



Università
Ca' Foscari
Venezia

Corso di Laurea
magistrale
in Economia e
Gestione delle Aziende

LM-77 Classe delle lauree magistrali
in Scienze Economico–Aziendali

Tesi di Laurea

**Applicazione
dell'Intelligenza
Artificiale ai
sistemi di guida
autonoma**

Analisi e approfondimento di
Tesla Autopilot.

Relatore

Prof. Francesco Zirpoli

Laureando

Alberto Longo
Matricola 989381

Anno Accademico

2020 / 2021

INDICE

INTRODUZIONE	1
CAPITOLO 1:	2
1.1 COS'È L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE	2
1.2 STORIA E SVILUPPO DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE	3
1.2.1 <i>I primi approcci alla materia</i>	3
1.2.2 <i>Nascita dell'Intelligenza Artificiale</i>	4
1.2.3 <i>I primi successi e le future aspettative</i>	5
1.2.4 <i>I limiti dei sistemi intelligenti artificiali</i>	7
1.2.5 <i>Sistemi basati sulla conoscenza</i>	8
1.2.6 <i>L'arrivo dell'Intelligenza artificiale nell'industria</i>	9
1.2.7 <i>La creazione di sistemi sempre più elaborati</i>	11
1.3 I VARI APPROCCI ALL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE	13
1.3.1 <i>L'approccio secondo l'agire umano</i>	15
1.3.2 <i>L'approccio della modellazione cognitiva</i>	17
1.3.3 <i>L'approccio al pensiero razionale</i>	18
1.3.4 <i>L'approccio secondo l'agire razionalmente</i>	19
1.4 L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE OGGI E LE SUE POTENZIALITÀ PER IL DOMANI	21
1.5 DEEP LEARNING	27
1.5.1 <i>Cos'è il deep learning</i>	27
1.5.2 <i>Le reti neurali artificiali</i>	29
1.5.3 <i>Come funziona</i>	29
1.5.4 <i>Differenza tra machine learning e deep learning</i>	31
1.5.5 <i>Come si addestra un sistema di Deep Learning</i>	33
1.5.6 <i>Casi di applicazione</i>	37
1.6 PROBLEMI E LIMITI DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE	42
1.6.1 <i>La Black Box</i>	43
1.6.2 <i>Biases e Discriminazioni razziali</i>	44
1.6.3 <i>Privacy</i>	46

1.7 RESPONSABILITÀ CIVILE E INTELLIGENZA ARTIFICIALE.....	48
CAPITOLO 2:.....	52
2.1 INTELLIGENZA ARTIFICIALE APPLICATA AL SETTORE AUTOMOTIVE.....	52
2.2 I SEI LIVELLI DELLA GUIDA AUTONOMA	53
2.3 MERCATO EUROPEO DEI VEICOLI AUTONOMI	58
2.4 I PRINCIPALI PLAYER IN GIOCO	62
2.4.1 <i>Google con Waymo.....</i>	63
2.4.2 <i>Tesla</i>	65
2.4.3 <i>Volkswaghen con Argo Ai e Moia.....</i>	66
2.4.4 <i>Baidu con Apollo</i>	68
2.4.5 <i>Toyota con Aurora</i>	69
2.4.6 <i>General Motors con Cruise.....</i>	70
2.4.7 <i>Amazon con Zoox.....</i>	71
2.4.8 <i>FCA con Voyage e Waymo</i>	72
2.5 L'ITALIA E IL SUO SUPPORTO AI VEICOLI AUTONOMI	74
2.5.1 <i>Aziende Italiane impegnate nella guida autonoma.....</i>	78
2.5.2 <i>Le città pilota in Italia</i>	79
2.6 LE SMART ROAD.....	83
2.6.1 <i>Cosa sono le smart road.....</i>	88
2.6.2 <i>Il decreto Smart Road in Italia.....</i>	90
2.6.3 <i>Strade connesse Italiane</i>	92
2.7 NORMATIVA ITALIANA PER LE AUTO A GUIDA AUTONOMA.....	94
2.7.1 <i>Normativa italiana a confronto con gli altri paesi.....</i>	100
2.8 PROBLEMATICHE NELLO SVILUPPO DEL SETTORE DEI VEICOLI AUTONOMI	104
2.8.1 <i>La sicurezza stradale.....</i>	104
2.8.2 <i>Utilizzo dei dati e delle informazioni raccolte.....</i>	105

2.8.3 Sviluppo delle infrastrutture.....	106
CAPITOLO 3: ANALISI DEL SISTEMA AUTOPILOT DI TESLA	108
3.1 COME FUNZIONA IL SISTEMA DI GUIDA AUTONOMA E DA QUALI COMPONENTI È	
FORMATO	108
3.2 DOTAZIONE HARDWARE E SOFTWARE DEI VEICOLI TESLA	111
3.2.1 Videocamere, Telecamere, Sensori e Radar	111
3.2.2 Tesla Autopilot.....	113
3.3 COMPUTER VISION.....	115
3.3.1 Metodologia	116
3.3.2 Studio e applicazione della Computer Vision.....	117
3.3.3 Analisi dei risultati	128
3.4 ANALISI DEL FUNZIONAMENTO DELL'AUTOPILOT ATTRAVERSO LA COMPUTER	
VISION	133
3.4.1 Osservazione del funzionamento dell'Autopilot	134
3.4.2 La previsione del percorso (path prediction).....	148
3.4.3 Considerazioni conclusive sull'Autopilot.....	153
CONCLUSIONI	156
BIBLIOGRAFIA	164
SITOGRAFIA	170

INTRODUZIONE

L'utilizzo della tecnologia che sfrutta l'intelligenza artificiale è oggi ormai diffuso in quasi tutti i settori e mercati industriali. Le sorprendenti capacità di questa tecnologia intelligente di riuscire a operare in modo autonomo senza la necessità della supervisione di un umano, ha dato una spinta notevole in termini di produttività ed efficienza a tutti quei contesti in cui questa viene utilizzata.

