa

**Candidato:**

Paolo Bonivardo

Anno Accademico 2020/2021

# INDICE

<b>1. TEORIA DEL DOMINANT DESIGN</b> .....	5
<b>1.1 Evoluzione teorica del dominant design</b> .....	5
<b>1.2 Le dinamiche del processo di sviluppo del dominant design</b> .....	11
1.2.1 <i>Le fasi del processo</i> .....	12
1.2.2 <i>I criteri di selezione del dominant design</i> .....	13
1.2.3 <i>I criteri di stabilità del dominant design</i> .....	16
1.2.4 <i>Le difficoltà e gli ostacoli del processo di sviluppo del dominant design</i> .....	17
<b>1.3 La “Fase Fluida”: l’evento “Trigger” e il periodo di “Incubazione”</b> .....	20
1.3.1 <i>L’evento “Trigger”</i> .....	21
1.3.2 <i>Il periodo di “incubazione”</i> .....	22
1.3.3 <i>L’approccio pratico di Gartner: “Hype Cycle”</i> .....	27
<b>2. LA GUIDA AUTONOMA</b> .....	32
<b>2.1 Presentazione della tecnologia: la sua evoluzione nel tempo</b> .....	32
2.1.1 <i>Una lunga era di sperimentazione</i> .....	32
2.1.2 <i>Le DARPA Grand Challenges dell’era moderna</i> .....	33
2.1.3 <i>L’impatto della classificazione di SAE International sullo sviluppo della tecnologia</i> ....	34
<b>2.2 L’attuale momento storico della tecnologia</b> .....	39
<b>2.3 La tecnologia nel dettaglio: caratteristiche dei principali componenti</b> .....	43
2.3.1 <i>Gli “occhi” del veicolo a guida autonoma</i> .....	43
2.3.2 <i>Il “cervello” del veicolo a guida autonoma</i> .....	46
2.3.3 <i>La comunicazione con l’ambiente esterno: la tecnologia V2X</i> .....	51
2.3.4 <i>La mappatura ad alta definizione dell’ambiente</i> .....	53
<b>2.4 Vantaggi della tecnologia e sfide da superare</b> .....	55
2.4.1 <i>I vantaggi della tecnologia della guida autonoma</i> .....	56
2.4.2 <i>Le sfide da superare per il successo della tecnologia</i> .....	59
<b>3. LA METODOLOGIA DI ANALISI</b> .....	64
<b>3.1 L’impatto della tecnologia dal punto di vista dell’utente finale</b> .....	64
3.1.1 <i>La definizione della metodologia</i> .....	64
3.1.2 <i>Analisi dei risultati</i> .....	68
3.1.3 <i>Confronto tra scenario “urbano” ed “extraurbano”</i> .....	70
<b>3.2 Lo sviluppo della tecnologia dal punto di vista del dominant design</b> .....	74
3.2.1 <i>La definizione della metodologia</i> .....	74
3.2.2 <i>Analisi dei risultati</i> .....	76

3.2.3	<i>Valutazione di LiDAR e telecamera in combinazione con il Radar</i> .....	77
<b>3.3</b>	<b>Analisi di idoneità di un mercato geografico per l'adozione della tecnologia</b> .....	80
3.3.1	<i>Politica e Legislazione</i> .....	81
3.3.2	<i>Tecnologia ed Innovazione</i> .....	82
3.3.3	<i>Infrastrutture</i> .....	84
3.3.4	<i>Accettazione del consumatore</i> .....	85
3.3.5	<i>Analisi dei risultati</i> .....	87
<b>3.4</b>	<b>Valutazione dell'impatto economico della tecnologia in un mercato geografico</b> .....	92
<b>3.5</b>	<b>Analisi di priorità dell'adozione della tecnologia per un mercato geografico</b> .....	94
3.5.1	<i>Analisi dei risultati</i> .....	95
<b>4.</b>	<b>CASI D'USO</b> .....	98
<b>5.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA e SITOGRAFIA</b> .....	113

# INTRODUZIONE

Il lavoro sviluppato e presentato in questo elaborato si pone l'obiettivo di determinare attraverso una metodologia dedicata quale soluzione, in termini di componenti, risulti essere la migliore possibile al fine di definire il dominant design del veicolo a guida autonoma, step fondamentale nel tortuoso processo di adozione di tale tecnologia che, indiscutibilmente, genera un impatto decisamente rilevante sulla vita delle persone, ma anche sull'economia dei Paesi, stravolgendo completamente l'attuale paradigma del settore automotive. Parallelamente, l'obiettivo è di analizzare dettagliatamente il processo di adozione della tecnologia piuttosto specifico a seconda del mercato geografico a cui si propone che, per caratteristiche intrinseche uniche deve affrontare specifiche sfide e superare ostacoli chiari per poter adottare la tecnologia della guida autonoma e diffonderla su tutto il territorio.

Nel primo Capitolo viene presentato come il concetto di "dominant design" si sia evoluto nel tempo nella letteratura, dai primi elaborati di Abernathy e Utterback alla letteratura moderna, per poi concentrare l'attenzione sulle dinamiche della fase fluida, la fase cruciale per lo sviluppo e l'affermazione di una tecnologia emergente come la guida autonoma.

In seguito, nel secondo Capitolo viene presentata la tecnologia della guida autonoma, dal punto di vista storico per analizzare come nel tempo si sia evoluto il concetto di questa tecnologia e come siamo arrivati all'attuale livello tecnologico, per poi entrare nel dettaglio della componentistica che permette di analizzare l'ambiente circostante, della parte software che permette di elaborare i dati per poi determinare in tempo reale quali azioni deve compiere il veicolo, oltre alle tecnologie di supporto che apportano un maggior valore alla guida autonoma e sono assolutamente indispensabili per la sua operatività.

Nel terzo Capitolo, viene esposta la metodologia di analisi, ispirata al QFD in cui si valuta l'importanza a livello generale delle singole caratteristiche tecniche rispetto a indicatori di performance della tecnologia, per poi analizzare come l'importanza delle caratteristiche tecniche individuate varia a seconda dello scenario in cui può essere applicata la tecnologia, confrontando lo scenario "urbano", ovvero i centri abitati, con lo scenario "extraurbano", lontano dai centri abitati e con caratteristiche di guida decisamente differenti; seguendo gli stessi principi utilizzati per la stesura della metodologia precedente, analogamente si entra nel dettaglio della componentistica che permette l'analisi dell'ambiente circostante: sensori radar, LiDAR e telecamere. Tali componenti sono quelli che competono nell'affermarsi come soluzione per il dominant design ed alimentano l'attuale indecisione in tal senso, ritardando lo sviluppo della tecnologia, siccome le altre tecnologie che permettono il funzionamento della guida autonoma sono già piuttosto delineate. Il dominant design del veicolo a guida autonoma emergerà in tale "caratteristica tecnica", costituendo un passo importantissimo per lo sviluppo complessivo della tecnologia, poiché è proprio questa caratteristica a generare i dati più importanti ed indispensabili al fine di estromettere l'essere umano dal processo di guida.

Successivamente, per analizzare nel dettaglio il processo di adozione della tecnologia da parte di uno specifico mercato geografico, si propone un'analisi di idoneità di un mercato geografico per l'adozione della tecnologia in base a 4 parametri principali: livello delle infrastrutture, policy & legislazione, tecnologia & innovazione e accettazione dei consumatori. Parallelamente, si valuta il livello di priorità di un mercato geografico per l'adozione di tale tecnologia, valutando i parametri per cui la tecnologia apporta i vantaggi maggiormente significativi: il tasso di mortalità stradale del Paese, un indice che misura la congestione stradale ed un indice che valuta le emissioni inquinanti degli attuali veicoli a causa delle inefficienze del traffico dello specifico Paese. Infine, viene definita una metodologia per valutare l'impatto economico della guida autonoma su uno specifico mercato geografico, quantificabile in base al risparmio di costi in seguito al notevole incremento della sicurezza stradale, l'aumento di produttività grazie alla maggior efficienza stradale ed alla maggior disponibilità di tempo da parte degli utenti finali, per via dell'estromissione dell'essere umano

dal processo di guida, ed infine per l'aumento in termini di efficienza delle risorse dei veicoli che in tal modo riducono le emissioni inquinanti. Nell'ultimo Capitolo, vengono presi in considerazione diversi Paesi tra quelli analizzati nelle analisi precedenti di “idoneità” e di “priorità” per valutare come mercati geografici rilevanti stiano interagendo con la tecnologia e quali vantaggi ed ostacoli presentano per la sua adozione. Contestualmente, viene applicata la metodologia per la quantificazione dell’impatto economico che l’adozione della guida autonoma avrebbe sul determinato Paese, evidenziando i benefici che essa apporta alla società.

# 1. TEORIA DEL DOMINANT DESIGN

## 1.1 Evoluzione teorica del dominant design

L'idea di "dominant design" emerse da studi sull'innovazione industriale negli anni '70. Uno dei primi elaborati, "A Dynamic Model of Process and Product Innovation", che ne introdusse il concetto fu realizzato dai teorici William J. Abernathy e James M. Utterback che cooperarono nella creazione di due modelli concettuali sugli effetti dell'innovazione in un generico settore industriale: in particolare, uno legato alla strategia competitiva dell'azienda e l'altro legato alle caratteristiche del processo produttivo (concetti distinti ma allo stesso tempo complementari). Assunsero inoltre che le caratteristiche del processo innovativo variano sistematicamente in base alla fase di sviluppo del processo produttivo dell'azienda, della tecnologia di prodotto ed in base alla strategia dell'azienda mirata alla competizione ed alla crescita.

Inizialmente non furono considerati diversi aspetti dell'innovazione nelle sue varie forme, infatti il modello si riferisce solamente all'industria di produzione di prodotti assemblati, escludendo quindi l'industria di processo o di servizi. L'evolversi della tecnologia e del sistema economico inevitabilmente rende questo modello discutibile su diversi punti di vista, non contemplando diverse variabili che per il presente ed il futuro non possono essere tralasciate.

Tuttavia, determinò un cambiamento epocale nello studio delle dinamiche dell'innovazione: infatti, fino ad allora la maggior parte degli studi relativi a tale argomento erano soprattutto descrittivi, evidenziando trend innovativi con una variabilità approssimativa ma senza fornire un contenuto teorico di buon livello sul perché questi trend e variazioni sono osservate.

L'idea base sottostante il modello in riferimento allo sviluppo del processo produttivo proposto è che esso si sviluppa nel tempo verso un livello di produttività in output crescente: aumenta l'intensità del capitale, la produttività migliora attraverso la specializzazione ed una migliore divisione del lavoro, il design di prodotto diventa più standardizzato ed il flusso di materiali all'interno del processo assume una qualità di flusso più lineare. L'unità di analisi analizzata non è necessariamente l'azienda, ma soprattutto il processo produttivo complessivo impiegato per la creazione di un prodotto. L'idea essenziale del modello è che un processo produttivo tende ad evolvere e cambiare nel tempo in modo consistente ed identificabile come descritto. Definirono inoltre tre fasi di sviluppo, riscontrabili allo stesso modo in diversi settori analizzati, che possono essere identificate in base alle caratteristiche dei fattori produttivi:

- **Fase fluida:** sia il prodotto sia il processo hanno alti tassi di cambiamento e tra i diversi competitors c'è grande diversità. In questa fase, il processo viene definito "fluido", con legami instabili tra i vari elementi del processo caratterizzato perlopiù da operazioni manuali e non standardizzate. In questa fase, il sistema produttivo risponde facilmente ai cambiamenti del settore, ma è decisamente inefficiente.
- **Fase di transizione:** il processo produttivo comincia a crescere, il prodotto acquista maturità e la competizione a livello di prezzi diventa più intensa. Le operazioni diventano più specializzate, cominciano a formarsi delle routine aziendali ed il sistema produttivo diventa più efficiente grazie all'integrazione dell'automazione e di controlli accurati e rigidi del processo. Alcuni sottoprocessi possono essere altamente

automatizzati, mentre altri rimangono sostanzialmente manuali avendo come risultato un processo produttivo con una qualità piuttosto “segmentata”.

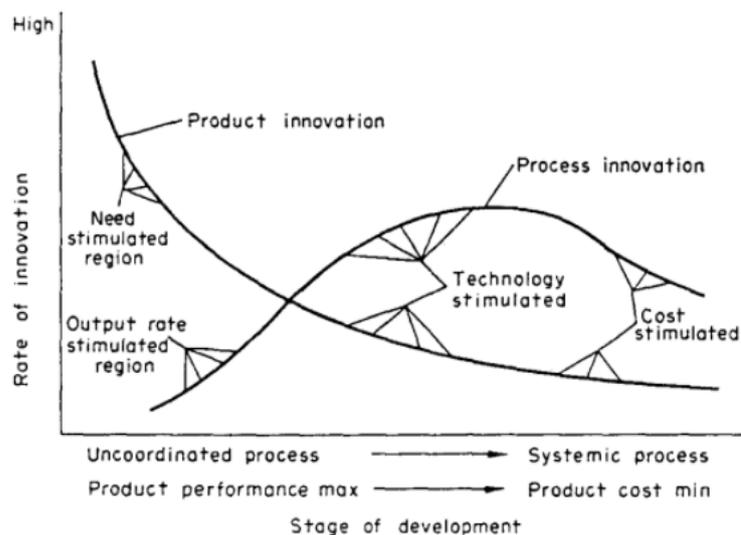
- **Fase specifica:** gli investimenti in azienda crescono notevolmente e lo sviluppo del processo produttivo raggiunge un livello di efficienza molto alto, tanto che miglioramenti a livello del processo diventano sempre di più difficili. Il processo è così ben integrato che eventuali cambiamenti risultano molto costosi, poiché anche un piccolo cambiamento ne comporta altri in diversi elementi del processo o nel design del prodotto.

L’innovazione di un prodotto è una nuova tecnologia o una combinazione di tecnologie introdotte commercialmente per andare incontro ad un bisogno di un segmento di mercato. L’idea sottostante il modello proposto da Abernathy e Utterback è che i prodotti sono sviluppati nel tempo prevedibilmente con un’enfasi strategica iniziale sulle performance del prodotto (Performance maximizing), successivamente sulla varietà del prodotto (Sales maximizing) ed infine sulla standardizzazione e la riduzione dei costi (Cost minimizing):

- **Performance Maximizing:** introduzione di un prodotto tecnologicamente molto avanzato, con maggior enfasi sull’unicità del prodotto e sulle sue performance. Il settore è presumibilmente composto da poche aziende, nuove e di piccole dimensioni oppure aziende più longeve che entrano in un nuovo mercato facendo affidamento sui suoi punti di forza dal punto di vista tecnologico. Sia a livello del prodotto sia del processo, corrispondente alla fase fluida, il mercato è mal definito, i prodotti non hanno alcuna standardizzazione e il processo produttivo è rudimentale. L’innovazione tende ad essere guidata o stimolata da nuovi bisogni del mercato (o opportunità) e per la sua efficacia è necessario identificare scrupolosamente i requisiti del prodotto piuttosto che aumentare la performance grazie a nuovi risultati scientifici o tecnologie ancora più avanzate.
- **Sales Maximizing:** si presume che sia i produttori sia i consumatori finali abbiano una certa esperienza sulla tecnologia e sul prodotto, così da ridurre notevolmente l’incertezza di mercato, aumentare la competizione perlopiù sulla differenziazione e permettere ad alcuni design di prodotto di cominciare ad essere un punto di riferimento per il settore. Come risultato si ha quindi un’ampia diversità di prodotto o l’introduzione di nuovi componenti. Questa fase di innovazione del prodotto corrisponde all’incirca alla fase di transizione dello sviluppo di processo. Cambiamenti a livello di processo possono essere stimolati da un forte incremento di domanda in output, portando l’innovazione di processo ad essere piuttosto discontinua richiedendo un nuovo assetto organizzativo a seguito di variazioni a livello produttivo o nel design del prodotto.
- **Cost Minimizing:** Il mercato in questa fase risulta ben definito, il ciclo di vita del prodotto evolve rendendolo più standardizzato e riducendo la varietà di prodotto. La competizione in questa fase avviene soprattutto a livello di prezzo, riducendo i margini di profitto così come il numero di aziende operanti all’interno del settore che diventa praticamente un oligopolio in cui grande importanza assumono efficienza ed economie di scala. La produzione diventa quindi maggiormente “capital intensive” mirata soprattutto all’abbassare i costi dei fattori produttivi. In questa fase, ogni cambiamento comporta ingenti modifiche interdipendenti nel prodotto e nel processo con costi molto alti e benefici piuttosto marginali. L’innovazione avviene soprattutto

a livello dei fornitori che possono godere di incentivi decisamente migliori e può essere adottata dalle grandi imprese che operano nel settore.

L'innovazione di processo e l'innovazione di prodotto a seconda dello stato di sviluppo del processo e della strategia competitiva messa in atto dall'azienda possono essere pertanto riassunti nel grafico sottostante:



*Fig.1: "Innovation and stage development", A Dynamic Model of Process and Product Innovation, W.J. Abernathy, J.M. Utterback, 1975*

Utilizzando dati raccolti precedentemente da due studiosi, S. Myers e D.G. Marquis, riguardo a numerose innovazioni di successo in 5 diversi settori per un totale di 120 aziende<sup>1</sup>, i due teorici testarono empiricamente il modello esplicito, dimostrandone una sostanziale affidabilità.

Qualche anno più tardi, Abernathy e Utterback realizzarono un altro elaborato, "Patterns of Industrial Innovation", in cui analizzarono l'evoluzione di diversi settori produttivi efficienti (lampadine, carta e acciaio ad esempio) con alti volumi di produzione, un mercato di riferimento ben definito, margini di profitto unitari bassi e competizione basata principalmente sul prezzo. Il risultato della loro analisi fu una considerazione banale ma decisamente trascurata nei passati studi sull'innovazione, implicando che si manifestasse solamente come un nuovo prodotto sul mercato (innovazione radicale): in realtà, come nei settori analizzati, l'innovazione può semplicemente prevedere il miglioramento di prodotti e/o processi già esistenti senza causare la creazione di nuovi paradigmi tecnologici, ma migliorando l'efficienza dei fattori produttivi e la competitività dell'azienda, ovvero un'innovazione incrementale. Essi riscontrarono che le innovazioni che coinvolsero grandi settori produttivi sono state sempre fortemente correlate a innumerevoli e minori miglioramenti nella filiera produttiva in aziende più piccole, sia per quanto riguarda la riduzione dei costi sia il miglioramento delle performance del prodotto finale, per poi essere sfruttati dalle grandi aziende che oligopolizzano il mercato. Questo fenomeno avviene perlopiù in settori produttivi altamente specializzati, dove lo sviluppo di economie di scala ed un mercato di massa sono

<sup>1</sup> S. Myers, D.G. Marquis, "Successful Industrial Innovation: A Study of Factors Underlying Innovation in Selected Firms", 1969, National Science Foundation, Washington

estremamente importanti e allo stesso tempo, aumentano considerevolmente il costo di effettuare un cambiamento diretto.

Per l'innovazione radicale funziona diversamente: la creazione di nuovi prodotti che richiedono il riallineamento degli obiettivi aziendali o degli impianti produttivi tendono ad originare organizzazioni, esterne alla filiera produttiva, devote specificamente ad un determinato sistema produttivo. Essi notarono molti tratti comuni nelle innovazioni di tipo radicale: esse avvengono principalmente in aziende geograficamente posizionate vicino a mercati piuttosto benestanti con università scientifiche molto valide, enti imprenditoriali finanziatrici o enti di ricerca. Il vantaggio competitivo dei nuovi prodotti è basato sulla superiorità a livello di performance piuttosto che su un costo iniziale basso, tendendo a generare profitti unitari decisamente più alti. In questo contesto, le performance inizialmente sono tipicamente vaghe e di difficile comprensione: per questo motivo, i consumatori svolgono un ruolo molto importante per la definizione delle caratteristiche del prodotto, avendo una comprensione più "intima" dei requisiti del prodotto. Questa incertezza a livello di performance del prodotto favorisce l'innovazione in piccole organizzazioni caratterizzate da un'alta adattabilità ai cambiamenti esterni, un'alta flessibilità a livello tecnico e buona interazione con l'ambiente esterno.

Quando un nuovo prodotto crea un nuovo mercato e viene richiesto sempre da più consumatori che vogliono soddisfare un bisogno emergente, l'azienda aumenta notevolmente in proporzioni e comincia a spendere le sue risorse per migliorare la produzione, il marketing e i metodi di distribuzione: si ha pertanto un passaggio da un'innovazione di tipo radicale ad un'innovazione incrementale. Questo passaggio è strettamente legato allo sviluppo del dominant design del prodotto, considerata dai due teorici Abernathy e Utterback come la "milestone" della transizione da radicale ad incrementale, con l'effetto di rafforzare la standardizzazione del prodotto, favorire lo sviluppo di economie di scala ed incentivare la competizione tra le aziende sulla base dei costi come sulle performance del prodotto. Secondo i due teorici inoltre, un dominant design probabilmente mostrerà una o più di queste qualità: applicato ad una tecnologia, il dominant design elimina i vincoli tecnologici che precedentemente limitano la prior art senza imporne di nuovi; il design aumenta il valore di potenziali innovazioni in altri elementi del prodotto o del processo; il prodotto assicura l'espansione in nuovi mercati. E per la prima volta, si ha una definizione del dominant design: "una singola architettura che stabilisce un dominio nella categoria di prodotto".

In un altro studio realizzato singolarmente, "The productivity dilemma: roadblock to innovation in the automobile industry", Abernathy fornisce un'analisi molto dettagliata dei cambiamenti tecnologici avvenuti in USA nel settore dell'automobile; questa analisi ha portato a considerazioni molto importanti sulla produttività, specialmente sul suo miglioramento che, come osservato, comporta tanti benefici quanti costi effettivi ed inoltre può comportare un'inefficienza per la capacità innovativa dell'azienda, in quanto le condizioni necessarie per una rapida innovazione sono molto differenti da quelle per supportare alti livelli di efficienza produttiva: c'è pertanto un trade-off da risolvere. Elabora inoltre una rivisitazione dell'andamento dell'innovazione di processo e di prodotto a seconda della fase di sviluppo, rispetto a quella illustrata nel modello realizzato con Utterback:

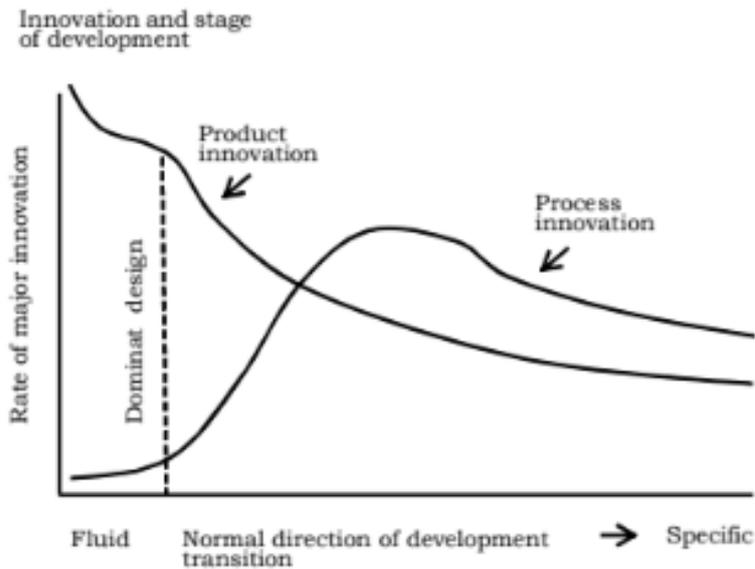


Fig.2: “Innovation and stage development”, “Productivity dilemma: Roadblock to innovation in automobile industry”, W.J. Abernathy, 1978

La linea verticale tratteggiata indica l’avvento del dominant design che, come si può notare, ha effetti su entrambe le curve: infatti una volta stabilito, l’innovazione legata alla performance del prodotto decresce marginalmente, mentre l’innovazione di processo subisce un’impennata, in quanto i processi produttivi aumentano in efficienza e possono beneficiare di economie di scala fino a quando raggiungono un livello di produttività ottimo che, di conseguenza, fa diminuire il tasso di innovazione di processo che decresce fino a quasi equalizzarsi con il tasso di innovazione del prodotto.

Negli anni ‘90, l’argomento ritorna in voga tra gli istituti accademici ed i ricercatori. Più precisamente nel 1990 Philip Anderson e Michael L. Tushman pubblicano “Technological Discontinuities and Dominant Designs: A Cyclical Model of Technological Change” in cui mostrano i risultati delle analisi condotte sulla storia dell’evoluzione di diversi prodotti e propongono un modello in cui un’innovazione tecnologica, o discontinuità, innesca un’era di intensa variazione e selezione tecnica, culminante in un unico dominant design. Ci sono due tipologie di discontinuità tecnologica: “competence enhancing” e “competence destroying”: una discontinuità di tipo “competence destroying” (tipica dell’innovazione radicale) rende obsoleto l’esperto richiesto per padroneggiare la tecnologia che sostituisce quella precedente: ad esempio, le skills dei produttori di orologi meccanici sono state rese irrilevanti dall’avvento degli orologi al quarzo. Una discontinuità di tipo “competence enhancing” (tipica dell’innovazione incrementale) si basa sul know-how insito nella tecnologia che viene sostituita: ne è un esempio l’Intel che per ogni generazione di microprocessori riprende e sviluppa la tecnologia del modello precedente. Questo tipo di innovazione introduce nuovi parametri tecnici aumentando il livello ottimo di performance raggiungibile, lavorando sul paradigma tecnologico già presente senza renderlo obsoleto.

L’introduzione di un progresso radicale in una determinata classe di prodotto ne aumenta notevolmente la variazione interna: una volta introdotto, inaugura un periodo sfrenato di sperimentazione siccome le aziende battagliaano per assorbire (o distruggere) questa nuova tecnologia innovativa. Questo periodo definito dai due teorici “era di fermento” è caratterizzata da due distinti processi di selezione: competizione tra i regimi tecnologici preesistenti e competizione nell’ambito del nuovo regime tecnologico. Questo periodo

caratterizzato da un'alta incertezza ed un'alta variazione della classe di prodotto finisce con l'emergere di un dominant design. Una volta emerso, i futuri progressi tecnologici consistono in miglioramenti incrementali della tecnologia esistente fino all'avvento di una nuova discontinuità tecnologica che può comportare un'ulteriore cambiamento del paradigma tecnologico. Un aspetto molto importante di questo elaborato è la definizione del primo metodo empirico per identificare un dominant design: un design è dominant se acquisisce più del 50% del market share della categoria di prodotto e lo mantiene per almeno 4 anni consecutivi.

Qualche anno più tardi, Utterback in "Mastering the Dynamics of Innovation" fornisce un'altra definizione: "il dominant design in una categoria di prodotto è quello che acquista la fedeltà del mercato; è il design a cui innovatori e competitors devono aderire per sperare di comandare il mercato che segue. E' un prodotto nella categoria di prodotto che guadagna l'accettazione generale come standard per le caratteristiche tecniche e gli altri player del mercato sono tenuti a seguirlo se sperano di acquisire un market share significativo".

Per la prima definizione di "dominant design" indipendente dai suoi effetti bisogna attendere "Patterns of Industrial Innovation, Dominant Designs and Firms' Survival", realizzato sempre da Abernathy con Fernando Suarez, in cui il "dominant design" viene definito come segue: è il percorso specifico, lungo la gerarchia di progettazione di un settore industriale, che stabilisce il predominio tra i percorsi di design concorrenti influenzati da fattori tecnici e di mercato.

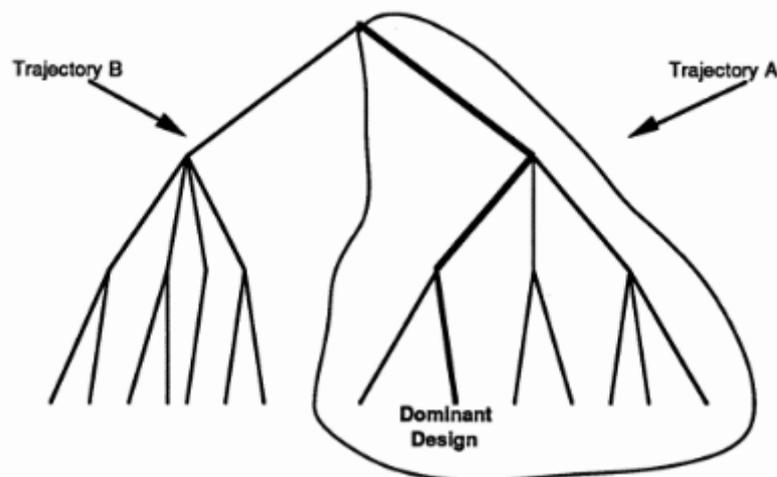


Fig.3: "Design hierarchies and dominant designs", "Patterns of Industrial Innovation, Dominant Designs and Firms' Survival", W.J. Abernathy, F. Suarez, 1993

Questo elaborato diede un contributo teorico di grande rilievo sul concetto di dominant design: in riferimento alle diverse classi di consumatori, i due studiosi precisano che un dominant design incarna le esigenze di molte classi di utenti di un particolare prodotto, anche se non può soddisfare le esigenze di una particolare classe nella stessa misura di un design personalizzato. Né un dominant design è necessariamente quello che incarna le prestazioni tecniche più estreme: infatti, l'emergere di un dominant design è il risultato di una fortunata combinazione di fattori tecnologici, economici e organizzativi.

I due autori identificarono diversi fattori non tecnologici con un effetto critico sull'emergere di un dominant design: 1) *possesso di attività collaterali*: queste attività hanno una relazione

di rinforzo reciproco con il dominant design. Questi beni possono aiutare un'azienda a imporre il suo design come dominante e, a sua volta, il possesso di un dominant design spesso aiuta un'impresa ad accumulare attività collaterali ad un ritmo superiore a quello precedente; 2) *regolamentazione del settore ed interventi governativi*: hanno il potere di far prevalere un determinato design piuttosto che un altro; 3) *manovre strategiche a livello aziendale*; 4) *l'esistenza di esternalità di rete* nel settore spesso richiede e accelera l'emergere di un dominant design. In questo caso, le imprese in grado di raggiungere alti volumi più velocemente dei loro competitors hanno più chance di vincere la battaglia per imporre il prodotto dominante; 5) la *gestione della comunicazione con i consumatori* rappresenta un aspetto molto importante, siccome proprio il "market learning" è un punto saliente nella definizione del dominant design: uno stretto contatto con i consumatori aiuta le aziende a determinare quali caratteristiche del prodotto sono più richieste per integrarle nel proprio design.

I due studiosi collaborarono ancora, insieme a Clayton M. Christensen, nella realizzazione di "Strategies for Survival in Fast-Changing Industries" in cui analizzano dettagliatamente l'evoluzione di uno specifico settore industriale, ovvero il rigid disk drive, e definiscono in un modo alternativo a quello precedente il dominant design: "un dominant design emerge in una categoria di prodotto quando le specifiche di design del prodotto (che consistono in una singola o un gruppo di elementi del design) definiscono l'architettura della categoria di prodotto, ovvero la relazione tra i suoi elementi".

## **1.2 Le dinamiche del processo di sviluppo del dominant design**

Gli studi presentati ed analizzati fino a questo punto hanno contribuito notevolmente alla creazione delle fondamenta teoriche del concetto di dominant design riconoscendone la sua estrema importanza nel definire la soluzione tecnologica vincente sul mercato tra tutte quelle proposte. Ciò ha permesso alla letteratura moderna di approfondire l'argomento con maggior attenzione su tutte le variabili che intervengono nel processo di affermazione del dominant design, valutandone singolarmente gli effetti diretti ed analizzare altri aspetti ancora non sufficientemente considerati come, ad esempio, la modularità del prodotto che incide notevolmente sulla definizione della sua architettura, o le scelte di integrazione verticale di fondamentale importanza strategica per le aziende. Aspetti resi, dall'evoluzione della tecnologia e del sistema economico, di notevole impatto sulle dinamiche di sviluppo del dominant design. Ulteriore focus si è posto sulle difficoltà e la complessità di questo processo di selezione, le sue caratteristiche e gli effetti successivi nello scenario industriale dello specifico prodotto.

### 1.2.1 Le fasi del processo

Lo sviluppo con successo di un dominant design può ad ora essere così sintetizzato: lo sviluppo di un design dominante e la creazione di nuovi progetti comportano un processo che comprende quattro fasi: introduzione di una nuova tecnologia, era di fermento, selezione ed innovazione incrementale.<sup>2</sup>

1) La prima fase corrisponde all'emergere di una *perturbazione tecnologica*, in grado di rinnovare le competenze e gli asset di base di un'industria. Questa turbolenza colpisce il prodotto o i processi associati al prodotto (progettazione, produzione, distribuzione...). Per quanto riguarda il prodotto, l'interruzione comporta l'emergere di una nuova categoria di prodotto, la sostituzione di un prodotto con un prodotto alternativo, o un significativo miglioramento delle prestazioni dei prodotti esistenti.

2) La seconda fase del processo è la cosiddetta “*era di fermento*”. In questa fase, la concorrenza si verifica non solo tra le nuove tecnologie e i prodotti e/o servizi più vecchi, ma anche tra le diverse opzioni tecnologiche. I nuovi attori, comprese le imprese esistenti e i nuovi operatori, sono motivati dalle opportunità offerte dalla nuova tecnologia e cercano di sfruttarle. Poiché le aziende cercano le soluzioni migliori per il lancio in un mercato, spesso propongono diverse innovazioni tecnologiche senza migliorare i processi industriali. Pertanto, sempre più aziende entrano in concorrenza tra di loro con progetti alternativi, sperimentando diversi tipi di caratteristiche, capacità e design per valutare la risposta del mercato. Così, diverse versioni del prodotto vengono commercializzate, ciascuna basata su opzioni tecnologiche alternative e/o configurazioni specifiche.

3) La terza fase di *selezione* corrisponde alla scelta di un dominant design. Questa fase inizia con lo sviluppo di una versione che è più attraente per un numero significativo di utenti, rispetto ai prodotti precedenti. Questo nuovo design di solito non include innovazioni radicali, ma piuttosto è una sintesi creativa di innovazioni che sono state introdotte indipendentemente. Poi, diversi attori convergono gradualmente su un'opzione per favorire l'adozione dei loro prodotti complementari a tale opzione e contribuendo così al raggiungimento di un dominant design. Alla fine, il dominant design è considerato come il design che vince la fedeltà del mercato, quello a cui i concorrenti e gli innovatori devono aderire se sperano di ottenere una fetta di mercato rilevante. Quando un dominant design viene selezionato, si ha un vero e proprio shake-out dal mercato con un'uscita di massa di attori (come si può vedere nella Fig.4 sottostante) che, viste le opportunità generatesi dalla perturbazione tecnologica, decisero di proporre una loro idea di prodotto senza successo.

Il progetto dominante potrebbe basarsi su un'unica tecnologia o su una combinazione di tecnologie. La creazione di un dominant design riduce il numero di alternative progettuali e questo fa aumentare l'economia di scala, ridurre l'incertezza del mercato e imporre la standardizzazione. La letteratura esistente non è molto chiara per quanto riguarda le differenze tra “standard” e “dominant design”. Gli studi passati hanno spesso usato i termini in modo intercambiabile, e termini come le “standard wars” sono stati usati per indicare la battaglia tra design. Il termine “standard” deve essere utilizzato per indicare le specifiche tecniche di

---

<sup>2</sup> Processo già ideato inizialmente da P. Anderson & M.L. Tushman nel 1990 in “*Technological Discontinuities and Dominant Designs: A Cyclical Model of Technological Change*”, per poi essere più strutturato negli elaborati di J.L Funk nel 2003 in “*Standards, dominant designs and preferential acquisition of complementary assets through slight information advantages*” e nel 2006 da J.P. Murmann & K. Frenken in “*Toward a systematic framework for research on dominant designs, technological innovations, and industrial change*”

riferimento, compatibilità e connettività necessarie per il corretto funzionamento di prodotti che devono essere collegati con altri (come DVD, smartphone e PC). Gli standard di una categoria di prodotti servono a migliorare l'accettazione funzionale, che non riguarda l'accettazione sul mercato, un aspetto integrale del dominant design.

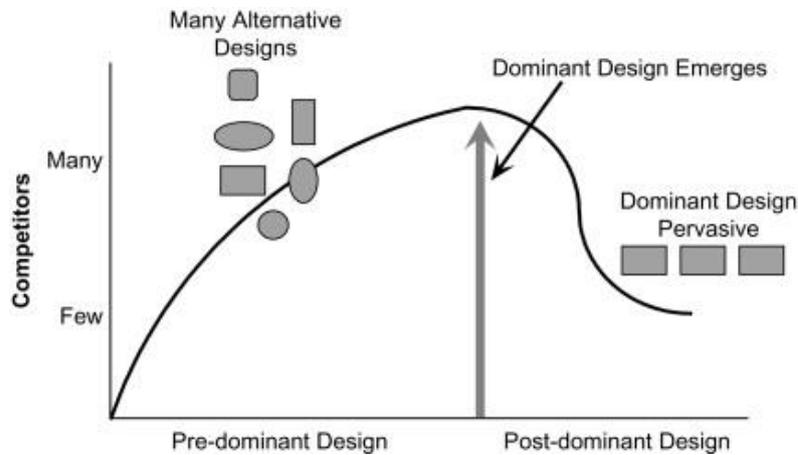


Fig.4: L'andamento del numero di competitors del settore nel processo di sviluppo del dominant design, "Platform Ecosystems", A. Tiwana, 2014

4) La quarta fase è l'era di **innovazione incrementale**. Questa fase è caratterizzata da miglioramenti graduali nelle tecnologie attualmente sfruttate, che rafforzano il dominant design. Dopo la selezione del design dominante, gli attori favoriscono innovazioni incrementali o modulari che rinnovano il paradigma esistente (in particolare aggiungendo un componente o una caratteristica) senza interrompere tutti i collegamenti tra i componenti.

### 1.2.2 I criteri di selezione del dominant design

Nelle diverse fasi del processo di sviluppo del dominant design, intervengono diversi criteri di selezione endogeni all'ambiente tecnico-economico con una forte influenza sulle dinamiche di questo processo. In generale, nessuno dei seguenti criteri è così forte da inclinare da solo l'equilibrio a favore di un design piuttosto che un altro: il risultato finale è sempre il prodotto dell'interazione tra diverse variabili che influenzano direttamente gli attori del processo e l'ambiente circostante.<sup>3</sup>

- **Superiorità tecnologica:** uno specifico design di un prodotto che rappresenta il miglior compromesso tra le diverse caratteristiche funzionali della tecnologia ha maggiori possibilità di affermarsi come il dominant design rispetto ai suoi concorrenti. Chiaramente, questa superiorità deve essere percepita dagli utenti che interagiscono con tale prodotto ed, in questa fase, essi sono sostanzialmente i cosiddetti "innovators" e parte degli "early adopters" con un'alta avversione al rischio e quindi un'alta propensione all'acquisto di una nuova tecnologia innovativa. Tuttavia, la superiorità tecnologica non è garanzia di successo, infatti diversi studi empirici hanno dimostrato come in passato soluzioni tecnologicamente meno avanzate di altre concorrenti si siano affermate come dominanti (un esempio eclatante è quello di Sony che colse l'opportunità nel settore nascente delle videocassette sviluppando Betamax che perse

<sup>3</sup> F.F. Suarez, "Battles for technological dominance: an integrative framework", 2003, London Business School, pp.274-279

la “battaglia” di dominanza contro l’azienda giapponese JVC che realizzò il VHS, imponendolo come il dominant design del settore). La superiorità tecnologica ha un ruolo molto più dominante in caso di evidenti e sostanziali differenze di performance con le alternative.

- **Reputazione dell’azienda e asset complementari:** l’esperienza e la reputazione, intesa come credibilità, possono permettere all’azienda di stabilire il proprio dominio per “diritto di nascita”. La percezione di valore generato dall’ottima reputazione di un’azienda infatti le permette di far percepire la propria soluzione ai suoi utenti finali come la migliore e soprattutto la più affidabile sul mercato. Allo stesso modo, gli investimenti dell’azienda in asset complementari da combinare al prodotto di riferimento genera ancora più valore percepito dall’utente finale. La loro adozione nel mercato genera un effetto “lock-in” sul cliente, alti costi di transizione per il cliente che quindi non sostituisce il prodotto di riferimento, aumentando la probabilità dell’azienda di imporre il proprio design come dominante.

Inoltre per rimarcare il proprio status di azienda leader sul mercato, l’azienda può scegliere di condividere parte della sua conoscenza (spillover tecnologici come brevetti) con i propri concorrenti che ne riconoscono lo status di leader e decidono di seguirlo per aumentare la loro fetta di mercato. Ne è un esempio l’azienda Tesla che regala brevetti ai suoi competitors uniformando a livello globale il sistema di ricarica dell’auto elettrica, studiato appositamente per la sua compatibilità con le automobili di Tesla.

- **Strategia dell’azienda:** per valutare la sua influenza sono stati identificati quattro elementi di particolare importanza: le tempistiche di ingresso nel settore, la specifica strategia di prezzi, la politica di licensing ovvero come un’azienda gestisce il rapporto con servizi e beni complementari, ed infine l’intensità degli sforzi nel marketing e nelle pubbliche relazioni.

Diversi studi hanno riscontrato un importante legame tra le tempistiche di ingresso nel mercato e l’abilità di un’azienda di imporre il proprio design come il dominante. Un precoce ingresso nel mercato aiuta a raggiungere una notevole quantità di utenti attratti dalla nuova tecnologia e pertanto, la reputazione dell’azienda ne beneficia, ma allo stesso tempo può avere effetti negativi, bloccando l’azienda in una specifica traiettoria tecnologica totalmente fuorviante rispetto a quella che effettivamente imporrà il proprio dominio. Le possibilità di sopravvivenza dell’azienda nel settore è massimizzata quando essa entra nel mercato negli ultimi anni precedenti alla definizione di un dominant design.

In presenza di esternalità di rete, una politica iniziale di prezzi piuttosto aggressiva aumenta le probabilità dell’azienda di stabilire il proprio dominio sul mercato.

Una politica di licensing piuttosto liberale, come nell’esempio di Tesla, può trovare molto riscontro nei competitors, aumentando la diffusione della propria conoscenza (e del design), ma può essere allo stesso tempo uno svantaggio qualora si perdesse il controllo sul percorso di sviluppo della suddetta tecnologia.

La politica di marketing dell’azienda influisce direttamente sulle aspettative dei clienti finali che, se positive, aumentano la probabilità di adozione di uno specifico design.

- **Dimensione di una base pre-esistente di utenti:** una grande base installata di utenti è associata ad alti tassi di adozione per una specifica tecnologia. La grandezza di

questa base può dipendere dalla strategia aziendale: infatti, un'azienda può sfruttare la nuova tecnologia per realizzare un prodotto che sia compatibile con le necessità degli utenti legati alla tecnologia precedente. Questa compatibilità che facilita l'azienda nel far adottare il proprio prodotto dipende comunque molto dalle differenze di performance tra la nuova e la vecchia tecnologia: se questa differenza è piuttosto grande, la base installata pre-esistente di utenti legati alla vecchia tecnologia darà minori benefici.

I criteri analizzati fino ad adesso sono endogeni all'ambiente aziendale. Tuttavia, ci sono altri criteri legati all'ambiente esterno all'azienda che assumono grande rilevanza sulle dinamiche di selezione del dominant design:

- **Regolamentazione ed interventi istituzionali:** i Governi dei diversi Paesi possono intervenire direttamente sull'utilizzo di una particolare tecnologia, favorendo l'adozione di un prodotto piuttosto che un altro attraverso la regolamentazione. In questo modo, il Governo può accelerare la diffusione di questa nuova tecnologia evitando di incorrere in battaglie tra i vari competitors per l'imposizione del proprio design e per favorire la realizzazione di economie di scala.  
Un governo può anche favorire un'azienda nelle prime fasi di sviluppo del dominant design, effettuando acquisti di massa del suo prodotto che aumenta così le sue probabilità di diventare quello dominante nel settore.
- **Regime di appropriabilità:** L'appropriabilità è la capacità di un'azienda di trattenere i profitti generati dalla sua attività di ricerca, evitando che i concorrenti la imitino. Quindi, un forte regime di appropriabilità favorirà un'azienda il cui prodotto è tecnologicamente molto superiore rispetto agli altri: il gap tecnologico sarà così difficilmente colmabile e pertanto la sua soluzione avrà grandi chance di imporre il proprio dominio. L'azienda può quindi anche difendere la sua posizione sul mercato, registrando un gran numero di brevetti in modo che il suo prodotto sia difficilmente imitabile.
- **Esternalità di rete e switching costs:** le esternalità di rete sono un effetto importante da considerare in quegli ambienti tecnologici in cui l'utilità percepita dall'utente aumenta al crescere del numero totale di utenti che già utilizzano il prodotto/servizio. Chiaramente, l'esistenza di esternalità di rete avrà importanti implicazioni sulla base installata di utenti, aumentandone il valore e rendendola quindi un fattore ancora più importante nelle dinamiche del processo di sviluppo del dominant design. A sua volta, le esternalità di rete possono avere effetti anche sulle manovre strategiche delle aziende coinvolte: ad esempi, deboli esternalità di rete rende decisamente meno importante, per l'esito finale, un'entrata anticipata nel nuovo scenario tecnologico. Anche l'esistenza di switching costs ha effetti diretti sull'abilità dell'azienda di attrarre utenti e consolidare la base installata di utenti. Switching costs molto alti incentivano l'utente a non adottare lo stesso prodotto da un'azienda competitor, rendendolo quindi più fedele e aumentando le difficoltà dell'azienda di attrarre gli utenti dalle basi installate dei propri competitors.
- **Caratteristiche del campo tecnologico:** una nuova tecnologia implica un nuovo campo tecnologico nel quale le diverse traiettorie tecnologiche competono per il

dominio del mercato. L'abilità di un'azienda di raggiungere accordi con altri attori dello stesso campo tecnologico (ad esempio i produttori di beni complementari o gli utenti finali), fondamentali per vincere questa competizione, dipende fortemente dalle dinamiche e dalla struttura del campo tecnologico stesso, ovvero il numero di competitors e il loro potere nel settore, il livello di cooperazione e di competizione tra le aziende. Sta pertanto nella bravura dell'azienda di adottare la giusta strategia tenendo bene a mente le caratteristiche del campo tecnologico in cui opera.

La perturbazione tecnologica che genera una nuova categoria di prodotto può avere effetti di disruption sulle aziende presenti nel settore, che si trovano incapaci di adattarsi velocemente al cambiamento. Proprio per questo, è importante che la nuova soluzione non dia troppo fastidio alle aziende affette da questa disruption che potrebbero decidere di agire al fine di evitare che la nuova soluzione prevalga su quella attualmente esistente, in modo da non perdere il proprio potere e la propria fetta di mercato nel settore.

### 1.2.3 I criteri di stabilità del dominant design

Una volta stabilito il dominant design di una categoria di prodotto, inizia la fase di innovazione incrementale in cui le aziende si concentrano sull'apportare modifiche marginali sulla tecnologia ed il design dominante, senza stravolgere i legami architettonici del prodotto.

Gli altri design usciti sconfitti dal processo di sviluppo del dominant design tendono a sparire dal mercato o a servire nicchie del mercato caratterizzato da utenti con specifiche necessità. Un chiaro esempio è rappresentato dalle macchine da corsa con performance tecnologiche superiori, ma completamente inadatte per il mercato di massa che predilige altre caratteristiche per l'uso quotidiano/urbano del bene automobile. Per questo, le macchine da corsa vengono adottate da un numero limitato di utenti attratti dalle sue caratteristiche e han trovato maggiore spazio in un contesto diverso dall'uso quotidiano/urbano come quello delle competizioni tra automobili.

Il dominant design è il risultato di un processo naturale, ad eccezione di possibili interventi governativi, essendo la soluzione capace di soddisfare maggiormente i bisogni degli utenti a cui il prodotto si riferisce. Proprio per questo, le aziende ancora presenti nel mercato si adattano alla nuova soluzione in modo da attrarre tali utenti. Questo fa sì che il dominant design rimanga stabile nel resto del ciclo di vita del prodotto, fino ad una nuova perturbazione tecnologica, senza ulteriori modifiche rilevanti sul design stesso.

Questa stabilità è favorita da altri fattori che intervengono nel processo di sviluppo del dominant design:

- Le **esternalità di rete** che, come visto nel paragrafo precedente, contribuiscono ad ingrandire la base installata di utenti, favorendo la diffusione e l'adozione del dominant design da parte del mercato di massa. Le esternalità di rete si distinguono in dirette ed indirette: i primi derivano esclusivamente dal fatto che quando un nuovo utente si aggiunge alla base installata di utenti, viene creata una nuova connessione tra tale utente e gli altri già presenti; gli effetti indiretti derivano dall'aumento della domanda di prodotti o servizi complementari;
- Gli **investimenti in asset complementari**, un criterio di selezione che diventa determinante anche nella fase post-dominanza;

- L'**apprendimento organizzativo** interno alle aziende: queste infatti adattano i propri processi produttivi e organizzativi al fine di integrare perfettamente e specializzandosi sul dominant design emerso, diventando però più vulnerabili ad una futura perturbazione tecnologica che si tradurrà in un nuovo ciclo di sviluppo di un nuovo dominant design in contrasto con quello appena affermato, una vera e propria "competency trap";
- Le **economie di scala** in produzione, favorite dalla standardizzazione dei processi produttivi ed incentivate dalla necessità di un processo efficiente, adatto alla produzione di alti volumi al minor costo possibile. Le economie di scala non permettono grandi cambiamenti, in quanto l'organizzazione si adatta per ottimizzare la produzione di un prodotto specifico. Questo rende le aziende ancora più "ancorate" alla soluzione emersa, disincentivando possibili deviazioni dal dominant design che risulta quindi ancora più stabile.

#### **1.2.4 Le difficoltà e gli ostacoli del processo di sviluppo del dominant design**

Fino ad adesso, il dominant design ed il suo processo di sviluppo e affermazione sono stati rappresentati come un evolversi naturale del ciclo di vita del prodotto in seguito ad una perturbazione tecnologica, indipendentemente dalle caratteristiche specifiche del prodotto o del settore in cui questo processo avviene. In realtà, per alcune categorie di prodotto questo non avviene per diversi motivi che verranno esplicitati qui di seguito. Oltre a ciò, per comprendere e gestire al meglio le dinamiche del processo che portano alla definizione di un dominant design, è necessario includere nel campo di analisi ulteriori variabili che incidono sulle caratteristiche del prodotto e delle aziende e quindi influenzano altrettanto il processo di sviluppo del dominant design.

Una di queste variabili è sicuramente la modularità che incide sull'architettura del prodotto, in cui ora gli elementi che lo compongono sono funzionalmente indipendenti. Questa caratteristica ha effetto diretto su criteri di selezione e stabilità del dominant design come le strategie aziendali, la specializzazione, l'apprendimento organizzativo, le economie di scala o le esternalità di rete, riducendone o addirittura eliminandone l'importanza, rendendo quindi lo sviluppo del dominant design meno rilevante per il ciclo di vita del prodotto. Un chiaro esempio di prodotto modulare è lo smartphone, in cui tutti i componenti (fotocamera, display, microfono, componenti elettronici, ecc.) hanno una specifica funzione indipendente e vengono poi assemblati per dare origine al prodotto finale.

Gli effetti della modularità sull'affermazione del dominant design sono principalmente i seguenti:

- Permette alle aziende di sviluppare ottime competenze specialistiche sia nella progettazione e nella produzione di singoli moduli particolari sia nella progettazione dell'architettura di prodotto. Questo non porta a sviluppare specifiche sinergie tra l'organizzazione stessa e il processo produttivo ma, viceversa, diventa possibile modulare la struttura organizzativa incaricata per il design o per la produzione, anche al punto di esternalizzare parte di essa. Di conseguenza, intere parti dell'organizzazione o la sua produzione possono essere sostituiti facilmente senza inficiare il resto della organizzazione.

- Ha notevole impatto anche sulle economie di scala che non si sviluppano più a livello del prodotto, ma a livello dei componenti stessi, riducendo inoltre la scala minima di produzione efficiente. Si immagina un prodotto prima integrato con una certa scala minima efficiente e successivamente modulato in due moduli: ognuno di questi moduli avrà una scala minima efficiente che è inferiore o uguale a quella del prodotto integrato. Di conseguenza, anche se può costare di più produrre il prodotto modulare, il prodotto modulare ha nella peggiore delle ipotesi la stessa scala minima efficiente come l'equivalente prodotto integrato. Inoltre, diventa possibile utilizzare i due moduli anche in altri prodotti. Pertanto, la scala minima di efficienza per il nostro sistema di produzione può essere molto diversa dalla produzione minima per il nostro prodotto. Di conseguenza, la scala di produzione è molto più vagamente accoppiata alle dimensioni del mercato per un dato prodotto per prodotti modulari, e quindi le sinergie specifiche sono molto più deboli.
- La modularità mina anche le competenze incorporate. Genericamente, la modularità costringe le organizzazioni a rendere esplicita parte della sua conoscenza tacita rilevante per le interazioni tra i diversi moduli che compongono il prodotto finale. Di conseguenza, vi è una probabilità molto inferiore che si formino sinergie specifiche tra il know-how aziendale e le competenze con i sistemi organizzativi, tecnologici o di mercato.
- Infine, riduce l'effetto di lock-in associato alle esternalità di rete che altro non è che il risultato di sinergie specifiche tra il prodotto e beni complementari sul mercato. La modularità accentua la sostituibilità di questi beni, riducendo notevolmente il forte legame tra il prodotto e gli specifici beni complementari.

Un'altra variabile con evidenti effetti sul processo di sviluppo del dominant design è l'integrazione verticale, scelta strategicamente fondamentale per l'azienda. Questa scelta dipende fortemente dalle condizioni del mercato e dalla complessità dell'architettura del prodotto. All'azienda infatti può convenire decidere di integrarsi verticalmente prima dell'affermazione del dominant design o possono non sussistere le condizioni per attuare una scelta strategica di questo tipo. In seguito all'emergere del dominant design, le aziende invece genericamente tenderanno a disintegrarsi verticalmente, in quanto i componenti del prodotto diventando piuttosto standardizzati e i fornitori esterni sono più abili ad usufruire di economie di scala in produzione, in quanto i produttori integrati verticalmente difficilmente possono trovare competitors che si riforniscano degli eccessi di produzione. Anche per motivi burocratici i cui costi gravano maggiormente sulle aziende verticalmente integrate piuttosto che sui fornitori.

Inoltre, si può affermare che il grado di integrazione verticale è minore nel caso in cui i problemi iniziali riguardo all'architettura del prodotto si risolvano velocemente permettendo lo sviluppo di una catena di valore per il prodotto. Nel caso in cui l'architettura di prodotto inizialmente non sia definita precisamente, è decisamente più difficile reperire sul mercato componenti adeguati per la realizzazione di un prodotto che possa imporre il dominio sul mercato. Pertanto, in questo caso all'azienda conviene integrarsi verticalmente per realizzare il prodotto, sfruttando e migliorando le proprie competenze e risorse, per poi disintegrarsi verticalmente esternalizzando alcune parti dell'organizzazione.

Allo stesso tempo, un altro fattore che influenza questa strategia è la valutazione del mercato: se esso valuta con maggior attenzione le performance a livello dei componenti piuttosto che le performance del prodotto integrato, all'azienda non conviene integrarsi verticalmente in

quanto richiederebbe un elevato tasso di specificità molto difficile da raggiungere su tutti i componenti del prodotto, non potendo però competere a livello di performance con i singoli fornitori altamente specializzati sul singolo componente: pertanto, la soluzione ideale è scegliere i migliori fornitori a cui affidarsi per ottenere i componenti necessari alla realizzazione del prodotto finale.

Ci sono altri ostacoli con effetto soprattutto sull'innovazione di processo che, come descritto nei primi elaborati di Abernathy e Utterback, cresce rapidamente post-definizione di un dominant design, consentendo alle aziende di aumentare l'efficienza produttiva e di generare economie di scala, assicurando una maggior stabilità al dominant design emerso. Tuttavia, l'innovazione di processo non avviene automaticamente: per prodotti piuttosto complessi da fabbricare, infatti non è detto che i processi produttivi siano migliorabili, per molteplici motivi come ad esempio la mancanza di componenti adeguati, la posizione geografica dell'azienda o per le caratteristiche stesse del prodotto in questione. Questo può avere effetti distruttivi sul dominant design in quanto esso necessita di un'interazione efficace e reciproca tra l'innovazione di processo e di prodotto. Pertanto in mancanza del supporto di un'adeguata innovazione di processo, il dominant design potrebbe fallire prematuramente lasciando spazio alle soluzioni alternative che però, senza un effettivo miglioramento dei processi produttivi, non potranno imporre sul mercato il proprio dominant design. Si può pertanto verificare una sequenza di "falsi" dominant design, finché non si verificherà un'innovazione di processo (o di prodotto) che renderà fattibile la produzione del dominant design finale.

L'emergere di un falso dominant design può essere allo stesso tempo una conseguenza di un'innovazione fallimentare che presto o tardi viene abbandonata. L'abbandono di una tecnologia innovativa da parte dell'azienda che l'ha adottata, prima della fine del suo ciclo di vita, avviene semplicemente a causa dei risultati ottenuti decisamente inferiori rispetto alle aspettative. Tali azioni sono decisamente influenti nell'ambiente tecnico-economico, in quanto sono decisioni ex-post sul valor attuale dell'innovazione, più attendibili delle decisioni ex-ante sulla stima del valore futuro della stessa innovazione.

I meccanismi sottostanti i processi di diffusione di un'innovazione di successo o di un'innovazione fallimentare sono pressochè identici. E' pertanto difficile riconoscere precisamente l'esito di un'innovazione nelle prime fasi del suo ciclo di vita, in cui l'incertezza è piuttosto alta. I primi ad adottare la tecnologia innovativa, i cosiddetti "innovators", influenzano notevolmente le decisioni degli altri attori sul mercato, soprattutto se gli innovators rappresentano i leader nel settore. Coloro che non hanno ancora adottato la tecnologia possono dedurre che le informazioni pre-adozione di chi l'ha già adottata devono essere state positive, inducendo i primi ad aumentare la propria inclinazione ad adottare. Se la tecnologia innovativa in questione avrà un esito fallimentare, questo meccanismo permette la diffusione di un'innovazione che verrà poi successivamente abbandonata. Si tratta quindi di una "falsa partenza" che ritarda l'affermazione del dominant design per una determinata categoria di prodotto.

### 1.3 La “Fase Fluida”: l’evento “Trigger” e il periodo di “Incubazione”

Il processo di sviluppo del dominant design che porta alla sua affermazione sul mercato avviene all’interno di un processo più ampio che coinvolge tutto l’ambiente industriale in seguito ad un’innovazione tecnologica che ne cambia le carte in tavola, impattando sul prodotto stesso e su altri fattori decisamente rilevanti come i processi produttivi, la forza lavoro, l’approvvigionamento di materiale, le dimensioni dell’azienda e il suo assetto organizzativo. Il processo di sviluppo industriale è caratterizzato da 3 fasi che, come visto all’inizio del Capitolo 1, sono state definite dai teorici Abernathy e Utterback nel seguente modo: la prima è la cosiddetta “fase fluida”, seguita dalla “fase di transizione” per terminare con la “fase specifica”.

In questo paragrafo si analizzerà attentamente la fase fluida, in quanto è la fase più influente sulle dinamiche del processo di sviluppo del dominant design che si evolve principalmente in questa fase, appunto, per poi terminare successivamente con la selezione del design vincitore nella fase di transizione (vedi Fig.5). La fase fluida suscita molto interesse negli attori che intervengono sul mercato per imporre il proprio dominio nel nuovo scenario tecnologico, essendo il periodo decisivo in cui emergono le traiettorie tecnologiche vincenti ed in cui gli attori definiscono la strategia che li porterà al successo, imponendo il proprio design come quello dominante, o all’insuccesso uscendo dal mercato o adattandosi (se possibile) al design vincitore.



Fig. 5: Suddivisione temporale delle fasi di sviluppo del dominant design in base al processo di sviluppo industriale.

Già dal nome, si può intuire la natura di questa prima fase che inizia con l’introduzione di una nuova tecnologia innovativa che stravolge un mercato pre-esistente o ne crea uno nuovo, cambiando il paradigma tecnologico che deve essere creato o riformulato. La fase fluida è soprattutto caratterizzata da un’alta incertezza sia a livello tecnologico sia a livello di mercato, rendendo eventuali previsioni sul futuro dominant design molto difficili e inaccurate.

Il potenziale tecnologico dell’innovazione ancora non è per niente chiaro, favorendo un periodo di elevata sperimentazione focalizzata sulle performance in modo da definire il massimo beneficio che la nuova tecnologia può apportare nei vari ambiti applicativi individuati inizialmente. Si ha quindi come risultato svariati prototipi diversi tra loro che variano continuamente grazie ad un processo produttivo piuttosto flessibile, a discapito dell’efficienza in quanto non c’è innovazione di processo, in cui la forza lavoro ha competenze elevate inerenti alla tecnologia in questione.

Non avendo neanche ancora un'idea della crescita potenziale del mercato, è difficile che in questa fase le aziende crescano notevolmente di dimensioni: è infatti più probabile ci siano numerose aziende dalle dimensioni piuttosto piccole e dal carattere piuttosto informale ed imprenditoriale, localizzate vicino ad un bacino di potenziali utenti o in località dalla forte impronta tecnologica (come ad esempio, la Silicon Valley); tuttavia anche le grandi aziende si possono affacciare al nuovo scenario tecnologico, a seconda della strategia intrapresa, sfruttando le competenze pre-esistenti e l'attività di R&D.

La letteratura moderna viene in aiuto per analizzare più dettagliatamente questa fase le cui dinamiche sono state spesso trascurate dagli autori e studiosi passati, e la cui durata non è definita a priori ma rimane piuttosto incerta a seconda dello scenario. Nello specifico, infatti, la fase fluida inizia grazie ad un evento "trigger", che attiva un lungo periodo di "incubazione" in cui attori eterogenei modellano l'architettura industriale e le conoscenze di base necessarie attraverso investimenti che trasformano l'opportunità in un prodotto commerciale, protagonista dell'ultima fase di "commercializzazione".

### 1.3.1 L'evento "Trigger"

L'evento "trigger" può essere considerato come la scintilla che dà il via ad un nuovo ciclo di vita tecnologico. Possono essere distinte tre diverse tipologie di questo evento: una scoperta scientifica, un'invenzione che soddisfa un bisogno non ancora soddisfatto dai mercati esistenti o una "grand-challenge". Ogni tipologia coinvolge un insieme relativamente distinto di attori eterogenei che esplorano la nuova opportunità tecnologica. Gli attori si impegnano in una vasta gamma di azioni, che collettivamente aiutano a identificare e costruire il potenziale per l'avvio dell'industria, risolvendo le incertezze critiche riguardo alla tecnologia e al mercato, trasformando l'opportunità in un'innovazione commercializzata.

- La **scoperta scientifica** è stato l'evento trigger per diverse industrie, come ad esempio per l'industria biofarmaceutica, l'industria basata sulle nanotecnologie o per la biotecnologia applicata all'agricoltura.  
Una scoperta scientifica avviene prevalentemente nelle università o nei dipartimenti di ricerca aziendali; questi contesti privilegiano gli scienziati accademici e industriali come gli attori che esplorano la trasformazione dell'opportunità scientifica o tecnologica in un prodotto commerciale. Gran parte del lavoro iniziale che si svolge in questi contesti costituisce un periodo non commerciale, ma viene enfatizzato il progresso scientifico, motivato dalla ricerca continua di nuove conoscenze.  
Tuttavia, arriva il momento in cui questi attori devono affrontare la scelta se perseguire l'azione imprenditoriale all'interno delle organizzazioni esistenti o formare una nuova impresa. A seconda del percorso intrapreso, gli attori si trovano a dover trasferire la tecnologia dal contesto accademico, ad intraprendere un percorso imprenditoriale tecnologico o accademico o all'interno delle stesse imprese esistenti.
- L'**invenzione** rivolta ad un bisogno ancora non soddisfatto dai mercati esistenti è il caso della lavastoviglie o dell'equipaggiamento sportivo ad esempio. La comprensione delle esigenze non soddisfatte da prodotti o servizi esistenti genera un contesto di conoscenza per gli attori come gli utenti finali o gli utenti professionali che trovano la soluzione ideale per soddisfare tale esigenza ancora trascurata. Questi utenti-inventori di solito progettano un prototipo iniziale per il loro uso privato e

possono dividerlo con altri utenti, individualmente o all'interno di una comunità. Alcuni utenti, a causa della propria esperienza con l'invenzione e/o dopo aver ricevuto feedback positivi dalla comunità, percepiscono successivamente un'opportunità commerciale per l'invenzione e ricercano investitori o aziende per commercializzare l'invenzione.

- Per “**grand challenge**” si intende una missione specifica promossa e supportata da agenzie governative, regolatorie o fondazioni no-profit per raggiungere una soluzione di enorme impatto globale o sociale, ad esempio risolvere un problema relativo alla sicurezza nazionale, alla sanità pubblica o a questioni sociali. A tal fine, di solito si sviluppano ampie partnership che coinvolgono il settore privato (le imprese) e il settore pubblico (ad esempio università o laboratori governativi), coordinate dall'agenzia o fondazione che ha definito originariamente l'obiettivo specifico della missione.

E' possibile tuttavia individuare storicamente trigger “ibridi”: specialmente in industrie hi-tech, il trigger scientifico può derivare sia dalle conoscenze scientifiche di base sia da esigenze non soddisfatte dai mercati attuali, riscontrate durante l'uso. Lo stesso vale per scoperte scientifiche in risposta a “grand challenge”. Un esempio di trigger ibrido è Internet, progetto inizialmente coordinato dall'agenzia americana di Difesa DARPA<sup>4</sup> che necessitò della collaborazione tra diverse università e imprese per il suo sviluppo. A volte, è possibile che un'industria nasca senza l'evidenza di un trigger che originariamente abbia attivato il periodo di incubazione e quello successivo di commercializzazione: alcune nuove industrie e forme organizzative nascono, ad esempio, in seguito all'integrazione o disintegrazione di architetture industriali già esistenti.

### 1.3.2 Il periodo di “incubazione”

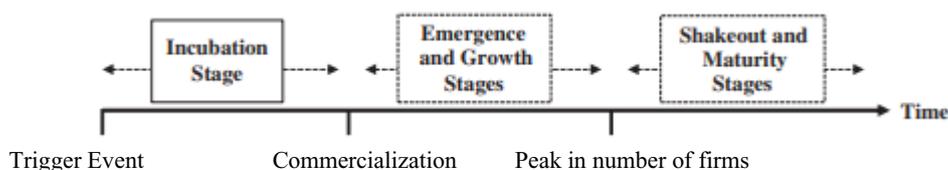


Fig.6: Linea temporale dell'evoluzione di un'industria

Come si può notare nella Fig.6 soprastante, l'evento trigger dà il via ad un periodo di incubazione che terminerà solamente con la commercializzazione del prodotto, a cui poi seguirà l'evoluzione dell'industria. L'evento trigger attiva un lungo periodo di incubazione, che può variare da diversi anni fino ad addirittura decenni, con l'obiettivo di ridurre l'incertezza tecnologica e l'incertezza di mercato per trasformare l'opportunità ottenuta dall'evento trigger in un'innovazione commercializzata. Questo periodo, pertanto, può essere considerato senz'altro il periodo cruciale della fase fluida.

<sup>4</sup> DARPA (Defense Advanced Research Project Agency) è l'Agenzia governativa statunitense incaricata dello sviluppo di nuove tecnologie per uso militare.

A seconda dell'evento trigger, le azioni effettuate in questo periodo si differenziano soprattutto per la natura degli attori coinvolti e per le diverse esigenze da soddisfare al fine di arrivare ad un prodotto commercializzato. Tuttavia, il periodo di incubazione può essere sintetizzato in sei tematiche principali con caratteristiche diverse a seconda della tipologia dell'evento trigger.

- Gli attori sono stimolati da *diversi incentivi*

Per le industrie il cui trigger è di tipo scientifico, il periodo di incubazione fa leva sugli inventori situati in università o inventori esperti dell'industria. In questi contesti, sono spesso previste norme per regolare i diritti di proprietà dell'invenzione oltre a ricompense economiche per premiare l'apporto scientifico generato. Questo privilegia pertanto incentivi non patrimoniali come la gioia della scoperta, le pubblicazioni scientifiche e riconoscimenti di valore reputazionale in seguito al riconoscimento del merito. Il potenziale commerciale della scoperta scientifica motiva in seguito l'applicazione a scopo di lucro, spesso attraverso la creazione di nuove imprese.

Nelle industrie innescate da bisogni degli utenti non soddisfatti, la fase di incubazione fa leva sui "lead user", utenti particolarmente competenti tipicamente più innovativi rispetto alla media, che sviluppano in completa autonomia nuove soluzioni a problemi esistenti e, nel processo, scoprono il potenziale di commercializzazione dell'innovazione generata.

In seguito ad una "grand challenge", la fase di incubazione coinvolge attori non specifici, ma sforzi individuali e organizzativi che "accettano" la sfida di trovare una soluzione ad un bisogno sociale sottostimato dai mercati esistenti.

Genericamente, si può pertanto affermare che gli attori e le azioni intraprese durante l'incubazione sono caratteristici della "distruzione creativa" senza tralasciare gli incentivi economici che, data l'elevata incertezza endogena, sono da intendere come rendimenti attesi piuttosto che attuali.

- L'incubazione è caratterizzata da *attori eterogenei con diverse conoscenze base*

Indipendentemente dalla tipologia, l'evento trigger scatena le energie creative di più attori che si impegnano nella risoluzione dei problemi e nello sviluppo della conoscenza di base dell'industria nascente. La diversità si manifesta soprattutto a livello di competenze che porta ad effettuare esperimenti diversi e ad intraprendere percorsi differenti per cogliere l'opportunità generata dall'evento trigger. Il periodo di incubazione è caratterizzato da un'elevata interazione tra i diversi attori nello scambio formale ed informale di idee, conoscenze base e risorse al fine di integrare le informazioni pertinenti per migliorare ulteriormente la redditività dell'industria.

La fonte di conoscenze eterogenee deriva quasi esclusivamente dal settore accademico, dalle industrie collegate alla tecnologia innovativa emergente e dalle industrie soggette ad obsolescenza che si approciano a nuove opportunità redditizie in altri ambiti. Questo insieme di conoscenze viene trasferito nella nuova industria nascente e sfruttato dai nuovi operatori del settore in più modi: il settore accademico apporta le proprie conoscenze scientifiche di base, le industrie collegate trasmettono le relative conoscenze tecnologiche e le industrie obsolescenti vengono considerate per le risorse complementari specializzate. Infatti, anche se vi è un'obsolescenza delle capacità tecnologiche, le risorse complementari specializzate possono conservare valore ed essere riutilizzate per la tecnologia innovativa emergente, mentre le

conoscenze tecnologiche delle industrie collegate vengono sfruttate per generare ancora più valore attraverso sforzi di diversificazione.

Le conoscenze derivanti dal contesto accademico sono di estrema importanza soprattutto per le startup, in particolare per gli spinoff universitari, il tipo di impresa che può essere quella dominante nel periodo di incubazione, sia in termini di commercializzazione dei prodotti che di investimenti tecnologici.

- L'incubazione è caratterizzata da una *significativa condivisione di conoscenze*  
La fase di incubazione è caratterizzata da ricchi scambi di informazioni tra i diversi attori all'interno delle comunità pertinenti per risolvere le incertezze: ad esempio, lo scambio di informazioni in industrie colpite da un trigger scientifico o da una "grand challenge" avviene perlopiù all'interno di università o di imprese, mentre per le invenzioni rivolte a bisogni ancora non soddisfatti sono i "lead user" a promuovere lo scambio di informazioni, prevalentemente con altri utenti.  
Questa condivisione di conoscenze avviene sia attraverso canali formali, quindi ad esempio tramite alleanze o acquisizioni, stimolata soprattutto da incentivi economici, oppure attraverso canali informali, come ad esempio i social network, stimolati perlopiù dal desiderio degli utenti di condividere idee con altri utenti altamente competenti.  
La condivisione di conoscenze è fondamentale per costruire la conoscenza base dell'industria durante questo periodo e per guidare gli esperimenti nelle giuste direzioni, riducendo potenzialmente la duplicazione degli sforzi.  
Essa può inoltre essere veicolata dalle imprese stesse che, durante il periodo di incubazione, partecipano e fomentano le dinamiche dei mercati della tecnologia e del controllo delle imprese, costituendo un importante meccanismo per trasferire le conoscenze esterne ad un'industria nascente. Invece di concentrarsi solo sullo sviluppo interno, le imprese si impegnano a stipulare alleanze e accordi di licenza con altre imprese o le università, oppure possono decidere di acquisire altre imprese per ottenere l'accesso e sfruttare le conoscenze sviluppate altrove. Queste operazioni non sono limitate solo alle imprese che investono tecnologicamente, ma includono anche altre imprese e università che dispongono di conoscenze rilevanti, sottolineando la vivacità di questi mercati in termini di sfruttamento di nuove imprese e di basi di conoscenza per la creazione di valore.
- Le azioni intraprese sono volte a *ridurre l'incertezza tecnologica e di mercato*  
Nel periodo di incubazione, le azioni intraprese pongono un'attenzione simultanea e ricorsiva, piuttosto che lineare, sia all'incertezza tecnologica sia all'incertezza di mercato. Durante questa fase, l'incertezza tecnologica deriva dalla conoscenza parziale sulle modalità e sulla fattibilità di integrare adeguatamente i progressi della conoscenza "core" e della conoscenza complementare che porti all'introduzione sul mercato di un prodotto valido. Al fine di ridurre questa incertezza, le principali azioni da svolgere in questa fase di incubazione sono la sperimentazione e lo sviluppo tecnologico, lo scambio di conoscenze tra gli attori e la definizione di regole/standard. L'incertezza di mercato, invece, deriva principalmente dalla conoscenza parziale delle preferenze dei clienti sul concept di un prodotto che potrebbe anche non essere disponibile sottoforma di prototipo per un'esperienza diretta. L'esperienza diretta degli utenti con i prototipi è un importante punto di riferimento su cui basarsi per intraprendere le successive azioni al fine di valutare il potenziale commerciale della

tecnologia e risolvere le incertezze di mercato attraverso la sensibilizzazione e lo sviluppo.

A seconda del trigger, le azioni per ridurre l'incertezza di mercato mirano ad obiettivi diversi: in seguito ad una scoperta scientifica, il focus va posto sull'identificazione di potenziali usi e potenziali utenti, sullo sviluppo di un'identità della tecnologia che sia facilmente comunicabile agli utenti e sulla creazione di interesse nella tecnologia; in seguito all'invenzione relativa ad un bisogno ancora non soddisfatto dai mercati esistenti, l'incertezza di mercato è minore in quanto si ha una soluzione ad un problema esistente, ma individuando ulteriori possibili utilizzi l'incertezza si riduce ulteriormente; la "grand challenge" comporta un'alta incertezza di mercato e per questo necessita l'identificazione di utilizzi commerciali, incoraggiando l'uso della tecnologia da parte degli individui coinvolti, aumentare l'interesse nella tecnologia e la creazione stessa di una domanda attraverso interventi governativi o accordi privati con aziende.

- L'incubazione è caratterizzata da una *consistente sperimentazione della tecnologia*  
Inizialmente, gli attori si avvicinano a questo periodo di incubazione con informazioni limitate sulla tecnologia e il suo potenziale, così come per i suoi ambiti applicativi. Solamente grazie alla sperimentazione della tecnologia, vengono scoperte nuove informazioni per ridurre l'incertezza tecnologica e di mercato. In effetti, l'evento trigger mette in moto una serie di esperimenti guidati dai diversi attori che sfruttano un insieme eterogeneo di risorse. Un trigger scientifico attiva una sequenza di esperimenti trial&error fino all'identificazione di una soluzione, così come per le "grand challenge"; mentre per l'invenzione rivolta ad un bisogno ancora non soddisfatto, è l'utente che sperimenta prelevando basi di conoscenza da diverse fonti. La ricerca e scoperta sperimentale sul potenziale uso della tecnologia e sui potenziali utenti si basa pertanto sull'incorporazione delle conoscenze nei prototipi del prodotto, sulla sensibilizzazione dell'utente riguardo alle caratteristiche del prodotto, e su cicli di insegnamento e apprendimento con i potenziali utenti per individuare ulteriori caratteristiche da incorporare nel prodotto.
- L'incubazione *plasma la struttura industriale e la strategia aziendale* post-commercializzazione  
Storicamente, è importante notare che la maggior parte delle industrie, in seguito al periodo di incubazione, sono caratterizzate da un periodo di quasi monopolio post-commercializzazione in cui una o poche aziende commercializzano il prodotto, mascherando il numero significativo di attori che investono in questo periodo di incubazione. Questa è la conseguenza dello shake-out di imprese che avviene in seguito all'affermazione del dominant design, ma tuttavia esso può essere ricondotto al mercato per il controllo delle imprese in cui alcune aziende escono dal mercato in seguito all'acquisizione da parte di altre aziende, e non quindi per investimenti inefficienti o per capacità inferiori. Per capire quale direzione intraprende l'industria dopo il periodo di incubazione, l'attenzione va posta nelle strategie scelte, competitive o collaborative, e negli investimenti effettuati dalle imprese: essi determinano chi assume il ruolo di commercializzazione del prodotto e chi assume ruoli supplementari nell'ecosistema in via di sviluppo.  
I tre tipi di imprese che intervengono in questo periodo di incubazione per catturare e generare il valore economico, in modo differente l'uno dagli altri, sono le startups, le

imprese incumbent con molta esperienza nei settori collegati alla tecnologia emergente e le imprese specializzate in diversificazione e quindi abili a catturare valore in nuovi settori.

Il vantaggio iniziale dell'impresa incumbent è tipicamente correlato al possesso di asset complementari che conservano il proprio valore anche in seguito all'obsolescenza delle capacità tecnologiche di base. Pertanto anche in caso di un'innovazione "competence destroying" in cui le imprese incumbent vengono più facilmente surclassate dalle imprese emergenti, il valore degli asset complementari si conserva consentendo alle imprese incumbent di acquisire un valore significativo attraverso la partecipazione lato vendita nel mercato per il controllo delle imprese.

Per quanto riguarda le imprese specializzate in diversificazione, esse traggono vantaggio da questa caratteristica, rispetto ai competitors, in termini di performance e di capacità integrative. Ciò rende questo tipo di impresa quella dominante nella fase post-incubazione, ovvero nella commercializzazione. Le capacità integrative non sono da intendere solamente come coordinamento interno della conoscenza rilevante lungo la value chain, ma anche perché consentono di dominare il mercato lato acquisto per il controllo delle imprese integrando efficientemente all'interno dell'organizzazione asset complementari necessari e conoscenze scientifiche di base.

Le startup, invece, essendo per natura innovative e derivanti dal contesto accademico catturano valore grazie alle proprie conoscenze scientifiche, approcciandosi al nuovo mercato con una soluzione dal potenziale commerciale decisamente significativo. Tuttavia, per la loro giovane età e ridotta dimensione, le startup hanno poca esperienza nelle industrie per cui la loro innovazione è piuttosto appropriata, riscontrando pertanto difficoltà nella commercializzazione della propria soluzione. Per tal motivo, le startup possono decidere di cooperare con le imprese incumbent già dalle fasi iniziali, attuare una strategia di uscita dal mercato di successo grazie all'acquisizione da parte di un'altra impresa oppure può lanciare il prodotto sul mercato indipendentemente. Questa scelta è influenzata fortemente dalla presenza o assenza di un "mercato di idee", un concetto di mercato in cui l'innovazione non è sotto forma di prodotto finale, ma consiste essenzialmente in un'idea, una proprietà intellettuale intangibile. La presenza di un "mercato di idee" favorisce la cooperazione tra le startup e le imprese, portando all'acquisizione della startup o ad una politica di licensing della sua proprietà intellettuale ad una o più imprese. In tal modo, la startup evita di incorrere in investimenti "sunk" per gli asset complementari indispensabili in fase di commercializzazione e l'impresa evita gli investimenti in attività di R&D il cui esito incerto può essere di valore decisamente inferiore rispetto all'innovazione elaborata dalla startup.

Sebbene l'evento trigger sia spesso seguito da una consistente risposta di attori eterogenei che compiono svariate azioni, non è assolutamente scontato che gli investimenti effettuati nel periodo di incubazione portino alla creazione di nuove industrie. Ne è un esempio l'automobile elettrica il cui primo prototipo risale addirittura al 1830-1840, ma ciò nonostante a causa dei limiti tecnologici e dei costi insostenibili non riuscì mai ad arrivare ad una diffusa commercializzazione, fino a pochi anni fa quando finalmente i costi sono diventati sostenibili e i limiti tecnologici sono stati risolti permettendo un'ampia diffusione del prodotto. Molto dipende dalla risoluzione delle incertezze della tecnologia durante l'incubazione, che indubbiamente influenza le decisioni delle imprese riguardo all'allocazione degli investimenti: se

continuare ad investire nella tecnologia o se guardarsi attorno per cercare nuove opportunità di investimento.

Le caratteristiche del periodo di incubazione hanno forti ripercussioni sullo sviluppo del dominant design che comincia a delinarsi proprio in questa fase. Gli elementi che lo compongono sono, infatti, frutto del lavoro di un'ampia eterogeneità di diversi attori che apportano il proprio contributo grazie alle proprie conoscenze di base, permettendo di ricoprire e soddisfare un ampio range di bisogni ed esigenze degli stakeholders, fondamentale per realizzare un prodotto che imponga il dominio sul mercato. Tuttavia, non è possibile modellare questo periodo in una sequenza lineare e programmata di azioni che portino alla commercializzazione per una specifica categoria di prodotto, in quanto inizialmente sia il potenziale della tecnologia sia di mercato sono piuttosto sconosciuti e solamente grazie alla sperimentazione ed alla condivisione di conoscenze si capisce quale direzione effettiva può prendere la tecnologia in questione. Questo rende eventuali previsioni sul dominant design molto difficili da effettuare, essendo in continuo cambiamento ed evoluzione a seconda dei risultati ottenuti e degli eventi avvenuti nel periodo di incubazione.

### 1.3.3 L'approccio pratico di Gartner: "Hype Cycle"

Oltre alla letteratura che fornisce l'apporto teorico indispensabile e necessario per comprendere i meccanismi di evoluzione dell'innovazione tecnologica nella fase fluida, diverse imprese di ricerca e società di consulenza hanno sviluppato delle metodologie di supporto pratico alla valutazione analitica delle tecnologie emergenti. Aziende come Gartner, IDC, Aberdeen e Forrester grazie a queste metodologie forniscono alle imprese clienti ricerche specifiche sulle tecnologie, in particolare su come tali tecnologie possono influenzare le loro organizzazioni e quali di queste dovrebbero adottare. In particolare, nel 1995 la società di consulenza Gartner<sup>5</sup> ha sviluppato una semplice metodologia grafica che evidenzia il valore percepito di una tecnologia emergente in relazione al tempo, a seconda della fase evolutiva che sta attraversando. La variabile presa principalmente in considerazione per riflettere il valore percepito sono le aspettative che gli stakeholders hanno della tecnologia emergente.

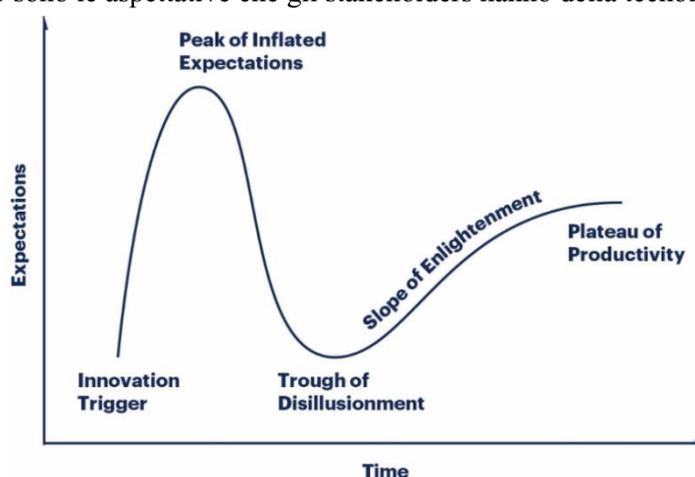


Fig. 7: Le fasi dell'Hype Cycle di Gartner

<sup>5</sup> Gartner Inc. è una multinazionale che si occupa di consulenza strategica, ricerca e analisi nel campo della tecnologia con oltre 15000 clienti nel mondo.

Il modello (Fig.7) è stato quindi sostanzialmente realizzato ed ideato come strumento di supporto decisionale per aiutare le imprese a determinare quando investire in una tecnologia. Esso prevede che una tecnologia emergente generica attraversi cinque fasi differenti, le cui tempistiche sono differenti per ogni tecnologia, dal trigger iniziale al “plateau of productivity”, ovvero l’ultima fase in cui la tecnologia è prodotta e commercializzata. In particolare, la prima equazione del modello è omocentrica e descrive le aspettative sotto forma di una curva con un punto di massimo, l’hype; la seconda equazione è una classica curva a S che rappresenta la maturità tecnologica.

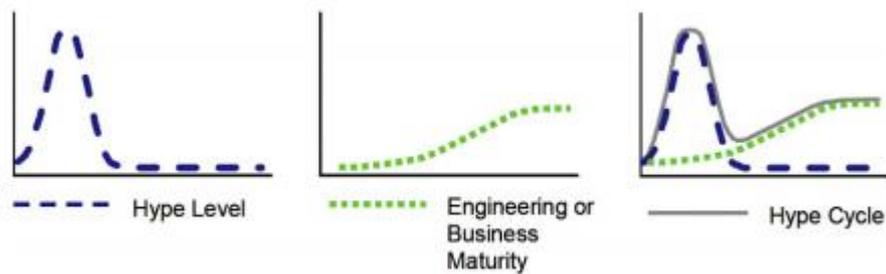


Fig.8: Le due curve che formano l’Hype Cycle

Ogni fase è caratterizzata da informazioni differenti che vengono promosse e diffuse dai media, influenzando pertanto il valore percepito della tecnologia degli utenti finale; di conseguenza, anche i ricercatori, a seconda della fase in cui la tecnologia si trova, avranno a disposizione informazioni diverse. La Fig. 8 sottostante riassume alcune delle informazioni disponibili e lo status delle tecnologie lungo la curva:

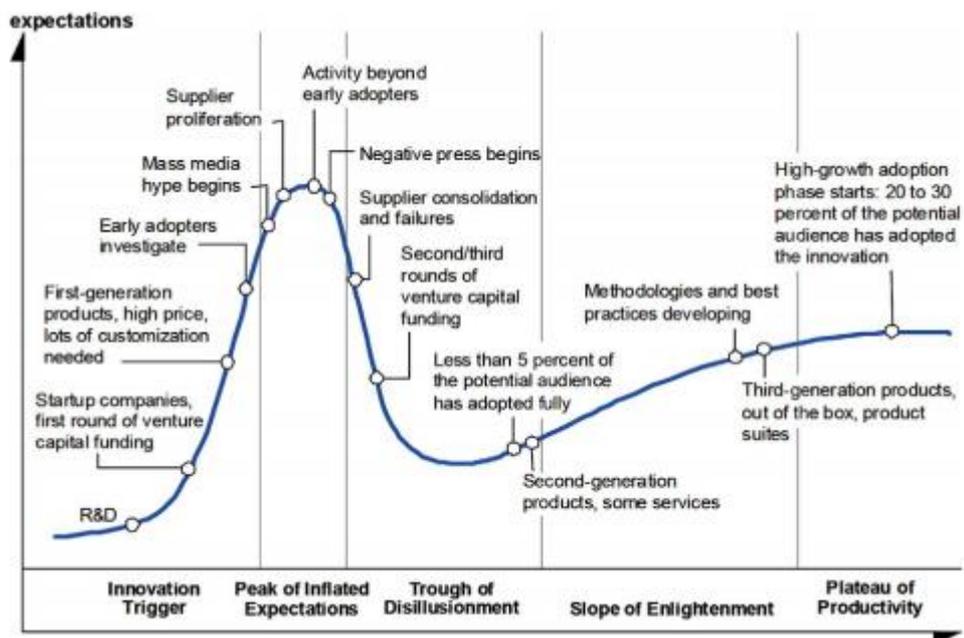


Fig. 9: Il flusso di informazioni disponibili nelle diverse fasi dell’Hype Cycle

La curva “a campana” delle aspettative è motivata da una reazione improvvisa, eccessivamente positiva e irrazionale all’introduzione di una nuova tecnologia. In particolare, ci sono quattro fenomeni della natura umana che giustificano questo hype: l’attrazione alla novità, l’amore per la condivisione, il “contagio” sociale e l’atteggiamento euristico nel processo decisionale. Questi fenomeni simultanei portano le persone a valutare il potenziale di una nuova tecnologia

con eccessivo entusiasmo. I media inoltre alimentano quest'ondata di entusiasmo, tendendo a concentrarsi su storie dal potenziale mediatico molto grande, attraendo un numero massiccio di sostenitori fino ad ottenere una massa critica fortemente interessata. Una volta che una tecnologia raggiunge l'hype, i decisori nelle organizzazioni possono sfruttare questo entusiasmo generato e seguire la tendenza piuttosto che valutare attentamente il potenziale della tecnologia stessa. Questa è una strategia potenzialmente pericolosa in quanto il picco di entusiasmo della nuova tecnologia è spesso seguita da deludenti risultati iniziali della prima generazione di applicazioni, causando un crollo delle aspettative fino a collassare in una depressione.

In seguito al rapido crollo dell'entusiasmo, il modello prevede un aumento delle aspettative tramite la curva a S, che descrive la maturità tecnologica basata sulla nozione di prestazione tecnica. La maturità di una tecnologia si sviluppa lentamente all'inizio, siccome i suoi fondamentali e le sue caratteristiche sono poco comprese e gli investimenti insieme alle prime adozioni possono comportare solo guadagni minori in termini di prestazione. Nonostante ciò, ad un certo punto di svolta, le prestazioni tecnologiche decollano fino al raggiungimento di un "plateau", definito dai limiti della tecnologia con un limite superiore a causa di barriere fisiche o divieti di costo.