Sebbene i primi studi e le prime applicazioni di questa tecnologia risalgano agli inizi del 1900, è solo a partire dagli anni 1990 che si è potuto iniziare a vedere una sua applicazione all'interno del sistema industriale. Complice di questa espansione è stato il supporto delle risorse tecnologiche, che con il passare degli anni hanno permesso a questa tecnologia di dimostrare le sue potenzialità.

Quello che questa tesi andrà a trattare è dunque l'applicazione dell'intelligenza artificiale al settore Automotive, e nello specifico nello sviluppo dei moderni sistemi di guida autonoma avanzati.

Dopo una prima parte dov'è stata riportata la storia e la letteratura inerenti allo sviluppo dell'intelligenza artificiale, il seguente testo va ad approfondire quello che è il mercato della guida autonoma applicata al settore automobilistico, focalizzandosi per lo più sul contesto Italiano.

È stata dunque approfondita la tematica su come questi sistemi intelligenti riescano oggi a guidare sulle strade i veicoli in modo del tutto autonomo, andando infine a concludere il lavoro con un'analisi pratica del funzionamento della computer vision e di come questa sia stata implementata nel sistema di guida autonoma di Tesla.

Sono stati presi in esame i limiti e i punti di forza della tecnologia, testando concretamente come questa si comporti nelle diverse situazioni proposte, riuscendo infine a valutare quanto l'intelligenza artificiale abbia ancora da migliorare prima di poter affidare la vettura totalmente alla guida autonoma.

Ho personalmente scelto questa tematica poiché, essendo appassionato di tecnologia e di automotive, ho voluto conciliare questi due argomenti di mio interesse in un'analisi di quello che oggi è considerato uno dei sistemi di guida più evoluti al mondo, l'Autopilot.

Capitolo 1:

1.1 Cos'è l'Intelligenza Artificiale

L'intelligenza artificiale è un insieme di studi e tecniche che fanno capo a quelle che sono le scienze informatiche con applicazioni alla realtà in diversi ambiti. Essa si concretizza nella realizzazione e programmazione di sistemi software e hardware in grado di operare in modo autonomo e nell'implementazione di macchine dotate di capacità tipicamente umane come la percezione visiva, temporale ma soprattutto decisionale. A differenziare l'Intelligenza artificiale (A.I.) dagli altri sistemi di calcolo è la capacità di combinare le diverse tipologie di intelligenze per ottenere risultati che non si limitino soltanto alla sola capacità di calcolo o analisi di dati, ma di tutte quelle forme di intelligenze che sono intrinseche nel cervello umano e che vengono riportate dalla teoria di Gardner. Vengono ricoperte quelle abilità generate dall'intelligenza spaziale fino ad arrivare a quella sociale, da quella introspettiva a quella cinetica. Vengono quindi studiate queste diverse forme di intelligenza tipicamente umana per poi ricondurle a particolari comportamenti implementabili dai software per creare un sistema computazionale intelligente.

L'intelligenza artificiale può essere distinta in due modi principali:

Intelligenza Artificiale debole: questa distinzione identifica principalmente quei sistemi tecnologicamente avanzati e intelligenti che hanno la capacità di simulare parte delle funzionalità cognitive tipiche della mente umana, senza però essere in grado di raggiungerne le sue reali capacità intellettuali. (sono racchiuse in questa area la risoluzione di problemi matematici, programmi di problem-solving o macchine in grado di prendere decisioni autonome).

Intelligenza artificiale forte: diversa è la distinzione con l'attribuzione di "forte" che va a identificare quei "sistemi sapienti" in grado di sviluppare una propria intelligenza senza doversi basare o cercare di simulare processi di pensiero cognitivi tipici dell'uomo.

Lo sviluppo che ha avuto negli ultimi anni questo sistema artificiale intelligente è dato dalla grande attenzione alla materia che esso ha suscitato. Ciò è stato possibile grazie alle nuove risorse fornite dal settore informatico, che anno dopo anno migliora la

componentistica software e hardware in modo vertiginoso. Oggi esistono sistemi computazionali con capacità di calcolo e consumi energetici che poche decine di anni fa erano immaginabili, sia nella capacità di analisi in tempo reale che di enormi quantità di dati (Big Data Analytics’).

L’A.I. è presente nella vita quotidiana di ognuno di noi più di quanto possa sembrare. Basti pensare ai vari sistemi di dettatura e riconoscimento vocale utilizzati nei nostri smartphone e nei sistemi di sicurezza, oppure ai sistemi di apprendimento automatico, essi si basano appunto sull’intelligenza artificiale. Altre implementazioni riguardano il mondo dei videogiochi, da quelli più recenti e sofisticati, alle applicazioni più classiche come avviene nel gioco degli scacchi. Molti sono i settori dove negli ultimi anni l’A.I. viene implementata e sfruttata, altri esempi riguardano il modo della medicina (implementazioni di robot di accompagnamento, sistemi di analisi tumorali, uso di reti neurali nell’analisi del battito cardiaco), il settore della robotica o dell’informatica stessa (dove viene usata per migliorare a loro volta le potenzialità dei sistemi) fino ad arrivare persino al mercato azionario. Nello specifico di questo testo, l’intelligenza artificiale verrà tuttavia studiata nella sua applicazione al contesto automotive; attraverso lo studio di sistemi di guida autonoma in grado di rendere un veicolo autonomo nello spostamento in mezzo al traffico.

L’anno riconosciuto come la data di nascita dell’intelligenza artificiale è il 1956, in occasione di un convegno che si tenne in America. In quella occasione si riunirono alcuni di quelli che, solo successivamente, vennero poi definiti tra i principali pionieri dell’intelligenza artificiale che all’epoca venne primordialmente chiamata Sistema Intelligente.