Più specificatamente, il modello può essere diviso in cinque distinte fasi:

- 1) **Trigger innovativo:** un annuncio pubblico o una dimostrazione pratica innesca il ciclo. La consapevolezza della tecnologia inizia a diffondersi e attira la prima copertura mediatica. Gli investitori di capitale di rischio e le società di adozione mirano a capitalizzare su possibili vantaggi da "first mover".
- 2) **Picco di aspettative gonfiate:** questa fase è caratterizzata da alte aspettative potenziate ulteriormente dalla copertura mediatica. A seguito di esternalità di rete, le aziende investono senza avere una strategia chiara o un solido business case.
- 3) **Disillusione:** l'eccesso di entusiasmo e gli investimenti, influenzati fortemente dall'hype generato, si traducono in adozioni commerciali che non riescono a soddisfare le aspettative di performance e/o di fatturato. L'opinione pubblica è pertanto delusa dai risultati ottenuti e questo viene notevolmente enfatizzato dai media, questa volta negativamente.
- 4) **Ascesa per illuminazione:** alcuni primi utilizzatori o organizzazioni che hanno continuato a lavorare con la tecnologia iniziano a sperimentare benefici netti e riacquistano la motivazione. Con più investimenti, la comprensione contestuale della tecnologia cresce, con conseguente aumento delle performance tecnologiche. La tecnologia inizia ad essere socializzata.
- 5) **Plateau di produttività:** la tecnologia è realisticamente apprezzata sia dai clienti sia dai media. A seguito dell'affermazione con successo nel mercato delle nuove applicazioni, l'adozione della tecnologia accelera.

Ogni anno, la società di consulenza Gartner pubblica un report annuale in cui posiziona le tecnologie emergenti sulla curva del grafico, fornendo inoltre una previsione temporale sul raggiungimento dell'ultima fase, il "plateau" di produttività. Il grafico sottostante (Fig. 10) è riferito all'anno 2020:



Fig.10: "Hype Cycle for Emerging Technologies", Gartner, 2020

Il modello presentato ha suscitato molto interesse nella letteratura moderna, per cui diversi studiosi hanno empiricamente testato il modello su specifiche tecnologie per valutarne l'affidabilità. In un'analisi effettuata da M. Steinert e O. Dedehayir<sup>6</sup>, vengono fortemente messe in discussione le fondamenta teoriche del modello, in quanto generano una certa incertezza circa la sua effettiva applicabilità per qualsiasi tecnologia in esame. In primo luogo, la sommatoria matematica di due diversi modelli di evoluzione per formare un singolo modello è ritenuta parecchio discutibile, così come le teorie di fondo che misurano l'entità dei diversi fenomeni. Inoltre, considerando il tempo come variabile indipendente sull'asse x, le variabili dipendenti di entrambe le equazioni (le aspettative per la prima equazione omocentrica e la performance tecnologica per la seconda curva a S) non possono essere collocate simultaneamente sullo stesso asse y e pertanto devono rimanere disperate.

In secondo luogo, la stessa definizione dell'asse y del grafico suscita diverse perplessità: la stessa Gartner utilizza entrambi i concetti di "aspettative" e "visibilità" per il modello. Nonostante le aspettative vengano definite come "la rappresentazione in tempo reale dei futuri scenari e capacità della tecnologia" e la visibilità come "tasso di presenza della tecnologia sui canali mediatici, conferenze e conversazioni interpersonali", non viene fornita alcuna definizione operativa che possa effettivamente quantificare questi due distinti concetti. In terzo luogo, le aspettative sono espresse da diversi gruppi di attori, tra cui le imprese imprenditoriali, le imprese incumbent e le istituzioni politiche (governi, associazioni non governative e gruppi di lobby). Di conseguenza, non è chiaro se il modello proposto da Gartner sia una tendenza

<sup>6</sup> Analisi pubblicata nell'elaborato "The Hype Cycle model: a review and future directions", Technological Forecasting & Social Change, 2016

generica che si prevede emerga nel tempo rispetto ad ogni stakeholder o se sia un modello composito.

Al fine di testare empiricamente l'applicabilità del modello, i due autori hanno analizzato e raccolto dati direttamente dalla società Gartner riguardo l'evoluzione temporale di 46 tecnologie operanti approssimativamente alla stessa categoria, ovvero il settore energetico, riscontrando diverse incongruenze. In primis, la prima incongruenza riguarda la durata dell'hype cycle che per la società Gartner può durare all'incirca dai 5 ai 8 anni che, considerando la natura del modello composto da 5 diverse fasi, si traduce in una "stage speed" media tra 0,625 e 1. Per l'insieme delle tecnologie analizzate, gli autori hanno riscontrato una "stage speed" di solo 0,23 fasi per anno per una durata complessiva dell'hype cycle stimata in 21,76 anni. Tuttavia, è importante precisare che i dati forniti dalla società Gartner impediscono di effettuare un'analisi completa in quanto, ad esempio, alcune tecnologie compaiono nei report solamente nelle fasi finali del modello, trascurando le fasi precedenti. Pertanto, si può assumere che una tecnologia sia in grado di arrivare al "plateau" di produttività senza sperimentare aspettative gonfiate o disillusioni.

L'evoluzione stessa delle tecnologie sembra essere alquanto imprevedibile, tanto che la maggior parte delle tecnologie sembrano essere rimosse dalle analisi di Gartner senza aver completato l'hype cycle. Addirittura, la denominazione delle tecnologie nel database di Gartner non è sempre coerente nel tempo, rendendo ancora più difficili i confronti temporali: un chiaro esempio è rappresentato da una tecnologia, un avanzato sistema hi-tech di misurazione, che negli anni successivi è stata divisa in due distinte tecnologie posizionate entrambe più indietro nel modello evolutivo rispetto alla tecnologia originaria.

Queste incongruenze evidenziano che le tecnologie, prese singolarmente, non necessariamente si comportano come descritto nel modello proposto da Gartner. Le cause di ciò vanno ricercate proprio nelle incongruenze teoriche del modello, precedentemente rappresentate: la sovrapposizione di due modelli evolutivi discreti per formare un unico modello, l'equivoca definizione della variabile dipendente (asse y) e l'improbabile generalizzazione del modello per tutti gli stakeholders.

## **2. LA GUIDA AUTONOMA**

### **2.1 Presentazione della tecnologia: la sua evoluzione nel tempo**

La “self-driving car” è l’idea di veicolo, ormai non più futuristica, capace di performare automaticamente le necessarie funzionalità di un veicolo, senza la necessità dell’intervento umano per garantire il corretto funzionamento in sicurezza del veicolo. Il concetto di questa tipologia di veicolo trova le sue origini in una fiera scientifica a livello mondiale del 1939, presso New York: il progettista industriale Norman Bel Geddes colse quest’occasione per presentare il suo progetto grafico chiamata “Futurama” finanziato dalla General Motors. L’autore si immaginò come la società si sarebbe evoluta in un arco di 20 anni e rappresentò immense città con altissimi grattacieli ed una fittissima rete di strade percorse da un grande numero di veicoli elettrici radiocontrollati che, per il movimento, sfruttano i circuiti elettromagnetici generati da circuiti integrati nella struttura delle strade stesse.

Egli raffinò la sua visione nel libro “Magic Motorways” in cui descrisse ancora più precisamente la sua visione e spinse per un notevole miglioramento della rete stradale americana e del sistema di trasporti prefigurando l’Interstate Highway System, la rete autostradale che percorre tutt’oggi gli USA, e sostenendo che l’essere umano dovrebbe essere estromesso dal processo di guida di un veicolo. Le sue previsioni furono decisamente affrettate, infatti 20 anni più tardi nel 1960, non ci furono cambiamenti drastici e non ci fu ovviamente traccia di veicoli elettrici o autonomi commercializzati.

Tuttavia, oggi non si può dire lo stesso: le grandi case automobilistiche stanno adattando la produzione al veicolo elettrico ed il veicolo a guida autonoma rappresenta il prossimo step evolutivo di questo settore. Ma facciamo ancora qualche passo indietro, per capire come e perchè questa tecnologia si sia evoluta fino ad arrivare ai giorni nostri.

#### **2.1.1 Una lunga era di sperimentazione**

Dagli anni ’50 agli anni ’90 ci fu un lungo periodo di sperimentazione piuttosto fine a sé stessa, con l’obiettivo di esplorare questa tecnologia futuristica per valutarne la fattibilità senza quindi l’intento di creare una vera e propria soluzione che potesse essere subito realizzabile per la commercializzazione sul mercato di massa.

Fu in questo contesto che nel 1957 l’azienda RCA Lab, azienda che in quel periodo era leader nel settore dell’elettronica (per poi chiudere definitivamente nel 1985), creò con successo il primo veicolo a guida autonoma che percorse un tratto di strada pubblica. Il veicolo sfruttava un sofisticato sistema implementato nel percorso stradale composto da una serie di circuiti elettromagnetici ed una serie di luci sui lati della strada: i circuiti erano in grado di inviare segnali al veicolo per mantenere la direzione e determinare la presenza di altri veicoli sulla strada.

Un altro progetto degno di nota fu quello promosso negli anni ’60 dal “Transport and Road Research Laboratory” del Regno Unito per cui venne utilizzata una Citroen DS senza guidatore che interagiva con dei cavi magnetici incorporati nella strada, grazie al quale viaggiò

per decine di km ad una velocità costante di 130 km/h senza variazioni di direzione o di velocità, indipendentemente dalle condizioni meteorologiche.

Successivamente, negli anni '80 fu la Mercedes-Benz a realizzare il primo van completamente robotizzato capace di viaggiare in strade senza traffico ad una velocità di circa 60 km/h. Ma soprattutto, nel 1987 venne avviato il progetto Prometheus, che ricevette finanziamenti per circa 750 milioni di €, in cui parteciparono numerose università e case automobilistiche con l'obiettivo di definire le linee guida necessarie per lo sviluppo della guida autonoma nel mercato europeo, dando priorità assoluta all'efficienza del traffico stradale e alla sicurezza. Nello stesso periodo, l'agenzia di R&D statunitense DARPA strinse numerose collaborazioni con università ed istituzioni a favore del suo progetto Autonomous Land driven Vehicle. Grazie a ciò, diede la prima dimostrazione pratica di una macchina a guida autonoma che utilizzi per lo spostamento il sistema di misurazione laser Lidar, un controllo robotizzato autonomo ed una visione computerizzata per via della comprensione digitale di immagini e video: il prodotto fu pertanto un prototipo piuttosto automatizzato con una velocità massima di circa 30 Km/h.

Qualche anno più tardi, grazie alla collaborazione con la Carnegie Mellon University, il progetto ALV si arricchì delle "neural networks", ovvero delle reti neurali per guidare e controllare il veicolo. La stessa università avviò il progetto Navlab nel 1995, utilizzando un prototipo munito di reti neurali per il totale controllo del volante, mentre per controllare i pedali del freno e dell'acceleratore, era ancora necessario l'intervento umano. Per testare la macchina, fu promosso un tour per gli Stati Uniti di circa 4550 Km di cui il 98,2% percorsi senza l'intervento umano per il controllo del volante: da qui, prese il nome questo storico test definito "No Hands Across America".

### **2.1.2 Le DARPA Grand Challenges dell'era moderna**

Nei primi anni del nuovo Millennio, l'agenzia DARPA promosse una serie di Grand Challenges che diedero un'incredibile spinta per lo sviluppo della tecnologia della guida autonoma, cosicché possano essere considerati come un vero e proprio trigger innovativo per la nuova era di questa tecnologia. L'obiettivo dell'agenzia era proprio stimolare il progresso tecnologico a favore dell'esercito statunitense per una futura flotta di veicoli militari da terra senza alcun umano a bordo, tanto che le Grand Challenges furono finanziate direttamente dal Congresso.

L'agenzia DARPA diede il via a questa serie di Grand Challenges nel 2004, offrendo un premio di 1 milione di \$ indirizzato al migliore team di ingegneria robotica in grado di realizzare un veicolo autonomo capace di completare un percorso di 142 miglia con un tempo limite di 10 ore, nel deserto del Mojave in California. Sfortunatamente, la prima non riscontrò successo, in quanto nessun team riuscì a completare il percorso con il proprio prototipo presentato, anzi la maggior parte fallì nel primo tratto del percorso nonostante la mancanza di ostacoli lungo il percorso ben definito.

La seconda si svolse l'anno successivo, il premio fu raddoppiato e l'esito fu più che soddisfacente. Venne svolta sempre nel deserto con lunghezza e limite di tempo pressoché identici alla prima Grand Challenge, ma questa volta il percorso era caratterizzato da diverse tipologie di superficie da percorrere e numerosi ostacoli. Nonostante queste difficoltà, al contrario della prima Grand Challenge, 4 macchine robotizzate riuscirono a completare il

percorso nei tempi limiti, di cui una fu selezionata come vincitrice. Il fatto più rilevante è sicuramente l'avanzamento tecnologico compiuto in pochi mesi che ha permesso a diversi team di realizzare un veicolo completamente autonomo senza la necessità ed addirittura la presenza di un essere umano per il controllo del veicolo.

La terza ed ultima Grand Challenge cambiò completamente ambientazione dato che per la prima volta i partecipanti dovettero competere in un ambiente urbano. Per ricreare il più possibile una situazione urbana quotidiana, i partecipanti vennero testati in una piccola città con strade asfaltate e trafficate da circa una trentina di veicoli convenzionali. In tal modo, ai partecipanti non si chiese più solamente di realizzare un veicolo capace di percorrere una lunga distanza, ma soprattutto la capacità di realizzare un veicolo in grado di compiere decisioni in tempo reale in base alle condizioni del traffico, nel pieno rispetto delle leggi stradali. Nonostante le difficoltà, fu la Carnegie Mellon University ad aggiudicarsi il primo premio.<sup>7</sup>

Questa serie di Grand Challenges furono un importantissimo successo che definì scientificamente ed empiricamente le fondamenta del campo tecnologico della guida autonoma. Inoltre, ciò spinse le più grandi case automobilistiche (e non solo) a credere nella tecnologia, studiarla, svilupparla ed integrarla nei propri progetti di ricerca, permettendo di arrivare ad oggi con un alto livello di conoscenze, competenze tecnologiche ed investimenti in questo campo, rendendo una passata idea del visionario Bel Geddes una realtà ancora lontana dalla sua completa realizzazione, ma non più una mera immaginazione.

### **2.1.3 L'impatto della classificazione di SAE International sullo sviluppo della tecnologia**

Il progresso tecnologico della guida autonoma sviluppato negli anni delle Grand Challenges dimostrò agli attori dell'industria automotive la sua validità ed il suo incredibile potenziale. Proprio per questo, anche le grandi case automobilistiche come BMW, Mercedes Benz, Audi, Toyota, Volvo e Nissan oltre a grandi aziende leader nella progettazione di software come Google iniziarono a testare in proprio tecnologie di supporto alla guida del veicolo per l'essere umano. Se prima delle Grand Challenges, erano principalmente istituzioni governative ed università ad effettuare test e sviluppare progetti incentrati sulla guida autonoma, ora ad intervenire sono le principali aziende che guidano il settore mondiale dell'automotive.

Studiando le potenzialità di questa tecnologia, fin dai primi passi le aziende riscontrarono diversi benefici dal lavoro dei dipartimenti di R&D. Ed in breve tempo, cominciarono a sviluppare sistemi avanzati di assistenza al guidatore, denominati ADAS ("Advanced Driver Assistance System"), che assistono attivamente il guidatore in determinate operazioni di guida. Tra questi sistemi, troviamo ad esempio:

- "Adaptive Cruise Control": un sistema elettronico di controllo adattivo della velocità del veicolo. Il guidatore può impostare la velocità del veicolo che viene mantenuta costante ed attraverso l'utilizzo di un sensore radar (o laser), il sistema monitora la distanza mantenuta rispetto al veicolo che lo precede. Nel caso in cui questa distanza sia minore alla distanza di sicurezza, il sistema riduce automaticamente la velocità della vettura per riportarla entro i limiti soglia.

---

<sup>7</sup> <https://www.darpa.mil/about-us/timeline/darpa-urban-challenge>

- “Lane Keep Assist”: grazie ad un sistema di telecamere integrate nel veicolo, il Lane Keep Assist è in grado di rilevare le linee sull’asfalto che delimitano la carreggiata e le corsie oltre ad individuare la corsia di marcia che il veicolo sta percorrendo. Grazie a questo meccanismo, il sistema rileva ogni eventuale deviazione del veicolo dalla traiettoria ideale ed interviene attivamente sullo sterzo e l’impianto frenante per correggere la direzione ed evitare che il veicolo fuoriesca dalla sua corsia di marcia.
- “Parking Assistant”: si tratta di un sistema che assiste attivamente il guidatore nelle manovre di parcheggio in parallelo. Ma non solo, tale tecnologia è in grado di monitorare, utilizzando sensori ad ultrasuoni, lo spazio libero tra le auto parcheggiate negli appositi spazi mentre il veicolo transita nei pressi ad una velocità ridotta e verifica prontamente se tale spazio è sufficiente per ospitare il veicolo in movimento. Questo sistema gestisce autonomamente le manovre di sterzo del volante, mentre il guidatore dovrà occuparsi solamente dei pedali di accelerazione/frenata oltre all’eventuale cambio.

L’introduzione di questi nuovi sistemi di assistenza attiva al guidatore è stato qualcosa di piuttosto rivoluzionario per il settore dell’automotive. Fenomeno che si è verificato in un contesto legislativo piuttosto ancorato al sistema convenzionale, per cui nessuna di queste nuove tecnologie è stata logicamente considerata.

In questo scenario, intervenne prontamente l’istituzione SAE International, un ente americano formato da esperti del settore che si occupa di definire normative e standard nel settore della mobilità. Con l’obiettivo di definire la terminologia comune per la guida autonoma, l’organizzazione elaborò il nuovo standard J3016 denominato “Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems”, in cui viene fornita una classificazione dei diversi possibili livelli di autonomia, da “completamente manuale” a “completamente automatizzato”. Grazie a questa normativa, si è eliminata la confusione riguardo a questa nuova tecnologia emergente, favorendo la comprensione non solo per i consumatori finali, ma anche per le stesse case automobilistiche e per possibili questioni legali. I livelli individuati dall’ente sono i seguenti:

- **Livello 0: “No Automation”**  
Il veicolo non possiede alcuna tipologia di automazione, pertanto il guidatore umano è a carico di tutte le operazioni di guida dinamiche (frenare, accelerare, direzionare il veicolo o monitorare la strada) e tattiche (usare la segnaletica luminosa, saper agire a seconda degli eventi, cambiare corsia, ecc.), sebbene siano presenti possibili sistemi di allarme che avvertono il guidatore, ma non lo assistono attivamente. Ad esempio, il sistema automatico di frenata d’emergenza che applica una frenata più aggressiva in caso di una collisione imminente è da considerare in questo livello.
- **Livello 1: “Driver Assistance”**  
Il veicolo possiede alcuni meccanismi che aiutano il guidatore in alcune delle semplici operazioni di guida dinamiche utilizzando un numero limitato di informazioni riguardo all’ambiente di guida senza però prenderne totalmente il controllo. Quest’ultimo viene condiviso con il guidatore stesso che, pertanto, deve mantenere il controllo del veicolo in ogni momento ed eseguire tutte le operazioni di guida rimanenti. Il livello di autonomia è ancora molto basso, trattandosi perlopiù di un’assistenza attiva al guidatore. Alcuni esempi di sistemi di assistenza alla guida che

classificano il veicolo al livello 1 sono l'Adaptive Cruise Control o il Lane Keep Assist analizzati precedentemente.

- **Livello 2: “Partial Automation”**

In questo livello, il veicolo possiede sistemi di automazione tali che le operazioni di frenata, accelerazione ed il controllo del volante sono eseguite dal veicolo stesso. Essendo un livello di automazione parziale, il guidatore umano deve ancora essere attento e pronto ad intervenire prontamente per riprendere il controllo del veicolo in ogni momento, se il sistema di automazione fallisce nell'esecuzione. Un esempio di questo livello di automazione è l'Autopilot elaborato dall'azienda Tesla che permette al veicolo di accelerare, frenare e compiere manovre a seconda delle condizioni del traffico autonomamente.

- **Livello 3: “Conditional Automation”**

Da questo livello, il veicolo è in grado di analizzare ed elaborare tutte le informazioni relative all'ambiente di guida e pertanto il guidatore può tranquillamente distogliere l'attenzione dalle operazioni di guida dinamiche, in quanto il veicolo ha un sufficiente livello tecnologico per essere completamente autonomo durante il percorso. Tuttavia, nonostante non sia necessario lo stesso livello di interesse, il guidatore deve essere pronto ad intervenire nel caso in cui il sistema stesso richieda il suo intervento per prendere il controllo totale o parziale delle operazioni di guida, per esempio a causa di variazioni improvvise del meteo oppure per incompatibilità con la superficie che si sta percorrendo. Alcuni esempi di tecnologie che possono classificare un veicolo in questo livello sono il cosiddetto “Traffic Jam Chaffeur” che permette al veicolo di essere completamente autonomo alla guida in condizioni rilevanti di traffico, oppure l'Automated Lane Keeping System” che consente al veicolo di mantenere autonomamente la corsia di percorrenza e non solo, ma anche di effettuare svolte o evitare possibili ostacoli presenti nel percorso.

Le condizioni imposte dall'istituto SAE International hanno acceso nell'ambiente dell'automotive un acceso dibattito, rendendolo il più controverso dei vari livelli. Infatti, la grande differenza tra il livello 3 e il 2 sta nella capacità del veicolo di elaborare tutte le informazioni esterne al veicolo, potendo così effettuare tutte le operazioni di guida, permettendo al guidatore (o meglio, il passeggero) di distogliere completamente l'attenzione dalle operazioni del veicolo, lasciandogli però la responsabilità di intervenire nel caso in cui il sistema lo richieda. Tuttavia, tali richieste di intervento potrebbero essere tempestive, cogliendo di sorpresa il guidatore che potrebbe non essere consapevole dello status del veicolo durante tutto il percorso. Ci fosse un problema, quindi potrebbe essere molto difficile per il guidatore riprendere il controllo del veicolo in totale sicurezza e la consapevolezza del contesto in cui si trova, ponendolo in una situazione molto rischiosa per cui è necessario prendere decisioni in una frazione di secondo.

○ **Livello 4: “High Automation”**

Al livello 4, il guidatore del veicolo può essere definito un passeggero a tutti gli effetti dall’inizio alla fine del percorso. Infatti, il veicolo è così avanzato tecnologicamente che non sarà necessario più alcun intervento di un essere umano per ogni possibile situazione che si potrebbe verificare, quindi anche per quelle più rischiose che necessitano di un alto livello di sicurezza. Il veicolo è pertanto in grado di compiere tutte le possibili operazioni di guida in condizioni definite che potenzialmente possono non prevedere determinate aree geografiche o critiche condizioni ambientali. Quindi, in caso di impossibilità di operare in completa autonomia, il veicolo potrebbe allarmare il passeggero per prendere il controllo del veicolo oppure mettere in sicurezza il veicolo automaticamente nel caso in cui il passeggero non risponda agli avvisi.

○ **Livello 5: “Full Automation”**

Un veicolo al livello 5 è totalmente autonomo, indipendentemente dalle condizioni stradali e/o ambientali. Al guidatore non sarà mai richiesto alcun tipo di intervento, essendo il veicolo in grado di effettuare tutte le possibili operazioni di guida in qualsiasi possibile contesto. Il volante, ad esempio, potrebbe diventare a tutti gli effetti un optional o semplicemente per alcuni veicoli non sarà più possibile l’intervento di un essere umano alla guida.

Più recentemente, nel mese di aprile 2021, SAE International ha pubblicato un aggiornamento (Fig.11) per arricchire il contenuto della classificazione, chiarendo le responsabilità dell’essere umano all’interno del veicolo e le caratteristiche del sistema tecnologico di guida, a seconda del livello di automazione del veicolo:

	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 are driving whenever these driver support features are engaged – even if your feet are off the pedals and you are not steering			You are not 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	
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"> <li>• automatic emergency braking</li> <li>• blind spot warning</li> <li>• lane departure warning</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lane centering OR</li> <li>• adaptive cruise control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lane centering AND</li> <li>• adaptive cruise control at the same time</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• traffic jam chauffeur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• local driverless taxi</li> <li>• pedals/steering wheel may or may not be installed</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• same as level 4, but feature can drive everywhere in all conditions</li> </ul>

Fig. 11: “Updated Visual Chart for Its “Levels of Driving Automation” Standard for Self-Driving Vehicles”, SAE International, 2021

Tuttavia, la classificazione fornita dall'istituzione ha suscitato (e continua a farlo) diverse critiche da esperti dell'ambiente automotive per la sua visione piuttosto semplicistica della tecnologia, infatti ad esempio, tra gli argomenti considerati non trova alcun spazio l'influenza che la tecnologia della guida autonoma<sup>8</sup> comporta sulle infrastrutture o sull'ambiente né tantomeno vengono definiti gli scenari in cui i diversi livelli possono trovare terreno fertile.<sup>9</sup>

Pertanto, questa classificazione è stata sicuramente un passo importante per ordinare le idee in un settore piuttosto confuso e colpito dall'emergere di questa nuova tecnologia, ma nonostante ciò al giorno d'oggi presenta evidenti limiti nel fornire le adeguate indicazioni alle aziende che stanno investendo e sviluppando la tecnologia della guida autonoma. Infatti, è necessario per tutte le parti in causa avere informazioni decisamente più chiare e specifiche riguardo alle condizioni in cui un sistema di guida autonoma può operare, oltre ai cambiamenti necessari sull'ambiente esterno per garantire l'effettiva operatività della tecnologia in sicurezza. A tale scopo, è importante non limitarsi solamente all'aspetto pratico della guida del veicolo e alle responsabilità dell'essere umano o della tecnologia a seconda del livello in cui si trova, ma è fondamentale porre maggiore attenzione sulle regole stradali, le infrastrutture e alle diverse caratteristiche delle zone geografiche in cui la tecnologia si diffonderà. Lo scopo della metodologia realizzata ed illustrata nel capitolo successivo è proprio quello di analizzare la tecnologia della "guida autonoma" considerando tutte le variabili di fondamentale importanza per il suo sviluppo e diffusione nella società, per capire quale forma essa assumerà a seconda dei possibili contesti stradali che si differenziano per zona geografica e caratteristiche intrinseche.

---

<sup>8</sup> Si precisa che, in tale elaborato, per "tecnologia della guida autonoma" si intende la tecnologia ad un livello 4 o 5 di autonomia che permette l'estromissione dell'essere umano dal processo di guida del veicolo.

<sup>9</sup> In particolare, E. Stayton e J. Stilgoe, rispettivamente ricercatore al MIT e Professore in Scienze e Tecnologie all'University College London, criticano duramente la classificazione proposta da SAE International in un breve elaborato intitolato "*It's time to rethink levels of automation for self-driving vehicles*", IEEE Technology and Society Magazine, 2020.

## 2.2 L'attuale momento storico della tecnologia

Per comprendere in quale stadio evolutivo si trova la tecnologia della guida autonoma, un ottimo strumento grafico è l'Hype Cycle di Gartner precedentemente analizzato. Nella Fig.12 sottostante, la società di consulenza ha posizionato nel grafico le principali tecnologie che operano nel campo tecnologico della Smart Mobility e della connessione tra i veicoli.

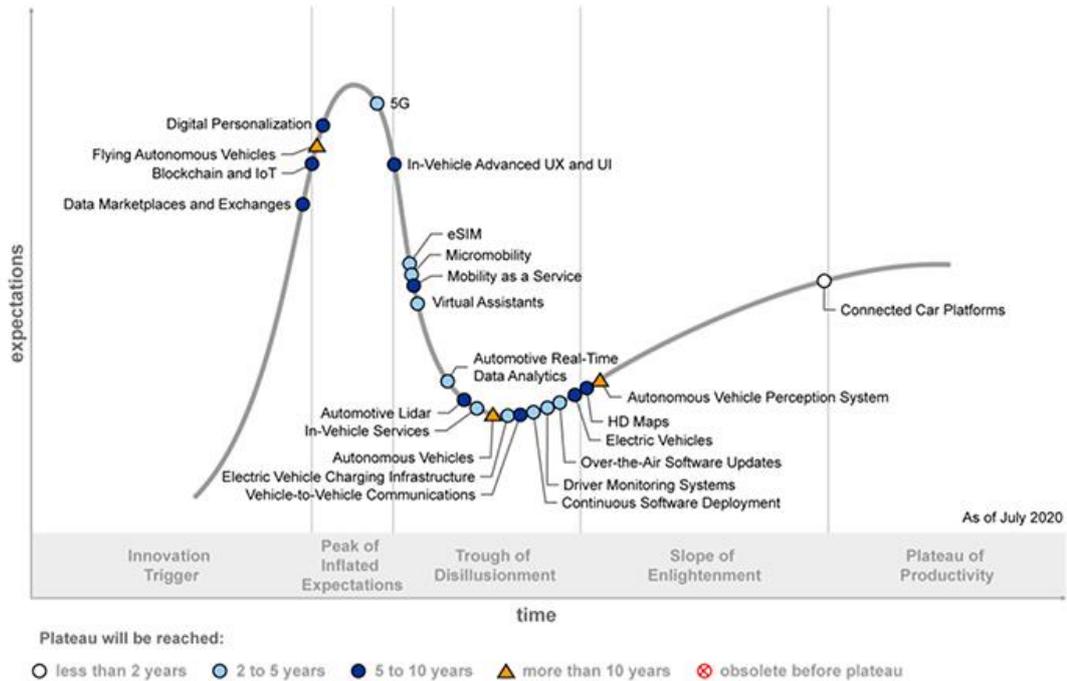


Fig. 12: "Hype Cycle for Connected Vehicles and Smart Mobility", Gartner, 2020

Come si può notare, la tecnologia della guida autonoma viene posizionata nel punto più basso del grafico in seguito al calo vertiginoso delle aspettative, a causa soprattutto delle tempistiche ancora piuttosto incerte per l'integrazione di questa tecnologia nel mercato, per cui prevedibilmente si dovrà attendere ancora qualche decennio. E non solo, anche le tecnologie che intervengono nel campo tecnologico della guida autonoma si trovano in questa fase, come ad esempio il sistema di misurazione laser LiDAR o i sistemi di monitoraggio della guida per cui però si prevede che raggiungano il "plateau" di produttività in tempi decisamente più brevi, ovvero in 5-10 anni. D'altronde come è logico attendersi, da quando queste tecnologie, che nel loro insieme permettono ad un veicolo di operare autonomamente, avranno raggiunto il "plateau" di produttività, sarà necessario un periodo di tempo sicuramente non breve per risolvere tutti i problemi e le difficoltà che comporta l'integrazione e la diffusione della guida autonoma nel mercato dell'automotive e nella vita quotidiana.

Si può assumere pertanto che la tecnologia della guida autonoma si trovi nella *fase fluida* di sviluppo, più specificatamente nel periodo di *incubazione*, come testimoniato dalla massiva sperimentazione della tecnologia in corso da diversi anni e dalla grande quantità di investimenti che le più grandi case automobilistiche, e non solo, stanno investendo in R&D e partnership al fine di progredire a passo spedito verso la produzione di massa di veicoli completamente autonomi. Presumibilmente, la tecnologia rimarrà nella fase di incubazione ancora per diverso tempo, decenni probabilmente come suggerito dalla previsione di Gartner,

con un sostanziale aumento degli investimenti non solo relativi alla tecnologia in sé ma soprattutto per le infrastrutture, oltre ad un incremento dei test e sperimentazioni su larga scala.

L'emergere di questa tecnologia rivoluzionaria nel settore dell'automotive ha creato un ambiente piuttosto dinamico, permettendo ad aziende provenienti da settori diversi di inserirsi sfruttando le proprie competenze ed investire nella tecnologia della "guida autonoma", precedendo anche le più grandi case automobilistiche che, tuttavia, hanno cominciato a percepirne il grande potenziale e, di conseguenza, realizzare investimenti mirati per non rimanere "stuck in the middle".

L'azienda Waymo al momento è la leader indiscussa nel campo tecnologico della guida autonoma. L'azienda statunitense fa parte del gruppo Alphabet, holding controllata principalmente da Google che fondò proprio Waymo nel 2009. Fin dalle sue origini, l'azienda ha lavorato sulla tecnologia della guida autonoma e ha condotto una massiccia sperimentazione che, secondo i dati, ha permesso di testare la tecnologia su veicoli che in totale hanno già percorso più di 40 milioni di Km. L'azienda ha già speso decine e decine di miliardi e continua a ricevere finanziamenti per lo sviluppo della tecnologia: recentemente, sono stati raccolti più di 2 miliardi di \$ da aziende esterne al gruppo Alphabet, soprattutto da fondi di investimento. La strategia di Waymo è focalizzarsi esclusivamente sullo sviluppo del software per la guida autonoma, non di diventare un costruttore di auto. A tal fine, ha stretto importanti partnership con Stellantis, Daimler, Jaguar e Volvo per poter testare il proprio software con lo scopo di realizzare dei veicoli e mezzi pesanti autonomi ad uso commerciale. Il software sviluppato dall'azienda al momento utilizza un gran numero di sensori, la potenza computazionale dell'intelligenza artificiale a bordo ed è in grado di sfruttare l'immensa quantità di dati inerenti alle mappe geografiche a disposizione di Google. Nel 2018, Waymo ha lanciato il primo servizio commerciale al mondo di "ride-hailing" (servizio taxi) autonomo nella città di Phoenix: il servizio può operare su una superficie di circa 100 miglia quadrate nell'area metropolitana di Phoenix e prevede ancora per il momento la presenza di un operatore di sicurezza al volante.

Un'altra importante realtà, in questo nuovo settore emergente, è Cruise Automation, una startup sviluppata direttamente da General Motors con l'obiettivo di realizzare veicoli a guida autonoma completamente elettrici. Grazie alla partnership con Honda, Cruise possiede al momento una delle strategie di mercato più consolidate ed aggressive tra le attuali case automobilistiche. Nel 2019, la startup ha raggiunto una valutazione di 19 miliardi di \$ e, nel marzo 2020, General Motors ha annunciato di investire più di 20 miliardi su un orizzonte di 5 anni per la tecnologia della guida autonoma. Qualche mese più tardi, ha inoltre avviato i primi test di veicoli autonomi senza alcun guidatore, per sicurezza, a San Francisco. I test effettuati sono stati limitati a specifiche zone geografiche della città, in ambienti piuttosto semplici dal punto di vista stradale ed in apposite fasce orarie.

Un'altra azienda che da diverso tempo sta sviluppando diverse tecnologie di supporto alla guida autonoma è Appen, azienda australiana con importanti competenze in campo di intelligenza artificiale che aiuterà sicuramente il settore nel migliorare le caratteristiche della tecnologia della guida autonoma. Lavorando con la maggior parte delle principali case automobilistiche, essa si concentra esclusivamente nello sviluppare soluzioni software utilizzando algoritmi di machine learning per il funzionamento di componenti all'avanguardia.

Queste aziende hanno in comune il fatto di essere imprese emergenti nel settore dell'automotive, focalizzandosi sul suo sviluppo futuro esclusivamente in ottica della tecnologia della guida autonoma. Infatti, eccetto in parte Cruise Automation essendo sotto il diretto controllo di General Motors, esse non si posizionano sul mercato come costruttori di veicoli a guida autonoma, ma si concentrano totalmente sul lato software, l'aspetto fondamentale di questa tecnologia emergente. Ciò nonostante, diverse case automobilistiche non stanno a guardare e come General Motors si stanno adoperando per realizzare in proprio veicoli a guida autonoma.

Tra queste, l'azienda che sta progredendo più velocemente è sicuramente Tesla che negli ultimi anni si è fatta conoscere diventando il principale punto di riferimento per i veicoli completamente elettrici. Tesla è sicuramente uno dei player più aggressivi nel mercato dell'automotive e i suoi veicoli dispongono già attualmente di un'incredibile capacità computazionale oltre ad alcune funzionalità di assistenza attiva alla guida. Già da alcuni anni, secondo le dichiarazioni dell'azienda, tutte le vetture costruite da Tesla presentano di serie componenti hardware che consentiranno in futuro una guida completamente autonoma attraverso continui e programmati aggiornamenti software da remoto in modo da migliorare gradualmente le funzionalità nel tempo. Attualmente, è già possibile utilizzare nei veicoli commerciali l'"Autopilot" che, come già presentato precedentemente nella classificazione SAE, classifica i veicoli dell'azienda al livello 2: esso consente alla vettura di sterzare, accelerare, frenare nella propria corsia di marcia ed effettuare manovre di parcheggio autonomamente, ma tuttavia richiede la continua supervisione di un essere umano alla guida per poter prendere in ogni istante il controllo del veicolo. Ciò che contraddistingue maggiormente quest'azienda dalle altre è il mancato impiego dei sensori LiDAR, infatti la sua architettura software basata sull'intelligenza artificiale fa affidamento esclusivamente sulla "computer vision" attraverso l'utilizzo di molteplici telecamere e reti neurali per un raggio di azione di circa 250 metri, non utilizzando alcun tipo di tecnologia radar per la rilevazione di ostacoli.

La storica azienda americana Ford è sicuramente una delle case automobilistiche che ha effettuato i maggiori investimenti per quanto riguarda la tecnologia della guida autonoma: tra questi, nel 2017 l'azienda ha investito 1 miliardo di \$ nella startup Argo AI specializzata in intelligenza artificiale, diventando il più importante shareholder della startup fondata l'anno prima da due esperti in robotica uscenti dai programmi di guida autonoma sviluppati da Google e Uber (nel 2020, ha venduto parte delle sue quote a Volkswagen, detenendo così entrambe il 40% delle quote). In seguito a questa acquisizione, l'azienda ha inoltre istituito l'Autonomous Vehicle Research Center presso la Carnegie Mellon University, rinomata per il suo eccellente dipartimento di machine learning: il centro di ricerca ha l'unico focus di migliorare la tecnologia della guida autonoma sia a livello hardware sia a livello software.

Volvo è un'altra delle case automobilistiche che si è mossa in anticipo rispetto alle altre in maniera piuttosto aggressiva. Nel 2016, ha unito le forze insieme ad Uber in una joint venture da 300 milioni di \$ per lo sviluppo di veicoli completamente autonomi. Partnership che, tuttavia, non generò risultati entusiasmanti. Anzi, a causa anche della crisi generata dalla pandemia per il Covid-19, Uber ha ceduto la sua unità ATG (Advanced Technologies Group), focalizzata sullo sviluppo della tecnologia della guida autonoma, alla start-up Aurora per una valutazione complessiva di 7,25 miliardi di \$. Aurora si tratta di una start-up nata nella Silicon Valley che ha attratto l'interesse di numerosi investitori tra cui fondi d'investimento ed un colosso come Amazon. Essa punta ad essere la prima azienda a commercializzare veicoli

completamente autonomi, puntando sulle sue ottime capacità in ambito sia software sia hardware. Dopo l'acquisizione dell'unità di Uber, ha stretto una partnership proprio con Volvo puntando precisamente sulla commercializzazione di mezzi pesanti al livello 4. Ma non solo, l'azienda svedese ha proseguito nella sua strategia di partnership, investendo nella startup Luminar specializzata nello sviluppo di sensori LiDAR molto avanzati, fondamentale per lo sviluppo di veicoli autonomi per il settore privato, ed accordandosi con l'azienda cinese Didi, oltre che con Waymo, per la fornitura di veicoli Volvo XC-90 completamente autonomi rimarcando ancora una volta la strategia di puntare sul servizio di "ride-hailing".

Baidu, nata come multinazionale specializzata in servizi Internet ed in intelligenza artificiale per poi affermarsi come principale motore di ricerca in lingua cinese, è stata la prima a completare un lancio commerciale di un veicolo completamente autonomo nel mercato cinese. Nel 2017, ha annunciato il lancio del progetto Apollo (Apolong in cinese, n.d.r.) per lo sviluppo di veicoli completamente autonomi con un investimento di circa 1 miliardo e mezzo di \$. Fin da subito, l'azienda si è focalizzata sullo sviluppo di bus completamente autonomi senza la necessità di un essere umano presente per supervisionare il veicolo. Dopo una serie di test effettuati, questi bus che non possiedono né pedali né volanti, pertanto classificati al livello 4, hanno cominciato ad operare attivamente in specifiche aree della città di Chongqing. Inoltre, si è concentrata sullo sviluppo di "robotaxi", anch'essi al livello 4, per quanto riguarda il servizio di "ride-hailing": questi veicoli sono già impiegati in diverse città cinesi, tra cui Pechino e Guangzhou. Recentemente, ha inaugurato nella città di Pechino il primo servizio commerciale di taxi a guida autonoma senza alcun operatore di sicurezza, per quanto riguarda il mercato cinese.

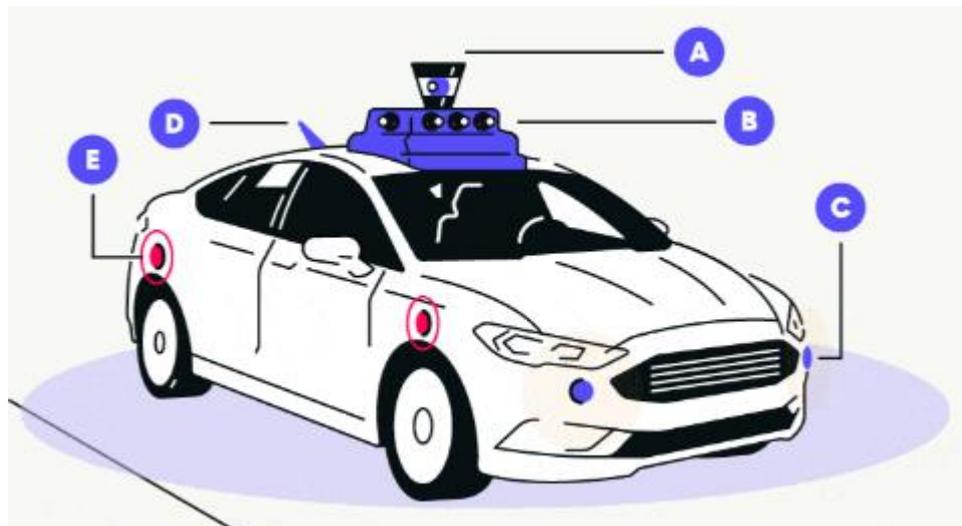
Queste aziende sono tra le prime ad aver puntato piuttosto fortemente sulla tecnologia della guida autonoma, riconoscendone appieno il suo potenziale "distruttivo" nel settore dell'automotive. Ma tuttavia, ormai tutte le principali case automobilistiche come BMW, Mercedes, Stellantis, Hyundai, Toyota o Renault si stanno muovendo nella stessa direzione per lo sviluppo in proprio di veicoli completamente autonomi, utilizzando strategie analoghe a quelle appena esplicate, ovvero acquisendo partecipazioni in start-up o aziende specializzate in sviluppo software/hardware, combinate ad una mirata strategia di partnership e collaborazioni con altri players nel settore dell'automotive. L'industria deve ancora affrontare molte complessità e sfide prima che sia possibile una diffusione di massa di veicoli completamente autonomi e, pertanto, la stessa struttura industriale è in fase iniziale di sviluppo rendendo piuttosto difficile eventuali previsioni su quali saranno le aziende dominanti sul mercato, una volta raggiunta la fase di commercializzazione effettiva.

## 2.3 La tecnologia nel dettaglio: caratteristiche dei principali componenti

Per eliminare o limitare al minimo l'intervento umano alla guida di un veicolo, la tecnologia della guida autonoma richiede una combinazione di sofisticati apparecchi hardware e software per garantirne l'operatività in piena sicurezza. Le grandi case automobilistiche, le aziende tecnologiche ed i ricercatori hanno sviluppato una varietà di approcci e combinazioni di tecnologie per affrontare questa grande sfida, generando così una varietà in dettagli di progettazione e diversi componenti utilizzati.

Ciò nonostante, la maggior parte dei sistemi a guida autonoma opera con la stessa struttura di base o, quantomeno, sviluppano il proprio sistema utilizzando i componenti che verranno qui di seguito presentati.

### 2.3.1 Gli "occhi" del veicolo a guida autonoma



*Fig.13: I componenti della visione del veicolo a guida autonoma*

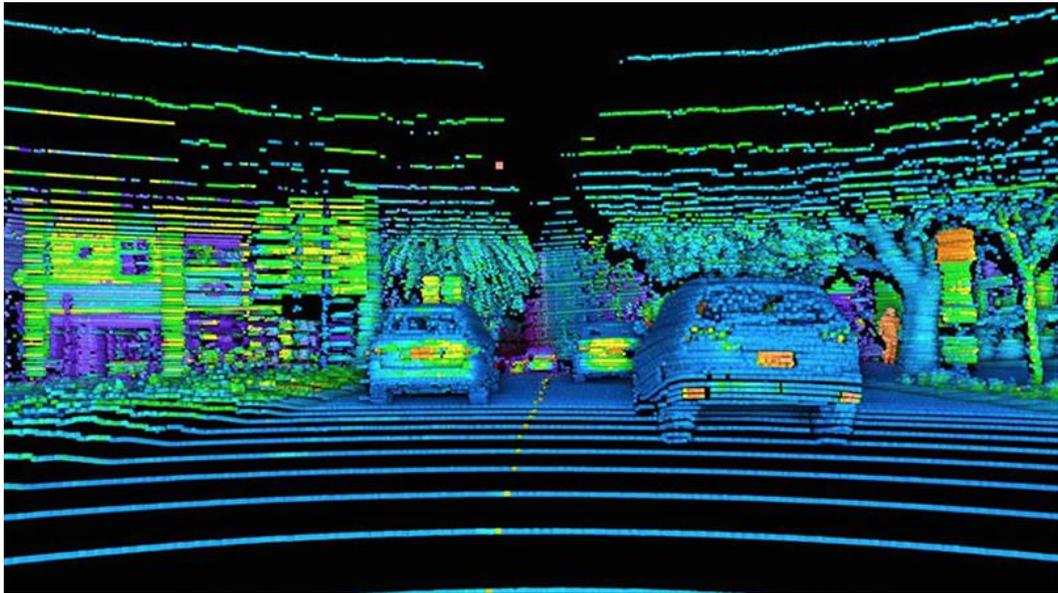
Per “vedere” e rilevare le informazioni necessarie riguardo all'ambiente esterno al veicolo, la macchina a guida autonoma si può avvalere di cinque specifici componenti che, a seconda del sistema sviluppato dall'azienda, possono essere tutti implementati sul veicolo (come nella Fig. 13) oppure alcuni possono essere esclusi:

#### A) LiDAR

Il componente alla sommità del veicolo è il LiDAR (Light Detection And Ranging), ovvero un sistema di misurazione laser che consente al veicolo di analizzare con elevata precisione l'ambiente circostante, fornendo con elevata accuratezza le informazioni inerenti alla presenza ed alla distanza di oggetti fisici in un raggio di azione piuttosto ampio, oltre a generare un modello 3D in tempo reale dell'ambiente esterno al veicolo, elaborandolo come si può vedere nella Fig.14. Il LiDAR viene montato su un supporto rotante per garantirne l'operatività a 360°. Il suo funzionamento si basa sull'utilizzo di milioni di impulsi laser al secondo che vengono “sparati” nell'ambiente e vengono poi

rimbalzati dalle superficie degli oggetti fisici presenti e raccolti infine dallo stesso LiDAR che elabora i dati ottenuti per generare le informazioni necessarie.

Questo componente garantisce un'ottima capacità di identificazione degli oggetti, essendo in grado di rilevare con elevata precisione le caratteristiche degli oggetti individuati, distinguendo ad esempio se un veicolo a due ruote si tratti di una bici o di una moto, permettendo al veicolo di predire accuratamente il loro comportamento. Gli attuali limiti più rilevanti di questo componente sono rappresentati dal costo eccessivo dei materiali necessari per produrre dei sensori LiDAR ad alte prestazioni e dall'inefficacia in determinate condizioni meteorologiche, come pioggia, neve o nebbia, che influenzano negativamente l'abilità di rilevare oggetti fisici sul percorso. Soprattutto per quest'ultimo motivo, al momento il LiDAR non è da ritenere come una soluzione stand-alone, ma da combinare insieme ad altre tipologie di sensori.

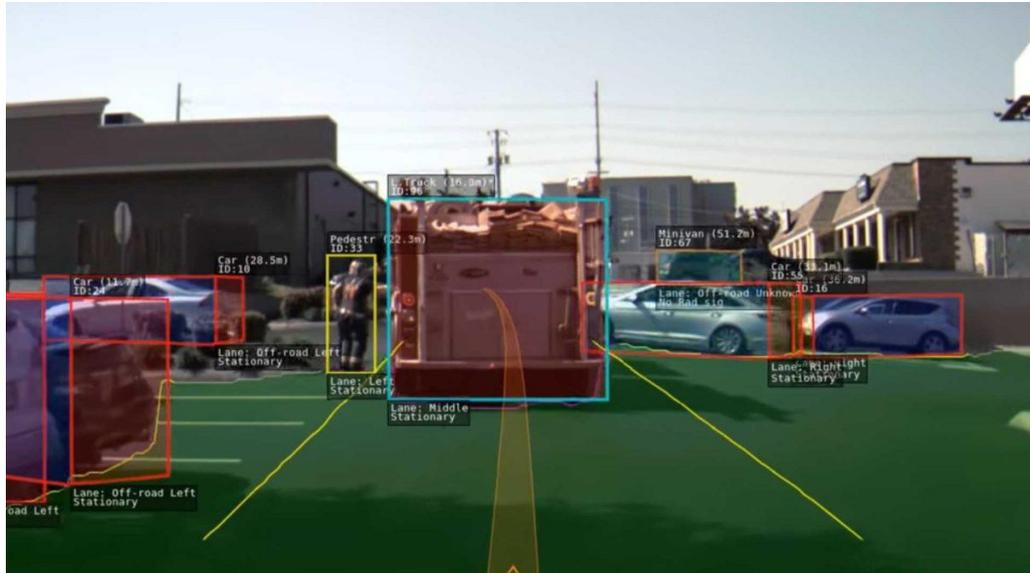


*Fig. 14: Il modello 3D dell'ambiente esterno al veicolo generato dal sensore LiDAR*

## **B) Telecamere**

Le telecamere forniscono al veicolo i dati con la più alta risoluzione possibile, generando immagini pressoché identiche a ciò che l'occhio umano percepisce. Grazie a questa capacità, oltre all'identificazione di oggetti fisici, le telecamere sono il componente più adatto per rilevare le linee di demarcazione stradali, i segnali luminosi ed eventuali segnalazioni testuali. Il numero di telecamere è piuttosto variabile, ma è necessario distribuirle sul veicolo in modo da analizzare a 360° l'ambiente esterno al veicolo. Non utilizza alcun tipo di impulsi laser, ma solamente informazioni visive recepite dalle lenti inserite dentro le telecamere. Questa tipologia di informazioni richiede un software tecnologicamente molto avanzato, utilizzando l'intelligenza artificiale, reti neurali e algoritmi di "computer vision" per elaborare ed analizzare le informazioni visive con elevata precisione. Inoltre, per garantire la sicurezza dei passeggeri, è necessaria un'elevatissima capacità computazionale in grado di riconoscere qualsiasi possibile situazione o evento improvviso in una piccolissima frazione di secondo. Oltre a ciò, anche le telecamere non sono efficienti in condizioni meteorologiche avverse che le impediscono di percepire chiare informazioni visive, difetto che si può verificare anche in condizioni standard, ad esempio a causa di sovrapposizione di colori che rende impossibile distinguere chiaramente gli oggetti fisici dalla superficie stradale.

Al momento, soprattutto per tali motivi, le telecamere non rappresentano una soluzione stand-alone, ma sono piuttosto maggiormente utilizzate in combinazione con altri sensori. La Fig.15 mostra un esempio di come le telecamere applicate alla guida autonoma analizzano l'ambiente circostante al veicolo:



*Fig. 15: L'analisi dell'ambiente generata dalle telecamere.*

#### **C) Radar**

Il meccanismo di questo componente è pressoché identico al sensore LiDAR, utilizzando però onde radio invece di impulsi laser. In tal modo, quindi, il Radar (Radio Detection And Ranging) individua la distanza e la velocità in tempo reale degli oggetti fisici presenti nell'ambiente circostante al veicolo con una precisione e risoluzione decisamente minore rispetto al LiDAR o alle telecamere. Sullo stesso veicolo, possono essere implementate diverse tipologie di sensori radar a corto o lungo raggio per assistere il veicolo in diverse funzioni. Questo sensore è un ottimo componente complementare a sensori LiDAR e/o telecamere, soprattutto grazie alla sua capacità di operare anche in condizioni meteorologiche avverse, possibile per via della proprietà di propagazione delle onde radio. Questo componente rappresenta una soluzione decisamente meno ingombrante rispetto ai componenti precedentemente illustrati oltre ad essere rilevantemente più economico. Tuttavia, trattandosi di un componente a risoluzione piuttosto bassa, non è in grado di rilevare nel dettaglio gli oggetti fisici, potendo così incorrere in sostanziosi errori per quanto riguarda l'identificazione degli oggetti.

#### **D) GPS**

Il dispositivo GPS (Global Positioning System) riceve da diversi appositi satelliti i dati geografici necessari per calcolare accuratamente la posizione geografica e la velocità del veicolo in tempo reale, essendo così un importante componente per fornire costantemente al veicolo dati sulla sua posizione, oltre alla possibilità di generare automaticamente il percorso più adatto per arrivare alla destinazione preimpostata.

#### **E) Sensori ultrasonici**

Questa tipologia di sensori rappresenta un importante componente ausiliario per il veicolo a guida autonoma. A differenza dei precedenti sensori, questi utilizzano onde ultrasoniche

che garantiscono un'efficiente identificazione degli oggetti fisici e della loro distanza, soprattutto a corto raggio. Questa caratteristica li rende i sensori più adatti per identificare oggetti di dimensioni minori, ad esempio barriere o oggetti di segnaletica stradale, così come per funzioni e manovre ausiliarie, ad esempio la manovra di parcheggio, permettendo in tal modo di alleggerire la potenza computazionale richiesta per gli altri sensori più sofisticati che devono sopperire alle funzioni più complesse.

### 2.3.2 Il “cervello” del veicolo a guida autonoma

L'insieme di questi componenti genera, in ogni istante di tempo, una grandissima quantità di dati (secondo le stime circa 1 giga byte al secondo<sup>10</sup>) che il software del veicolo a guida autonoma deve saper elaborare continuamente in tempo reale e con tempi di risposta minimi per effettuare le azioni necessarie che il percorso e l'ambiente circostante richiedono.

Ma come riesce un veicolo a guida autonoma a scegliere quali azioni compiere in base ai dati in possesso? La chiave è la “percezione”, il termine dell'industria per la capacità di elaborare e identificare i dati stradali durante la guida, dalla segnaletica stradale ai pedoni o al traffico circostante. Con la potenza dell'intelligenza artificiale ed in particolare dell'apprendimento automatico (o meglio conosciuto come “machine learning”), i veicoli senza conducente possono riconoscere e reagire al loro ambiente in tempo reale, consentendo loro di navigare in sicurezza. Essi lo fanno usando una serie di algoritmi noti come “Deep Neural Networks” (DNN, “reti neurali profonde”). Piuttosto che generare una serie infinita di regole scritte manualmente per l'auto per ogni possibile situazione, l'utilizzo di DNN consente ai veicoli di imparare a percorrere le strade in completa autonomia, utilizzando i dati forniti dai sensori. Questi modelli matematici si ispirano al cervello umano, imparando essenzialmente dall'esperienza accumulata: ad esempio, se ad una DNN viene mostrata una serie di immagini di segnali di arresto in condizioni variabili, può imparare a identificare i segnali di arresto e pertanto riconoscere quando l'auto deve fermarsi, anche in diversi scenari.

Per il funzionamento di un veicolo, tuttavia, un singolo algoritmo non basta: per una guida autonoma in sicurezza, è necessario un intero set di diverse Deep Neural Networks, ognuna dedicata ad uno specifico compito, in modo da prevedere ed analizzare ogni possibile situazione verificabile, dalla lettura della segnaletica stradale all'identificazione delle intersezioni o alla generazione dei percorsi di guida. Queste reti neurali sono ridondanti e con una certa sovrapposizione di responsabilità, in modo da aumentarne l'affidabilità e minimizzare le possibilità di un guasto. Ovviamente, non c'è un numero preciso di DNN richieste dalla guida autonoma, ma la lista è in continuo cambiamento ed in continua crescita grazie a nuove capacità che sorgono frequentemente.

---

<sup>10</sup> Stima effettuata dalla nota azienda Intel, leader nel settore dei circuiti elettronici.

Ciò nonostante, è possibile dividere questi algoritmi in quattro distinte categorie:

- **Algoritmi di regressione**

Questa tipologia di algoritmi è utilizzata per la previsione degli eventi nell'ambiente di analisi. Essi sfruttano la ripetibilità dell'ambiente per creare un modello statistico della relazione tra un'immagine e la posizione di un dato oggetto in quell'immagine. Per l'efficace funzionamento di questa tipologia di algoritmi, è possibile aumentarne l'esperienza anche "offline" per poi garantire un rilevamento molto veloce in senso pratico in tempo reale. Può inoltre rilevare altri oggetti che l'uomo inizialmente non ha previsto nella codificazione dell'algoritmo stesso. L'output di questa tipologia di algoritmi sono pertanto i dati sulla presenza e sulla posizione degli oggetti che circolano nell'ambiente circostante.

- **Algoritmi di riconoscimento degli schemi**

I sensori forniscono al software immagini contenenti tutti i tipi di dati ambientali: il filtraggio delle immagini è necessario per riconoscere le istanze di una categoria di dati di oggetti escludendo i punti di dati irrilevanti e tale categoria di algoritmi è adatta per escludere questi ultimi dati, alleggerendo il dataset. Gli algoritmi di riconoscimento degli schemi combinano i dati rilevati dell'immagine, considerata come un insieme di segmenti lineari e archi circolari, in vari modi per formare le caratteristiche che vengono utilizzate per riconoscere un determinato oggetto.

- **Algoritmi di clustering**

A volte le immagini ottenute dai sensori non sono chiare rendendo difficile rilevare e localizzare oggetti. Ma non solo, è anche possibile che gli algoritmi di riconoscimento manchino l'oggetto, non riescano a classificarlo e quindi neanche segnalarlo al sistema. Il motivo potrebbe essere immagini a bassa risoluzione, pochi punti di dati o dati discontinui. Questa categoria di algoritmi è adatta per scoprire le strutture di dati presenti dai dati puntuali rilevati. Come la regressione, descrive la classe di problema e la classe di metodi. Questi algoritmi si occupano di utilizzare le strutture intrinseche nei dati per organizzare al meglio i dati in gruppi di massima comunanza.

- **Algoritmi decisionali**

Questa tipologia di algoritmi è adatta ad identificare, analizzare e valutare sistematicamente le prestazioni delle relazioni tra insiemi di valori e informazioni. Questi algoritmi sono utilizzati principalmente per il processo decisionale. Se ad esempio una macchina deve prendere una svolta a sinistra o deve frenare, quest'azione dipende dal livello di fiducia che gli algoritmi hanno sulla classificazione, il riconoscimento e la previsione dei prossimi movimenti degli oggetti. Questi algoritmi sono modelli composti da più modelli di decisione indipendenti e le cui previsioni sono combinate in qualche modo per ottenere la previsione generale, riducendo al contempo la possibilità di errori nel processo decisionale.

Estromettendo l'essere umano dal processo di guida del veicolo, è necessario allo stesso tempo che il veicolo stesso possieda l'abilità di pianificare il percorso da effettuare fino alla destinazione stabilita dal passeggero e soddisfare eventuali sue necessità, come una sosta in un punto di ristoro, o cambi di programma in corso d'opera. La tecnologia di pianificazione del percorso ricerca e rileva lo spazio e i corridoi in cui un veicolo può guidare, trasformando l'ambiente fisico reale in una configurazione digitale che consente l'applicazione continua di un algoritmo. Proprio la continua ricerca di spazio e corridoi determina il successo della pianificazione autonoma del percorso. I principali algoritmi di “**path planning**” utilizzati sono i seguenti:

- **Diagramma di Voronoi**  
Esso genera il percorso che massimizza la distanza tra un veicolo e gli ostacoli circostanti.
- **Algoritmo della griglia di occupazione**  
Simile al diagramma di Voronei, tale algoritmo considera lo spazio in cui si muove il veicolo come una griglia, con la differenza, rispetto a quello precedente, che rischio e fattibilità sono calcolati principalmente considerando la presenza di ostacoli e dei confini della corsia e della carreggiata.
- **Algoritmo delle mappe dei costi**  
A differenza di quello precedente in cui si valuta solamente la presenza degli ostacoli sul percorso, tale algoritmo assegna un valore (costo) ad ogni cella in base alla distanza dall'ostacolo: più alto è il valore, minore è la distanza da un ostacolo. Viene pertanto generato un percorso in cui il veicolo attraversa le celle con il minore valore.
- **Algoritmo dei reticoli di stato**  
Questo algoritmo usa una generalizzazione delle griglie: esse sono generate in seguito alla ripetizione di rettangoli o quadrati per discretizzare uno spazio continuo, mentre i reticoli sono costruiti ripetendo regolarmente percorsi primitivi che connettono i possibili stati del veicolo, considerano quindi i suoi vincoli dinamici.
- **Algoritmo dei corridoi di guida**  
L'algoritmo dei corridoi di guida ricrea continui spazi senza collisioni, delimitati dai confini delle corsie e da altri ostacoli tra i quali si prevede che transiti il veicolo. Questa tipologia di algoritmi utilizza i dati delle mappe digitali realizzate dai modelli SLAM (Simultaneous Location And Mapping).

Recentemente, un algoritmo che ha suscitato grande interesse nell'industria è l'algoritmo A\*, una variante dell'algoritmo di Dijkstra, utilizzato per cercare i cammini minimi in un grafo di nodi e archi: si tratta di una pianificazione di tipo discreta, considerando quindi l'ambiente come una griglia in cui il veicolo si muove. Esso esplora solo una parte della mappa utilizzando una funzione euristica, infatti invece di esplorare sistematicamente ogni possibile percorso, l'algoritmo A\* sceglie di esplorare solo i percorsi che minimizzano la distanza dalla destinazione, minimizzando pertanto il costo computazionale, come è evidente nella Fig.16.

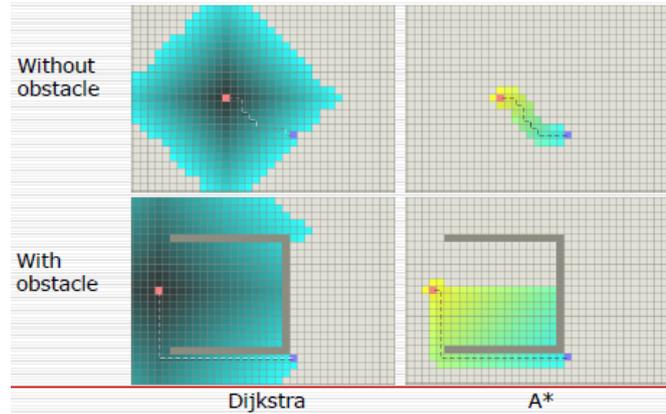


Fig. 16: Confronto tra l'algoritmo di Dijkstra e l'algoritmo A\*

Allo stesso modo, esiste una variante dell'algoritmo A\* che, invece di discretizzare l'ambiente, lo considera in modo continuo: l'algoritmo definito "Hybrid A\*" cerca in tal modo di avvicinarsi alla realtà del mondo continuo scomponendo il movimento (Fig.17). Invece di passare da una cella all'altra, applicando tale algoritmo il veicolo considera continuamente diverse mosse brevi, scegliendo sempre quella che lo avvicina alla destinazione. Ciò significa che l'algoritmo è sia discreto che continuo allo stesso tempo. Le traiettorie generate possono anche essere più fluide perché tengono conto di tutti i vincoli dinamici del veicolo.

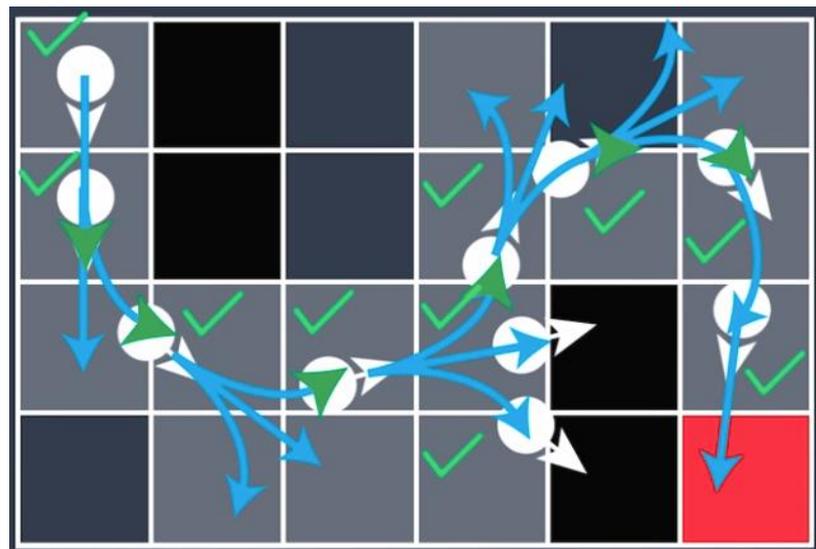


Fig. 17: Il processo decisionale dell'algoritmo Hybrid A\*

Un altro possibile approccio che si sta facendo sempre più spazio è il “reinforcement learning”: questa tecnica di machine learning consiste nell’imparare dall’esperienza. Se, ad esempio, si vuole che il veicolo effettui una svolta a destra, si chiede al veicolo autonomo in fase di apprendimento di effettuare una scelta casuale: se la scelta è buona, ottiene un feedback positivo, altrimenti negativo. Nel corso della formazione, l’auto è in grado di apprendere ciò che ha causato un feedback positivo e, di conseguenza, di riprodurlo successivamente ogni qualvolta si verificano le stesse condizioni. Questa tecnologia è quella che oggi si avvicina di più all’apprendimento umano, ma richiede una lunghissima e costosa fase di apprendimento, in quanto il veicolo deve apprendere ogni possibile manovra in ogni possibile scenario.

Qualunque sia l’algoritmo o la tecnologia utilizzata per la pianificazione del percorso, dopo che il sistema ha pianificato il percorso da effettuare attraverso la rete stradale, le reti neurali DNN, implementate per il rilevamento, riconoscimento e previsione dei movimenti degli oggetti ed ostacoli presenti, valutano l’ambiente circostante costantemente in tempo reale al fine di generare le specifiche di movimento più appropriate per il percorso pianificato.

C’è inoltre da considerare che una pianificazione agevole del percorso per un veicolo a guida autonoma non è più una questione di semplice scelta del percorso più breve dal punto di partenza alla destinazione: le tecnologie di “path planning” comprendono una vasta gamma di aspetti per calcolare il percorso più sicuro, più conveniente ed efficiente. Tali tecnologie vengono utilizzate infatti anche per la previsione delle traiettorie di altri veicoli ed oggetti dinamici e manovrabili presenti nell’ambiente: si valutano tutte le possibili manovre simultaneamente per ogni oggetto e si correlano con le precedenti osservazioni aggiornate costantemente. L’algoritmo utilizzato definisce la probabilità di ogni potenziale manovra da parte degli oggetti, seleziona quelle con la più alta probabilità e le utilizza per costruire la traiettorie previste degli oggetti dinamici. Una volta definite tali traiettorie, la tecnologia di pianificazione del percorso stabilisce il comportamento più appropriato che il veicolo deve attuare.

Nello stabilire il comportamento da attuare, la tecnologia di pianificazione del percorso comprende inoltre l’efficienza di guida e l’equilibrio tra sicurezza e comfort. Efficienza di guida significa determinare la corsia migliore per raggiungere la destinazione rapidamente, mentre per comfort si intende arrivare a quella corsia in modo realizzabile e sicuro: la classificazione delle corsie e i controlli di fattibilità sono quindi i due elementi fondamentali in base alla pianificazione del comportamento del veicolo, soprattutto per quanto riguarda la guida in strade extra-urbane.

Fino ad ora, gli sviluppatori hanno ottenuto un notevole successo nella realizzazione di queste tecnologie, soprattutto nel considerare importanti aspetti come la sicurezza, la rilevanza economica del percorso e l’intensità del traffico. Tuttavia, le esigenze del mercato spingeranno gli sviluppatori ad includere altre caratteristiche che poco hanno in comune con gli aspetti meramente tecnici ed economici della guida. I percorsi generati automaticamente dovranno comprendere un’ampia gamma di punti d’interesse: per i veicoli a guida autonoma, punti di interesse come stazioni di ricarica, punti di sostituzione delle batterie e centri di riparazione dovranno essere previsti nella pianificazione del percorso, in caso di rilevante necessità. Ma non solo, i passeggeri del veicolo potrebbero volere un viaggio ancora più confortevole e, pertanto, ad esempio per non perdere un pasto, punti d’interesse come bar o ristoranti dovranno essere compresi nella pianificazione del percorso.

### 2.3.3 La comunicazione con l'ambiente esterno: la tecnologia V2X

La connessione dei veicoli con l'ambiente circostante è uno dei principali punti di forza della tecnologia della guida autonoma ed un fattore critico per il suo successo, un'abilità che permette lo scambio di informazioni non solo con gli altri veicoli, ma anche con i pedoni, le infrastrutture stradali e le infrastrutture di rete, aumentando così notevolmente la sicurezza e l'efficienza sulle reti stradali. La tecnologia che permette ciò è denominata "Vehicle to Everything" oppure "V2X", che rappresenta, come si può vedere nella figura sottostante Fig.18, un insieme di più tecnologie che singolarmente permettono al veicolo di comunicare con una specifica entità:

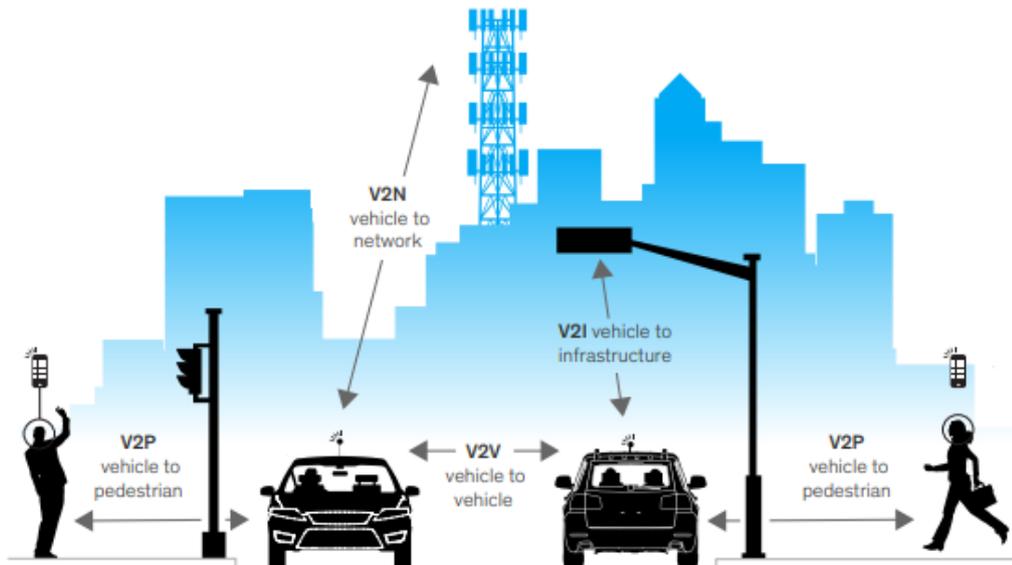


Fig.18: La tecnologia V2X nel dettaglio

- La comunicazione "Vehicle to Vehicle" (V2V) consente ai veicoli di scambiare in modalità wireless messaggi omnidirezionali (fino a 10 volte al secondo) contenenti informazioni sulla loro velocità, posizione e direzione. La tecnologia alla base della comunicazione V2V consente questo scambio di informazioni con una portata di 300 metri, permettendo così inoltre di rilevare e comunicare potenziali situazioni pericolose che altrimenti sarebbero di difficile individuazione per ridotta visibilità a causa del traffico, delle condizioni atmosferiche o del dislivello della superficie. Un altro grande vantaggio che l'implementazione della tecnologia V2V apporta è l'incremento radicale dell'efficienza dei flussi stradali, riducendo nettamente la congestione stradale: infatti, con un'intera rete di veicoli interconnessi tra loro, i veicoli saranno in grado di effettuare decisioni "intelligenti" per mantenere una velocità costante, al fine di regolare efficientemente il flusso del traffico stradale. Questa tecnologia non è ovviamente considerata un'alternativa, ma si affianca ai sensori LiDAR, radar e/o telecamere per estenderne e migliorarne affidabilità e performance.
- La comunicazione "Vehicle to Infrastructure" (V2I) si basa sugli stessi principi della comunicazione V2V, anche a livello tecnologico. Questa tecnologia consente lo scambio bidirezionale di informazioni tra i veicoli e le infrastrutture in modalità wireless, permettendo la condivisione di informazioni tra i veicoli ed un'ampia varietà di dispositivi, tra cui la segnaletica stradale, telecamere, segnaletica luminosa,

parchimetri ed altre possibili infrastrutture smart connesse. L'obiettivo primario di questa tipologia di comunicazione è acquisire e rilasciare dati ai veicoli in tempo reale sulle condizioni stradali, come la presenza di un cantiere edile, un incidente o di una zona di parcheggio, e per supervisionare il flusso del traffico, fissando ad esempio i limiti di velocità, generando così evidenti miglioramenti per l'efficienza e la sicurezza.

- I pedoni rappresentano gli utenti più vulnerabili sulle reti stradali e lo sviluppo della comunicazione “Vehicle to Pedestrian” (**V2P**) interviene per assicurare loro la massima protezione da veicoli non controllati da un essere umano, stabilendo una comunicazione diretta tra i veicoli e i pedoni (o anche i ciclisti) che circolano nelle vicinanze del veicolo stesso. Lo sviluppo con successo di questa tecnologia dipende prioritariamente dallo sviluppo delle infrastrutture di rete e delle altre tecnologie di comunicazione V2V e V2I, e necessariamente richiede l'utilizzo da parte dei pedoni di dispositivi connessi alla rete, già al momento largamente utilizzati. Sfruttando la tecnologia GPS, può essere determinata con precisione l'esatta posizione della persona in prossimità della strada, per poi essere comunicata istantaneamente ai veicoli a guida autonoma nelle sue vicinanze che potranno così reagire dinamicamente alle informazioni ricevute, prevenendo una possibile collisione.

Tuttavia, questa tecnologia è ancora nelle prime fasi iniziali di sviluppo, essendo considerata non prioritaria quanto le altre tecnologie V2V e V2I la cui implementazione contribuirebbe già di per sé ad un significativo incremento della sicurezza sulle strade non solo per i veicoli, ma per i pedoni stessi.

Non solo, tra le ipotesi considerate dagli sviluppatori della tecnologia a guida autonoma per il successo dei sistemi sviluppati è la “riprogrammazione” del comportamento degli utenti più vulnerabili, come pedoni e ciclisti, rendendolo più prevedibile rispetto a quello attuale, una variabile piuttosto incontrollata che mette a serio rischio l'incolumità di questi utenti. Pertanto, la tecnologia V2P dovrà considerare nel proprio sviluppo questo possibile cambiamento comportamentale e culturale che potrà allo stesso tempo favorire la tecnologia, rendendo le dinamiche tra veicoli e pedoni una variabile decisamente più controllata.

- La tecnologia “Vehicle to Network” (**V2N**) permetterà ai veicoli di collegarsi alle infrastrutture di rete ed ai servizi cloud in modo che i passeggeri del veicolo possano usufruire dei servizi a bordo del veicolo, come lo streaming multimediale o l'utilizzo di applicazioni Internet, e di ricevere comunicazioni riguardo alle condizioni del traffico non solo nelle vicinanze del veicolo, ma con un raggio decisamente più ampio.

La tecnologia wireless di quinta generazione, conosciuta meglio come tecnologia “**5G**”, è un fattore chiave per lo sviluppo con successo di queste tecnologie che permettono al veicolo a guida autonoma di comunicare con l'ambiente circostante. La tecnologia 5G riduce significativamente la latenza fino a 10 millisecondi ed aumenta notevolmente l'affidabilità rispetto alle tecnologie attuali, facendo diventare realtà caratteristiche come lo scambio di informazioni ed aggiornamenti in tempo reale, la condivisione delle traiettorie e la regolazione del traffico attraverso il coordinamento dei veicoli.

Una serie di miglioramenti nelle tecnologie di rete di prossima generazione sono necessari per soddisfare questi requisiti estremi in termini di latenza ed affidabilità: in primis, i miglioramenti nelle infrastrutture di accesso radio 5G e dell'architettura di rete saranno prioritari. In secondo luogo, i sistemi di antenne attive (AAS) saranno un elemento fondamentale per aumentare la capacità di rete in modo da rendere possibile processare più utenti contemporaneamente sulla stessa frequenza radio, senza perdere in termini di performance. In terzo luogo, le funzioni avanzate di "orchestrazione" della rete consentiranno un'allocatione più dinamica degli utenti nella rete al fine di non abbattere la capacità della rete stessa.

Oltre a ciò, per il successo della tecnologia V2X è assolutamente necessaria una significativa cooperazione tra le case automobilistiche al fine di costruire piattaforme comuni che consentano lo sviluppo di un unico ecosistema in cui diversi veicoli si connettono tra loro per condividere e scambiare informazioni. Le tecnologie cloud, in tal senso, sono un altro importante fattore critico, essendo un elemento fondamentale per la combinazione dei dati a bordo del veicolo con i dati relativi all'ambiente esterno. Esse rappresentano inoltre una soluzione affidabile per gestire le enormi quantità di dati che la tecnologia della guida autonoma genererà e che porteranno un notevole stress sulla capacità di rete e sulla latenza. L'"edge computing"<sup>11</sup> è un ulteriore importante supporto per l'elaborazione distribuita dei dati: esso consente la gestione dei dati del veicolo direttamente dal veicolo stesso, filtrando i dati prima di inoltrarli ai data center centrali utilizzati per l'analisi aggregata dei dati ricevuti dai diversi veicoli.

### **2.3.4 La mappatura ad alta definizione dell'ambiente**

Una tecnologia chiave ed essenziale per supportare e rendere ancora più completa la tecnologia della guida autonoma è la mappatura dell'ambiente in tempo reale ad alta definizione (HD). Questa tecnologia è necessaria per affrontare tre sfide principali per la guida autonoma: la prima sfida è la capacità di un veicolo di localizzarsi con alta precisione in relazione al suo ambiente, aspetto che le attuali soluzioni basate sulla tecnologia GPS non sono in grado di soddisfare, in quanto non forniscono dati sufficientemente dinamici e precisi per l'operatività in sicurezza dei veicoli a guida autonoma. La seconda sfida che affronta è risolvere il problema del riconoscimento e della reazione agli eventi che si verificano sulla strada oltre la portata dei sensori implementati sul veicolo, in un raggio di oltre 200 metri, operazione a cui la tecnologia di comunicazione V2X non può garantire costantemente la massima precisione ed efficacia, ad esempio per potenziali sovraccarichi della rete. Infine, l'ultima sfida riguarda la capacità del veicolo di guidare in conformità con le esigenze dei passeggeri e di altri partecipanti al traffico.

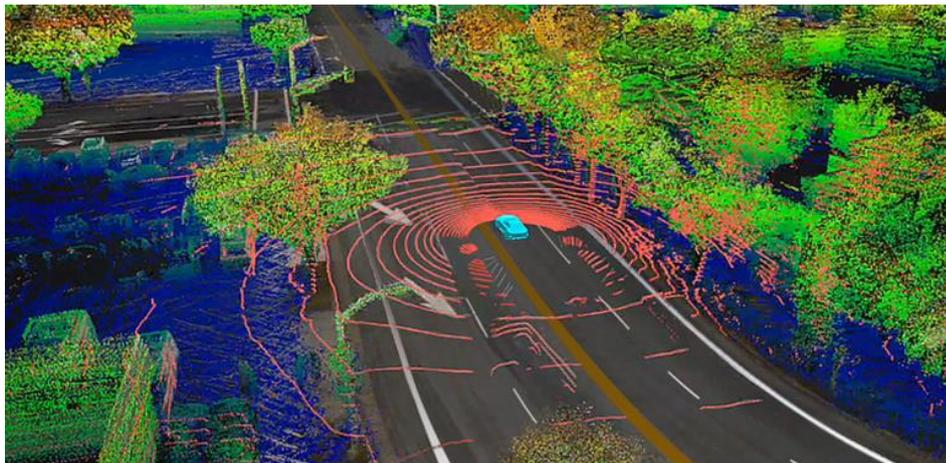
Il software dei veicoli a guida autonoma richiede sistemi di mappatura esplicitamente costruiti per tali veicoli al fine di estendere la loro visione e fornire un "inventario" dettagliato delle caratteristiche stradali e degli oggetti la cui presenza è rilevante nell'ambiente circostante. La tecnologia di mappatura HD consente ad un veicolo senza conducente di localizzarsi con alta

---

<sup>11</sup> L'edge computing è un'architettura IT distribuita e aperta con potenza di elaborazione decentralizzata, predisposta per le tecnologie di mobile computing e Internet of Things (IoT). Nell'edge computing, i dati sono elaborati dal dispositivo stesso o da un computer o server locale, invece di essere trasmessi al data center.

precisione, mappando la sua esatta posizione rispetto all'ambiente circostante. A differenza delle mappe tradizionali, le mappe HD non sono destinate alla navigazione generale. La tecnologia della mappatura HD per la guida autonoma integra ed analizza set di dati provenienti da più fonti, come i sensori radar, LiDAR, telecamere di bordo, immagini satellitari e GPS in tempo reale. La fusione di questi big data restituisce come risultato l'esatta posizione della vettura in relazione a tutti i punti di riferimento, fornendo informazioni complete sulle condizioni stradali ed i suoi confini, la segnaletica del traffico, la corsia di posizionamento, le curve previste e le condizioni di sicurezza. Di conseguenza, le mappe ad alta definizione offrono una rappresentazione fedele della strada con altissima precisione, stabilendo un nuovo standard per i sistemi di navigazione dei veicoli autonomi.

Le mappe ad alta precisione, inoltre, aumentano la velocità di reazione delle altre tecnologie integrate nel veicolo, caratteristica fondamentale per la guida autonoma sicura. Fornendo una visione a 360 gradi della strada e delle condizioni di guida, le mappe HD per la guida autonoma consentono ai veicoli di prendere decisioni immediate sulla strategia di guida molto più velocemente di quanto possa fare un conducente umano. Migliorano la percezione dei sensori in condizioni atmosferiche estreme o a distanza molto ravvicinata (fino a 10 cm) e sono in grado di riconoscere oggetti ed eventi che altrimenti potrebbero passare inosservati da sensori intelligenti di bordo.



*Fig. 19: L'analisi dell'ambiente ad alta precisione della tecnologia di mappatura HD*

Tuttavia, l'obiettivo finale della guida intelligente non è solo quello di imitare le capacità di un conducente umano per estrometterlo al processo di guida e garantire così un elevatissimo livello di sicurezza, ma anche per fornire al passeggero il comfort necessario per poter comodamente svolgere altre attività o semplicemente godersi il viaggio. A parte la loro capacità di mappare dinamicamente le condizioni del percorso, i sistemi avanzati di mappatura dei veicoli autonomi permettono alle auto di arrivare a destinazione con una pianificazione del percorso regolare, consentendo di anticipare le azioni da compiere e fornire un'esperienza superiore ai passeggeri.

I benefici che tale tecnologia apporta richiedono, tuttavia, un importante onere sulla potenza e capacità di calcolo: combinando le informazioni dei diversi sensori, dispositivi GPS e della tecnologia V2X, viene generata un'enorme quantità di dati che devono essere elaborati istantaneamente per produrre un risultato immediato. Il modo più veloce ed affidabile per risolvere tale problema è utilizzare piattaforme di navigazione basate su tecnologia cloud che

integrano funzionalità di raccolta dati, aggregazione e manutenzione che forniscono la capacità di archiviazione e la potenza di calcolo ad alte prestazioni necessarie.

Inoltre, come già accennato, un fattore critico per il successo di tale tecnologia è la velocità di elaborazione dei dati: la navigazione ad alta definizione deve colmare il divario tra i cambiamenti dinamici che avvengono sulla rete stradale ed il momento in cui appaiono effettivamente sulla mappa. Gli aggiornamenti in tempo reale del posizionamento dell'auto e delle condizioni stradali richiedono larghezza di banda ad alta velocità ed un supporto per sopperire all'alta densità di veicoli, caratteristiche che le attuali funzionalità di rete e la tecnologia V2X non sono in grado di fornire. Ma anche in questo caso, la tecnologia 5G sembra essere la soluzione, viste le sue notevoli prestazioni in termini di capacità e di velocità.

Un ulteriore problema che tale tecnologia comporta è l'ingente costo necessario vista la complessità per realizzare mappe ad alta definizione senza perdere in termini di performance. Al momento, le case automobilistiche e le aziende specializzate si stanno focalizzando nel non compromettere la qualità della tecnologia, a scapito dell'accessibilità del prodotto finale. Per ridurre i costi e, allo stesso tempo, per accelerare l'integrazione di tale tecnologia nella guida autonoma, tali aziende stanno collaborando con le più importanti aziende ingegneristiche specializzate in software al fine di definire gli standard tecnologici e di produzione.

## **2.4 Vantaggi della tecnologia e sfide da superare**

Il grande progresso tecnologico delle tecnologie digitali ha cambiato notevolmente i bisogni e le necessità dei consumatori che, ora più che mai, si aspettano di estendere il proprio stile di vita digitale in tutti gli aspetti della vita quotidiana, tra cui il proprio veicolo. Le case automobilistiche hanno risposto a questa crescente necessità, integrando nuove funzionalità nell'esperienza di guida grazie all'avvento e alla proliferazione di tecnologie innovative di infotainment all'interno dei veicoli (dette anche IVI, "In-Vehicle Infotainment"). Oggi, funzionalità come email, social network, musica in streaming e molte altre funzionalità e applicazioni sono diventate sempre più comuni, anche nelle marche e nei modelli entry-level. Di conseguenza, la tecnologia che rende possibile estendere queste funzioni all'interno del veicolo è passata da essere una fonte di differenziazione competitiva per le case automobilistiche in una caratteristica standard che si trova praticamente in ogni auto.

Allo stesso tempo, le crescenti sfide, la congestione del traffico, il notevole aumento rispetto al passato di conducenti principianti e un cambiamento generale delle priorità hanno intensificato l'attenzione sul tema della sicurezza. Questo sviluppo, in combinazione con la quasi onnipresenza delle tecnologie IVI, sta motivando l'industria a ruotare e concentrare gli sforzi di R&D su funzioni di sicurezza avanzate e altre funzionalità rese possibili dalla continua crescita tecnologica.

Le case automobilistiche, pertanto, sviluppando sistemi avanzati di assistenza alla guida (ADAS), stanno iniziando a offrire una maggiore sicurezza e praticità di guida, abituando nel tempo il consumatore ad essere assistito in diverse funzionalità di guida. Per intenderci, con tecnologie ADAS, si intende un insieme di tecnologie che attualmente classifica il veicolo approssimativamente al livello 2 di automazione, secondo la classificazione di SAE International. Le automobili diventeranno molto più sicure ed efficienti man mano che saranno

sempre più consapevoli dell'ambiente e delle condizioni di guida circostanti e saranno in grado di reagire ad esse con tempi di reazione paragonabili a quelli di un essere umano. Il passaggio successivo sarà quello di estromettere l'essere umano in gran parte o totalmente dalle operazioni di guida, proprio con la completa automazione del veicolo. Prima di arrivare a questo livello di automazione però, è necessario che le tecnologie ADAS diventino uno standard del veicolo, come è successo con le tecnologie IVI. Per far sì che tale cambiamento abbia successo, è fondamentale quindi la “democratizzazione” di tali tecnologie, in modo che siano accessibili per tutti i segmenti del veicolo e per tutte le fasce d'età della popolazione.

Accelerare questa rivoluzione dovrebbe essere il focus primario delle case automobilistiche che, passo dopo passo, stanno comprendendo la necessità di un cambiamento drastico nel settore dell'automotive, che attualmente rappresenta una delle industrie più inquinanti del pianeta, verso l'eco-sostenibilità e la sicurezza dei passeggeri. Questo si traduce nell'ormai consolidato adattamento progressivo della produzione per lo sviluppo di veicoli elettrici e nell'integrazione di queste nuove tecnologie ADAS, grazie al quale si sta cominciando a gettare le basi per lo sviluppo della tecnologia della guida autonoma.

In questa fase di transizione, stanno scoprendo che è necessario riprogrammare un gran numero di aspetti inerenti l'auto, tra cui come il conducente interagisce con l'auto sempre più "intelligente" di oggi e come l'auto è progettata e costruita. Ciò significherà assicurare nuovi partner tecnologici, sviluppare una nuova strategia di catena di approvvigionamento e, cosa forse più importante, dotare l'automobile di una potenza di calcolo significativamente maggiore. Con il passaggio a veicoli a guida autonoma, l'automobile diventerà una vera e propria piattaforma con più tecnologie ADAS aggregate in un unico sistema in grado di comunicare, collaborare e soddisfare le funzioni di guida in quasi tutte le possibili situazioni.

Ma quali sono i vantaggi economici e non solo che guideranno questa rivoluzione del settore, considerandola non più come mera scelta strategica, ma una vera e propria necessità per tutti gli attori coinvolti?