1.2 Storia e sviluppo dell’Intelligenza Artificiale

1.2.1 I primi approcci alla materia

Vari sono i lavori che sono stati, negli ultimi 70 anni, svolti dai ricercatori e dagli studiosi che si sono dedicati alla scoperta e allo studio di possibili teorie e sistemi che stavano

dietro al ragionamento umano per poi “riprodurlo” in una macchina.

Il primo lavoro che oggi possiamo ricongiungere al concetto di intelligenza artificiale fu svolto negli anni 1943 dagli studiosi Warren S. McCulloch e Walter H. Pitts, i quali si rifecero alle conoscenze della fisiologia sul funzionamento dei neuroni nel cervello, alla teoria computazionale di Turing e alla logica proposizionale di Russel e Whitehead. Dal loro lavoro è emerso un modello neuronale artificiale in cui il neurone centrale viene acceso o spento dalla presenza limitrofa di un certo numero di neuroni che lo andavano a stimolare. Inoltre riuscirono a dimostrare che gli operatori logici (and, or, not...) potevano essere riprodotti attraverso una struttura a rete e che, attraverso una rete di neuroni, si riusciva a calcolare ogni funzione computabile. In ultima il loro contributo all'intelligenza artificiale ebbe ancora più rilevanza quando dimostrarono che sviluppando delle reti neurali in modo appropriato essere erano in grado anche di apprendere (McCulloch Pitts ,1943). Sulla base di questi studi e dalle scoperte emerse, diversi furono le applicazioni più o meno rilevanti nel susseguirsi degli anni da parte di studiosi e scienziati, i quali sperimentarono ognuno le proprie teorie allo scopo di sviluppare sistemi artificiali intelligenti. Nel far ciò si cimentarono anche due studenti del dipartimento di matematica dell'università statunitense Princeton i quali riuscirono per primi a implementare il primo computer basato sulla rete neurale nel 1951. Gli universitari Marvin Minsky e Dean Edmonds svilupparono così una macchina capace di simulare 40 neuroni e riuscendo così a conquistare l'approvazione del celebre matematico Von Neumann.

Il primo lavoro veramente completo e considerato dalla letteratura il capostipite di quella che può essere considerata l'Intelligenza Artificiale fu scritto nel 1950 dal noto Alan Turing in “Computer Machinery and Intelligence”, il quel diede per la prima volta un chiaro significato di quello che era l'apprendimento automatico e l'algoritmo genetico.

1.2.2 Nascita dell'Intelligenza Artificiale

Negli anni successivi l'interesse che emerse nei confronti dello studio di questi sistemi di reti neurali e dell'intelligenza per la sua conversione e applicazione nella realizzazione

di computer intelligenti, mosse molti studiosi a riunirsi per condividere le conoscenze possedute e dar luce a nuove scoperte e applicazioni. John McCarthy fu tra i principali scienziati attivi in questo fronte; insieme all'aiuto di altri colleghi radunò diverse figure di spessore interessate allo studio della materia. Nell'estate del 1956, presso il Dartmouth College, una decina di professionisti esperti del settore provenienti dall'IBM, dal MIT, CMU, e da prestigiose università come Princeton e Stanford, dopo che furono interessati alla proposta di McCarthy, si riunirono per un gruppo di lavoro che si prefissava lo scopo di approfondire la disciplina e creare una macchina intelligente in grado di risolvere i problemi logici. Sebbene il workshop si chiuse senza arrivare alla conclusione di grandi risultati, è da questo evento che emerse il nome di "Intelligenza Artificiale" per far riferimento a questa nuova scienza.

Secondo McCarthy l'A.I. doveva diventare una branca scientifica separata, nello specifico delle scienze informatiche, sostanzialmente per due motivi. In primo luogo l'Artificial Intelligence riproduce facoltà tipicamente umane come l'uso del linguaggio, la creatività e il miglioramento di sé e non si limita quindi all'analisi di teorie analizzate anche da altre scienze come la teoria del controllo, delle decisioni o della ricerca operativa. In secondo luogo la metodologia utilizzata dall'A.I. fa riferimento alle scienze informatiche e non a quelle matematiche, in quanto è l'unica scienza che si prefigge l'obiettivo di realizzare macchine intelligenti che riescano ad operare in modo autonomo anche in situazioni complicate e in continua mutazione. (McCarthy et al., 1955).

1.2.3 I primi successi e le future aspettative

Gli anni a venire furono un susseguirsi di applicazioni delle varie scoperte emerse dalla ricerca, una materia così affascinante e nuova per l'epoca che anche un piccolo miglioramento nel progresso della sua implementazione, riusciva a generare grande stupore e soddisfazione nei confronti della comunità del tempo. La credenza che un computer potesse essere limitato all'uso di soli calcoli matematici, generava grande stupore quando questo veniva usato per qualcosa di vagamente ingegnoso. Inoltre le limitate dotazioni tecniche dell'epoca limitavano fortemente il progresso di questa

scienza che richiedeva per il suo sviluppo risorse computazionali molto più performanti. Se da una parte gli intellettuali non credevano troppo nelle capacità e nelle promesse che questa disciplina professava, dall'altra parte i ricercatori conquistavano successi e dimostrazioni della sua applicazione in continuazione. Un esempio fu un dipendente dell'IBM, Arthur Lee Samuel, pioniere nel campo dell'intelligenza artificiale, (conìò successivamente il termine "machine learning" nel 1959), dove in quegli anni sviluppò un sistema di apprendimento automatico che permetteva al software di giocare a dama ed apprendere sempre meglio il funzionamento del gioco, diventando presto più abile del suo stesso inventore. Più l'applicazione di questi sistemi intelligenti dava soddisfazioni ai loro ricercatori e più la ricerca era incentivata al suo studio e a far progredire il progresso. Tuttavia i ricercatori dovevano fare i conti con un problema che li limitava tantissimo nelle loro applicazioni, non era scontato infatti avere accesso a un computer. Se oggi ognuno di noi ha a disposizione un computer personale, all'epoca i computer erano ben diversi da quelli moderni, sia in dimensioni che come costo. I pochi computer esistenti erano di proprietà delle grandi aziende le quali li sfruttavano in continuazione. Ricercatori come Turing e Samuel erano disposti a lavorare di notte per poter avere accesso a un computer per le loro ricerche, andando a chiedere tale concessione a imprese come IBM. McCarthy sviluppo in questi anni un nuovo linguaggio di programmazione, Lisp, che sarebbe poi diventato il linguaggio principale usato per lo sviluppo dell'A.I. Sempre negli anni 1958, McCarthy, uscì con il primo sistema completo di A.I. chiamato Advice Take, il quale sfruttava la conoscenza per cercare la soluzione ai problemi. La particolarità distintiva di questo programma era la capacità di acquisire nuove competenze anche senza dover essere riprogrammato, ma solo accettando l'inserimento di nuovi assiomi durante la sua esecuzione. Il decennio degli anni 50-60 fu caratterizzato da un generale sentimento di ottimismo, generato dagli esiti positivi e promettenti che gli studi e le applicazioni dell'I.A davano. Tuttavia se da un lato i ricercatori di Intelligenza artificiale riuscivano a sviluppare software capaci di risolvere principalmente problemi matematici, dall'altro lato si iniziavano a notare le limitazioni che questi sistemi intelligenti avevano; non sembravano infatti capaci di riuscire a riprodurre le capacità intuitive e logiche tipiche del cervello umano.

1.2.4 I limiti dei sistemi intelligenti artificiali

Dati i risultati sorprendenti che emergevano dall'applicazione degli studi svolti, i ricercatori pronosticavano in modo ottimistico gli obiettivi che sarebbero riusciti a raggiungere da lì a pochi anni, azzardando affermazioni che spesso sembravano fonte di pura immaginazione. Malgrado il passare degli anni quanto affermato in precedenza non venne a verificarsi come invece si aspettavano i sostenitori dell'I.A., tuttavia quanto venne detto non era del tutto errato; le capacità annunciate che l'I.A avrebbe raggiunto di fatto sono state raggiunte, solo che vennero raggiunte molti anni dopo rispetto quanto previsto. A generare questo "ritardo" fu l'incapacità dell'I.A a risolvere problemi più complessi o appartenenti a tipologie differenti dove fino a quegli anni non era mai stata testata. Un esempio fu l'applicazione dell'A.I. nella traduzione linguistica, attraverso la quale si pensava di sfruttare le capacità dell'intelligenza artificiale per ottenere la traduzione di vari testi in lingua straniera in inglese. Il risultato emerso, insieme a molti altri, fu disastroso, vennero alla luce in questa occasione tutti i limiti della tecnologia sviluppata. Inizialmente si pensava che il problema fosse la limitata capacità hardware disponibile, e che con lo sviluppo e l'introduzione di memorie e capacità di calcolo superiori i limiti dell'A.I venissero meno. In realtà si capì ben presto che ciò non era la causa primaria, ma che i programmi non erano in grado di elaborare più di una dozzina di fatti..."il fatto che un programma possa, in via di principio, trovare una soluzione, non significa affatto che il programma contenga i meccanismi necessari per trovarla nella pratica" (Friedberg, 1958).

Inoltre altri problemi erano legati al fatto che l'algoritmo non aveva conoscenze riguardo al contesto in cui operava e che quindi l'I.A. si limitasse semplicemente e considerare varie strade secondo una certa logica che però, non era contestualizzata all'argomento trattato e quindi generava risultati senza senso. Dopo una serie di insuccessi che l'intelligenza artificiale accumulò nel tentativo di dimostrare la sua applicabilità in contesti sempre più sofisticati, venne per la prima volta placato quell'entusiasmo che si era generato nello sviluppo di questa nuova scienza. Ciò causò irreversibilmente una

notevole diminuzione di quelli che erano i finanziamenti concessi da parte di enti pubblici e privati nel finanziamento degli studi della disciplina; dando un freno a quelli che erano gli studi e le implementazioni sulla quale l'A.I stava avanzando.

Nella seconda metà degli anni 60 fu sempre più evidente come i risultati raggiunti fino ad allora nello studio dell'A.I non erano più sufficienti alle necessità e alle esigenze che la società richiedeva. Le macchine sviluppate non erano infatti in grado di andare oltre alla "semplice" soluzione di problemi matematici malgrado la loro complessità. I ricercatori dovevano spingersi ben oltre i risultati raggiunti fino ad allora e portare l'intelligenza artificiale a risolvere problematiche più vicine alla realtà dell'uomo.

1.2.5 Sistemi basati sulla conoscenza

L'approccio utilizzato nei primi anni di sviluppo dei sistemi di intelligenza artificiale si basava sul meccanismo generale dell'utilizzo della ricerca di mettere assieme piccoli ragionamenti semplici ed elementari in modo sequenziale, uno dopo l'altro, fino a trovare soluzioni complete. Questi metodi sono stati chiamati "metodi deboli", poiché benché abbiano un'applicabilità generale, non sono stati in grado di gestire soluzioni sempre più complesse e complicate dimostrando così una scalabilità verso l'alto, nel risolvere problemi grandi e difficili, molto limitata.