#### **2.4.1 I vantaggi della tecnologia della guida autonoma**

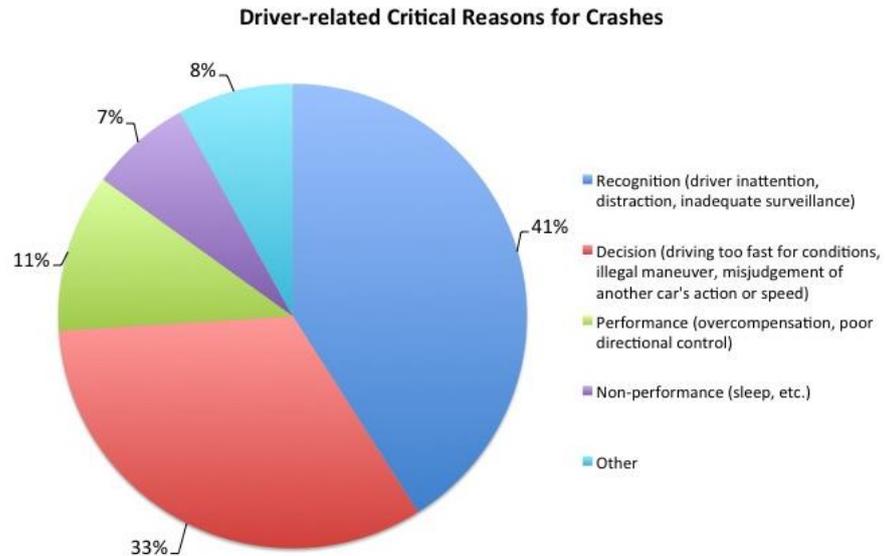
I vantaggi che tale tecnologia apporta sono il miglioramento radicale della sicurezza stradale, la riduzione della congestione del traffico, l'aumento della produttività, la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> ed infine vantaggi a livello sociale.

- **Miglioramento radicale della sicurezza stradale**

Secondo una ricerca effettuata dall'agenzia governativa statunitense NHTSA<sup>12</sup>, la causa principale degli incidenti è per il 94% additabile all'errore di un essere umano, il 2% a malfunzionamenti del veicolo, il 2% a fattori ambientali e il restante 2% a fattori sconosciuti. L'errore umano in un incidente stradale si può verificare in diverse forme di cui le principali, come si può notare dal grafico sottostante, sono riconducibili ad errori di distrazione alla guida (ad esempio attenzione inadeguata delle condizioni stradali e del traffico, uso improprio di dispositivi elettronici) ed errori decisionali (velocità troppo elevate, manovre illegali o un errata comprensione delle azioni altrui):

---

<sup>12</sup> L'NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) è l'agenzia governativa statunitense facente parte del Dipartimento dei Trasporti incaricata di monitorare e stabilire gli standard di riferimento per la sicurezza stradale.



*Fig. 20: "Critical reasons for crashes in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey", NHTSA, 2015*

Pertanto, rimuovere l'intervento umano alla guida del veicolo ridurrebbe drasticamente il numero di incidenti stradali che ogni anno mediamente comportano 1,2 milioni di morti e circa 50 milioni di feriti. I veicoli a guida autonoma hanno il potenziale di rimuovere l'errore umano da questa "equazione", eliminando comportamenti pericolosi al volante di un veicolo e garantendo così un'elevata protezione per guidatore e passeggeri, ma anche per i pedoni e ciclisti. Questo incremento radicale in sicurezza stradale oltre ad avere questi effetti diretti, apporterebbe un notevole vantaggio economico, riducendo notevolmente il costo di fattori secondari come i servizi d'emergenza e servizi medici necessari in seguito al verificarsi di un incidente stradale. Secondo una ricerca svolta da Morgan Stanley, il vantaggio economico di cui potrebbero godere gli USA in seguito alla riduzione degli incidenti grazie alla diffusione della tecnologia a guida autonoma sarebbe di circa 488 miliardi di \$.

○ **Riduzione della congestione stradale**

La riduzione così drastica degli incidenti contribuirebbe in modo rilevante anche alla riduzione della congestione stradale: attualmente, soprattutto nelle strade extra-urbane, un incidente che coinvolge uno o più veicoli causa un'elevata congestione stradale che comporta code chilometriche, traducendosi in tempi di percorrenza decisamente più lunghi del normale.

Ma non solo nelle strade extra-urbane, un'ampia diffusione dei veicoli automatizzati comporterebbe infatti una cooperazione tra i veicoli stessi al fine di regolare il flusso del traffico e mantenendo allo stesso tempo le corrette distanze di sicurezza, riducendo il numero di stop&go che contribuiscono alla congestione stradale.

Secondo una stima del NHTSA, gli americani spendono all'anno mediamente circa 6,9 miliardi di ore in ritardi causati dalla congestione stradale, riducendo il tempo spendibile sul lavoro o con la famiglia, aumentando inoltre la spesa in carburante e le emissioni dei veicoli: in termini economici, la congestione stradale costa annualmente

circa 149 miliardi di \$, costo che sostituendo i veicoli tradizionali con i veicoli a guida autonoma verrebbe risparmiato.

- **Aumento della produttività**

Questo spreco di tempo, a causa dell'inefficienza del flusso stradale, verrebbe restituito direttamente ai cittadini: infatti, secondo uno studio, grazie alla tecnologia della guida autonoma, il cittadino avrebbe da spendere fino a 50 minuti in più al giorno, precedentemente dedicati esclusivamente alla guida. Oltre alla diminuzione del tempo necessario per raggiungere la destinazione, in un veicolo completamente autonomo durante il tragitto sarà possibile spendere il proprio tempo in completa sicurezza altre attività produttive, come rispondere ad e-mail, effettuare meeting o svolgere attività lavorative, oppure attività di intrattenimento, come guardare un film o leggere un libro. Questo guadagno di tempo si traduce anche in un sostanzioso vantaggio economico per l'intera società: secondo la stessa ricerca citata precedentemente, per l'economia statunitense il guadagno economico grazie all'aumento della produttività sarebbe di circa 507 miliardi di \$.

- **Riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>**

La diffusione della tecnologia a guida autonoma sarà estremamente utile per ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> e contribuire a diminuire il conseguente riscaldamento globale. Ipotizzando che i veicoli a guida autonoma utilizzino combustibili fossili, essi avrebbero comunque la capacità di massimizzare l'efficienza del carburante, riducendo al minimo le emissioni nocive che impattano notevolmente sull'inquinamento atmosferico. Tuttavia, la maggior parte delle case automobilistiche stanno attuando una transizione radicale verso l'eliminazione dei veicoli tradizionali per favorire la diffusione di veicoli elettrici (completamente o in parte, considerando i veicoli ibridi) che ridurrebbero drasticamente il livello di emissioni, praticamente a zero, rappresentando un importantissimo beneficio a livello ambientale per il pianeta Terra.

Considerando la prima ipotesi effettuata, solamente grazie all'efficienza in termini di consumo di carburante, l'economia statunitense risparmierebbe 158 miliardi di \$ in seguito alla riduzione dei consumi di carburante.

- **Vantaggi a livello sociale**

L'incredibile potenziale di questa tecnologia si estende anche a livello prettamente sociale, rendendo il trasporto sempre più accessibile a persone con difficoltà motorie che attualmente richiedono necessariamente un assistente umano di guida per poter muoversi liberamente: le opportunità lavorative e la stessa indipendenza dipendono notevolmente sull'abilità di guidare un veicolo. Grazie alla tecnologia della guida autonoma, si potrebbero estendere queste opportunità a milioni di persone in più. Una ricerca della Ruderman Foundation stima che i veicoli a guida autonoma potrebbero creare nuove opportunità di lavoro per circa 2 milioni di persone con disabilità.

In totale, secondo la ricerca di Morgan Stanley, il vantaggio economico che apporterebbe la pressoché totale adozione dei veicoli a guida autonoma per l'economia statunitense ammonterebbe a 1,3 trilioni di \$, più del 7% del PIL, una dimostrazione significativa del

potenziale impatto di tale tecnologia. Tuttavia, questa analisi stima il ricavo economico considerando come ipotesi di partenza un'adozione pressoché totale di veicoli a guida autonoma da parte della popolazione, processo che richiederà un periodo di tempo piuttosto lungo, almeno un paio di decenni. Ciò nonostante, i vantaggi citati potranno essere già riscontrati parzialmente in una fase iniziale di diffusione della tecnologia della guida autonoma che sarà limitata a determinate tipologie stradali, specifiche categorie di veicoli ed in selezionate zone geografiche in cui i problemi, che tale tecnologia risolve, hanno un impatto notevole sulla vita delle persone, sull'economia e sull'ambiente.

Le stime realizzate dall'istituto bancario saranno un importante riferimento per quantificare il vantaggio economico generato dalla tecnologia anche in mercati diversi da quello statunitense; quantificazione che dovrà tenere conto delle caratteristiche intrinseche dei mercati che influenzano i vantaggi generati, come il livello di congestione stradale, la produttività o il tasso di incidentalità stradale.

#### **2.4.2 Le sfide da superare per il successo della tecnologia**

Nonostante gli incredibili progressi compiuti dalla tecnologia della guida autonoma, l'industria deve affrontare e risolvere molte complessità, ostacoli e sfide prima che sia possibile un'adozione di massa di veicoli a guida autonoma. Le tecnologie di supporto che permettono ad un veicolo di operare autonomamente sono ancora in fase di sviluppo, allontanando l'effettiva fase di commercializzazione di veicoli completamente autonomi, senza considerare inoltre che la complessità del software e dell'hardware aumenta esponenzialmente all'aumentare del livello di autonomia del veicolo: passare dal livello 4 al livello 5 è molto più complicato di passare dal livello 3 al livello 4, ad esempio.

Al fine di migliorare le attuali soluzioni sviluppate, con un livello di autonomia ancora piuttosto basso, per raggiungere un livello 4 o 5, l'industria deve affrontare una serie di ostacoli significativi, tra cui la necessità di tecnologie più avanzate, intelligenza artificiale di qualità superiore necessaria per alimentare le reti neurali che guidano i veicoli, la mancanza di un quadro normativo e la capacità di offrire tali veicoli ad un prezzo commercialmente sostenibile. Pertanto, le principali sfide che la tecnologia della guida autonoma deve affrontare per affermarsi come nuovo paradigma tecnologico nel settore dell'automotive sono le seguenti:

- **Tecnologia**

Per funzionare in modo sicuro e affidabile, i veicoli a guida autonoma richiedono un software che funzioni continuamente nel tempo, utilizzando l'hardware che fornisca la potenza computazionale necessaria per supportare i sensori e consentire, quindi, una percezione affidabile e un'analisi degli oggetti senza errori. Ad un alto livello di autonomia, la tecnologia deve essere in grado di riconoscere i pedoni e altri oggetti in vari scenari, al fine di garantire la continua operatività in modo sicuro. Attualmente, alla guida di un veicolo tradizionale, gli esseri umani prendono decisioni intuitive basate sull'esperienza e su un'ampia varietà di informazioni, come interpretare segnali gestuali o luminosi da altri guidatori mentre svoltano senso di marcia o per lasciar passare un veicolo. Per eseguire questi stessi compiti, la rete neurale di un veicolo a guida autonoma richiede lo stesso livello di esperienza, raggiungibile tramite migliaia e migliaia di prove (ed errori) e simulazioni che

forniscono importanti dati ed informazioni all'intelligenza artificiale che avrà la responsabilità sul decision-making delle azioni del veicolo. Inoltre, al fine di raggiungere il livello 5 di autonomia secondo la classificazione SAE International, i sistemi autonomi devono comportarsi il più possibile come un essere umano. Questo richiede un'intelligenza artificiale che comprenda pienamente il comportamento umano, così come essere in grado di prevedere le prossime azioni da svolgere in ogni scenario senza l'intervento umano.

Incorporando gli aspetti sociali chiave del comportamento umano nel dataset dell'intelligenza artificiale, secondo uno studio dell'Università del Massachusetts e dell'Università di Delft, l'industria può potenzialmente migliorare le prestazioni della tecnologia e ridurre gli errori nelle previsioni del 25%. Ma secondo la professoressa Ovvamente, c'è un lavoro significativo da fare prima che i veicoli a guida autonoma possano essere in grado di capire l'intento dei conducenti umani e adattarsi a diversi stili di guida. Sarà infatti assai probabile che, in diversi mercati, un periodo di transizione piuttosto lungo in cui i veicoli a guida autonoma dovranno convivere con veicoli tradizionali, prima di arrivare ad un'adozione totale della tecnologia.

Per quanto riguarda la capacità computazionale che il veicolo a guida autonoma deve essere in grado di possedere per il suo funzionamento efficiente, si stima che circa 1 GB di dati dovranno essere elaborati ogni secondo nel sistema operativo in tempo reale. Questi dati dovranno essere analizzati abbastanza rapidamente in modo che il veicolo possa reagire ai cambiamenti che si verificano nell'ambiente circostante in meno di un secondo. Il cervello dell'auto richiederà nuovi livelli di calcolo per analizzare un'elevata quantità di variabili in continuo cambiamento: come ad esempio per la frenata del veicolo, il software dovrà capire quando e quanto è difficile frenare in base all'analisi di una serie di variabili come la velocità del veicolo, le condizioni della strada ed il traffico circostante. Sarà inoltre necessario un parallelo sviluppo delle infrastrutture e delle reti di comunicazione che attualmente sfruttano la tecnologia 4G, inadatta per la tecnologia della guida autonoma che richiede una grande capacità e velocità di elaborazione dei dati.

Un altro problema che la tecnologia del veicolo dovrà essere assolutamente in grado di risolvere è rappresentato dalle condizioni meteorologiche. Al momento, è un grosso ostacolo sia per i sensori LiDAR sia per le telecamere, inefficaci in caso di condizioni meteorologiche avverse, non garantendo pertanto un'adeguata analisi dell'ambiente circostante. In tal senso, è necessaria una grande crescita della componentistica utilizzata per la "visione" del veicolo.

- **Aspetto normativo e assicurativo**

Statisticamente, i veicoli a guida autonoma sono più sicuri di altri veicoli, ma non sono ancora assolutamente perfetti. Purtroppo, durante le fasi di test, ci sono stati diversi incidenti che hanno coinvolto direttamente i veicoli a guida autonoma, alcuni dei quali hanno causato feriti e morti, attirando l'attenzione dei media.

Questo ha complicato ulteriormente il panorama normativo, la cui definizione nei minimi particolari è obbligatoria per un'ampia adozione di veicoli a guida autonoma da parte dei consumatori.

Il primo passo per affrontare la sfida normativa è garantire che i veicoli a guida autonoma siano effettivamente più sicuri e affidabili. A tal fine, è necessario che la fase di test in corso di sviluppo si protragga ancora per diverso tempo in modo da

registrare dati su decine di milioni di chilometri di guida. Inoltre, il software di intelligenza artificiale dovrà anche essere efficacemente addestrato, testandolo ed operando in diversi tipi di scenari e simulazioni che i conducenti possono affrontare ogni giorno, dalla guida in condizioni atmosferiche difficili a frenare improvvisamente per evitare lo scontro con oggetti estranei. Per supportare invece i requisiti di comunicazione, le infrastrutture stradali dovranno essere ampiamente testate ed il quadro normativo dovrà essere costantemente in grado di mutare ed adattarsi a possibili aggiornamenti delle infrastrutture.

Il secondo passo è quello di lavorare con le agenzie governative e le altre parti per stabilire norme e regolamenti che garantiscano non solo la sicurezza della popolazione, ma allo stesso tempo doni la fiducia e la confidenza necessaria per evitare possibili barriere all'adozione da parte della popolazione.

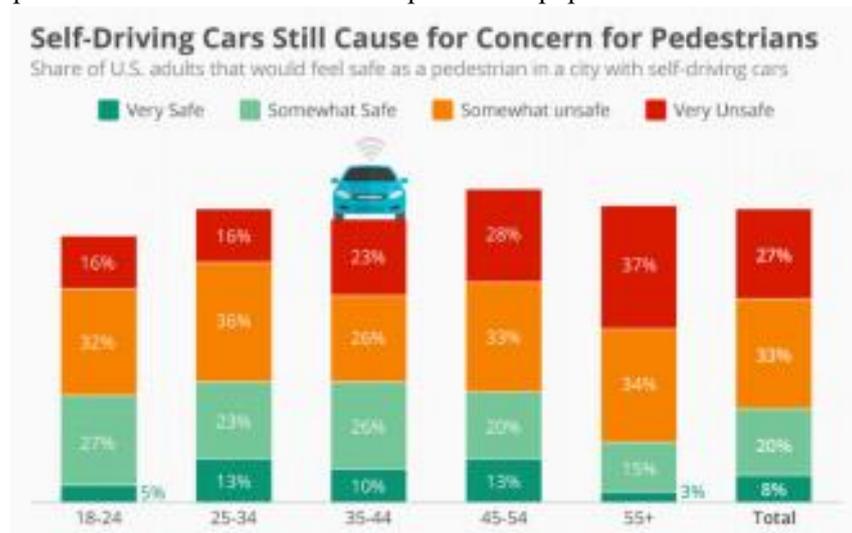


Fig. 21: La sicurezza dal punto di vista del pedone percepita dalla popolazione divisa per fasce d'età, Statista, 2019

La Fig.20 riporta come al momento, secondo Statista, circa il 50% delle persone di età inferiore ai 45 anni percepiscono la tecnologia a guida autonoma come non sicura, e le persone anziane sono ancora meno fiduciose in questa tecnologia.

Chiaramente, per superare questa sfiducia iniziale da parte della popolazione e per ottenere l'autorizzazione normativa, sarà richiesto che i veicoli a guida autonoma siano sicuri almeno quanto le auto guidate da esseri umani. Nel 2016, la NHTSA ha lavorato a stretto contatto con sviluppatori come Waymo per rilasciare la sua prima versione di regolamenti sulla produzione e vendita di tali veicoli. Il processo è continuato, e Waymo condivide tutt'ora con la NHTSA tutti i suoi dati riguardo ai propri veicoli. Cruise ha anche fatto progressi, recentemente ricevendo un permesso dal Dipartimento della California per iniziare a pilotare i suoi veicoli completamente autonomi per le strade di San Francisco. La Germania e il Regno Unito hanno inoltre elaborato alcune prime linee guida per lo sviluppo di veicoli a guida autonoma e stanno lavorando per migliorare le loro leggi. Il processo è stato lento, ma stiamo assistendo a una svolta da parte delle autorità di regolamentazione statunitensi, e c'è stato un miglioramento significativo riguardo alle autorizzazioni e alle linee guida sulle strade pubbliche.

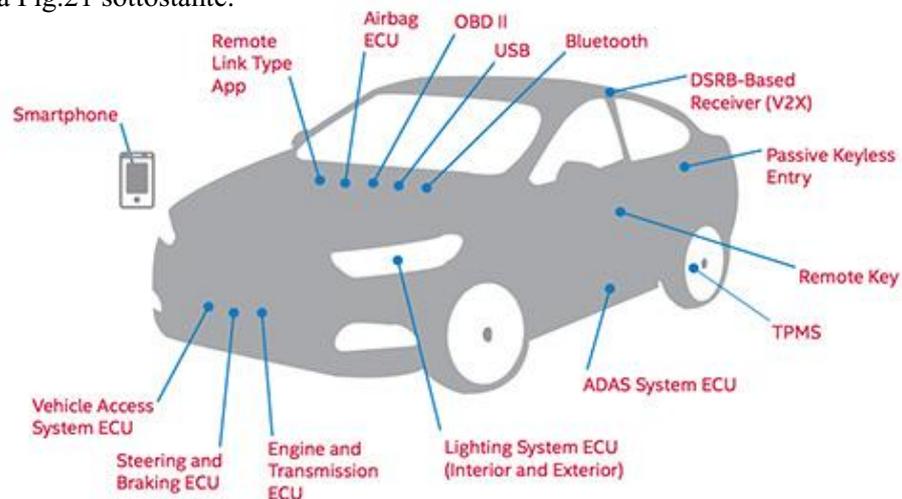
L'Asia, in tal senso, sembra fare progressi più rapidi: essa è una delle aree in più rapida crescita per le auto senza conducente, e i governi di Singapore e di altre nazioni sviluppate stanno sostenendo iniziative, fornendo un rilevante supporto logistico, finanziario e operativo. Il governo cinese è in procinto di impostare le basi del quadro normativo, ma non ha ancora autorizzato nessuna casa automobilistica per pilotare i propri veicoli sulle autostrade. La Cina punta ad essere un player leader della tecnologia entro il 2025, quindi si prevede che in tale ottica si muoverà rapidamente. Nel frattempo, il governo giapponese sta lavorando sulla definizione di standard di regolamentazione, oltre a collaborare con la sua Agenzia di Polizia Nazionale per definire le dinamiche di responsabilità per gli incidenti che si verificano con auto senza conducente.

Globalmente, in seguito alla diffusione i veicoli a guida autonoma, anche le compagnie assicurative dovranno rivedere completamente il proprio modello di business per quanto riguarda l'assicurazione sui veicoli che attualmente protegge i clienti dai rischi associati all'errore umano in caso di incidenti. Con i veicoli a guida autonoma, il business core delle compagnie assicurative sarà verosimilmente assicurare le case automobilistiche dalle responsabilità di possibili guasti tecnici dei propri veicoli in circolazione. Questo potrebbe trasformare definitivamente il settore dell'assicurazione, il cui focus si sposterebbe da milioni di clienti privati a qualche decina di case automobilistiche o aziende che gestiscono le infrastrutture, simile al modello di business attualmente ideato per le compagnie di navigazione navale.

○ **Sicurezza informatica**

Una volta che i veicoli a guida autonoma si diffonderanno nel mercato, essi diventeranno un sicuro obiettivo degli hacker informatici che lavoreranno per rubare i dati che potrebbero compromettere la privacy dei conducenti rivelando i loro percorsi di guida e destinazioni, o peggio per prendere il controllo dei veicoli.

I produttori di auto hanno iniziato a prendere misure per mitigare i rischi di sicurezza informatica nei loro veicoli autonomi: hanno implementato nel software revisioni di sicurezza informatica, costruito il software di rilevamento e prevenzione in auto, e migliorato le funzionalità per il monitoraggio e la risposta a possibili intrusioni dall'esterno. Intrusioni ed attacchi informatici che potranno prendere di mira e sfruttare a tal fine, diversi componenti informatici del veicolo, come si può vedere nella Fig.21 sottostante:



*Fig.21: Le potenziali vie d'accesso sul veicolo per gli hacker informatici*

Tuttavia, le singole compagnie automobilistiche stanno seguendo i propri protocolli interni piuttosto che concordare formalmente una serie di standard di sicurezza universali e affidabili. Questa mancanza di consenso crea un elevato rischio di lacune di sicurezza sfruttabili da hacker informatici e per le case automobilistiche potrebbe essere difficile adattarsi alle minacce in continua evoluzione, soprattutto se assumono questa sfida da soli. Senza un obiettivo chiaro e uniforme per rafforzare le difese informatiche dei veicoli a lungo termine, l'industria deve affrontare una battaglia in salita per alleviare le preoccupazioni dei consumatori in materia di sicurezza.

Due rispettate organizzazioni di normalizzazione, l'Organizzazione Internazionale per la Standardizzazione (ISO) e SAE International, stanno facendo progressi verso la creazione di linee guida uniformi per migliorare la sicurezza dei veicoli autonomi su scala globale. La sicurezza informatica è un obiettivo importante nell'iniziativa di collaborazione ISO e SAE per l'emissione di standard di sicurezza internazionali per le auto a guida autonoma. Gli standard proposti possono fornire un quadro ben definito per aiutare i produttori di veicoli a raggiungere tre obiettivi chiave: promuovere una cultura della sicurezza informatica, adattarsi a un panorama di minacce in continua evoluzione e istituire un sistema di gestione della sicurezza informatica. Gli standard includono direttive per dare la priorità alla sicurezza informatica durante tutto il ciclo di progettazione, produzione, funzionamento, manutenzione e disattivazione dei veicoli.

Concentrarsi sulla sicurezza fin dall'inizio è un passo cruciale per rassicurare i consumatori riguardo alla sicurezza ed ai benefici della tecnologia. In primo luogo, a tal fine le case automobilistiche dovrebbero condurre frequenti test di sicurezza interna, come la simulazione di attacchi informatici sui propri veicoli. Per farlo, dovrebbero impiegare appositi hacker specialisti in sicurezza informatica che irrompono nei sistemi informatici per esporre le vulnerabilità del software. Alcune aziende, tra cui General Motors, hanno già iniziato ad assumere tali figure, arrivando ad un dipartimento di "cybersecurity" composto da più di 450 persone, ma tuttavia lo sforzo complessivo non è ancora sufficiente.

In secondo luogo, le aziende automobilistiche devono dimostrare un impegno per la trasparenza e migliorare i loro processi per informare immediatamente i clienti quando si verificano intrusioni nella sicurezza del veicolo su cui stanno viaggiando. I produttori dovrebbero creare team di risposta rapida composti da persone provenienti da dipartimenti di tutta l'azienda, combinando l'esperienza di ingegneria, comunicazione e personale legale. I team multidisciplinari potrebbero analizzare le minacce da molteplici prospettive, condividere efficacemente le informazioni in tutta l'organizzazione e fornire informazioni utili al pubblico. Gli sviluppatori di standard devono anche pensare in modo creativo per anticipare i rischi futuri, poiché i problemi di sicurezza si moltiplicheranno sicuramente con l'evolversi della tecnologia. Una cosa è certa: è fondamentale che tutti gli attori del settore si riuniscano per fornire rassicurazioni sotto forma di norme e regolamenti che proteggano dalle minacce informatiche.

### 3. LA METODOLOGIA DI ANALISI

Considerando lo stato attuale della tecnologia, nel pieno della fase di incubazione caratterizzata da un livello di attenzione e di investimenti sempre più crescente da parte delle case automobilistiche, aziende ingegneristiche e da parte delle istituzioni, l'obiettivo del lavoro sviluppato e presentato in questo Capitolo è di fornire precise indicazioni agli stakeholder sull'impatto della tecnologia nel dettaglio, in termini di benefici diretti per gli utenti finali a seconda dei contesti applicativi, e sulla definizione del dominant design confrontando i diversi componenti tecnologici che competono nell'affermarsi come la soluzione dominante per il successo della tecnologia della guida autonoma. Infine, verranno analizzate le caratteristiche necessarie per un'efficace e pronta diffusione della tecnologia in un determinato mercato geografico caratterizzato da un intrinseco livello di priorità per incentivare l'adozione della tecnologia della guida autonoma, sostituendo l'attuale modello convenzionale.

#### 3.1 L'impatto della tecnologia dal punto di vista dell'utente finale

Al fine di valutare l'impatto della tecnologia dal punto di vista dell'utente finale, la metodologia realizzata prende come riferimento il Quality Function Deployment (QFD), uno strumento di progettazione che permette di tradurre i bisogni dei clienti finali in requisiti di prodotto, garantendo così che il prodotto finale soddisfi il cliente. Tale strumento è caratterizzato da più fasi in cui si considerano anche gli specifici requisiti dei componenti e i requisiti del processo di lavorazione, al fine di valutare globalmente le esigenze dell'azienda in modo da sfruttare ottimamente le proprie risorse verso operazioni che creino maggior valore per il cliente finale. Viene utilizzato notevolmente in industrie sia di prodotto sia di servizio, non solo in fase di sviluppo di un nuovo prodotto ma anche per migliorare l'efficienza dei processi già esistenti.

##### 3.1.1 La definizione della metodologia

In tale contesto applicativo, per valutare l'impatto della tecnologia, vengono messe in correlazione le caratteristiche tecniche del prodotto con le misure di impatto della tecnologia, ovvero gli indicatori di performance. Nell'ottica della metodologia sviluppata, le fasi necessarie per la sua realizzazione sono le seguenti:

- **Definizione delle caratteristiche tecniche della tecnologia:** per poter analizzare la tecnologia della guida autonoma in modo completo ed esaustivo, è importante definire con un livello di dettaglio non elevato un numero  $N$  sufficientemente limitato di caratteristiche tecniche che complessivamente descrivano la tecnologia. Ciò permette di collegare e valutare facilmente ed intuitivamente, senza creare confusione, le caratteristiche tecniche rispetto agli indicatori di performance individuati.
- **Definizione degli indicatori di performance della tecnologia:** per valutare correttamente l'importanza delle caratteristiche tecniche della tecnologia, è altrettanto importante definire gli  $M$  indicatori di performance della tecnologia, ovvero i benefici

diretti per l'utente finale, con un peso stimato in base all'influenza del singolo indicatore sull'impatto complessivo della tecnologia.

Viene così generata una matrice NxM che permette la valutazione delle caratteristiche tecniche.

- **Valutazione delle caratteristiche tecniche:** una volta definite le caratteristiche tecniche e gli indicatori di performance della tecnologia, è possibile valutare le caratteristiche tecniche con un punteggio che indichi il grado di correlazione con i diversi indicatori di performance della tecnologia. Per tale metodologia, si è scelto di utilizzare la seguente scala: 0 = correlazione nulla; 1 = correlazione debole; 3 = correlazione media; 9 = correlazione forte.

Una volta attribuiti tutti i punteggi, è possibile determinare l'importanza delle caratteristiche tecniche: i vettori degli indicatori di performance e delle caratteristiche tecniche vengono normalizzati a 1, così da valutare i punteggi attribuiti in scala da 0 a 1. Effettuando la somma dei prodotti dei punteggi assegnati (normalizzati) ad ogni indicatore di performance per il suo peso stimato, si ottiene così l'impatto della specifica caratteristica tecnica. Utilizzando in questa metodologia una scala ordinale, si può infine effettuare una classificazione delle caratteristiche tecniche in ordine di impatto quantificato.

Le caratteristiche tecniche definite per lo sviluppo di tale metodologia, in riferimento a quanto esposto nel capitolo precedente, sono le seguenti:

- **Analisi dell'ambiente:** tale caratteristica tecnica rappresenta la capacità del veicolo a guida autonoma di rilevare ed identificare altri veicoli, la segnaletica stradale, oggetti e ostacoli rilevanti presenti nell'ambiente esterno al veicolo, attraverso i sensori radar, LiDAR e/o telecamere implementate sul veicolo.
- **Comunicazione con l'ambiente:** attraverso la tecnologia V2X, il veicolo è in grado di comunicare principalmente con altri veicoli, le infrastrutture stradali e di rete, oltre a possibilmente pedoni e ciclisti, ricevendo ed inviando messaggi/dati inerenti alle condizioni stradali.
- **AI Decision-Making:** grazie all'intelligenza artificiale (AI) e all'utilizzo delle reti neurali profonde (DNN), il software del veicolo elabora la grande quantità di dati generata dai componenti tecnologici e da altre tecnologie implementate sul veicolo al fine di determinare in tempo reale le operazioni che il veicolo deve compiere, oltre a generare il percorso migliore da effettuare per giungere, dal punto di partenza a destinazione, a seconda delle condizioni della rete stradale, rilevate dalle tecnologie di supporto.
- **Mappatura del territorio:** la mappatura in alta definizione (HD) del territorio consente al veicolo di localizzarsi in tempo reale e dinamicamente nell'ambiente in cui si sta muovendo, identificare precisamente le condizioni stradali ed eventuali eventi improvvisi a distanze superiori al raggio di azione dei sensori del veicolo ed uniformare le condizioni di guida del veicolo a seconda delle esigenze del traffico.

- **Multimedialità:** tale caratteristica tecnica non ha trovato fin ora molto spazio nella presentazione della tecnologia, non essendo una particolare tecnologia ad hoc per i veicoli a guida autonoma. Ma tuttavia, una volta che l'essere umano viene estromesso dal processo di guida del veicolo, il tempo trascorso al suo interno potrà essere speso in attività produttive o ricreative che pertanto necessitano di un'interfaccia utente multimediale che soddisfi le esigenze dei clienti. Secondo una ricerca condotta dalla nota società di consulenza Capgemini riguardo alle aspettative degli intervistati sulle modalità in cui spendere il proprio tempo mentre il veicolo autonomamente raggiunge la destinazione, i risultati ottenuti sono raffigurati nella Fig.22 sottostante:



Fig. 22: Self-driving vehicles consumer survey, Capgemini Research Institute, 2019

I benefici che tali caratteristiche tecniche apportano individualmente all'utente finale e collettivamente all'insieme di utenti finali sono stati sintetizzati nei seguenti indicatori di performance, definiti per la successiva valutazione delle caratteristiche tecniche:

- **Sicurezza stradale:** uno dei principali vantaggi ed incentivi per l'adozione della tecnologia della guida autonoma è proprio la sicurezza stradale che, come analizzato precedentemente, riscontrerebbe un incredibile incremento grazie all'estromissione dell'essere umano dal processo di guida ed eliminando pertanto la causa principale degli incidenti che si verificano sulla rete stradale, essendo per il 94% causati da un errore umano, per decisioni errate, distrazioni o un'errata comprensione in tempo reale delle condizioni stradali. Per l'utente finale, le conseguenze di un incidente stradale sono decisamente rilevanti, sia dal punto di vista economico dovendo incorrere ad esempio in spese assicurative, copertura di danni o spese riabilitative, sia dal punto di vista della qualità della vita che può essere decisamente influenzata dalla gravità dell'incidente.
- **Efficienza del flusso stradale:** in seguito all'adozione della tecnologia, il flusso stradale subirà un notevole incremento in efficienza, grazie alle tecnologie apposite che permetteranno una regolazione efficiente del flusso di flotte di veicoli sulla rete stradale. Questo si traduce in un vantaggio per l'utente finale sia in termini di costi, grazie all'utilizzo con la massima efficienza possibile del carburante del veicolo, sia in termini di tempo, grazie alla riduzione significativa dei tempi di percorrenza per giungere a destinazione rispetto all'attualità.

- **Autonomia:** le caratteristiche tecniche della tecnologia consentono al veicolo di operare in completa autonomia, quindi senza la necessità dell'intervento umano (si ipotizza pertanto un elevato livello tecnologico della tecnologia che permetta questa condizione). La capacità del veicolo di operare autonomamente si traduce in un beneficio diretto per l'utente finale, ovvero il risparmio di tempo che non deve più essere utilizzato per controllare ed essere responsabile del processo di guida, ma può così essere utilizzato per altre attività produttive o di intrattenimento.
- **Comfort:** la concezione del veicolo cambierà drasticamente dal momento in cui l'essere umano sarà completamente passivo nel processo di guida e pertanto il veicolo sarà concepito come un luogo in cui poter spendere il tempo secondo le proprie esigenze. Per "comfort" si intende quindi la capacità del veicolo di rendere agevole con un livello di benessere adeguato il tempo trascorso dal passeggero sul veicolo. In tal senso, per migliorare l'esperienza del passeggero, il veicolo deve adattarsi alle condizioni stradali ed all'ambiente esterno in modo che quest'ultimi non interferiscano il passeggero nello svolgimento delle proprie attività.
- **Sostenibilità ambientale:** per "sostenibilità ambientale" si intende la capacità del veicolo di ridurre drasticamente le emissioni inquinanti dei veicoli, grazie ad un utilizzo con la massima efficienza delle risorse del veicolo ed alla drastica riduzione della congestione stradale che alimenta notevolmente tali emissioni. Ciò ha un conseguente evidente beneficio per l'ambiente circostante e per gli stessi utenti finali, dato che l'inquinamento atmosferico, di cui il settore dei trasporti è uno dei maggiori responsabili, rappresenta una delle principali problematiche che influenzano negativamente la qualità della vita.
- **Accessibilità:** per "accessibilità" si intende la capacità della tecnologia della guida autonoma di rendere praticabile a specifiche fasce di persone il trasporto personale autosufficiente, di cui attualmente non possono avvalersi: essendo attualmente necessario l'intervento attivo dell'essere umano nel processo di guida, alle persone con disabilità rilevanti non è consentito guidare un veicolo. La capacità del veicolo di operare autonomamente renderà pertanto accessibile il trasporto personale a persone con disabilità visive, affetti quindi da cecità parziale o totale, a persone con disabilità fisiche che non consentono l'utilizzo regolare degli arti, oppure a persone la cui anziana età non consente di effettuare lunghi spostamenti. Questa apertura a tali fasce di persone comporta un evidente miglioramento nella qualità della loro vita, attualmente limitata dall'incapacità di essere autosufficienti per quanto riguarda il trasporto personale.

Nella tabella 1 sottostante, vengono indicati i livelli di correlazione tra ogni caratteristica tecnica della tecnologia e gli indicatori di performance. Le valutazioni sono state effettuate tenendo in considerazione report di società di consulenza, articoli specializzati, dichiarazioni ed elaborati di esperti del settore dell'automotive. I pesi attribuiti agli indicatori di performance, invece, sono stati stimati in base alle priorità per cui la tecnologia della guida autonoma si propone come soluzione ed in base ai bisogni ed esigenze degli utenti finali, aspetti fondamentali per l'adozione della tecnologia:

	Sicurezza stradale	Efficienza del flusso stradale	Autonomia	Comfort	Sostenibilità ambientale	Accessibilità
Pesi indicatori di performance	20%	20%	20%	10%	20%	10%
Analisi dell'ambiente	9	3	9	1	0	9
Comunicazione con l'ambiente	3	9	9	1	9	3
AI Decision Making	9	9	9	9	3	9
Mappatura del territorio	9	9	9	3	1	3
Multimedialità	0	0	0	9	0	9

Tabella 1: Matrice di valutazione delle caratteristiche tecniche in base agli indicatori di performance

### 3.1.2 Analisi dei risultati

In seguito alla normalizzazione a 1 dell'incidenza di ogni caratteristica tecnica su ogni indicatore, si ottiene l'impatto quantificato delle singole caratteristiche tecniche (Fig. 23):

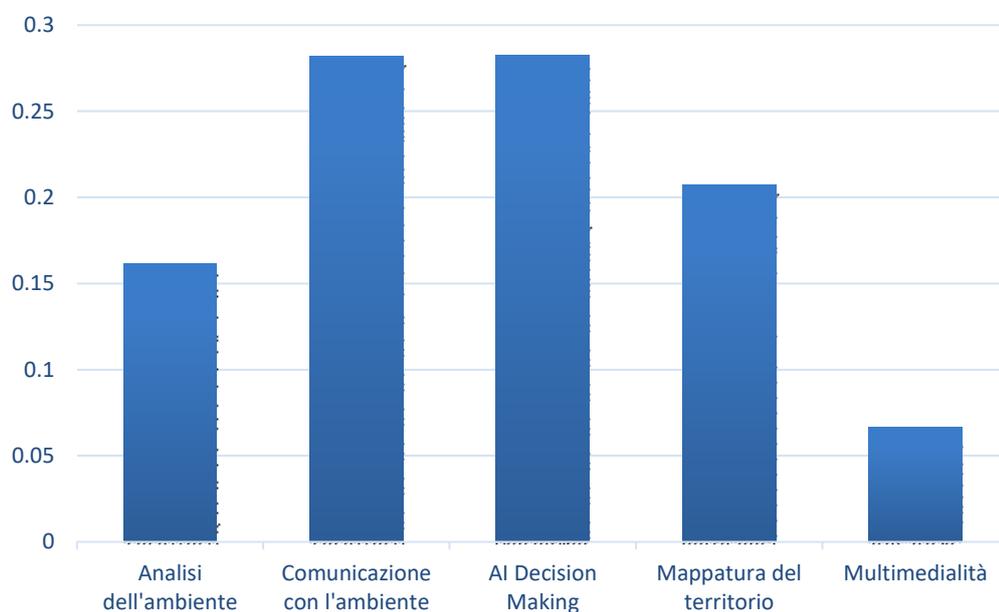


Fig. 23: Valutazione dell'impatto delle caratteristiche tecniche

Dal grafico in figura, si può subito notare che ci siano due caratteristiche tecniche che, in egual misura, hanno l'impatto maggiore: la comunicazione con l'ambiente e l'AI Decision Making. Queste caratteristiche rappresentano, insieme alla mappatura del territorio che però ha un impatto minore, quelle più innovative per l'attuale settore automotive ma, allo stesso tempo,

in base all'impatto quantificato dalla metodologia di analisi, rappresentano le caratteristiche più importanti per la tecnologia della guida autonoma. Lo stato attuale della tecnologia alla base di queste caratteristiche tecniche non aiuta in tal senso: in modo differente, la tecnologia V2X e l'intelligenza artificiale applicata al processo decisionale di un veicolo necessitano di un periodo di sviluppo ancora piuttosto lungo, nell'ordine di qualche decennio, prima di raggiungere una maturazione tale che consenta l'adozione su larga scala della tecnologia della guida autonoma.

La tecnologia V2X che permette al veicolo di comunicare con l'ambiente esterno è ancora nella fase iniziale del ciclo di sviluppo tecnologico, in fase di test limitati a specifici siti o luoghi geografici di dimensioni minime. La standardizzazione della tecnologia e la collaborazione tra le diverse case automobilistiche e le aziende ingegneristiche rappresentano gli elementi principali per raggiungere un livello tecnologico sufficientemente elevato che garantisca l'affidabilità e l'operatività della tecnologia in sicurezza, a supporto della guida autonoma. La definizione degli standard tecnologici è un elemento fondamentale per il crescente sviluppo della tecnologia V2X in un'unica direzione: attualmente lo standard DSRC ("Dedicated Short Range Communication") sviluppo ad hoc per la tecnologia è un canale di comunicazione wireless a senso unico che permette la condivisione delle informazioni, ma potrebbe risultare inadeguato in seguito ai notevoli progressi tecnologici nel campo delle comunicazioni wireless che si stanno evidenziando. Allo stesso modo, la collaborazione tra le aziende nel settore è molto importante per poter generare un unico ecosistema in cui qualsiasi veicolo a guida autonoma possa circolare liberamente indipendentemente dall'azienda produttrice. L'introduzione graduale della tecnologia nei veicoli convenzionali è un altro importante fattore per poter ampliare le aree di test della tecnologia, in modo da analizzarla e migliorarla in ottica di un'operatività su larga scala.

L'intelligenza artificiale che controlla il processo decisionale necessita allo stesso modo di un sostanzioso periodo di tempo prima che il software del veicolo raggiunga un livello tecnologico tale da poter autonomamente decidere quali azioni compiere in ogni possibile situazione verificabile. In tal senso, il "machine learning" è il metodo più efficace in quanto consente di apprendere automaticamente in base all'esperienza accumulata ed ai dati in possesso: tale metodo di apprendimento tuttavia richiede un lungo e costoso periodo in cui venga testato a sufficienza per garantirne l'affidabilità e l'operatività in sicurezza.

In seguito a queste considerazioni, si può pertanto affermare che il risultato ottenuto dalla metodologia di analisi certifica l'attendibilità delle previsioni riguardo alle tempistiche di adozione su larga scala della tecnologia della guida autonoma che, secondo gli esperti del settore, non avverrà prima di 20-30 anni. Chiaramente, l'integrazione in corso d'opera dei sistemi avanzati di assistenza al guidatore ADAS nei modelli convenzionali di veicoli aiuterà a raggiungere un diffuso livello parziale di autonomia (secondo la classificazione di SAE International, un livello 1 o 2 per intenderci) in tempi sicuramente più ristretti, ma per la tecnologia della guida autonoma sarà prima necessario che le tecnologie aggregate raggiungano un sufficiente livello di maturità.

Ciò nonostante, l'affermazione del dominant design del veicolo a guida autonoma, strettamente inerente alla componentistica che permette l'analisi dell'ambiente (sensori radar, LiDAR, telecamere), è uno step importantissimo per lo sviluppo della tecnologia. La definizione del dominant design consentirà alle aziende di poter concentrare gli sforzi sulla migliore soluzione che correli l'aspetto tecnologico e i bisogni degli utenti finali, compiendo

così grandi passi in avanti per quanto riguarda l'analisi dell'ambiente esterno al veicolo che raggiungerà in tal modo un livello efficiente di operatività. Ciò sarà altrettanto importante per le tecnologie di comunicazione con l'ambiente e per l'intelligenza artificiale applicata al processo decisionale del veicolo che potranno sfruttare il progresso tecnologico nell'analisi dell'ambiente a proprio favore, grazie alla maggior qualità dei dati generati dalla componentistica di analisi dell'ambiente integrata nel veicolo, in termini di precisione e di affidabilità.

Ma prima di valutare tale componentistica per determinare quale sia la migliore soluzione per la definizione del dominant design, è importante valutare se l'impatto delle caratteristiche tecniche rimanga invariato o se ci siano differenze rilevanti, in base ai diversi scenari in cui si può sviluppare la tecnologia della guida autonoma.

### **3.1.3 Confronto tra scenario “urbano” ed “extraurbano”**

Il primo confronto viene effettuato tra lo scenario “urbano” e lo scenario “extraurbano” con differenze nelle condizioni di guida piuttosto evidenti. Nel contesto urbano, la rete stradale si sviluppa in un centro abitato di grande dimensioni, ovvero una città, oppure di piccole dimensioni. Le strade sono composte da una carreggiata o due indipendenti con rispettivamente almeno una o due corsie per senso di marcia e marciapiedi a lato. Inoltre, in una strada urbana, i veicoli devono interagire costantemente con altri utenti come pedoni (e ciclisti) i cui attraversamenti possono essere regolati, soprattutto in centri abitati affollati, oppure non regolati nel caso in cui la strada sia poco trafficata o il centro abitato sia di piccole dimensioni: per tale motivo, vengono imposti limiti di velocità decisamente minori rispetto ad una strada extra-urbana. Nello scenario extraurbano, la rete stradale si sviluppa al di fuori di un centro abitato, è priva di attraversamenti urbani ed è riservata alla circolazione dei veicoli a motore. La strada viene definita “a scorrimento veloce”, le intersezioni sono decisamente più limitate ed avvengono solitamente con svincoli su più livelli, pertanto i limiti di velocità sono decisamente superiori rispetto ad una strada urbana. Le strade sono composte da due carreggiate indipendenti separate da uno spartitraffico con almeno due corsie per senso di marcia: fanno parte di questo contesto le autostrade, in cui è sempre prevista una corsia di emergenza per carreggiata e il numero di corsie di marcia è tipicamente 3 o 4.