I ricercatori hanno successivamente cambiato approccio e sviluppato un'alternativa che utilizza conoscenza più potente, specifica del dominio, che permette di intraprendere passi di ragionamento più ampi e può gestire più facilmente i casi tipici di aree ristrette di esperienza. Una delle prime applicazioni di questo nuovo metodo fu il programma "Dendral", sviluppato a Stanford da Bruce Buchanan, Ed Feigenbaum e Joshua Lederberg i quali partendo dai dati forniti da uno spettrometro di massa riuscirono a risolvere il problema della ricostruzione dell'informazione molecolare (Buchanan et al. ,1969). Questo progetto rappresentò un grande passo avanti nella disciplina dell'A.I, in quanto si basava su un sistema a conoscenza intensiva, che era riuscito ad ottenere risultati di grande successo grazie alla sua capacità; la quale si basava su regole speciali. Il successo di questo progetto era riuscito a riportare quella voglia e determinazione nello studio e applicazione dell'intelligenza artificiale, che negli anni passati era andato un po' a

svanire. Poco dopo, infatti, si susseguirono importanti progetti in diversi ambiti applicativi della conoscenza umana, che vedevano l'I.A. protagonista dello sviluppo e dell'innovazione di molti settori. L'implementazione dell'intelligenza artificiale avvenne dopo poco anche nel campo medico, dove nuovamente Buchanan e Feigenbaum insieme al Dott. Edward Shortliffe svilupparono "Mycin"; un programma basato sull'A.I. in grado di diagnosticare la presenza di infezioni nel sangue. I risultati raggiunti furono sorprendenti, ci si stava avvicinando sempre più a una concreta applicazione della tecnologia intelligente in prestazioni pari o addirittura superiori a quelle dell'uomo. Mycin, basato su oltre 450 regole, era in grado di svolgere analisi pari a quelle svolte da molti esperti e sicuramente superiori a molte prestazioni di neolaureati. Anche per quanto riguarda il campo della comprensione del linguaggio naturale si ebbero notevoli miglioramenti rispetto ai primi tentativi che si dimostrarono dei grandi fallimenti. Alcuni ricercatori decisero di sviluppare programmi specifici per certe aree di applicazione, altri invece optarono per un'applicazione più generale. L'ostacolo principale era la necessità di far comprendere all'I.A, quella che era la sintassi della frase, e fornire una conoscenza di base dell'argomento così che si potesse arrivare a una comprensione e traduzione corretta e sensata; era necessario inoltre porre attenzione a quelli che erano i ragionamenti applicati alla conoscenza richiesta per la sua comprensione (Cullingford, 1981).

1.2.6 L'arrivo dell'Intelligenza artificiale nell'industria

L'applicazione dell'I.A nei vari settori stava acquisendo anno dopo anno, miglioramenti continui e significativi. Questi sistemi intelligenti riuscivano, dove trovavano applicabilità, a generare una performance evidentemente superiore anche a quella dell'uomo. Questi risultati, chiaramente positivi, suscitarono un grande interesse da parte dell'industria, che iniziò a valutare un'applicazione dell'intelligenza artificiale nel mondo produttivo e all'interno dell'azienda per incrementare le attività svolte sia in termini di efficacia ed efficienza che soprattutto di costi.

Una prima applicazione del sistema di Artificial Intelligence nel mondo industriale si ebbe con "RI", un "sistema eserto" in grado di aiutare la configurazione degli ordini di

nuovi computer, che venne utilizzato dalla Digital Equipment Corporation, la quale dichiarò che grazie all'implementazione di questa tecnologia intelligente riuscì a risparmiare ben 40 milioni di dollari l'anno. (McDermott, 1982). Pochi anni dopo la Du Pont aveva implementato oltre 100 sistemi esperti che gli permettevano di risparmiare oltre 10 milioni l'anno e ne stava sviluppando altri 500 da inserire negli anni successivi. I grandi vantaggi che derivavano da questi sistemi erano ormai chiari e conosciuti, i costi che permettevano di far risparmiare alle grandi aziende erano senza dubbio molto rilevanti e significativi. Tutte le grandi aziende americane da lì a pochi anni avevano al proprio interno un gruppo specializzato in Intelligenza artificiale e utilizzavano uno o più sistemi intelligenti.

Gli altri grandi poli industriali non rimasero di certo a guardare perdendo competitività, dall'altra sponda dell'oceano Pacifico, i compagni Giapponesi annunciarono il progetto "Quinta Generazione" con la quale da lì a dieci anni avevano l'intenzione di creare computer intelligenti per rilanciare l'economia e l'innovazione del paese. In risposta gli americani fondarono la "Computer Technology Corporation" che aveva anch'essa lo scopo di mantenere la competitività nazionale per quanto riguardasse l'A.I e la sua implementazione nei settori industriali.

Entrambi i progetti si preoccuparono di sviluppare chip capaci di elaborare gli algoritmi complessi basati sull'A.I ed inoltre di approfondire la ricerca sulle interfacce uomo macchina.

Inizio così l'era di un nuovo mercato che vedeva ogni anno l'entrata di nuove aziende specializzate in specifiche fasi e competenze per lo sviluppo di questa disciplina che prometteva l'apertura ad un mercato potenziale vastissimo. Se negli anni 1980 l'industria specifica valeva appena qualche milione, nemmeno dieci anni dopo, nel 1988 il suo valore si aggirava attorno ai 2 miliardi.

Le ricerche e le sperimentazioni nelle diverse applicazioni dell'A.I in questi anni riuscirono a compiere passi in avanti, riprendendo in alcuni casi gli studi svolti negli anni sessanta e settanta e approfondendone la loro implementazione con nuove teorie e sperimentazioni.

Il campo del riconoscimento vocale ha avuto uno sviluppo importante e un

miglioramento decisivo che lo rese sempre più usato sia nell'industria sia per l'utenza privata.

Lo stesso sorprendente sviluppo lo si può ritrovare anche per l'applicazione delle reti neurali, che ebbero un grado di maturazione tale da essere poi stimolo di implementazione nei campi della statistica, del riconoscimento dei pattern e dell'apprendimento autonomo, applicando in ogni caso la tecnica più adeguata. Si venne a generare così una nuova industria denominata "Data mining". I sistemi esperti sviluppati negli anni precedenti vennero rivisti dagli studiosi Judea Pearl, Eric Horvitz e David Heckerman i quali promossero l'idea di "sistemi esperti normativi" secondo i quali non si limitavano più a cercare di imitare e riprodurre le logiche razionali degli esseri umani, ma piuttosto agivano razionalmente secondo le leggi della teoria delle decisioni. Il famoso sistema operativo di casa Microsoft, Windows, incorporava al suo interno l'utilizzo di questi sistemi esperti normativi per la risoluzione di molti dei suoi problemi. (Horvitz et al. ;1986).