Al fine di valutare come varia l'impatto delle caratteristiche tecniche della tecnologia della guida autonoma a seconda del diverso scenario in cui può essere applicata, i pesi degli indicatori di performance precedentemente stimati vengono variati a seconda delle diverse caratteristiche che uno scenario ha rispetto all'altro e delle diverse esigenze degli utenti in base allo scenario in cui si trovano, mentre le valutazioni vengono mantenute invariate in quanto la diversità di scenario non le influenza.

In seguito all'assegnazione dei pesi ai diversi scenari, si ottiene analogamente all'analisi precedente, l'impatto delle singole caratteristiche tecniche ma, per questa seconda analisi, rispetto allo scenario “urbano” o “extraurbano” (Fig.24):

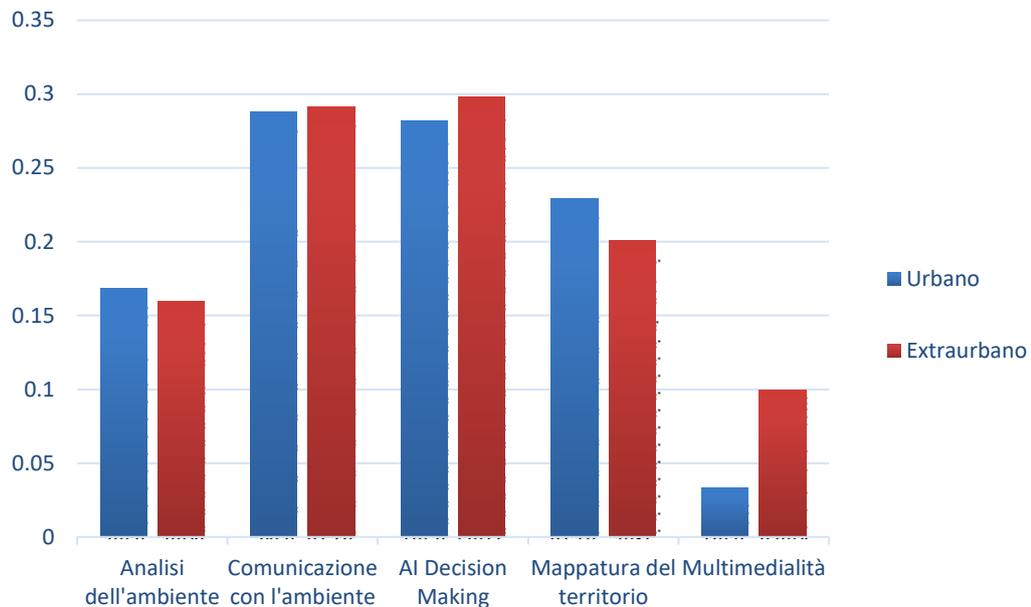


Fig. 24: Valutazione dell’impatto delle caratteristiche tecniche nello scenario “urbano” ed “extraurbano”

Come ci si poteva aspettare, l’ordine di importanza delle singole caratteristiche tecniche non viene influenzato dallo specifico scenario “urbano” o “extraurbano”. E’ comunque possibile osservare variazioni significative dell’impatto delle caratteristiche tecniche nel confronto tra i due scenari: per quanto riguarda l’”analisi dell’ambiente”, si può notare che il suo impatto sia maggiore nel contesto urbano, per via soprattutto del maggior peso che la sicurezza stradale ha in questo scenario, a discapito di altri indicatori. Ciò è dovuto della significativamente maggiore affluenza di altri utenti stradali che richiede pertanto una miglior capacità di analizzare l’ambiente per individuare prontamente la presenza di tali utenti e reagire per evitare un possibile incidente.

Si è considerato inoltre che, nello scenario extraurbano, gli indicatori di performance “comfort” e “accessibilità” abbiano un peso maggiore a causa delle specifiche caratteristiche degli scenari: in quello extraurbano, i conducenti dei veicoli che vi transitano tipicamente effettuano percorsi decisamente più lunghi e che richiedono maggior tempo rispetto ad un transito in un contesto urbano caratterizzato da spostamenti più brevi. Pertanto, in un tragitto più lungo la componente di “comfort” è più rilevante al fine di una migliore esperienza di guida e per svolgere attività produttive o di intrattenimento che in uno scenario urbano non è efficiente e può non essere necessario svolgere, per via dei tempi di percorrenza più ristretti. Allo stesso modo, per le fasce di persone attualmente non autosufficienti per il trasporto personale, è importante che sia maggiormente accessibile il trasporto extraurbano, attualmente decisamente limitante per tali persone, per poter autonomamente muoversi a distanze maggiori. Infatti, in uno scenario urbano le distanze sono decisamente più brevi e sono già attualmente presenti maggiori alternative convenienti che permettano di spostarsi in modo autosufficiente, come ovviamente il trasporto pubblico attraverso autobus, tram o la metropolitana in contesti urbani più grandi.

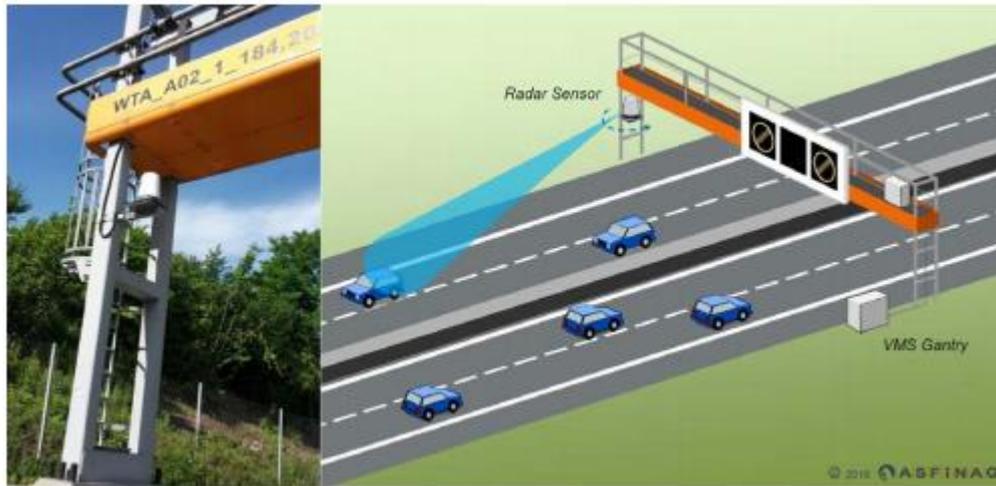
Inoltre, anche l’indicatore “autonomia” ha un peso maggiore nello scenario extraurbano per via del maggior tempo speso mediamente in tale scenario dai conducenti dei veicoli che grazie alla tecnologia della guida autonoma potranno spenderlo in maniera decisamente più efficiente soprattutto in termini di produttività, senza trascorrere ore e ore per guidare attivamente il veicolo per raggiungere la destinazione.

Come è evidente dal grafico, la maggior influenza di queste caratteristiche tecniche nello scenario extraurbano ha aumentato notevolmente l'impatto della "multimedialità" in tale scenario, la caratteristica che soddisfa le esigenze degli utenti finali in termini di trascorrere il tempo nel veicolo a guida autonoma per attività produttive o di intrattenimento, invece di spenderlo attivamente nel processo di guida. Allo stesso modo, la caratteristica di "AI Decision Making" risente del maggior peso di tali indicatori nello scenario extraurbano e pertanto ha un impatto maggiore in tale scenario rispetto a quello urbano, rappresentando inoltre quella con l'impatto maggiore.

E viceversa, a causa del minore impatto di questi indicatori di performance nello scenario urbano, la "mappatura del territorio" risulta avere un impatto decisamente maggiore in tale scenario, in cui la "sicurezza stradale", come detto prima, e l'"efficienza del flusso stradale" hanno un peso maggiore. Il fatto che lo scenario urbano sia decisamente più complesso da analizzare ed elaborare, per via della maggior diversità di elementi da individuare (edifici, elementi stradali, altri utenti come pedoni e ciclisti, ecc.) e per la maggior precisione richiesta, rende allo stesso tempo la mappatura del territorio più importante in tale scenario piuttosto che in quello extraurbano in cui l'ambiente ha una variabilità decisamente minore, in termini di diversità e condizioni stradali.

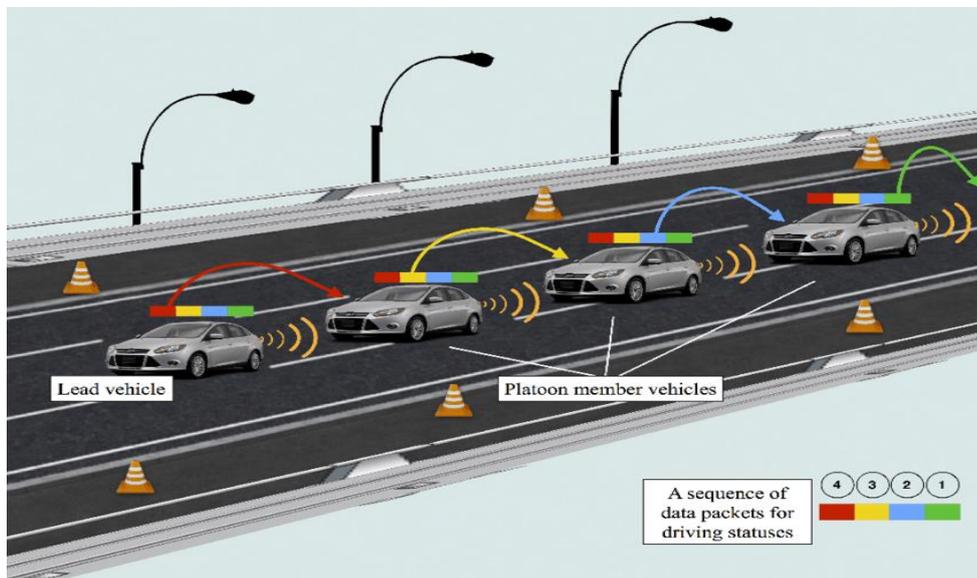
La caratteristica di "comunicazione con l'ambiente" risulta essere quella con l'impatto maggiore nello scenario urbano e non ha significative variazioni nel confronto tra i due scenari: il suo impatto per quanto riguarda soprattutto la "sostenibilità ambientale" (il cui peso non varia nel confronto) la conferma come la caratteristica più importante della tecnologia della guida autonoma, indipendentemente dallo scenario urbano o extraurbano, insieme all'"AI Decision Making". Per una maggior facilità di integrazione nell'ambiente e per la massimizzazione fin dal principio dei benefici che comporta, nello scenario extraurbano la "comunicazione con l'ambiente" prende vita sotto forma di "platooning" stradale, un insieme di infrastrutture a supporto dei veicoli a guida autonoma per favorire la sostenibilità ambientale e l'efficienza del traffico stradale. Attraverso l'introduzione di strutture fisiche, come rappresentato in Fig. 25, è possibile aumentare le informazioni a disposizione dei veicoli a guida autonoma per aumentarne l'efficienza e la sicurezza, nonostante si considera che essi siano autonomamente in grado di navigare attraverso il traffico. Tuttavia, la tecnologia della guida autonoma si basa principalmente sulla qualità degli elementi dell'infrastruttura, come un'adeguata riflettività della segnaletica di corsia o la leggibilità dei pannelli segnaletici a messaggio variabile (VMS) ed è quindi possibilmente soggetta a difficoltà di rilevazione ed interpretazione.

Le informazioni fisiche leggibili sulla segnaletica di corsia e sui limiti di velocità possono essere in alcune situazioni sostituite o supportate da contenuti cartografici basati su informazioni statiche: queste informazioni statiche sono cruciali per la gestione del veicolo a guida autonoma. Possono inoltre essere ulteriormente migliorate da informazioni aggiuntive di contenuto dinamico relative, ad esempio, a cambiamenti temporanei delle condizioni stradali (per esempio, informazioni sui lavori stradali, regolamenti sui limiti di velocità e avvisi sugli ostacoli sulla strada). Queste informazioni possono essere così fornite ai veicoli da tali infrastrutture che permettono così di estendere l'orizzonte dei veicoli che attualmente, grazie ai sensori, coprono 200-300 metri non equamente distribuiti in tutte le direzioni. Tale orizzonte può essere così ampliato fino a 700-800 metri o per un tempo equivalente di 20 secondi per la pianificazione del percorso nei punti critici del traffico, utilizzando i dati dell'infrastruttura stradale.



*Fig.25: Infrastruttura radar fissa di supporto ai veicoli a guida autonoma*

Specificatamente, per “platooning” si intende precisamente un metodo per veicolare un gruppo composto da un numero variabile da 8 a 25 veicoli lungo la rete stradale (in Fig.26, un esempio basilare): pertanto, l’implementazione di infrastrutture stradali modificherà in tal modo le dinamiche del traffico con evidenti benefici in termini di riduzione della congestione stradale, incremento della capacità stradale ed un utilizzo più efficiente del carburante grazie alla minore resistenza dell’aria (solamente il primo veicolo della flotta subisce una significativa resistenza dell’aria a favore dei veicoli che gli succedono) ed a condizioni di traffico costanti che riducono la necessità di fermarsi, frenare o accelerare.



*Fig. 26: La creazione di flotte di veicoli grazie al “platooning”*

## 3.2 Lo sviluppo della tecnologia dal punto di vista del dominant design

Come già accennato precedentemente, lo sviluppo del dominant design nel veicolo a guida autonoma rappresenta una milestone fondamentale per lo sviluppo tecnologico e per la crescita dell'intera industria. Se la comunicazione con l'ambiente, il processo decisionale tramite l'intelligenza artificiale e la mappatura del territorio sono dal punto di vista tecnologico ad un livello ottimo di definizione e necessitano soprattutto di testare nel tempo le funzionalità per migliorarle da un punto di vista prettamente informatico, per quanto riguarda i componenti che permettono al veicolo di analizzare l'ambiente esterno c'è ancora una rilevante indecisione riguardo alla migliore soluzione possibile in base all'aspetto tecnologico ed ai bisogni degli utenti finali. E soprattutto, la definizione di tale soluzione permetterebbe di accelerare lo sviluppo tecnologico delle altre caratteristiche citate, grazie alla miglior qualità dei dati generati dalla tecnologia di analisi dell'ambiente, in termini di precisione e di affidabilità. Inoltre, le case automobilistiche e le aziende che sviluppano tali sistemi ne gioverebbero anche da un punto di vista prettamente economico, potendo ottimizzare le proprie risorse nello sviluppo tecnologico e concentrando i propri sforzi in altri ambiti della tecnologia della guida autonoma diversi dall'analisi dell'ambiente. Al fine di definire quale sia la migliore soluzione per lo sviluppo del dominant design, bisogna confrontare i tre principali componenti che attualmente rappresentano le migliori proposte tecnologiche: il LiDAR, la telecamera e il radar.

### 3.2.1 La definizione della metodologia

La metodologia sviluppata per analizzare i singoli componenti è analoga alla metodologia utilizzata precedentemente per la valutazione delle caratteristiche tecniche in base agli indicatori di performance: al fine di valutare i componenti, essi sostituiscono le caratteristiche tecniche e vengono definiti nuovi indicatori di performance che permettono di analizzare i singoli componenti dal punto di vista tecnologico e dal punto di vista delle necessità degli utenti finali, con un peso commisurato all'influenza sulla valutazione totale. Gli indicatori di performance definiti per la metodologia di analisi dello sviluppo del dominant design sono i seguenti:

- **Complessità computazionale:** tale indicatore riflette l'onere computazionale che il componente richiede al software del veicolo. Maggiore è la complessità di elaborazione dei dati e la capacità di calcolo richiesta per fornire l'output desiderato, maggiore è la complessità computazionale e peggio è ai fini del dominant design. Per tal motivo, maggiore è la valutazione assegnata, minore è la complessità computazionale del componente.
- **Rilevazione di oggetti/ostacoli:** per "rilevazione di oggetti/ostacoli" si intende la capacità del componente di rilevare la presenza di oggetti e ostacoli presenti in misura rilevante nell'ambiente esterno al veicolo, fondamentale per far sì che il veicolo scelga una traiettoria consona all'oggetto rilevato.

- **Classificazione di oggetti/ostacoli:** per “classificazione di oggetti/ostacoli”, invece, si intende la capacità del componente di identificare la tipologia e le caratteristiche dell’oggetto o l’ostacolo rilevato: questa capacità è molto importante in quanto definisce il comportamento che il veicolo deve assumere a seconda della presenza di una certa tipologia di oggetto piuttosto che un’altra diversa.
- **Calcolo distanza da oggetti/ostacoli:** la capacità di calcolare con precisione ed accuratezza la distanza del veicolo dagli oggetti/ostacoli rilevati è un altro importante indicatore di performance per i componenti.
- **Rilevazione linee corsie di marcia:** la capacità di rilevare le corsie di marcia sulla superficie stradale è un elemento importante per definire i confini entro il quale il veicolo può agire.
- **Raggio di azione:** per “raggio di azione” si intende la massima distanza entro il quale il componente è operativo, oltre al quale la performance del componente peggiora o semplicemente non è più in grado di operare.
- **Risposta a condizioni avverse:** per “risposta a condizioni avverse” si intende la capacità del componente di operare in condizioni meteorologiche o di luminosità non standard. Come visto nella presentazione della tecnologia a guida autonoma, le condizioni meteorologiche avverse rappresentano un limite per alcuni componenti, LiDAR e telecamera, ma allo stesso modo determinate condizioni di luminosità possono interferire specialmente con quest’ultima che in determinate condizioni può non essere in grado di distinguere gli oggetti ed, in generale, di operare efficientemente.
- **Ingombro:** l’ingombro riflette lo spazio necessario per integrare il componente nel veicolo: le dimensioni dei componenti sono piuttosto diverse e pertanto richiedono un diverso posizionamento e spazio occupato. Maggiore è la valutazione assegnata, minore è l’ingombro richiesto dal componente.
- **Costo:** il costo di produzione e di acquisto del componente è valutato in base allo stato attuale della tecnologia ed in base alle attuali proposte sul mercato. Maggiore è la valutazione assegnata, minore è l’attuale costo del componente.

Una volta assegnate le valutazioni per ogni componente in base agli indicatori di performance definiti, si ottiene la seguente matrice di valutazione dei componenti (Tabella 2):

	Complessità computazionale	Rilevazione oggetti/ostacoli	Classificazione oggetti/ostacoli	Calcolo distanza da oggetti/ostacoli	Rilevazione linee corsie di marcia	Raggio di azione	Risposta a condizioni avverse	Ingombro	Costo
Pesi indicatori di performance	10%	15%	15%	15%	10%	10%	10%	5%	10%
Radar	9	9	0	9	0	9	9	9	9
Telecamera	0	3	9	3	9	3	0	3	3
LiDAR	3	9	3	9	1	9	3	0	1

Tabella 2: Matrice di valutazione dei componenti relativi all'analisi dell'ambiente in base agli indicatori di performance

### 3.2.2 Analisi dei risultati

Analogamente all'analogia precedente, in Fig. 27, si determina l'impatto del singolo componente, ovvero la sua importanza nell'analisi dell'ambiente esterno per un veicolo a guida autonoma, ai fini della definizione del dominant design:

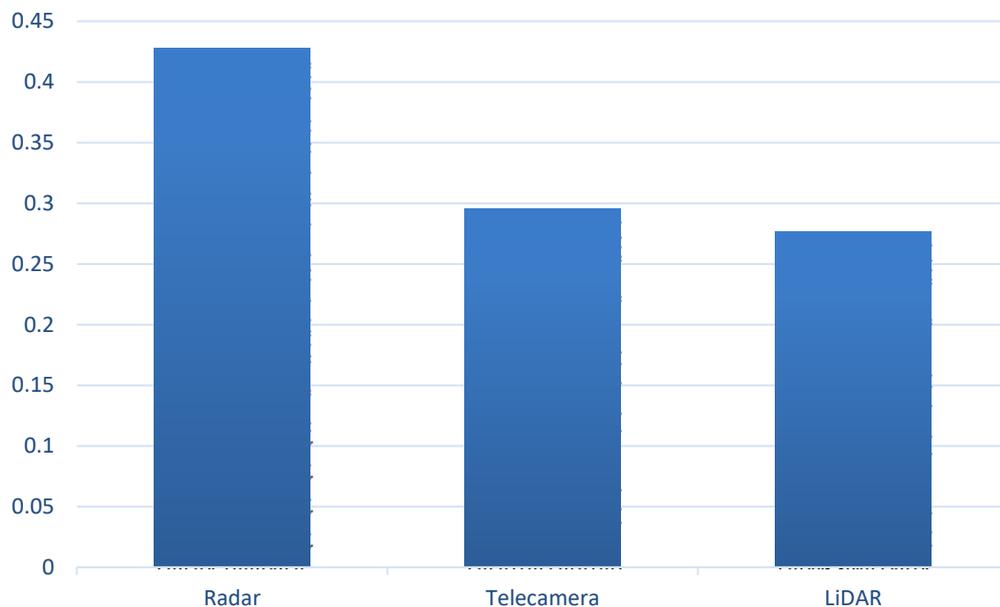


Fig.27: Valutazione dell'impatto dei singoli componenti per l'analisi dell'ambiente esterno al veicolo

Il risultato ottenuto certifica l'importanza delle funzionalità del radar le cui caratteristiche lo rendono un componente indispensabile per la tecnologia della guida autonoma, pur non essendo una soluzione stand-alone. Ma soprattutto per la possibilità di utilizzare diversi sistemi radar sia a lungo sia a corto raggio, la capacità di operare anche in condizioni meteorologiche avverse grazie alla proprietà di propagazione delle onde radio, la minima potenza di calcolo richiesta per il suo utilizzo efficiente, la sua economicità e le sue dimensioni minime lo rendono un perfetto componente complementare per la telecamera o il LiDAR, in modo da sopperire alle lacune funzionali di questi due componenti più sofisticati. Le caratteristiche principali di LiDAR e telecamera rendono questi due componenti concorrenti per stabilirsi come il componente principale, con il radar al suo supporto. Infatti, l'utilizzo contemporaneo dei tre componenti risulta una soluzione piuttosto inefficiente sia dal punto di vista economico, sia per una questione di ridondanza di funzionalità del LiDAR e della telecamera. Chiaramente, per la valutazione complessiva dei componenti, si è valutato lo stato attuale della tecnologia senza considerare i possibili sviluppi futuri della tecnologia di base.

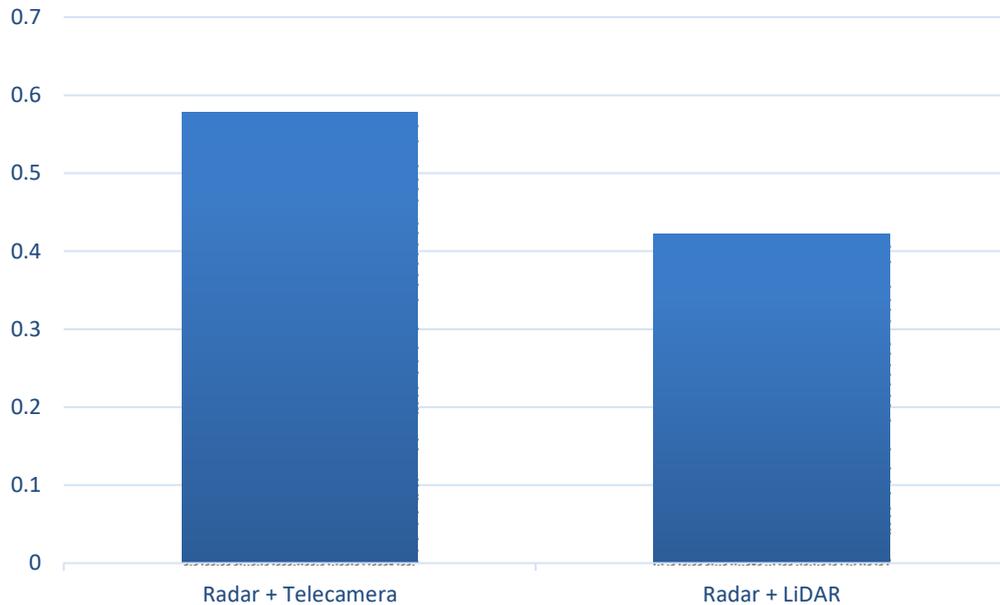
### 3.2.3 Valutazione di LiDAR e telecamera in combinazione con il Radar

Per i motivi appena citati, è importante approfondire l'analisi per determinare la migliore soluzione ai fini del dominant design che non sarà caratterizzato da un singolo componente ma verosimilmente dalla combinazione di radar con telecamera e/o LiDAR. Confrontando e valutando le due proposte tecnologiche con la medesima metodologia utilizzata per l'analisi dei singoli componenti, si ottiene la migliore soluzione, ovvero quella che si affermerà come il dominant design (Tabella 3):

	Complessità computazionale	Rilevazione oggetti/ostacoli	Classificazione oggetti/ostacoli	Calcolo distanza da oggetti/ostacoli	Rilevazione linee corsie di marcia	Raggio di azione	Risposta a condizioni avverse	Ingombro	Costo
Pesi indicatori di performance	10%	15%	15%	15%	10%	10%	10%	5%	10%
Telecamera + Radar	0	9	9	9	9	9	3	3	3
LiDAR + Radar	3	9	3	9	1	9	9	0	0

Tabella 3: Matrice di valutazione delle coppie di componenti relativi all'analisi dell'ambiente in base agli indicatori di performance

La valutazione complessiva quantificata in Fig.28 evidenzia una netta differenza tra le due diverse proposte tecnologiche, Telecamera e LiDAR entrambi in combinazione con il radar:



*Fig.28: Valutazione dell'impatto delle coppie di componenti per l'analisi dell'ambiente esterno al veicolo*

Il risultato ottenuto evidenzia chiaramente che, allo stato attuale della tecnologia, il componente principale che favorevolmente diventerà la soluzione per il dominant design del veicolo a guida autonoma è la telecamera, supportata dalle funzionalità dei radar sia a lungo sia a corto raggio. Il sistema combinato di questi due componenti risulta quello attualmente più completo per garantire un'analisi dell'ambiente con un livello di precisione elevato ad un costo accessibile per l'adozione nel mass market della tecnologia.

Tuttavia, ci sono degli ostacoli che non permettono una rapida affermazione di tale soluzione come design dominante: in particolare, la complessità computazionale richiesta dalle telecamere e la sua sensibilità a determinate condizioni atmosferiche. Per questo secondo ostacolo, l'utilizzato di diversi sistemi radar permette di mitigare in gran parte tale difficoltà, grazie proprio alla capacità del radar di rilevare qualsiasi tipo di oggetto nell'ambiente, indipendentemente dalle condizioni atmosferiche, e potendo così essere sfruttata dalle telecamere posizionate sul veicolo per focalizzarsi sull'oggetto inizialmente non rilevato per identificarlo e classificarlo. Tuttavia, questo non è assolutamente garantito per ogni possibile situazione verificabile in uno scenario di guida: grandi passi in avanti per quanto riguarda lo sviluppo dell'intelligenza artificiale e delle reti neurali del veicolo sono fondamentali in tal senso.

L'ostacolo chiave al dominio delle telecamere è proprio l'intelligenza artificiale che elabora ed interpreta una grande quantità di dati e deve riconoscere ogni possibile situazione in qualche millisecondo. Il suo sviluppo è indispensabile anche per sostenere la complessità computazionale richiesta dalle elaborazioni delle immagini ottenute dalla telecamera, al fine di ottenere i dati utili per il processo decisionale del veicolo. Tali punti deboli delle telecamere rappresentano, invece, dei punti di forza del componente LiDAR che, soprattutto grazie alla capacità di modellare in 3D l'ambiente esterno, è in grado di operare in maniera più efficiente

in condizioni meteorologiche avverse e principalmente genera un dataset più leggero e semplice da elaborare per l'intelligenza artificiale.

Ma le lacune principali del LiDAR nella classificazione degli oggetti rilevati, nella rilevazione delle linee delle corsie di marcia e nell'attuale costo di produzione lo rendono un componente non in grado di soddisfare autonomamente, anche con il supporto di sistemi radar, le esigenze che un veicolo a guida autonoma deve essere in grado di soddisfare. Inoltre, il LiDAR non permette un'accurata comprensione dei comportamenti di un pedone o di un ciclista essendo così incapace di prevedere le loro azioni ed, allo stesso tempo, non è efficiente nella classificazione degli oggetti presenti nell'ambiente. La complessità del componente, dal punto di vista architettonico e del funzionamento, lo rende attualmente molto costoso e soprattutto fuori mercato per un'adozione su larga scala: basti pensare che inizialmente l'azienda Waymo utilizzò nei test un sensore LiDAR dal valore di 75000\$, valore che progressivamente sta scendendo notevolmente fino a qualche migliaio di \$, mantenendo inalterate le performance del componente. Diverse aziende stanno investendo notevolmente in tale componente al fine di ridurre i costi di produzione e renderlo decisamente più accessibile, tra cui General Motors che, tramite Cruise, ha acquisito la startup Strobe specializzata nello sviluppo tecnologico di tale componente, oltre alla startup Luminar il cui obiettivo è di arrivare ad un prezzo di mercato di 1000\$ per l'anno 2022.

Questi difetti piuttosto rilevanti fanno sì che tale componente potrebbe essere reso obsoleto dallo sviluppo tecnologico del sistema di telecamere e radar: l'utilizzo delle telecamere infatti è, al momento e verosimilmente in futuro, indispensabile per diverse operazioni di guida, come ad esempio la citata rilevazione delle linee di corsie di marcia che delimita i confini di operatività del veicolo, infatti il Lane Keeping Assist si basa proprio sull'utilizzo di una telecamera.

Pertanto, le caratteristiche funzionali della telecamera la rendono a tutti gli effetti la soluzione migliore per la definizione del dominant design come ampiamente dimostrato dalla metodologia elaborata e per affermarsi come tale, estromettendo il LiDAR, è essenziale un miglioramento dell'intelligenza artificiale per elaborare le immagini fornite dalle telecamere. Si tratta quindi sostanzialmente di una "gara" tra la curva dei costi del LiDAR ed i programmatori informatici di AI: se il LiDAR dovesse raggiungere un prezzo accessibile più velocemente di quanto le telecamere possano diventare effettivamente utilizzabili e affidabili in ogni possibile situazione verificabile, il LiDAR diventerebbe probabilmente un componente universale nei veicoli a guida autonoma principalmente come un sensore di distanza economico, affidabile e molto preciso, in combinazione proprio con le telecamere. Ed anche se in futuro il LiDAR potrebbe non essere assolutamente necessario per la tecnologia della guida autonoma, la sua affidabilità, semplicità e universalità potrebbero renderlo un componente "trampolino" molto attraente per raggiungere un alto livello di autonomia. Tuttavia, se le aziende, come Tesla, che stanno puntando esclusivamente sullo sviluppo delle telecamere, riusciranno nel prossimo futuro a creare una complessa rete neurale in grado di elaborare rapidamente e in modo affidabile le informazioni di imaging delle telecamere, allora il LiDAR diventerà probabilmente una costosa ridondanza per alcuni dei principali produttori e reso definitivamente obsoleto dall'affermazione della telecamera.

### **3.3 Analisi di idoneità di un mercato geografico per l'adozione della tecnologia**

La definizione ed affermazione del dominant design del veicolo a guida autonoma è la milestone fondamentale per l'adozione su larga scala della tecnologia: esso infatti consentirebbe di effettuare il decisivo passo in avanti per quanto riguarda la “visione” del veicolo a guida autonoma, ovvero l'analisi dell'ambiente, la caratteristica non più importante per la tecnologia ma assolutamente fondamentale per le altre caratteristiche tecniche per la mole di dati utili ed indispensabili generati.

Tuttavia, l'adozione della tecnologia non dipende esclusivamente dalla definizione del dominant design: vista la complessità della tecnologia e l'innovazione “distruittiva” che apporta al settore automotive, è necessario che un determinato mercato sia idoneo ed incentivato ad adottare la tecnologia, oltre a capace di adattare il proprio sistema ai drastici cambiamenti che la tecnologia comporta. Nell'analizzare l'idoneità di un determinato mercato per l'effettiva adozione della tecnologia è indispensabile considerare una serie di variabili che sono specifiche per ogni diverso mercato geografico, ovvero per ogni diverso Paese con una giurisdizione indipendente. Tali variabili sono sintetizzabili nelle seguenti macro-variabili: la politica e legislazione, la tecnologia ed innovazione, le infrastrutture e l'accettazione del consumatore. Ognuna di queste quattro macro-variabili sono il risultato aggregato di più variabili che, in egual misura, influenzano il processo di adozione della tecnologia della guida autonoma.

Al fine di valutare l'idoneità di un Paese con un approccio quantitativo, grazie a diversi report professionali di note società di consulenza ed istituzioni mondiali, indici di misura specifici ed analisi delle notizie mediatiche locali e globali, è stato possibile determinare un valore per ogni singola variabile, per poi determinare un punteggio aggregato per ogni macro-variabile, per ogni Paese analizzato. Dato che le variabili analizzate hanno diverse unità di misura, i valori assegnati vengono normalizzati utilizzando il metodo min-max: questo permette di convertire le variabili in un intervallo tra 0 e 1, sottraendo il minimo valore individuato e dividendo per il range di valori della variabile. Pertanto, al Paese con il valore più alto per la data variabile, viene assegnato il punteggio massimo di 1 e, viceversa, il Paese con il valore più basso riceve 0 come punteggio.

Inoltre, siccome tali macro-variabili hanno un numero differente di variabili che le compongono, i punteggi delle macro-variabili sono scalati, a seconda del numero di variabili che le compongono, in modo che ognuna di esse abbia lo stesso peso nel punteggio complessivo di ogni Paese. Tale punteggio, calcolato come la somma dei punteggi ottenuti per ogni macro-variabile, quantifica l'idoneità di un mercato geografico per l'adozione della tecnologia; in base ai punteggi calcolati, è possibile determinare una classifica totale dei 30 diversi Paesi analizzati, selezionati tra quelli già sviluppati e quelli in via di sviluppo.<sup>13</sup> Entrando nel dettaglio, le quattro macro-variabili di questa analisi sono così composte e valutate:

---

<sup>13</sup> Le variabili identificate ed i punteggi assegnati per ogni diverso Paese fanno riferimento al report “2020 Autonomous Vehicle Readiness Index” della nota società di consulenza KPMG.

### 3.3.1 Politica e Legislazione

La macro-variabile “Politica e Legislazione” indica la capacità di un Paese, dal punto di vista politico e legislativo, di adattarsi e di attuare efficacemente il cambiamento necessario per adottare la tecnologia della guida autonoma. E’ il risultato aggregato delle seguenti sette variabili che contribuiscono al risultato finale in egual misura:

- **Regolamentazione della tecnologia:** i Paesi che già attualmente prevedono regolamentazioni a supporto della tecnologia della guida autonoma e favoriscono il suo sviluppo, ad esempio ponendo limitate restrizioni allo svolgimento di test, hanno un punteggio più alto dei Paesi che pongono restrizioni considerevoli.
- **Sviluppo di progetti governativi:** con tale variabile, si considera la partecipazione diretta delle istituzioni governative dei Paesi nello sviluppo della tecnologia attraverso lo sviluppo ed il finanziamento di progetti inerenti alla guida autonoma.
- **Centralizzazione della responsabilità sulla tecnologia:** per la valutazione di tale variabile, si considera la modalità di approccio del Governo nel supportare lo sviluppo della tecnologia: un Governo che decide di dividere la responsabilità della tecnologia su più Dipartimenti o enti governativi riceve un punteggio decisamente più basso di un Governo che istituisce uno specifico Dipartimento focalizzato sulla tecnologia, con responsabilità esclusiva, nel settore dei trasporti e sull’innovazione: oltre a fornire un unico punto di contatto per gli innovatori, tale variabile quantifica l’effettivo impegno di un Governo.
- **Prontezza del Governo al cambiamento:** questa variabile considera contemporaneamente la regolamentazione, la pianificazione strategica del Governo e lo stato di diritto: indica quindi come un determinato Governo, in base alle sue caratteristiche intrinseche, sia o meno pronto ed abile ad evolvere in base ai cambiamenti che si verificano nell’ambiente esterno.
- **Orientamento futuro del Governo:** l’orientamento futuro del Governo viene valutato sulla media di diverse misure come la stabilità politica, la visione a lungo termine del Governo, la reattività e l’adattabilità del quadro giuridico del Paese al cambiamento.
- **Efficienza del sistema legale in regolamentazioni impegnative:** l’efficienza del sistema legale a fronte dell’avvento di nuove regolamentazioni impegnative è inclusa nell’analisi per valutare la capacità delle case automobilistiche e delle aziende che sviluppano la tecnologia di contrastare le eventuali regole governative sfavorevoli: ciò vuol dire che ad un punteggio alto corrisponde un’efficiente sistema legale, capace di regolare agevolmente la tecnologia, supportando così l’industria.
- **Ambiente di condivisione dei dati:** i Paesi che adottano un approccio più aperto per la condivisione dei dati ottengono un punteggio alto, in quanto ciò consente una maggiore collaborazione tra le istituzioni governative e l’industria privata per incoraggiare lo sviluppo della tecnologia della guida autonoma.

I punteggi assegnati, in una scala da 0 ad 1, ad ogni singola variabile per ogni Paese analizzato vengono sommati per determinare il punteggio aggregato della variabile “Politica e Legislazione”, ottenendo così i seguenti valori (Fig.29):

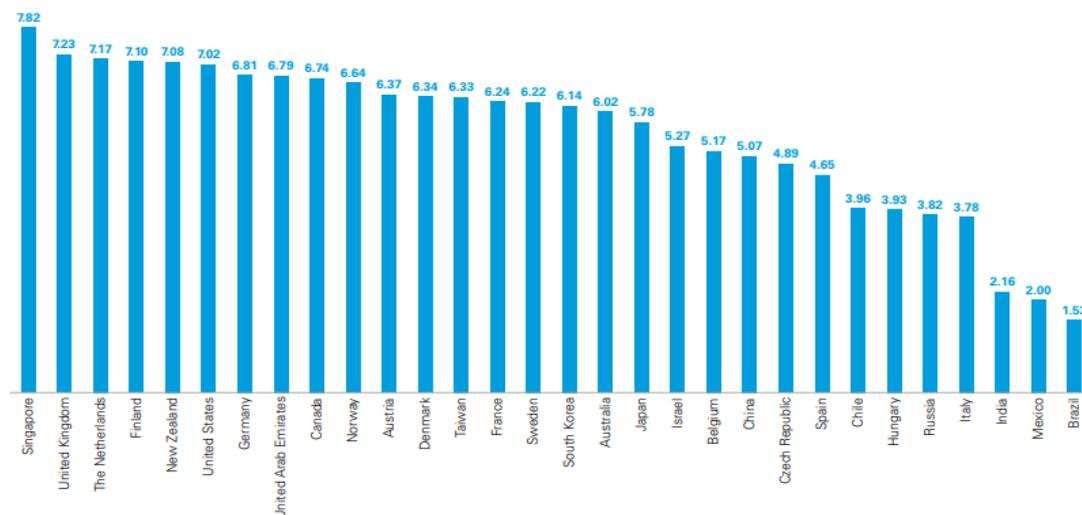


Fig.29: Classifica e punteggio dei Paesi analizzati per “Politica e Legislazione”

### 3.3.2 Tecnologia ed Innovazione

“Tecnologia ed Innovazione” indica il tasso tecnologico ed innovativo del Paese, con un focus sull’industria automotive. Tale macro-variabile è il risultato aggregato di nove diverse variabili con lo stesso peso nel risultato finale:

- **Partnership nell’industria:** la natura rapida e dirompente della tecnologia della guida autonoma ha reso le partnership, tra i produttori di veicoli e fornitori di tecnologie specifiche, essenziali e molte di queste collaborazioni stanno prendendo forma soltanto nel periodo recente. I Paesi che sono sede di aziende che hanno stabilito un gran numero di partnership ricevono i punteggi più alti.
- **Presenza di sedi delle aziende correlate alla tecnologia:** considerando solamente le aziende tecnologiche focalizzate sullo sviluppo della guida autonoma, maggiore è il numero di aziende con sede nel Paese, maggiore è il punteggio attribuito al Paese. Per valutare equamente i diversi Paesi, il punteggio assegnato viene calcolato considerando il numero di sedi rispetto alla popolazione del Paese.
- **Brevetti correlati alla tecnologia:** allo stesso modo della variabile precedente, maggiore è il numero di brevetti correlati alla tecnologia della guida autonoma e depositati nel Paese, maggiore è il punteggio attribuitogli. Anche per questa variabile, il punteggio è valutato in base alla popolazione del Paese.
- **Investimenti dell’industria nella tecnologia:** dimensionata anch’essa a seconda della popolazione del Paese, questa variabile piuttosto che considerare il luogo dove viene effettuato l’investimento, sta ad indicare la provenienza delle organizzazioni che investono: quindi, il suo valore aumenta all’aumentare degli investimenti effettuati, da parte di aziende con sede nel Paese, in un qualsiasi luogo geografico.

- **Disponibilità delle ultime tecnologie:** questa variabile rispecchia il tessuto tecnologico del Paese, in riferimento alla capacità di adottare e rendere velocemente disponibili le tecnologie sviluppate, nel periodo recente, sul mercato.
- **Capacità innovativa:** la capacità innovativa di un Paese è un importante indicatore in termini di competitività del Paese e abilità di mantenerla forte e stabile nel tempo.
- **Sicurezza informatica:** tale variabile considera le infrastrutture ed i protocolli di sicurezza del Paese in termini di sicurezza informatica, fondamentale per garantire la sicurezza e la protezione dei dati delle organizzazioni e degli utenti finali.
- **Valutazione delle tecnologie di cloud computing, intelligenza artificiale e IoT:** questa variabile piuttosto specifica indica il livello tecnologico del Paese in merito allo sviluppo ed agli investimenti in queste tre tecnologie, decisamente importanti nello sviluppo della guida autonoma.
- **Market share di veicoli elettrici:** considerando che verosimilmente la maggior parte, se non la totalità, dei veicoli a guida autonoma saranno elettrici, i Paesi vengono valutati in base all'attuale market share di veicoli elettrici o ibridi plug-in.

Una volta assegnati i punteggi per ogni singola variabile, si ottiene il punteggio aggregato di “Tecnologia ed Innovazione che, si ricorda, è ottenuto dalla somma dei punteggi, da 0 ad 1, delle diverse variabili che lo compongono (Fig.30):



Fig. 30: Classifica e punteggio dei Paesi analizzati per “Tecnologia ed Innovazione”

### 3.3.3 Infrastrutture

La macro-variabile “Infrastrutture” esprime il livello tecnologico e qualitativo delle infrastrutture, di ogni Paese, con un particolare su quelle la cui presenza nell’ecosistema della tecnologia della guida autonoma è assolutamente necessaria ed indispensabile. Essa è il risultato aggregato di sei diverse variabili di cui, però, in questo caso due in particolare, “velocità di connessione mobile” e “banda larga”, hanno un peso equivalente alla metà del peso delle altre quattro variabili:

- **Stazioni di ricarica per veicoli elettrici:** come già accennato precedentemente, il fatto che i veicoli a guida autonoma saranno verosimilmente elettrici, l’adozione di tale tecnologia richiede indiscutibilmente la disponibilità di stazioni di ricarica che forniscano elettricità ai veicoli. Per l’assegnazione dei punteggi ai Paesi, viene valutata la densità di stazioni di ricarica in base alla popolazione del Paese.
- **Copertura 4G:** tale variabile indica l’estensione della copertura 4G nel Paese, considerando l’importanza di avere ampio accesso alla rete Internet in ogni luogo geografico. Nonostante la tecnologia 4G non sia ideale come performance richieste dalla tecnologia, in termini di capacità e di latenza, questa variabile è un ottimo indicatore per verificare la capacità di un Paese di estendere nel proprio territorio una tecnologia di comunicazione wireless, abilità indispensabile per l’adozione della tecnologia della guida autonoma che richiederà nello specifico l’utilizzo del successore del 4G, ovvero il 5G.
- **Qualità delle strade:** L’alta qualità delle strade è un fattore decisamente positivo per l’adozione della tecnologia della guida autonoma. Ma non solo, tale variabile considera anche l’estensione della rete autostradale in un Paese che, se limitata, contribuisce negativamente all’adozione della tecnologia.
- **Prontezza al cambiamento delle infrastrutture tecnologiche:** Questa variabile misura il livello delle infrastrutture tecnologiche di un Paese utilizzando una varietà di indicatori che riflettono la capacità di modificarle senza eccessivi costi, piuttosto utile per l’adozione della tecnologia della guida autonoma.
- **Velocità di connessione mobile:** Con tale variabile, viene considerata la velocità media della connessione di rete di un Paese. Come accennato precedentemente, il peso di questa variabile è equivalente alla metà del peso delle variabili già illustrate.
- **Banda larga:** questa variabile ha lo stesso peso della variabile appena descritta. Essa riflette l’estensione dell’utilizzo della “banda larga” sul territorio: la banda larga permette di utilizzare mezzi e sistemi di telecomunicazione per lo scambio e la condivisione dei dati in maniera decisamente più rapida e funzionale rispetto al precedente sistema denominato “banda stretta”, aspetto molto rilevante per la guida autonoma.