1.2.7 La creazione di sistemi sempre più elaborati

Spinti dai grandi successi ottenuti nei vari campi dall'I.A, i ricercatori approfondirono quello che era l'utilizzo di agenti artificiali e la loro applicazioni in contesti reali a seguito di una serie di "stimoli" esterni forniti come input al sistema. Questi sistemi intelligenti vennero implementati in uno dei progetti più importanti dell'epoca, Internet.

Da lì a pochi anni, l'importanza che questi sistemi intelligenti ricoprivano per il sistema internet e la sua utilità nel quotidiano, gli fece prendere il nome con cui oggi sono chiamati, ovvero "bot" (Nilson, 1998).

La tecnologia dell'I.A è la base di molti strumenti che oggi fanno parte delle nostre vite e del quale ignoriamo la sua importanza. Tuttavia esempi come i motori di ricerca, i sistemi di personalizzazione commerciale e la costruzione di siti web basano la loro esistenza su questi sistemi intelligenti che vennero alla luce intorno agli anni 2000 (Poole et al., 1998).

L'applicabilità che ha trovato negli anni successivi l'A.I ricopre un po' tutti i settori, alcuni

esempi dei primi progetti sono:

Il programma "Remote Agent" della NASA, il quale fu il primo sistema di pianificazione integrata autonomo in grado di processare autonomamente lo scheduling delle operazioni di un veicolo spaziale. "Remote Agent" era in grado di comprendere le indicazioni complesse fornite da terra e monitorare l'esecuzione delle operazioni del veicolo spaziale, rilevando, diagnosticando e infine correggendo gli errori non appena si verificassero (Jonsson et al.,2000). Un'altra applicazione di grande successo venne eseguita da IBM, quando il programma Deep Blue, riuscì a sviluppare un software in grado di sconfiggere a scacchi, per la prima volta, il campione mondiale di scacchi Garry Kasparov; il quale confermò con grande stupore che era evidente come la macchina era riuscita a raggiungere un livello di comprensione, del gioco degli scacchi, che andava ben oltre alla conoscenza che possedeva lui stesso (Goodman e Keene, 1997). Tale evento, riportato anche in molti quotidiani, fece riflettere molto sulle effettive capacità ce l'A.I era riuscita a raggiungere nel suo sviluppo durante gli anni. IBM grazie a Deep Blue, vide aumentare il valore delle proprie azioni di 18 miliardi di dollari.

Alvinn, fu il primo sistema di visione robotica, che riuscì a mantenere una macchina all'interno della propria corsia per quasi 3000 miglia, mantenendo il controllo dello sterzo per tutta la durata del tragitto. Attraverso l'ausilio di telecamere, Alvinn riusciva a calcolare l'angolo di sterzo più adatto per mantenere il veicolo all'interno della sua corsia senza richiedere l'intervento umano. Sorprendente fu l'analisi medica svolta da un programma basato sull'intelligenza artificiale, il quale riuscì ad elaborare una corretta diagnosi di un caso particolarmente difficile di patologie legata ai linfonodi. Nel settore medico, molti programmi basati sull'A.I, si sono dimostrati all'altezza di svolgere diagnosi pari a quelle di molti esperti. Anche nella diagnosi, di un difficile caso, che richiedeva l'analisi di patologie dei linfonodi, questo programma è riuscito a elaborare un risultato corretto e all'altezza di un verdetto di uno specialista. Inoltre il programma quando gli è stato richiesto di giustificare la propria diagnosi, è riuscito ad esporre correttamente tutti i principali aspetti che avevano influenzato la sua decisione.

Ancora nel settore della medicina, venne sviluppato HipNav, un robot in grado di aiutare i microchirurghi ad operare. Questa macchina era in grado attraverso la visione robotica

di creare un modello tridimensionale dell'anatomia del paziente, per andare poi a guidare l'inserimento di una protesi all'anca durante l'operazione chirurgica. (DiGioia et al., 1996). Ulteriori esempi nella comprensione del linguaggio furono portati da "Proverb", un curioso software in grado di completare i cruciverba, anche molto complessi, meglio di quanto riescano a fare gran parte degli umani. La sua capacità di accedere ad informazioni appartenenti a diversi database, ed estrapolarne informazioni utili da combinare tra di loro, permetteva a questo programma di riuscire a risolvere qualsiasi cruciverba, ad esso sottoposto, ricercando le informazioni in modo autonomo e rapido (Littman et al.,1999).

Un ultimo esempio di applicazione dell'A.I viene fornito direttamente dal settore militare. Durante la guerra del golfo del 1991, le forze americane svilupparono "Dart", un sistema intelligente che gli permise di gestire la logistica e i trasporti del materiale bellico in modo automatizzato. Il programma doveva considerare la diversa tipologia di merce da trasportare, i vari punti di partenza e arrivo, la gestione contemporanea di persone, approvvigionamenti e oltre 50000 veicoli. Ciò permise in poche ore di fornire un piano logistico alle forze armate americane, che altrimenti avrebbero impiegato diverse settimane per svilupparlo. L'agenzia di ricerca avanzata della difesa americana, affermò che tale singola implementazione del sistema intelligente, ripagò da sola gli investimenti sostenuti in trent'anni di ricerca sull'A.I (Cross e Walker,1994).