In Fig.31, sono illustrati i punteggi aggregati per ogni Paese riguardo alla macro-variabile “Infrastrutture”:



Fig.31: Classifica e punteggio dei Paesi analizzati per “Infrastrutture”

### 3.3.4 Accettazione del consumatore

L’ultima macro-variabile considerata nell’analisi di idoneità di un mercato geografico per l’adozione della tecnologia della guida autonoma riguarda proprio l’accettazione da parte dei consumatori, ovvero gli utenti finali. E’ molto importante che gli utenti finali abbiano, fin da subito, piena fiducia della tecnologia e siano favorevoli ad affidarsi ad un sistema autonomo per spostarsi senza avere più il diretto controllo del processo di guida. Il punteggio di “Accettazione del consumatore” è il risultato dell’analisi delle seguenti variabili:

- **Popolazione residente in prossimità delle aree test:** più persone sono in grado di osservare da vicino veicoli a guida autonoma percorrere le stesse strade che abitualmente sono percorse da veicoli, più è probabile che le stesse persone siano maggiormente disponibili ad adottare la tecnologia, una volta resa disponibile. Pertanto, i Paesi con una maggior percentuale di popolazione che vive in città dove sono in corso di svolgimento test riguardanti la tecnologia della guida autonoma hanno ottenuto i punteggi più alti.
- **Uso della tecnologia da parte della società:** tale variabile riflette quanto la popolazione di un determinato Paese utilizzi abitualmente un generico dispositivo tecnologico, ovvero quanto la tecnologia sia penetrata nelle abitudini delle persone e quanto essa abbia influenzato le loro vite. Più una popolazione è tecnologica da questo punto di vista, più sarà incline ad adottare un veicolo a guida autonoma.
- **Adozione di dispositivi ICT da parte del consumatore:** la sigla ICT sta per “Information and Communication Technology” e, analogamente alla variabile precedente, un’ampia adozione di dispositivi ICT significa un ottimo livello di connettività e di inter-connessioni tra la popolazione, un principio chiave della tecnologia della guida autonoma. Per valutare tale variabile, sono stati considerati gli

abbonamenti telefonici, l'utilizzo della banda larga, gli abbonamenti alla fibra internet e più generalmente il numero totale di utenti Internet.

- **Competenze digitali:** questa variabile indica la capacità generale della popolazione di interagire in modo competente con dispositivi digitali, oltre all'abilità di imparare velocemente l'utilizzo di nuove tecnologie.
- **Prontezza individuale:** per quantificare la prontezza a livello del singolo individuo nell'adottare la tecnologia della guida autonoma, sono stati considerati diversi fattori tra cui il tasso di alfabetizzazione degli adulti, la proporzione di giovani ed adulti con competenze nell'utilizzo di dispositivi ICT, il numero di utenti attivi sui social media ed il numero di iscrizioni all'università in un Paese.
- **Penetrazione nel mercato del "ride-hailing":** il servizio di "ride-hailing" (servizio taxi) è uno dei servizi in cui la tecnologia della guida autonoma troverà favorevolmente terreno fertile per la sua diffusione. Pertanto, è importante considerare tale variabile quantificata come la percentuale di popolazione che utilizza o ha utilizzato un servizio di "ride-hailing".

In Fig.32, si possono osservare i punteggi aggregati ottenuti, per ogni Paese, in riferimento all'"Accettazione del consumatore":



Fig.32: Classifica e punteggio dei Paesi analizzati per "Accettazione del consumatore"

### 3.3.5 Analisi dei risultati

Dopo aver analizzato ed assegnato un punteggio ad ogni singola variabile per ogni Paese selezionato per questa analisi di idoneità relativa all'adozione della tecnologia della guida autonoma, si ottiene il punteggio totale specifico per ogni Paese sommando i punteggi di ogni macro-variabile che, si ricorda, sono scalati in modo che le macro-variabili abbiano lo stesso peso, indipendentemente dal numero di variabili che le compongono. I punteggi complessivi calcolati per ogni Paese sono evidenziati, in ordine decrescente, nella Fig. 33 sottostante:

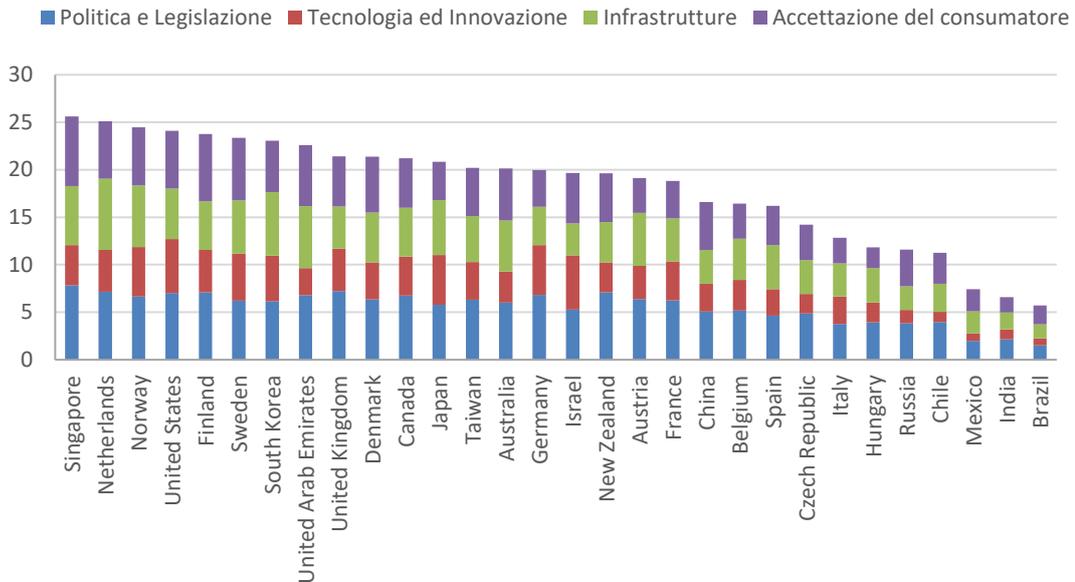


Fig. 32: Classifica generale con i punteggi complessivi quantificati per ogni Paese analizzato

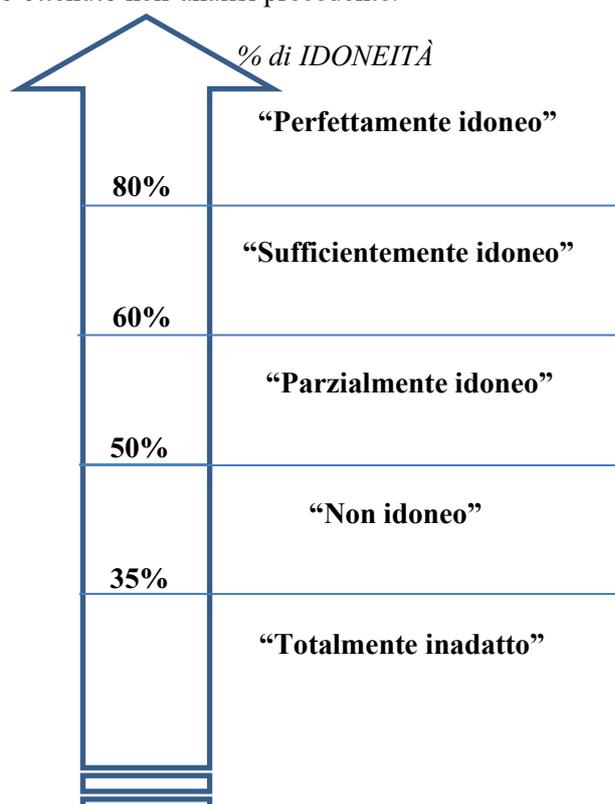
Come si può notare in figura, i Paesi con il punteggio significativamente più alto rispetto agli altri sono Singapore (25.61), Paesi Bassi (25.11), Norvegia (24.48), Stati Uniti (24.1), Finlandia (23.75), Svezia (23.34), Sud Corea (23.05) e Emirati Arabi Uniti (22.58). In seguito ai Paesi citati, c'è un "gruppo" consolidato di 9 Paesi, dal Regno Unito (21.41) alla Nuova Zelanda (19.62), la cui differenza di punteggio tra questi due è di 1,8 punti, piuttosto bassa per identificare significative diversità tra i Paesi appartenenti a questo gruppo. Dal 18° posto presieduto dall'Austria (19.14) vi è una progressiva decrescita di punteggio piuttosto significativa fino ad arrivare al fondo della classifica in cui si trovano Messico (7.44), India (6.59) e Brasile (5.71), con un punteggio decisamente basso.

Il punteggio massimo che un Paese può ottenere in questa analisi di idoneità è ottenuto nel caso in cui tutte le singole variabili abbiano valore 1, ottenendo così un punteggio totale di 36. Ciò vorrebbe dire che il Paese, con tale punteggio, è al 100% per ogni macro-variabile quantificata: l'adozione della tecnologia della guida autonoma da parte di un Paese richiede sicuramente una percentuale di idoneità sufficientemente alta per ogni macro-variabile considerata, ma allo stesso tempo non è necessario che tale percentuale sia il 100% o comunque tendente a tale percentuale. Chiaramente però, un'elevata percentuale di idoneità in ogni contesto è indispensabile per l'adozione dei veicoli a guida autonoma da parte del mercato di massa presente nel Paese, in quanto per rispettare i parametri di sicurezza, efficienza e di performance per l'operatività della tecnologia, è necessario che il Paese abbia

un apparato governativo orientato a tale cambiamento in modo da costituire una regolamentazione in merito dettagliata ed efficace, è necessario che l'industria del Paese sia fortemente incentivata a transitare verso questa tecnologia in modo da effettuare gli investimenti necessari e creare l'adeguato ecosistema tecnologico ed innovativo, è inoltre necessario che le infrastrutture del Paese siano decisamente adatte per sostenere la tecnologia ed infine è necessario che la maggior parte, se non la totalità, della popolazione, ovvero gli utenti finali, riconosca i benefici della tecnologia in modo da accettare il cambiamento e decidere pertanto di favorire l'utilizzo di un veicolo a guida autonoma.

Tuttavia, in questa analisi non viene considerata esclusivamente l'adozione della tecnologia della guida autonoma da parte del mercato di massa, ma si considera genericamente il settore del trasporto "su ruote", quindi anche il settore dei mezzi pesanti e del trasporto pubblico (autobus, tram, ecc.) che allo stesso modo subiranno l'affermazione della tecnologia. Pertanto, l'idoneità di un Paese è da interpretare come la capacità di un Paese, grazie alle sue caratteristiche intrinseche, di adottare significativamente la tecnologia della guida autonoma in una delle sue varie forme, non esclusivamente indirizzata al mercato di massa.

In seguito alle considerazioni effettuate, si ipotizza la seguente "scala di idoneità", a seconda della percentuale di idoneità per l'adozione della tecnologia della guida autonoma, in base al punteggio ottenuto nell'analisi precedente:



È importante precisare che la componente del "tempo" è fortemente collegata all'idoneità di un Paese per l'adozione della tecnologia della guida autonoma: infatti, si può affermare che un Paese con caratteristiche tali da essere ritenuto "perfettamente idoneo" per adottare la tecnologia può verosimilmente completare il processo di adozione in tempi piuttosto rapidi. Un Paese "sufficientemente idoneo" può invece verosimilmente adottare la tecnologia in tempi relativamente brevi, ovvero nell'ordine di qualche anno. In seguito, i Paesi tra il 60% ed il

50% di idoneità, ritenuti “parzialmente idonei”, necessitano genericamente di migliorare diversi aspetti tra le variabili considerate, per poter permettersi di adottare la tecnologia: sono pertanto Paesi che necessitano di un periodo di tempo significativamente più lungo per incorporare e rendere proprie le caratteristiche necessarie al fine di adottare la tecnologia. Paesi “non idonei” invece necessitano di miglioramenti decisamente più rilevanti rispetto a quest’ultimi, richiedendo così un periodo di tempo ancora più prolungato, mentre i Paesi “totalmente inadatti” sono Paesi che necessitano di cambiamenti drastici al fine di iniziare il processo di adozione della tecnologia e potrebbero pertanto essere tra gli ultimi ad adottarla oppure addirittura potrebbero non sussistere le condizioni per completare il processo di adozione in tempi ragionevoli.

I Paesi analizzati possono essere pertanto così raggruppati nella seguente Tabella 4:

<b>“Perfettamente idoneo”</b>	Nessun Paese appartiene a questa categoria.
<b>“Sufficientemente idoneo”</b>	Singapore, Paesi Bassi, Norvegia, Stati Uniti, Finlandia, Svezia, Sud Corea, Emirati Arabi Uniti
<b>“Parzialmente idoneo”</b>	Regno Unito, Danimarca, Canada, Giappone, Taiwan, Australia, Germania, Israele, Nuova Zelanda, Austria, Francia
<b>“Non idoneo”</b>	Cina, Belgio, Spagna, Repubblica Ceca, Italia
<b>“Totalmente inadatto”</b>	Ungheria, Russia, Cile, Messico, India, Brasile

Tabella 4: Categorie di appartenenza dei Paesi in base alla % di idoneità

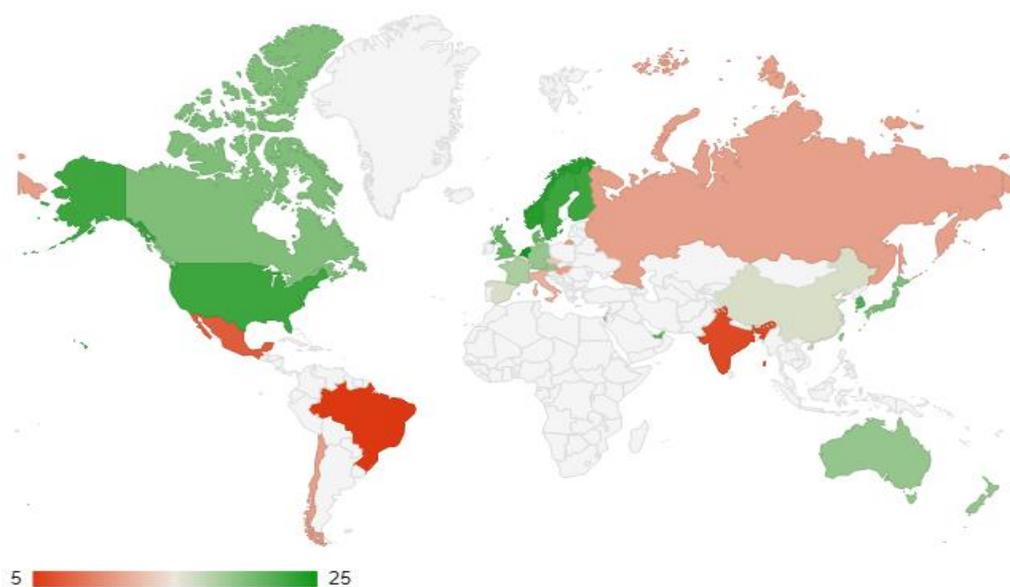


Fig.33: Mappa geografica con i Paesi evidenziati in base alla % di idoneità

Osservando la mappa geografica di Fig.33, in cui i Paesi considerati nell'analisi effettuata sono evidenziati con un colore dal rosso al verde a seconda della % di idoneità, è possibile effettuare un'analisi più macroscopica delle caratteristiche di diverse aree geografiche, in cui sono stati selezionati i Paesi per effettuare l'analisi:

- Il **Nord Europa** ed il **Nord America** sono le aree geografiche che, per le caratteristiche dei loro Paesi, sono significativamente più idonee, rispetto ad altre rilevanti zone geografiche, per l'adozione della tecnologia della guida autonoma.
- **Emirati Arabi Uniti, Sud Corea** ed in particolare **Singapore** (le cui dimensioni territoriali molto ridotte non permettono di rilevarla sulla mappa) rappresentano delle eccezioni nella loro zona geografica di appartenenza, per via delle proprie caratteristiche uniche e distintive che le rendono decisamente diverse dagli rispetto agli altri Paesi confinanti.
- L'**Asia** ed ancora più significativamente il **Sud America** sono le due zone geografiche che sono significativamente meno idonee per l'adozione della tecnologia rispetto al resto del Mondo. Per quanto riguarda il continente asiatico, le eccezioni si trovano principalmente nella parte orientale del continente. Nessun Paese appartenente al continente africano è stato considerato nell'analisi di idoneità in quanto nessuno di questi presenta caratteristiche tali da considerare un'adozione della tecnologia della guida autonoma, pertanto anche l'**Africa** fa parte di questa categoria.
- L'**Europa** è il continente che presenta la più alta variabilità interna in riferimento alle sue dimensioni territoriali, decisamente inferiori rispetto agli altri continenti: come già detto, il Nord Europa è la zona geografica attualmente più preparata e al diminuire della latitudine, si evidenzia un trend negativo. Infatti, l'**Europa centrale** è significativamente meno idonea rispetto al Nord Europa ma viene tuttavia ritenuta genericamente "parzialmente idonea", ad eccezione dei **Paesi Bassi** che è uno dei Paesi più idonei al Mondo per l'adozione della tecnologia. L'**Europa meridionale**, invece, certifica la presenza di un trend negativo, essendo la parte del continente decisamente meno idonea.
- Tra i 10 Paesi con il PIL più alto al Mondo, ovvero i Paesi maggiormente avanzati del Pianeta dal punto di vista economico ed i più popolati, gli **USA** sono l'unico Paese tra gli otto appartenenti alla categoria "sufficientemente idoneo" per l'adozione della tecnologia. La metà di questi Paesi sono ritenuti "parzialmente idonei", ma addirittura Cina e Italia fanno parte della categoria inferiore "non idoneo" o peggio altri sono "totalmente inadatti", Russia, India e Brasile. Questo suggerisce un'importante valutazione in riferimento al contesto geografico: l'idoneità di un Paese per l'adozione della tecnologia della guida autonoma non è assolutamente collegata alla sua dimensione economica: non solo, le dimensioni territoriali, e pertanto del mercato, e la popolosità del Paese rappresentano più un ostacolo, piuttosto che un vantaggio competitivo. Gli USA fanno eccezione per l'efficace regolamentazione in merito alla tecnologia, stimolata fortemente dalle aziende del settore che, per gli elevati investimenti in quest'ambito, hanno richiesto fin da subito una regolamentazione chiara ed efficace al fine di agevolare il testing della tecnologia, per un buon livello di consenso nella popolazione, grazie in particolare alle competenze digitali ed al largo

utilizzo di dispositivi tecnologici da parte dei cittadini e, soprattutto, per l'elevato tasso tecnologico ed innovativo del Paese, secondo solamente all'Israele. Allo stesso modo, un Paese va giudicato anche per la sua complessità intrinseca, soprattutto in riferimento alla difficoltà nel garantire che il proprio sistema di regolamentazioni, industriale e di infrastrutture sia efficiente in modo uniforme nel territorio: Paesi altamente sviluppati come Russia, Cina, Brasile e India devono affrontare grossi ostacoli per l'adozione della tecnologia in tutto il territorio. Sono Paesi dalle dimensioni territoriali molto grandi, specialmente i primi due, che rendono alcuni requisiti sono molto difficili da attuare: la Cina ad esempio è un territorio con un'elevatissima estensione caratterizzato dalla presenza di grosse città metropolitane distante una dall'altra anche migliaia di km, rendendo intuitivamente difficile garantire una copertura su tutto il territorio. Un altro esempio significativo è il Brasile, la cui quasi metà della superficie è occupata dalla foresta amazzonica rendendo ancora più complesso il soddisfacimento di determinati requisiti della tecnologia. La complessità del Paese, anche considerando il punto di vista prettamente culturale della popolazione, quindi è una variabile assolutamente rilevante e da evidenziare nella valutazione.

- Quanto appena sottolineato sembra essere ancora più rimarcato dalle caratteristiche di alcuni Paesi che, invece, rappresentano i più idonei al Mondo per adottare la tecnologia della guida autonoma nel proprio territorio: Paesi come Sud Corea, Emirati Arabi Uniti, Paesi Bassi e ancora più marcatamente Singapore (che, per intenderci, è uno Stato più piccolo della capitale italiana Roma) sono caratterizzati da dimensioni territoriali decisamente inferiori rispetto agli altri Paesi considerati nell'analisi. Allo stesso tempo, non vuol dire che un territorio dalle dimensioni territoriali ridotte sia sufficiente per l'adozione della tecnologia, ma pare quantomeno favorire lo sviluppo e l'estensione sul territorio dell'ecosistema di infrastrutture necessario a fronte di un sistema legislativo efficiente, un alto tasso tecnologico del Paese ed un'ottima preparazione degli utenti finali. Tali caratteristiche storicamente contraddistinguono i Paesi del Nord Europa che, fatta eccezione per la Danimarca considerata "parzialmente idonea", appartengono quasi esclusivamente alla categoria dei Paesi "sufficientemente idonei" nonostante le loro dimensioni territoriali, tra le più estese del continente europeo.

Nel prossimo capitolo, alcuni di questi Paesi verranno approfonditi per analizzare più dettagliatamente come la tecnologia della guida autonoma vi si sta sviluppando, quale strategia stanno seguendo per l'adozione della tecnologia e quali altre caratteristiche specifiche influenzano l'idoneità del Paese, potendo così approfondire alcune tematiche con riferimento specifico ad esempi concreti contestualizzati a seconda del Paese analizzato.

### 3.4 Valutazione dell'impatto economico della tecnologia in un mercato geografico

Come analizzato ed esposto nel paragrafo 2.4.1 “Vantaggi della tecnologia della guida autonoma”, l'adozione della tecnologia della guida autonoma da parte di un Paese ha importanti ripercussioni positive per l'economia del Paese stesso. Secondo la ricerca effettuata dalla nota banca d'affari Morgan Stanley che nel 2013 ha analizzato l'impatto economico che avrebbe la guida autonoma negli USA, l'indotto generato sarebbe pari a 1,3 trilioni di \$, ovvero il 7% del PIL del Paese, così ripartiti: 488 miliardi di \$ per l'incremento della sicurezza stradale, 149 miliardi di \$ per la riduzione della congestione del traffico, 507 miliardi di \$ in aumento di produttività grazie al tempo risparmiato alla guida del veicolo e 158 miliardi di \$ grazie al consumo efficiente di carburante che riduce le emissioni di CO<sub>2</sub>.

Al fine di attualizzare le stime calcolate, nella seguente metodologia, esse vengono aumentate del 10%, considerando il tasso di inflazione del dollaro dal 2013 ad oggi. La ricerca effettuata da Morgan Stanley è considerata tra le più attendibili in circolazione<sup>14</sup>e, nonostante non consideri i costi necessari per l'adozione della tecnologia, è un ottimo indicatore per valutare l'impatto economico della tecnologia una volta arrivata a regime, ovvero quando la sua operatività sarà garantita ed estesa in tutto il territorio. Tale ricerca verrà pertanto utilizzata come modello di riferimento in questa analisi per valutare l'impatto economico in un generico mercato geografico, ovvero un Paese con una propria giurisdizione, come quelli analizzati precedentemente nell'analisi di idoneità.

La metodologia sviluppata per stimare l'impatto economico in un generico Paese si basa sulle seguenti considerazioni:

- Il vantaggio economico generato dall'aumento della **sicurezza stradale** dipende sostanzialmente da due fattori: il tasso di mortalità stradale del Paese<sup>15</sup> e la sua popolazione: infatti, tale vantaggio economico è dovuto proprio al significativo abbassamento del tasso di mortalità stradale, grazie all'eliminazione dell'errore umano, causa diretta del 94% degli incidenti. In tale metodologia, si ipotizza che la percentuale di utenti attivi alla guida di un veicolo è costante in ogni Paese.
- Il vantaggio economico grazie alla riduzione della congestione del traffico e l'aumento di produttività può essere sintetizzato in un'unica voce di **“aumento di produttività legato al traffico stradale”** e dipende anch'esso da due fattori: il PIL del Paese ed il Traffic Index, elaborato dal database Numbeo, che fornisce un'indicazione sul livello di efficienza del sistema stradale, con particolare riferimento alla congestione stradale. Più un Paese ha un sistema inefficiente per quanto riguarda la rete stradale, più alto sarà il vantaggio economico per il dato Paese.
- Il vantaggio generato dal **risparmio in consumo di carburante** è quantificato in base alla quantità di **emissioni CO<sub>2</sub>** generate dal settore dei trasporti e dipende anch'esso dalla popolazione del Paese analizzato e dal CO<sub>2</sub> Emission Index, anch'esso elaborato

---

<sup>14</sup> Secondo un report “The Economic and Social Value of Autonomous Vehicles: Implications from Past Network-Scale Investments” redatto dall'azienda specializzata nel settore dei servizi economico-finanziari applicati al settore dei trasporti Compass Transportation and Technology, Inc.

<sup>15</sup> Per la stima del tasso di mortalità stradale di ogni Paese, vengono prese come riferimento le stime calcolate dall'Università di Washington nel report “The global burden disease from motorized road transport”.

da Numbeo, una stima del consumo di CO<sub>2</sub> da parte dei veicoli, causato dal traffico. Più sono alte le emissioni di CO<sub>2</sub> dei veicoli convenzionali, più alto sarà il vantaggio economico in seguito alla possibilità di consumare ottimamente il combustibile.

Il benchmark di riferimento di questa metodologia è gli USA, sulla quale si è basata la stima effettuata da Morgan Stanley, i cui dati di riferimento per quantificare la stima dell'impatto economico sono:<sup>16</sup>

- **PIL Paese** = 21,43 trilioni di \$ = **18043** miliardi di €;
- **Impatto “Sicurezza stradale”** = 537 miliardi di \$ = **452,1** miliardi di €;
- **Impatto “Aumento di produttività”** = 721 miliardi di \$ = **607** miliardi di €;
- **Impatto “Rid. consumo di carburante”** = 174 miliardi di \$ = **146,5** miliardi di €;
- **Popolazione Paese** = **328,2** milioni di persone;
- **Tasso di mortalità stradale** = **20** morti ogni 100000 persone;
- **Traffic Index** = **149,66**
- **CO<sub>2</sub> Emission Index** = **7254,78**

Nel dettaglio pratico, per la stima dell'impatto economico di un Paese generico, diverso dagli USA, verranno considerate le singole stime benchmark legate ad una specifica voce (sicurezza stradale, aumento produttività legato al traffico stradale o risparmio in consumo di carburante) e moltiplicate per due fattori differenti a seconda della voce corrispondente:

A) Vantaggio economico generato dall'aumento della “Sicurezza stradale” del Paese X =

$$= \text{Dato Benchmark} * \frac{\text{tasso di mortalità Paese X}}{\text{tasso di mortalità USA}} * \frac{\text{Popolazione Paese X}}{\text{Popolazione USA}}$$

B) Vantaggio economico generato dall'”Aumento di produttività” del Paese X =

$$= \text{Dato Benchmark} * \frac{\text{Traffic Index Paese X}}{\text{Traffic Index USA}} * \frac{\text{PIL Paese X}}{\text{PIL USA}}$$

C) Vantaggio economico generato dal “Risparmio in consumo di carburante” del Paese X =

$$= \text{Dato Benchmark} * \frac{\text{CO2 Emission Index Paese X}}{\text{CO2 Emission Index USA}} * \frac{\text{Popolazione Paese X}}{\text{Popolazione USA}}$$

**IMPATTO ECONOMICO COMPLESSIVO = A) + B) + C)**

Nel prossimo capitolo, per alcuni Paesi selezionati tra quelli presi in considerazione nell'analisi precedente, insieme ad una valutazione approfondita delle caratteristiche che influenzano l'idoneità di un Paese per l'adozione della tecnologia della guida autonoma, una

---

<sup>16</sup> I dati presi come riferimento per la metodologia di valutazione dell'impatto economico, e che verranno successivamente utilizzati per la quantificazione di esso, fanno riferimento all'anno 2019 in modo da non considerare gli effetti che la pandemia di Covid-19 sul settore dei trasporti in generale.

particolare attenzione sarà proprio posta nel valutare l'impatto economico complessivo che l'adozione della tecnologia della guida autonoma comporta, applicando la metodologia appena esposta.

### 3.5 Analisi di priorità dell'adozione della tecnologia per un mercato geografico

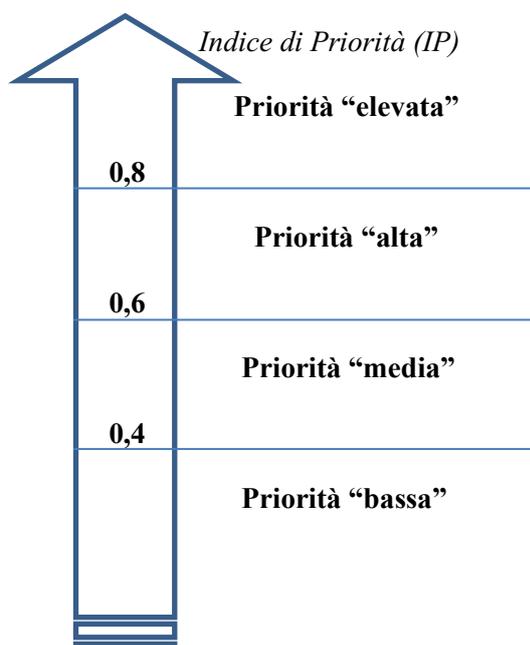
Contestualmente alla stima dell'impatto economico della tecnologia della guida autonoma, è possibile determinare un indice di priorità di adottare la tecnologia per un mercato geografico, fortemente correlato al vantaggio economico che essa comporta e calcolato pertanto utilizzando gli indici esposti nella metodologia per quantificare l'impatto economico. Nell'elaborazione di tale indice, è importante considerare che l'aumento della sicurezza stradale, l'aumento di produttività e il risparmio del consumo di carburante non hanno lo stesso peso nell'impatto economico complessivo, ma secondo la stima quantificata da Morgan Stanley, queste voci hanno un peso differente, considerando così come peso rispettivamente il 40%, il 50% ed il 10% del totale.

Nel determinare il valore di questo indice di priorità, cambia il benchmark di riferimento ed analogamente all'analisi di idoneità esposta precedentemente, le variabili (tasso di mortalità stradale, Traffic Index e CO<sub>2</sub> Emission Index) prese in considerazione per il calcolo dell'indice vengono normalizzati utilizzando il metodo min-max: le variabili vengono così convertite in un intervallo tra 0 e 1, sottraendo il minimo valore individuato e dividendo per l'intervallo di valori della variabile. Pertanto, al Paese con il valore più alto per la data variabile, viene assegnato il punteggio massimo di 1 e, viceversa, al valore più basso del dato Paese si assegna il valore 0.

L'indice di priorità (IP) è pertanto così calcolato:

$$IP = 0,4 * \text{tasso di mortalità}_{\text{norm.}} + 0,5 * \text{Traffic Index}_{\text{norm.}} + 0,1 * \text{CO}_2 \text{ Emission Index}_{\text{norm.}}$$

I valori calcolati per l'indice di priorità saranno dunque anch'essi compresi tra 0 e 1, permettendo un'analisi di tipo qualitativa a seconda del valore, prendendo come riferimento la seguente "scala di priorità":



### 3.5.1 Analisi dei risultati

Una volta identificati e normalizzati i valori di ogni variabile di interesse per l'indice di priorità, è possibile determinare il suo valore per ogni Paese precedentemente considerato nell'analisi di priorità, sommando i valori normalizzati moltiplicati per il relativo peso a seconda della voce (aumento della sicurezza stradale, aumento della produttività o riduzione del consumo di carburante) che si riferiscono. Nella Fig. 34, vengono evidenziati i valori calcolati per ogni Paese in ordine decrescente:

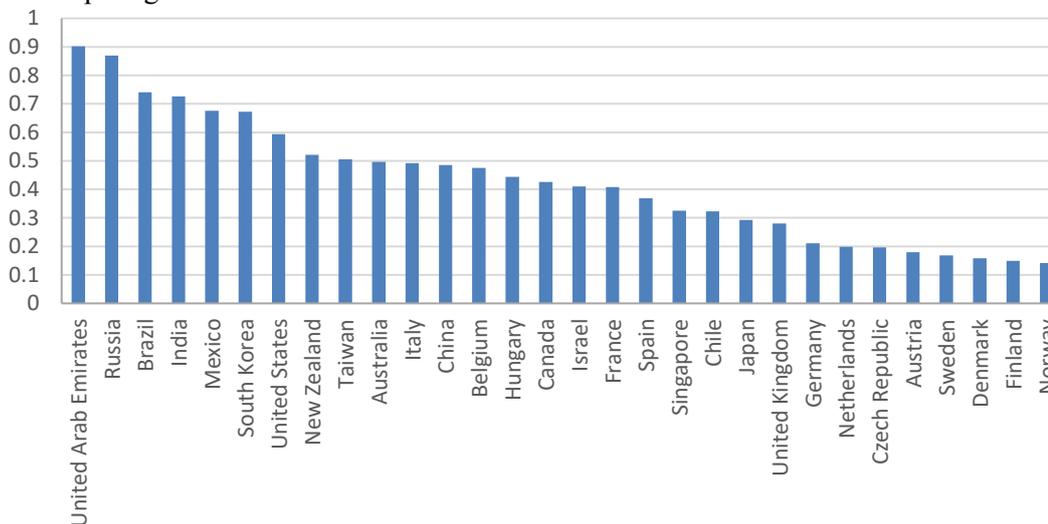


Fig. 34: Classifica generale in base all'indice di priorità (IP) quantificato per ogni Paese analizzato

Secondo la “scala di priorità” qualitativa precedentemente esposta, i Paesi analizzati possono essere così raggruppati nella Tabella 5:

<b>Priorità “elevata”</b>	Emirati Arabi Uniti, Russia
<b>Priorità “alta”</b>	Brasile, India, Messico, Sud Corea, Stati Uniti
<b>Priorità “media”</b>	Nuova Zelanda, Taiwan, Australia, Italia, Cina, Belgio, Ungheria, Canada, Israele, Francia
<b>Priorità “bassa”</b>	Spagna, Singapore, Cile, Giappone, Regno Unito, Germania, Paesi Bassi, Repubblica Ceca, Austria, Svezia, Danimarca, Finlandia, Norvegia

Tabella 5: Categorie di appartenenza dei Paesi in base all'indice di priorità (IP)

Come si può notare nel grafico di Fig.34, c'è un'alta variabilità all'interno del campione di Paesi analizzati: i Paesi con l'indice di priorità significativamente più alto sono gli Emirati Arabi Uniti (0.90) e la Russia (0.87), seguiti da un "gruppo" di Paesi formato da Brasile (0.74), India (0.72), Messico (0.68), Sud Corea (0.67) e Stati Uniti (0.6). Una prima impressione che suscita tale risultato è che la maggior parte dei Paesi appena citati che occupano le prime posizioni in classifica per quanto riguarda la priorità nell'adozione della tecnologia della guida autonoma, nell'analisi precedente riguardo all'idoneità per l'adozione della tecnologia occupavano le posizioni in fondo alla classifica con valori piuttosto bassi a riguardo. Osservando gli ultimi Paesi presenti nel grafico soprastante, pare che questo trend non sia isolato solamente per alcuni Paesi, ma sia piuttosto comune: infatti, i Paesi con i valori più bassi per l'indice di priorità sono i Paesi del Nord Europa, una delle aree geografiche le cui caratteristiche la classificano come la più idonea per l'adozione della tecnologia.

Correlando i risultati ottenuti per quanto riguarda l'idoneità per l'adozione della tecnologia e l'indice di priorità, si può subito verificare se questa correlazione negativa si verifica per la quasi totalità dei Paesi analizzati, osservando il grafico in Fig.35. Per effettuare tale confronto, gli indici di priorità calcolati vengono confrontati con le percentuali di idoneità dei Paesi precedentemente calcolate nell'analisi di idoneità:

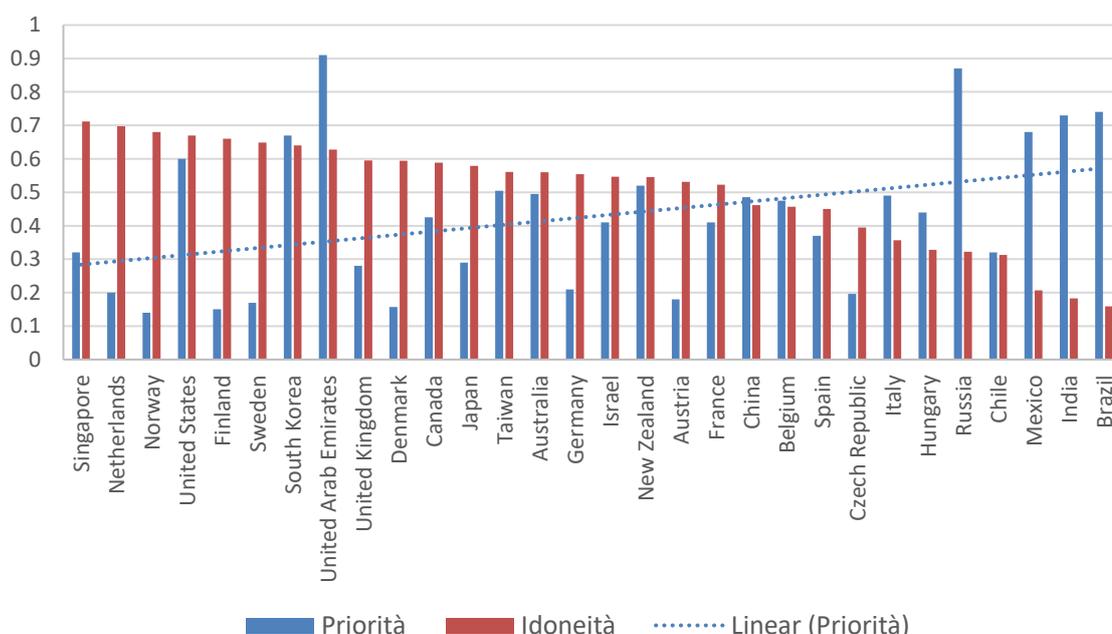


Fig.35: Confronto tra la percentuale di idoneità e l'indice di priorità dei Paesi analizzati

Il grafico qui esposto sembra confermare quanto detto precedentemente, ovvero la presenza di una correlazione negativa tra l'idoneità di un Paese e l'indice di priorità: ciò è evidenziato dalla linea di tendenza dell'indice di priorità che cresce al decrescere dell'idoneità. Si può osservare come solamente per 3 Paesi, tra quelli almeno "sufficientemente idonei" per l'adozione della tecnologia della guida autonoma, si ha una priorità "alta" o "elevata": Stati Uniti, Sud Corea ed Emirati Arabi Uniti. Mentre, come già accennato, ad eccezione di quelli appena citati, i Paesi con una priorità quantomeno "alta" sono tra i Paesi meno idonei in assoluto per adottare la tecnologia.

Il risultato di questo confronto suggerisce che i 3 Paesi che sono “sufficientemente idonei” ed hanno una priorità “alta” o “elevata” sono i Paesi maggiormente incentivati ad adottare la tecnologia della guida autonoma, per il benessere del proprio Paese. Pertanto, si può affermare che questi Paesi saranno sicuramente tra i primi Paesi a compiere gli step necessari per l’adozione della tecnologia della guida autonoma, motivati dalle attuali lacune in termini di sicurezza stradale, efficienza del traffico stradale e di contenimento delle emissioni di CO<sub>2</sub>, adattandosi dal punto di vista legislativo e politico, dal punto di vista tecnologico ed innovativo, dal punto di vista delle infrastrutture e stimolando i propri cittadini a compiere la transizione dai veicoli convenzionali ai veicoli a guida autonoma. Gli Emirati Arabi Uniti, ad esempio, rappresenta il Paese con la priorità più alta di tutti i Paesi analizzati per quanto riguarda la sicurezza stradale, seguita dal Sud Corea, e la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

Detto ciò, i Paesi che nell’analisi precedente presentavano un alta percentuale di idoneità a fronte di un indice IP piuttosto basso, come Singapore, Paesi Bassi ed i Paesi del nord Europa, saranno meno incentivati ad adottare la tecnologia della guida autonoma dal punto di vista prettamente economico-sociale, ma saranno sicuramente stimolati per le stesse caratteristiche intrinseche che le contraddistinguono dagli altri Paesi e li rendono tra i più idonei in assoluto. Tali Paesi presentano un indice di priorità così basso per via dell’attuale sistema dei trasporti già attualmente tra i più efficienti: essi rappresentano infatti tra i Paesi meno inquinanti in assoluto e con un settore dei trasporti già piuttosto efficiente sia per quanto riguarda il traffico stradale sia la sicurezza stradale con tassi di mortalità molto bassi (circa 12-15 morti ogni 100000 persone rispetto ai 29 degli Emirati Arabi Uniti, mentre Singapore con 9 morti rappresenta il Paese con il valore più basso per questa variabile, mentre per le altre variabili presentano genericamente valori normalizzati inferiori a 0.2). Ma come accennato, il tasso innovativo e tecnologico, l’efficienza del sistema legislativo, la qualità delle infrastrutture e l’interazione solida, continua e competente con la tecnologia da parte della popolazione di questi Paesi saranno le caratteristiche che stimoleranno il processo di adozione della tecnologia della guida autonoma, al fine di rendere ancora più efficiente, tendente alla perfezione, il sistema dei trasporti.

Allo stesso tempo, una considerazione del genere non può essere effettuata nel caso opposto: intuitivamente, per i Paesi che non presentano caratteristiche tali da renderli idonei ad adottare la tecnologia della guida autonoma, un livello di priorità elevato in tal senso non è assolutamente sufficiente per il processo di adozione: senza interventi drastici in particolare sull’apparato legislativo, sulle infrastrutture ed ingenti investimenti in tecnologia ed innovazione, la tecnologia della guida autonoma resterà solamente una priorità importante senza la possibilità che diventi una concreta realtà in tempi ragionevoli. Pertanto, nonostante l’alta priorità di Paesi come Russia, Messico, India e Brasile, la bassissima percentuale di idoneità li posiziona come fanalino di coda nel processo di adozione della tecnologia della guida autonoma.

## 4. CASI D'USO

In quest'ultimo Capitolo, verranno selezionati alcuni dei Paesi analizzati nelle precedenti analisi di idoneità e di priorità per l'adozione della tecnologia della guida autonoma, per approfondire come la tecnologia vi si sta sviluppando e per valutare come determinate e specifiche caratteristiche del Paese analizzato influenzino il processo di adozione della tecnologia. Contestualmente, viene applicata la metodologia per quantificare la stima dell'impatto economico, precedentemente esposta, che la tecnologia della guida autonoma apporta all'economia del Paese, ipotizzando che essa sia estesa su tutto il territorio del Paese analizzato. A tali fini, i Paesi verranno analizzati in due distinte schede di valutazione, una qualitativa (Fig.36) ed una quantitativa (Fig.37), con il seguente modello di presentazione:

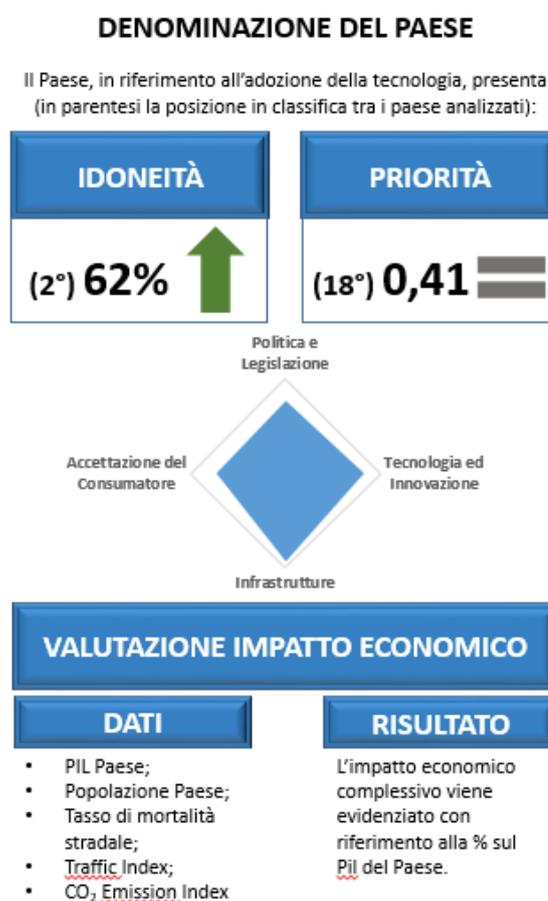


Fig. 36: Scheda di valutazione qualitativa

Fig.37: Scheda di valutazione quantitativa

# SINGAPORE 1/2

## ATTUALE SCENARIO

Il punteggio più alto di Singapore per quanto riguarda la variabile “Politica e Legislazione” riflette gli ulteriori sforzi che ha intrapreso per incoraggiare lo sviluppo della tecnologia. Nel gennaio 2019, il governo della città-stato ha pubblicato la bozza di standard nazionali per i veicoli a guida autonoma, oltre all’istituzione di una specifica governance focalizzata sulla tecnologia. I siti di test AV nella maggior parte dei paesi e delle giurisdizioni sono o chiusi o tendono ad occupare aree relativamente piccole, ma nell’ottobre 2019 Singapore ha ampliato la sua area di test per coprire tutte le strade pubbliche nella parte occidentale di Singapore, circa 1.000 chilometri (620 miglia), circa un decimo del totale. Ha anche iniziato a riqualificare 100 autisti di autobus per la formazione di operatori di sicurezza, come parte del suo obiettivo di servire il territorio con autobus senza conducente dal 2022. Nel marzo 2019, Volvo ha promosso il lancio di un autobus elettrico a guida autonoma di 12 metri in collaborazione con la Nanyang Technological University di Singapore, che potrebbe essere utilizzato per servire queste aree. Questo lavoro è supportato dall'eccellente infrastruttura stradale di Singapore, classificata come tra le migliori al mondo nel “World Economic Forum's Global Competiveness report”. Con l'obiettivo di eliminare gradualmente tutti i veicoli con motore a combustione interna entro il 2040, si è impegnata ad espandere il numero di punti di ricarica per veicoli elettrici dai 1.600 attuali a 28.000 entro il 2030. Marzo 2020 ha visto il produttore di veicoli sudcoreano Hyundai annunciare un centro di innovazione globale che aprirà a Singapore nel 2022, mentre l'azienda cinese di elettronica per veicoli Desay ha istituito il suo primo centro di ricerca e sviluppo per lavorare sulla tecnologia a guida autonoma. Tuttavia, la dimensione del mercato del paese rende difficile attrarre le case automobilistiche per la produzione sul territorio di veicoli, ma ha punti di forza importanti tra cui l'accettazione della gente di nuove tecnologie, riconosciuto dalla sua leadership anche per quanto riguarda “Accettazione del consumatore”. Il piano di Singapore è di integrare la tecnologia nel piano generale del trasporto terrestre di Singapore per diventare una città di “45 minuti”, con il 90 per cento dei viaggi completati in questo tempo entro il 2040. Il possesso privato di veicoli a guida autonoma non è la priorità: ciò è coerente con la politica 'car-lite' di Singapore. Lo sviluppo della tecnologia sarà significativamente concentrato sul trasporto merci e sul trasporto pubblico in primo luogo, piuttosto che per il trasporto personale.