1.3 I vari approcci all'Intelligenza artificiale

Sebbene l'intelligenza artificiale sia oggi utilizzata in quasi tutti i settori e sia la base delle tecnologie future, una sua definizione non è ancora stata trovata. Diversi sono stati gli approcci dei vari studiosi che si sono incidentati in uno suo studio, analizzandola sotto differenti aspetti e contesti. Di seguito sono riportate alcune delle definizioni date all'intelligenza artificiale da diversi studiosi che si sono incidentati nel suo studio. Ogni definizione sebbene sia diversa dalle altre, è comunque corretta e definisce l'artificial intelligence in modo veritiero, quello che le distingue le varie definizioni è appunto il diverso approccio e punto di vista con la quale sono state analizzate. Per rendere più chiara la suddivisione delle diverse definizioni e capirne il contesto riguardo al quale

sono state analizzate, esse sono state raggruppate in una tabella sotto riportata che le racchiude in quattro riquadri principali. In alto sono identificate quelle che hanno un approccio ai processi di pensiero e al ragionamento; in basso invece sono posizionate quelle con un'ottica rivolta al comportamento. Per quanto riguarda invece la dimensione orizzontale le definizioni sulla parte sinistra misurano il successo confrontandola rispetto a quella che è l'esecuzione umana; mentre le definizioni riportate sulla destra usano come metro di paragone il concetto di razionalità, nonché un'intelligenza che si può intendere come ideale in quanto in grado di scegliere sempre "l'alternativa giusta".

Sistemi che pensano come esseri umani

“L'eccitante, nuovo tentativo di far sì che i computer arrivino a pensare... *macchine dotate di mente*, nel pieno senso della parola. “
(Haugeland,1985)

“L'automazione delle attività che associamo al pensiero umano, come il processo decisionale, la risoluzione di problemi, l'apprendimento...”
(Bellman,1978)

Sistemi che pensano razionalmente

“Lo studio delle facoltà mentali attraverso l'uso di modelli computazionali.”
(Charniak e McDermott, 1985)

“Lo studio dei processi di calcolo che rendono possibile percepire, ragionare e agire.” (Winston, 1992)

Sistemi che agiscono come esseri umani

“L'arte di creare macchine che eseguono attività che richiedono intelligenza quando vengono svolte da persone.”
(Kurzweil, 1990)

“Lo studio di come far eseguire ai computer le attività in cui, al momento, le persone sono più brave.”
(Rich e Knight, 1991)

Sistemi che agiscono razionalmente

“L'intelligenza Computazionale è lo studio della progettazione di agenti intelligenti.”
(Poole et al., 1998)

“L'IA...riguarda il comportamento intelligente negli artefatti.”
(Nilsson, 1998)

Come si può notare dalle varie definizioni riportate, l'approccio usato dagli studiosi di intelligenza artificiale può essere diverso. In base da quali scienze derivano gli studiosi

essi hanno un approccio differente nel trattare la materia. Gli studi derivanti dalle scienze empiriche di fatti hanno un approccio all'AI centrato sugli esseri umani, richiedendo una verifica sperimentale delle ipotesi. Le definizioni derivanti invece da studi matematici e ingegneristici invece utilizzano un approccio più razionale. Quanto riportato non vuole lasciare intendere che la differenza tra un approccio razionale, piuttosto che un approccio riguardante al comportamento umano è dato dal fatto che l'essere umano non è in grado di essere razionale, ma bensì che l'agire umano è condizionato da innumerevoli stimoli che generano delle reazioni e delle decisioni che non sono sempre quelle giuste. L'errore umano è intrinseco nell'agire umano che caratterizza ogni essere vivente, ne è l'esempio il gioco degli scacchi, benché i giocatori sappiano le regole del gioco, non sempre compiono la mossa più corretta. (Kahneman et al, 1982)

1.3.1 L'approccio secondo l'agire umano

Alan Mathison Turing, nato a Londra il 23 giugno 1912 è stato uno dei più grandi matematici del XX secolo, e non solo, in quanto è considerato anche uno dei padri dell'informatica. La passione per la scienza matematica e la determinazione che metteva nei suoi lavori, lo portarono alla definizione del concetto di algoritmo e successivamente anche alla realizzazione di una sua macchina, sulla quale fondarono poi le basi la progettazione dei moderni computer. Grazie ai suoi studi Alan Turing era stato in grado di dare una definizione di quella che è l'intelligenza artificiale già negli anni 30. Considerato uno dei più brillanti crittoanalisti britannici, il suo contributo non si sofferma solo alle scienze matematiche e informatiche, esso infatti durante la seconda guerra mondiale diede un rilevante contributo nella decifrazione dei messaggi tedeschi, sviluppando una serie di tecniche per la loro violazione. Morì suicida il 7 giugno 1954 all'età di 41 anni, nella cittadina di Manchester, in seguito alle persecuzioni subite da parte delle autorità britanniche a causa della sua omosessualità.

Il concetto di intelligenza artificiale proposto da Alan Turing deriva dall'esecuzione di una prova che vede come sfidanti l'essere umano e una macchina dotata di intelligenza artificiale. Questo test, chiamato appunto "Test di Turing", nome derivante dal suo

inventore che lo ideò nel 1950, mette alla prova l'intelligenza computazionale della macchina che deve essere in grado di rispondere a delle domande nel modo più simile e coerente a come risponderebbe un essere umano. Lo svolgimento del test prevede che una persona somministri in forma scritta delle domande alla macchina dotata di intelligenza artificiale e a un essere umano dotato appunto di intelligenza umana. Questi ultimi, una volta capita ed elaborata la domanda, dovranno fornire delle risposte. Se la persona che legge le risposte non è in grado di capire quale risposta è data dalla macchina e quale dall'essere umano, il test è concluso con esito positivo e si può affermare che la macchina disponga di intelligenza artificiale. Se ciò che accade invece è l'opposto, ovvero è facile intuire quale risposta sia data dall'essere umano e quale dalla macchina, allora il test non viene passato e non si può ancora parlare di intelligenza artificiale.