## VANTAGGI

Principali **vantaggi** di Singapore:

- Forte azione del Governo per lo sviluppo della tecnologia;
- Aree di test ampie e vicino alla popolazione;
- Infrastrutture stradali eccellenti;
- Popolazione decisamente propensa all'utilizzo della tecnologia.

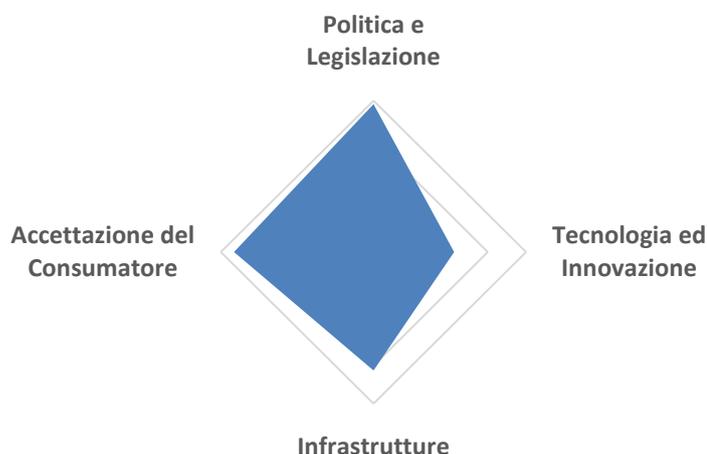
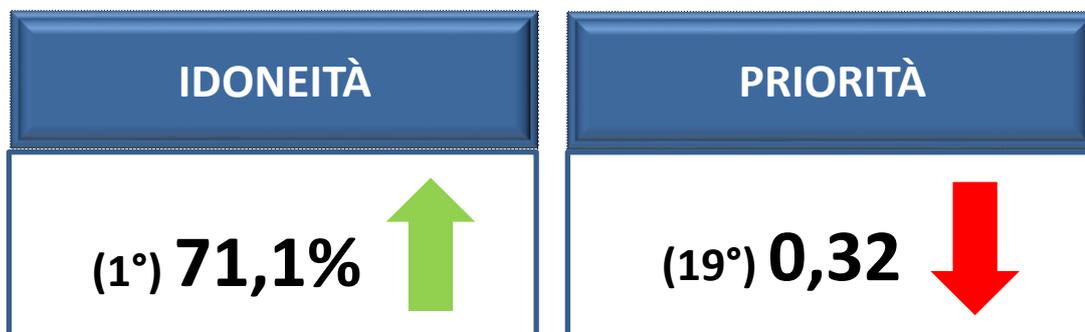
## OSTACOLI

Principali **ostacoli** di Singapore:

- Dimensione del mercato piuttosto ridotta: difficile attrarre aziende estere per produzione in loco;

# SINGAPORE 2/2

Il Paese, in riferimento all'adozione della tecnologia, presenta (in parentesi la posizione in classifica tra i Paesi analizzati):



## VALUTAZIONE IMPATTO ECONOMICO

### DATI

- PIL Paese = 313,2 miliardi di €
- Popolazione Paese = 5,7 milioni
- Tasso di mort. stradale = 9 morti su 100000 persone
- Traffic Index = 154,36
- CO<sub>2</sub> Emission Index = 2635,37

### RISULTATO

L'impatto economico della tecnologia della guida autonoma è stimato di:

**15,3 miliardi di €**  
(4,9% del PIL di Singapore)

# PAESI BASSI 1/2

## ATTUALE SCENARIO

I Paesi Bassi sono secondi solo a Singapore per essere il Paese più idoneo al mondo per l'adozione della tecnologia. Per quanto riguarda l'aspetto politico e legislativo, è uno dei quattro Paesi che ricevono il punteggio più alto per la regolamentazione della tecnologia e per lo sviluppo ed il finanziamento, da parte del Governo, di progetti ad hoc. Una vasta promozione di tali progetti comporta che l'81% delle persone vivono vicino alle aree di test, secondo solo a Singapore. Tuttavia, a seguito di annunci significativi nel 2018 tra cui un specifico quadro giuridico per lo sviluppo della tecnologia, il 2019 ha visto i Paesi Bassi affrontare numerose sfide ed ostacoli per l'introduzione dei veicoli a guida autonoma, "attività" comunque essenziale per un'adozione di successo: ha infatti continuato con i test sul platooning di mezzi pesanti nel 2019, riscontrando diversi problemi nel mantenere i veicoli connessi in ogni momento. Allo stesso modo, i tentativi del governo di testare e assegnare una patente di guida ad un veicolo a guida autonoma non hanno avuto successo: questo dimostra ancora una volta come l'introduzione di soluzioni a guida autonoma sulle strade pubbliche, nonostante l'avanzato e sofisticato livello tecnologico attuale, richiede un periodo di tempo piuttosto prolungato per risolvere i casi limite al fine di farli funzionare nella vita reale. Se si vuole già beneficiare della tecnologia, è indispensabile utilizzare i veicoli in aree chiuse o considerare strade dedicate o corsie, anche se queste possono essere difficili da introdurre in aree ad alta densità di popolazione. I Paesi Bassi sono il Paese più idoneo per quanto riguarda le "Infrastrutture", grazie ad una già diffusa rete di stazioni di ricarica per veicoli elettrici (3 ogni 1000 persone), ed è seconda solo alla Norvegia per la quota di mercato di auto elettriche con il 15%. I Paesi Bassi sono anche secondi solo a Singapore per la qualità delle strade, indispensabile per la tecnologia. Per quanto riguarda il lavoro specifico sulle infrastrutture a supporto della guida autonoma, il 2019 ha visto il Paese estendere l'uso di segnaletica stradale intelligente, come i semafori "smart" in 60 nuove aree del paese, che comunicano via wireless con i veicoli, in modo che sappiano quando fermarsi ed andare. Tali ed altre misure che spingono le persone a cambiare i loro veicoli, aumentando ad esempio il costo del pedaggio stradale per i veicoli più inquinanti, per passare all'energia elettrica riducendo così l'inquinamento e le emissioni di carbonio, è uno step fondamentale nel processo di adozione della tecnologia della guida autonoma.

### VANTAGGI

Principali **vantaggi** di Paesi Bassi:

- Forte azione del Governo per lo sviluppo della tecnologia;
- Aree di test ampie e vicino alla popolazione: l'81% risiede presso aree di test;
- Infrastrutture stradali eccellenti;
- Ampia diffusione di veicoli elettrici, avvicinando così il consumatore alle nuove tecnologie dei veicoli.

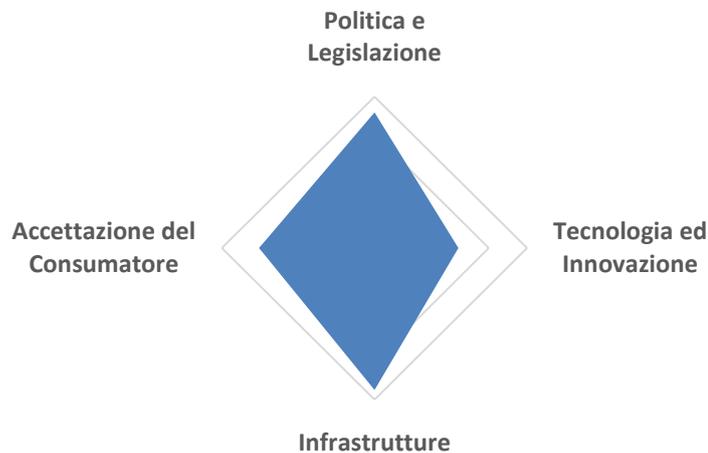
### OSTACOLI

Principali **ostacoli** di Paesi Bassi:

- Mancanza di un forte tessuto industriale per il settore automotive

# PAESI BASSI 2/2

Il Paese, in riferimento all'adozione della tecnologia, presenta (in parentesi la posizione in classifica tra i Paesi analizzati):



## VALUTAZIONE IMPATTO ECONOMICO

### DATI

- PIL Paese = 763,7 miliardi di €
- Popolazione Paese = 17,3 milioni
- Tasso di mort. stradale = 12 morti su 100000 persone
- Traffic Index = 107,4
- CO<sub>2</sub> Emission Index = 2921,87

### RISULTATO

L'impatto economico della tecnologia della guida autonoma è stimato di:

**35,83 miliardi di €**  
(4,7% del PIL di Paesi Bassi)

# SVEZIA 1/2

## ATTUALE SCENARIO

La Svezia ha ampliato notevolmente la portata dei test di veicoli a guida autonoma sulle strade pubbliche, ha aumentato la velocità massima autorizzata di tali veicoli a 80 km/h e ha permesso ai supervisori umani di non intervenire attivamente sul volante. Le aziende svedesi tra cui il produttore di camion Scania, Volvo Cars e Volvo Trucks stanno tutte portando avanti consistentemente i test relativi alla tecnologia. Il lavoro del Paese svedese si concentra principalmente sulla logistica. Nel maggio 2019, un camion elettrico senza conducente e senza cabina, costruito dalla startup AV svedese Einride, ha guidato su una strada pubblica presso la struttura del gruppo logistico tedesco DB Schenker a Jönköping nel sud della Svezia, tra un magazzino e un terminal. Il mese successivo, lo stesso veicolo ha consegnato merci a una filiale del supermercato tedesco Lidl a Stoccolma, il suo primo viaggio in un ambiente urbano, utilizzando un'avanzata rete mobile fornita dalla società svedese di telecomunicazioni Ericsson. Diversi miglioramenti possono avvenire soprattutto dal punto di vista governativo, velocizzando lo sviluppo di regolamenti e test per il trasporto pubblico: l'agenzia governativa responsabile non prevede di iniziare a testare gli autobus senza conducente prima del 2022. La Svezia è al primo posto nell'uso della tecnologia da parte delle persone e per la prontezza al cambiamento della popolazione, ha tra i punteggi più alti per l'adozione di dispositivi ICT e per le competenze digitali, il che contribuisce ad un'alta accettazione da parte dei consumatori. Si comporta bene anche su alcune misure di "Tecnologia ed Innovazione", compresa la disponibilità delle ultime tecnologie e la capacità innovativa. Si ritiene che il Paese beneficerebbe di una maggiore interazione tra le organizzazioni che lavorano sulla tecnologia: ha infatti un'alta concentrazione di aziende focalizzate sulla tecnologia, aziende piuttosto complementari tra loro, fattore molto importante per la diffusione su larga scala della tecnologia che richiede la co-esistenza di diverse tecnologie in diversi ambiti.

## VANTAGGI

Principali **vantaggi** di Svezia:

- Forte concentrazione di aziende automobilistiche orientate all'innovazione;
- Tessuto industriale decisamente idoneo per lo sviluppo di un ecosistema dedicato alla tecnologia;
- Test sul territorio in fase avanzata di sviluppo;
- Popolazione altamente digitale.

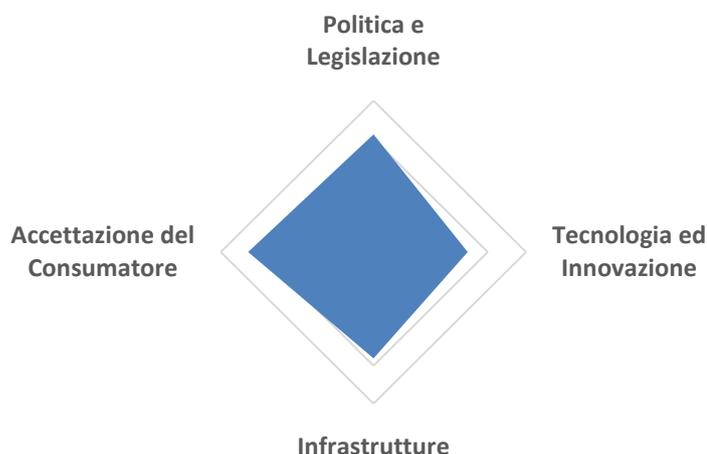
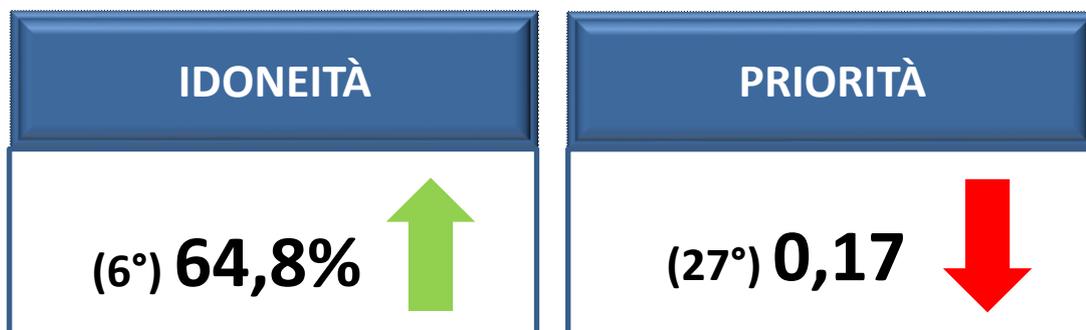
## OSTACOLI

Principali **ostacoli** di Svezia:

- Azione del Governo non sufficientemente al passo della tecnologia.

## SVEZIA 2/2

Il Paese, in riferimento all'adozione della tecnologia, presenta (in parentesi la posizione in classifica tra i Paesi analizzati):



### VALUTAZIONE IMPATTO ECONOMICO

#### DATI

- PIL Paese = 447 miliardi di €
- Popolazione Paese = 10,23 milioni
- Tasso di mort. stradale = 12 morti su 100000 persone
- Traffic Index = 101,79
- CO<sub>2</sub> Emission Index = 2394,14

#### RISULTATO

L'impatto economico della tecnologia della guida autonoma è stimato di:

**20,19 miliardi di €**  
(4,5% del PIL di Svezia)

# ITALIA 1/2

## ATTUALE SCENARIO

L'Italia ottiene buoni risultati per quanto riguarda le misure incentrate specificamente sulla tecnologia della guida autonoma, che riflettono il lavoro del Ministero dei trasporti in questo settore, come il decreto Smart Roads del febbraio 2018 che autorizza i test di veicoli a guida autonoma a condizione che superino una serie di controlli e dispongano di un operatore in grado di prendere il controllo se necessario. Esso anche creato un Osservatorio per le strade intelligenti per monitorare tutti gli esperimenti in corso in Italia ed esaminare quelli di altri Paesi per sviluppare le proprie pratiche. Il paese sta anche sviluppando la connettività digitale per sostenere la tecnologia, concentrandosi sulla tecnologia V2X. Anas, la società statale che gestisce le strade principali d'Italia, prevede di spendere 140 milioni di € per la tecnologia V2X su circa 2.500 km. Questo nonostante il governo italiano abbia ottenuto il punteggio più basso per il suo orientamento futuro dal World Economic Forum, frutto dell'instabilità politica, la bassa reattività al cambiamento e la scarsa adattabilità del quadro legale al cambiamento. I primi e finora unici test sono iniziati nel 2019, in tre città: nel febbraio 2020, il Comune di Parma ha permesso lo svolgimento delle prove su tutto il suo territorio; Torino sta ospitando una prova di un servizio di minibus a guida autonoma gestito dalla società statunitense Local Motors utilizzando Olli, realizzato interamente da parti stampate in 3D; ed infine a Padova, la società italiana Next sta testando minibus modulari che possono attraccare o dividersi e prendere percorsi diversi, a seconda delle destinazioni richieste dai passeggeri. I test sono comunque limitati a specifiche zone geografiche, difficilmente replicabili in altre zone del Paese per una scarsa diffusione di tecnologie avanzate di comunicazione wireless ed un'ampia diversità di scenari sul territorio che richiedono condizioni decisamente differenti: basti pensare alla diversità delle condizioni del traffico tra una città come Torino o Milano rispetto ad una città come Napoli o Catania. Ci sono pertanto numerosi problemi da risolvere, tra cui l'alto costo delle tecnologie avanzate per i consumatori e i fornitori di trasporto pubblico locale, che si distinguono per il record di bassi investimenti nelle loro flotte di veicoli. Ci sono inoltre questioni piuttosto dibattute sulla responsabilità in caso di incidenti che coinvolgono i veicoli a guida autonoma, rallentando così il processo di adozione.

### VANTAGGI

Principali **vantaggi** di Italia:

- Impegno concreto del Governo nell'ottimizzazione dei trasporti;
- Presenza sul territorio di importanti aziende tecnologiche.

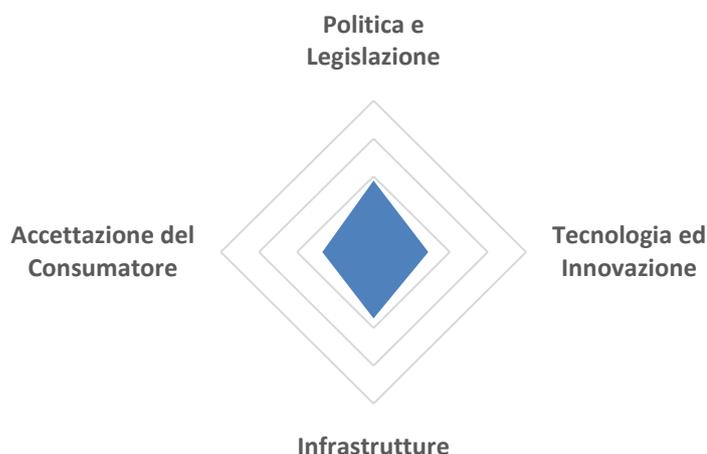
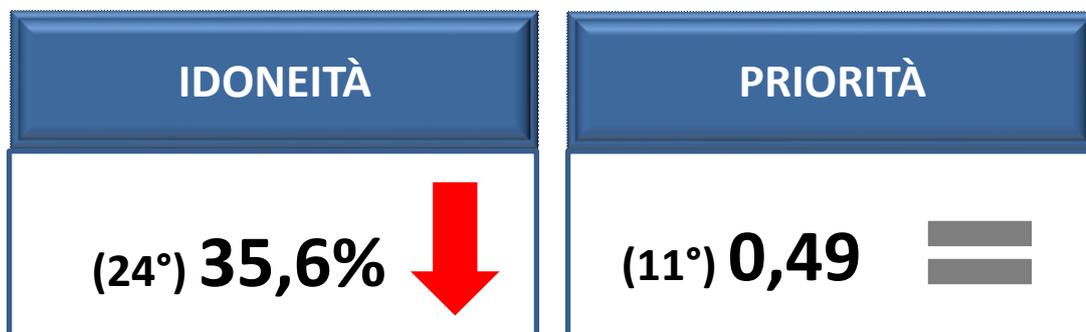
### OSTACOLI

Principali **ostacoli** di Italia:

- Orientamento futuro del Governo decisamente instabile;
- Test sulla tecnologia in fase decisamente iniziale e poco diffusi;
- Aziende locali poco orientate all'integrazione della tecnologia;
- Ampia diversità intrinseca sul territorio che impedisce uno sviluppo equo della tecnologia;
- Scarsa accettazione da parte della popolazione.

# ITALIA 2/2

Il Paese, in riferimento all'adozione della tecnologia, presenta (in parentesi la posizione in classifica tra i Paesi analizzati):



## VALUTAZIONE IMPATTO ECONOMICO

### DATI

- PIL Paese = 1687,3 miliardi di €
- Popolazione Paese = 60,36 milioni
- Tasso di mort. stradale = 20 morti su 100000 persone
- Traffic Index = 135,37
- CO<sub>2</sub> Emission Index = 4286,32

### RISULTATO

L'impatto economico della tecnologia della guida autonoma è stimato di:

**150,4 miliardi di €**  
(8,9% del PIL di Italia)

# CINA 1/2

## ATTUALE SCENARIO

Nel 2019, il governo cinese ha reso più facile per le aziende il testing di veicoli a guida autonoma sulle strade pubbliche, permettendo che questo avvenga in più città e con meno controlli. Oltre a Pechino che rappresenta una delle città più favorevoli alla tecnologia, Shanghai è diventata la prima città a rilasciare tali permessi, che inizialmente riguardavano il produttore cinese di veicoli SAIC e la società di ride-hailing Didi Chuxing, oltre alla tedesca BMW. A marzo 2020, la startup AutoX ha annunciato che lancerà 100 robotaxi in città, i primi autorizzati a operare al limite di velocità di 80 km/h. Il dipartimento nazionale dei trasporti ha pubblicato un piano strategico per il trasporto digitale ed il Governo centrale ha pubblicato una strategia di costruzione del trasporto digitale, che considera i veicoli a guida autonoma così come il cambiamento delle fonti di energia ed il miglioramento delle prestazioni ambientali dei veicoli. Dal punto di vista tecnologico ed industriale, la Cina è uno dei paesi valutati come leader sulle partnership industriali: il principale interesse commerciale nell'uso della tecnologia è nei camion per scopi speciali come all'interno di magazzini e miniere e nelle consegne di merci, con il coinvolgimento dei rivenditori cinesi tra cui JD.com e Alibaba e l'uso sulle autostrade da città a città. L'eterogeneità delle aziende cinesi e l'alta collaborazione interna contribuiscono a creare basi solide per lo sviluppo di un ecosistema dedicato alla tecnologia. Nell'insieme tali aziende stanno sviluppando in tempi molto rapidi sensori, algoritmi AI e tecnologie di comunicazione del veicolo, favorite dall'introduzione anticipata nel paese della rete 5G: insieme al lavoro per sviluppare le infrastrutture stradali digitali, questo costruirà solide basi per l'introduzione dei veicoli a guida autonoma. Inoltre, il pubblico cinese sembra decisamente attratto dall'uso di tali veicoli, in particolare i giovani. Tuttavia, alcuni ostacoli da superare rimangono, tra cui la necessità di mappe digitali altamente precise, il cui sviluppo può essere ostacolato dal fatto che la Cina ha il punteggio più basso nella ricerca per la condivisione dei dati, e l'ulteriore sviluppo ed implementazione di politiche e standard. Una questione specifica coinvolge l'uso eccessivo di molte strade cinesi da parte di pedoni e ciclisti, oltre ai veicoli a motore: per affrontare questo, inizialmente si aspetta che le autostrade a quattro corsie avranno una corsia designata e attrezzata specificamente per i veicoli a guida autonoma.

### VANTAGGI

Principali **vantaggi** di Cina:

- Presenza di un preciso piano strategico per il trasporto digitale;
- Ampia collaborazione interna tra le aziende del Paese;
- Elevato livello tecnologico di diverse tecnologie indispensabili per la guida autonoma;
- Popolazione più giovane altamente propensa all'utilizzo di veicoli a guida autonoma.

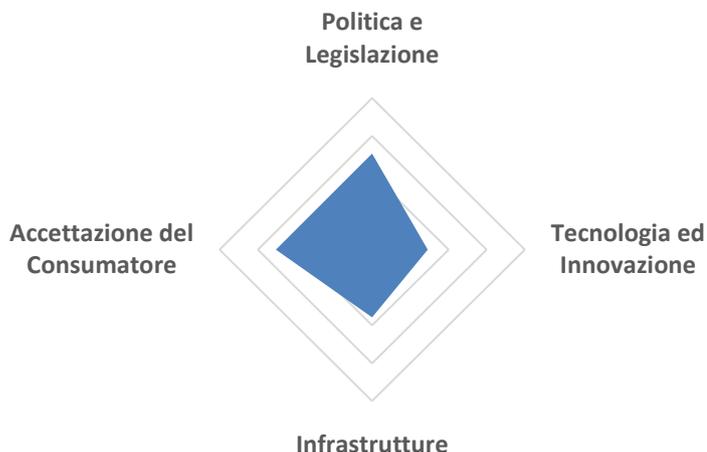
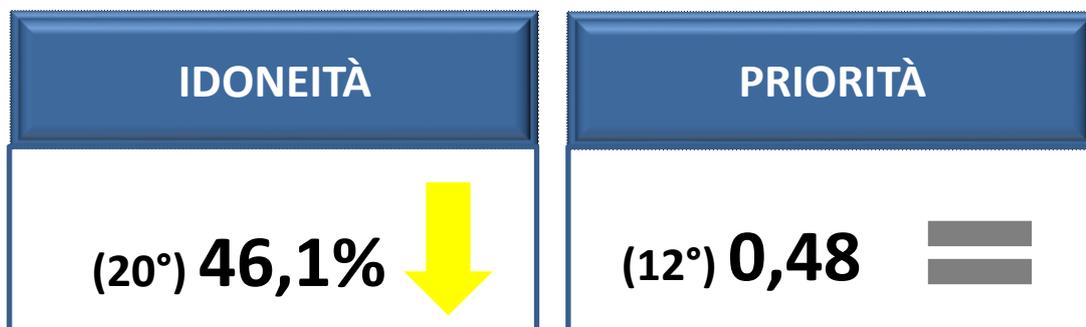
### OSTACOLI

Principali **ostacoli** di Cina:

- Ampia estensione territoriale che ostacola fortemente l'adozione su tutto il territorio cinese;
- Scarsa condivisione di dati ed informazioni con i Paesi esteri;
- Difficile regolamentazione del comportamento dei diversi utenti stradali.

## CINA 2/2

Il Paese, in riferimento all'adozione della tecnologia, presenta (in parentesi la posizione in classifica tra i Paesi analizzati):



### VALUTAZIONE IMPATTO ECONOMICO

#### DATI

- PIL Paese = 12073,7 miliardi di €
- Popolazione Paese = 1398 milioni
- Tasso di mort. stradale = 14 morti su 100000 persone
- Traffic Index = 165,27
- CO<sub>2</sub> Emission Index = 3675,44

#### RISULTATO

L'impatto economico della tecnologia della guida autonoma è stimato di:

**2112,73 miliardi di €**  
(17,4% del PIL di Cina)

# SUD COREA 1/2

## ATTUALE SCENARIO

La Corea del Sud ha progredito notevolmente negli ultimi anni per quanto riguarda le “infrastrutture”, confermandosi seconda solamente ai Paesi Bassi, grazie soprattutto alla valutazione più alta per la copertura di rete 4G. Grazie al proliferare di test nel Paese, è cresciuta notevolmente anche dal punto di vista dell’”Accettazione del consumatore”, risultato anche di un aumento nell'uso dei servizi di ride-hailing e l'uso rilevante di dispositivi tecnologici da parte della popolazione. L’ambizione del Paese si riflette nella strategia nazionale per lo sviluppo dei veicoli a guida autonoma come parte della sua Future Car Industry National Vision, pubblicata nell'ottobre 2019. È stato lanciato dal presidente Moon Jae-in, che ha detto: "Il nostro obiettivo è diventare il paese leader per le auto del futuro entro il 2030". Ciò comporterà per le aziende coreane un investimento di 60 trilioni di KRW (42 miliardi di €). Il Paese spera in benefici che includano la riduzione di tre quarti delle morti sulle strade entro il 2030, avendo un tasso di mortalità stradale tra i più elevati al Mondo. Come parte dei piani della strategia per la tecnologia della guida autonoma, entro il 2024 il Governo prevede: l'introduzione di infrastrutture di supporto sulle strade principali, compresi tutti i 5.500 km di strade a pedaggio, mappatura tridimensionale dettagliata, un sistema integrato di controllo del traffico, compresa la segnaletica, completamento del processo legislativo e sicurezza rafforzata. Entro il 2030, l'obiettivo è che tutti i 110.000 km di strade del paese siano coperti da mappatura ad alta definizione. Entro il 2025, la strategia prevede che il 9% delle nuove auto vendute saranno a guida autonoma che lavorano al livello 3 o 4, salendo al 54% entro il 2030, con il 12% al livello 4. Collegato alla strategia, il Governo ha istituito una Future Car Industry Alliance per aiutare i produttori di veicoli e componenti a lavorare con i necessari partner tecnologici. Il produttore coreano di veicoli Hyundai è già pesantemente coinvolto nella tecnologia, avendo già annunciato piani per un centro di innovazione a Singapore, una collaborazione con la società tecnologica russa Yandex e, nel settembre 2019, un investimento di 1,6 miliardi di dollari in una joint-venture con Aptiv, azienda irlandese specializzata nella tecnologia. Il sostegno finanziario del Governo per le piccole aziende che producono parti AV sarà presto disponibile, poiché il piano del governo è quello di aumentare la percentuale di fornitura interna dal 50% all'80% all'interno del paese.

## VANTAGGI

Principali **vantaggi** di Sud Corea:

- Governo fortemente concentrato sullo sviluppo della tecnologia, strategicamente importantissima per il Paese;
- Collaborazione industriale molto efficiente;
- Infrastrutture stradali eccellenti ed ampia copertura;
- Popolazione altamente tecnologica.

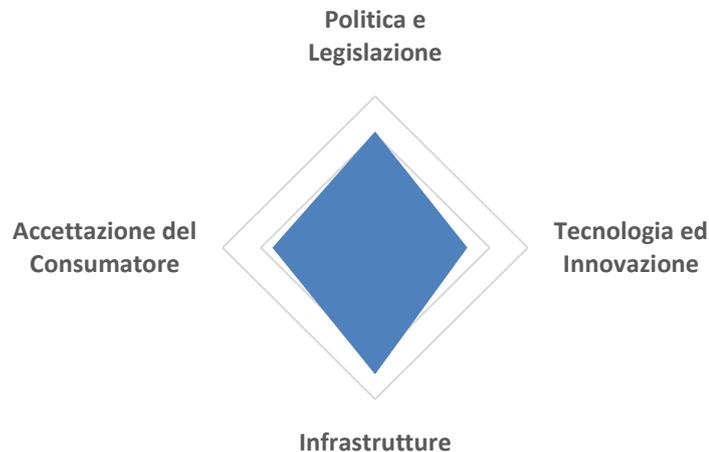
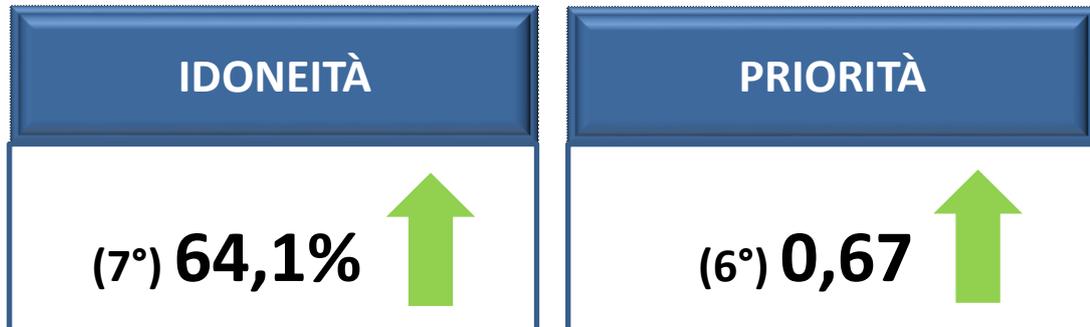
## OSTACOLI

Principali **ostacoli** di Sud Corea:

- Ampia diversità interna a livello industriale che richiede un importante intervento del Governo a sostegno delle aziende più piccole;

# SUD COREA 2/2

Il Paese, in riferimento all'adozione della tecnologia, presenta (in parentesi la posizione in classifica tra i Paesi analizzati):



## VALUTAZIONE IMPATTO ECONOMICO

### DATI

- PIL Paese = 1388 miliardi di €
- Popolazione Paese = 51,7 milioni
- Tasso di mort. stradale = 28 morti su 100000 persone
- Traffic Index = 145,57
- CO<sub>2</sub> Emission Index = 2802,76

### RISULTATO

L'impatto economico della tecnologia della guida autonoma è stimato di:

**154,04 miliardi di €**  
(11,09% del PIL di Sud Corea)

# GERMANIA 1/2

## ATTUALE SCENARIO

La Germania riscontra ottimi punteggi per “Tecnologia ed Innovazione”, in termini di capacità innovativa, partnership industriali, brevetti legati alla tecnologia della guida autonoma e per gli investimenti in aziende legate alla tecnologia, frutto di un’alta concentrazione di aziende automobilistiche nel Paese. Questa forza è dimostrata dall’innovazione mostrata dai produttori tedeschi di veicoli nel loro lavoro internazionale. Nel gennaio 2019, Daimler Trucks ha svelato il suo “Freightliner Cascadia”, il primo camion in Nord America a includere una certa assistenza automatizzata, presentandolo al Consumer Electronics Show di Las Vegas. Nel settembre 2019, l’azienda ha iniziato a testare un Freightliner Cascadia completamente autonomo su strade pubbliche in Virginia negli Stati Uniti, anche se con la presenza di un conducente di sicurezza. Nel febbraio 2019, BMW e Daimler hanno annunciato la loro collaborazione per la tecnologia della guida autonoma, permettendone la diffusione sia sulle autostrade che nelle aree urbane. BMW è inoltre coinvolta nei test in Cina, e i siti di test nella Repubblica Ceca e in Ungheria coinvolgono entrambi i produttori tedeschi. Dal punto di vista legislativo, nel dicembre 2019, la piattaforma nazionale intersettoriale Future of Mobility, convocata dal Governo federale, ha pubblicato le sue raccomandazioni relative alle azioni necessarie per l’introduzione della guida autonoma, in particolare per quanto riguarda le licenze, lo scambio di dati e la legislazione e l’accettazione dei consumatori. L’anno scorso ha visto i fornitori di trasporto pubblico spostare i test degli autobus autonomi dalle aree chiuse alle strade pubbliche, comprese diverse aziende di Berlino, Amburgo e Lipsia e la compagnia ferroviaria nazionale Deutsche Bahn. Tuttavia, tali aziende hanno fatto scelte tecnologiche diverse, ad esempio in Amburgo si lavora su infrastrutture di comunicazione integrate nelle strade, mentre a Lipsia si preferisce integrare la tecnologia direttamente sugli autobus. Tale divergenza è tipica dello sviluppo della tecnologia in Germania, evidenziata ancora di più dalla mancanza di una strategia comune a livello statale, soprattutto nel trovare una linea comune su tutto il territorio. La popolazione in Germania sembra inoltre essere meno propensa ad adottare i veicoli a guida autonoma rispetto ad altri Paesi, in parte a causa di uno scetticismo nazionale sulle nuove tecnologie, vedendo la tecnologia come un’eccessiva intromissione nelle routine quotidiane e negli aspetti sociali.

### VANTAGGI

Principali **vantaggi** di Germania:

- Elevati investimenti sulla tecnologia;
- Forte concentrazione di aziende altamente tecnologiche legate all’automotive;
- Ottima collaborazione tra le aziende.

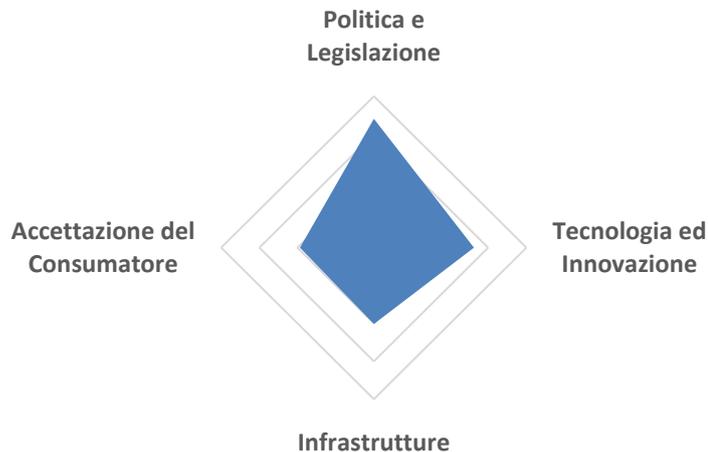
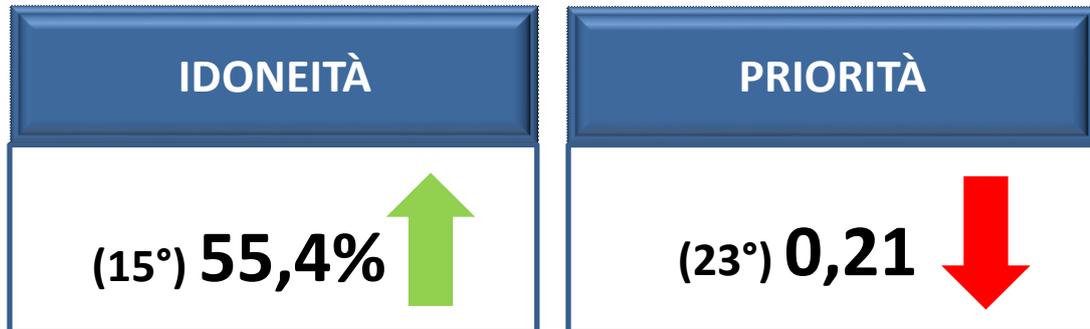
### OSTACOLI

Principali **ostacoli** di Germania:

- Mancanza di una precisa strategia comune su tutto il territorio che crea divergenze sullo sviluppo della tecnologia;
- Popolazione decisamente poco propensa all’adozione della tecnologia.

# GERMANIA 2/2

Il Paese, in riferimento all'adozione della tecnologia, presenta (in parentesi la posizione in classifica tra i Paesi analizzati):



## VALUTAZIONE IMPATTO ECONOMICO

### DATI

- PIL Paese = 3250,8 miliardi di €
- Popolazione Paese = 83 milioni
- Tasso di mort. stradale = 15 morti su 100000 persone
- Traffic Index = 98,09
- CO<sub>2</sub> Emission Index = 2226,46

### RISULTATO

L'impatto economico della tecnologia della guida autonoma è stimato di:

**168,8 miliardi di €**  
(5,2% del PIL di Germania)

## 5. BIBLIOGRAFIA e SITOGRAFIA

### **BIBLIOGRAFIA:**

- W.J. Abernathy, J.M. Utterback, “*A Dynamic Model of Process and Product Innovation*”, 1975
- W.J. Abernathy, J.M. Utterback, “*Patterns of Industrial Innovation*”, 1978
- A. Akiike, “*Where is Abernathy and Utterback model?*”, Global Business Research Center, 2013
- W.J. Abernathy, “*The Productivity Dilemma: roadblock to innovation in automobile industry*”, Johns Hopkins University Press, 1978
- P. Anderson, M.L. Tushman, “*Technological Discontinuities and Dominant Designs: A Cyclical Model of Technological Change*”, Administrative Science Quarterly, 1990, pp.604-633
- J.M. Utterback, “*Mastering the Dynamics of Innovation*”, Harvard Business School Press, 1996
- J.M. Utterback, F.F. Suarez, “*Patterns of Industrial Evolution, Dominant Designs, and Firms’ Survival*”, Sloan School of Management, 1993
- J.M. Utterback, F.F. Suarez, “*Dominant Designs and the survival of firms*”, Strategic Management Journal, 1995, pp.415-430
- J.L. Funk, “*Standards, dominant designs and preferential acquisition of complementary assets through slight information advantages*”, 2003
- J.P. Murmann, K. Frenken, “*Toward a systematic framework for research on dominant designs, technological innovations, and industrial change*”, 2006
- A. Tiwana, “*Platform Ecosystems*”, 2013
- F.F. Suarez, “*Battles for technological dominance: an integrative framework*”, 2003, London Business School, pp.274-279
- “A. Brem, P.A. Nylund, G. Schuster, “*Innovation and de facto standardization: the influence of dominant design on innovative performance, radical innovation and process innovation*”, 2016
- R. Srinivasan, G.L. Lilien, A. Rangaswamy, “*The emergence of dominant designs*”, Journal of Marketing, 2006
- E. Fernandez, S. Valle, “*Battle for dominant design: A decision-making model*”, European Research on Management and Business Economics, 2019, pp.72-78
- L.S. Bigelow, N. Argyres, “*Competitive positioning, dominant design and vertical integration over the industry lifecycle*”, 2007
- C.M. Christensen, M. Verlinden, G. Westerman, “*Disruption, disintegration and the dissipation of differentiability*”, Industrial and Corporate Change, 2002, pp.955-993

- N. Argyres, “Dominant designs, innovation shocks, and the follower’s dilemma”, *Strategic Management Journal*, 2015
- R. Agarwal, M. Moeen, S.K. Shah, “*Athena’s Birth: Triggers, Actors, and Actions preceding Industry Inception*”, *Strategic Entrepreneurship Journal*, 2017, pp.287-305
- M.A. Schilling, “*Technology shocks, technological collaboration, and innovation outcomes*”, *Organization Science*, 2015
- P. Cebon, O. Hauptman, “*Product modularity and the product lifecycle: New dynamics in the interactions of product and process technologies*”, *International Journal of Technology Management*, 2008
- P. Cebon, O. Hauptman, “*Industries in the making: Product modularity, technological innovation and the product lifecycle*”, Citeseer, 2002
- H.R. Greve, M.D.L. Seidel, “*The thin line between success and failure: Path dependence in the diffusion of innovative production technologies*”, *Strategic Management Journal*, 2015
- S. Rauch, “*Procedure to sustain competitive advantage in an era of changing dominant design*”, 2019
- D.E. O’Leary, “*Gartner’s hype cycle and information system research issues*”, *International Journal of Accounting Systems*, 2008, pp.240-252
- O. Dedehayir, M. Steinert, “*The Hype Cycle model: a review and future directions*”, *Technological Forecasting & Social Change*, 2016
- T. Prinsloo, J.P. Van Deventer, “*Using the Gartner’s hype cycle to evaluate the adoption of emerging technology trends in higher education*”, *Emergign Technologies for Education*, 2017
- S.P. Jun, “*An empirical study of users’ hype cycle based on search traffic: the case study on hybrid cars*”, 2012
- M. Todorovic, M. Simic, A. Kumar, “*Managing transition to electrical and autonomous vehicles*”, *Procedia Computer Science*, 2017, pp.2335-2344
- A. Carreras, “*Road infrastructure support levels for automated driving*”, 2018
- U.S. Department of Transportation, “*Critical Reasons for Crashes Investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey*”, NHTSA, 2015
- Capgemini Research Institute, “*Steering the future of autonomous car*”, 2019
- Intel Labs Corporation, “*Technology and Computing Requirements for self-driving cars*”, 2018
- Compass Transportation and Technology, “*The economic and Social Value of Autonomous Vehicles: Implications from Past network-scale Investments*”, 2018
- E.Stayton, J. Stilgoe, “*It’s time to rethink levels of automation for self-driving vehicles*”, *IEEE Technology and Society Magazine*, 2020

### **SITOGRAFIA:**

- [www.roboglobal.com](http://www.roboglobal.com)
- [www.saeinternational.org](http://www.saeinternational.org)
- [www.thezebra.com](http://www.thezebra.com)
- [www.automotiveworld.com](http://www.automotiveworld.com)
- [www.geico.com](http://www.geico.com)
- [www.nvidia.com](http://www.nvidia.com)
- [www.intellias.com](http://www.intellias.com)
- [www.medium.com](http://www.medium.com)
- [www.wired.com](http://www.wired.com)
- [www.accenture.com](http://www.accenture.com)
- [www.techcrunch.com](http://www.techcrunch.com)
- [www.itransition.com](http://www.itransition.com)
- [www.ford.com](http://www.ford.com)
- [www.futurecar.com](http://www.futurecar.com)
- [www.robsonforensic.com](http://www.robsonforensic.com)
- [www.coalitionforfuturemobility.com](http://www.coalitionforfuturemobility.com)
- [www.mckinsey.com](http://www.mckinsey.com)
- [www.rudermanfoundation.org](http://www.rudermanfoundation.org)
- [www.towardsdatascience.com](http://www.towardsdatascience.com)
- [www.nhtsa.gov](http://www.nhtsa.gov)
- [www.viatech.com](http://www.viatech.com)
- [www.spectrum.org](http://www.spectrum.org)
- [www.visteon.com](http://www.visteon.com)
- [www.numbeo.com](http://www.numbeo.com)
- [www.forbes.com](http://www.forbes.com)
- [www.worldbank.org](http://www.worldbank.org)
- [www.kpmg.com](http://www.kpmg.com)
- [www.investopedia.com](http://www.investopedia.com)