Le caratteristiche di cui deve disporre la macchina per il superamento del test sono varie e complicate, tra queste troviamo:

- la comprensione e interpretazione del linguaggio umano per permettere la comunicazione tra la macchina e l'interlocutore
- capacità di memorizzare ciò che sa e che deve apprendere
- ragionamento automatico che sfrutta la conoscenza posseduta per trarre nuove conclusioni
- l'apprendimento per trasformare ciò che apprende in conoscenza posseduta

Tuttavia progettare una macchina che sia in grado di fare tutto ciò non è per niente facile, è qualcosa di estremamente complesso e complicato. Il test prevede anche una forma più evoluta che richiede alla macchina l'interazione con l'interlocutore attraverso l'analisi delle capacità percettive e il passaggio di oggetti. Questa versione evoluta del test tuttavia implica l'installazione nella macchina di una componentistica di robotica per maneggiare gli oggetti e spostarsi fisicamente ed inoltre una visione artificiale per la percezione di questi oggetti.

Quello che è stato studiato e osservato nello svolgimento del test ha fatto emergere la capacità delle macchine di riuscire a rispondere in maniera corretta alle domande a cui erano sottoposte senza dare evidenza della presenza di un algoritmo piuttosto che di un

sistema di intelligenza umana. Tuttavia le cose cambiano quando le domande, nella loro somministrazione, presentavano contraddizioni e incoerenze; la macchina in quei casi non era in grado di capire la domanda e di fornire dunque una risposta. Inoltre un ulteriore limite della macchina si verificava quando la risposta richiedeva capacità intrinseche nella forma umana come il ricorso ad emozioni e empatia nell'analisi del contesto somministrato.

Benché il test sia stato ideato più di 70 anni fa, bisogna riconoscere la sua ancora attualità e il suo utilizzo ai giorni odierni. Un merito che va riconosciuto a Turing per la capacità di sviluppare una prova che nel complesso racchiuda un po' tutte quelle che sono le abilità richieste per lo sviluppo di un sistema dotato di intelligenza artificiale. Tuttavia negli anni a seguire gli studiosi non si sono cimentati troppo nello sviluppare una macchina che soddisfi tutti i requisiti per il superamento del test, ma si sono focalizzati nello studiare quelli che sono i principi e punti cardine dello sviluppo della materia.

1.3.2 L'approccio della modellazione cognitiva

L'approccio all'intelligenza artificiale secondo il modello cognitivo si basa sulla considerazione del pensiero umano. Secondo questo criterio per poter definire se una macchina è in grado di pensare come un essere umano, è necessario prima andare a definire e capire come un essere umano pensa. Il modello cognitivo va dunque a capire quali sono i meccanismi di ragionamento tipici del cervello umano. Per far ciò esistono due metodi, l'introspezione oppure la sperimentazione psicologica. La prima, l'introspezione si tratta di una sorta di penetrazione all'interno del cervello umano per andare a raccogliere tutti i pensieri e ragionamenti che scorrono in un dato momento. La seconda, la sperimentazione psicologica, si tratta di utilizzare il metodo sperimentale, in modo non invasivo, nell'analisi dei processi cognitivi. (Luis Franco,2014)

Questi due metodi, che possono essere usati anche simultaneamente per uno studio più accurato e preciso, hanno lo scopo di andare a definire una quanto più possibile precisa teoria della mente umana, spiegandone i motivi e le determinanti delle varie scelte. Una volta fatto ciò è possibile andare a elaborare un software, che operi secondo questa

teoria emersa, permettendo così alla macchina di compiere alcuni ragionamenti tipici della mente umana. Le scienze cognitive si pongono l'obiettivo di combinare i modelli informatici sviluppati dall'intelligenza artificiale, con le tecniche di psicologia sperimentale, al fine di riuscire a creare delle teorie rigorose e dimostrabili sul funzionamento della mente umana. Ciò che è chiaro ormai, e sul quale tutti gli studiosi concordano, è che le due materie continuano a fertilizzarsi a vicenda. Il contributo che una scienza da all'altra è reciproco e genera un legame che, specialmente nelle aree della visione, del linguaggio naturale e dell'apprendimento, stimolano nuove ricerche e un continuo progresso nello studio delle materie.

1.3.3 L'approccio al pensiero razionale

L'approccio all'intelligenza artificiale secondo il modello razionale si basa nella determinazione del pensiero corretto, ovvero in quella serie di ragionamenti corretti e inconfutabili. Il pensiero razionale su cui si basa questo approccio all'AI fonda le sue origini in tempi passati. Tra le prime figure che si sono cimentate nella determinazione di quello che è considerato il "pensiero giusto" fu il filosofo greco Aristotele.

Noto sicuramente per il suo sillogismo, Aristotele lo utilizza come metodo centrale della logica. Questo viene visto come un ragionamento dove date determinate premesse corrette, derivano necessariamente determinate conclusioni corrette.

Per esempio, "Tutti gli uomini sono mortali (prima proposizione, premessa maggiore) - Socrate è un uomo (seconda proposizione, premessa minore) - Socrate è mortale (terza proposizione, conclusione) ". Ciò diede così ampio spazio al campo della logica, sulla base di queste leggi, si supponeva si basasse il pensiero umano. Per quanto affascinante siano stati gli sviluppi degli studi che riguardo l'argomento, non verranno approfonditi ulteriormente in questa sede in quanto ciò che è stato riportato è sufficiente a capire su quali basi si fonda l'approccio razionale nello sviluppo dell'intelligenza artificiale.

In tempi più recenti, già nel 1965, la scienza informatica era riuscita a concretizzare in una macchina, l'applicazione di quello che è il pensiero razionale. In questi anni si disponeva già di computer in grado di applicare un ragionamento logico nella ricerca di una soluzione, dato un certo problema. Un primo limite di questa macchina si notava

nella semplice ricerca di una soluzione che non esisteva, in quanto la macchina non era in grado di capire l'assenza di una soluzione e concludere la sua ricerca, ma continuava a ricercarla all'infinito. Sulla base di questi programmi razionali intelligenti, si basa la costituzione di quello che è il concetto di intelligenza artificiale secondo il modello dell'approccio razionale.

Questo modello presenta sostanzialmente due difficoltà che complicano la sua attualizzazione. Il primo riguarda la concretizzazione di una soluzione dal modello teorico al modello poi pratico. Il problema sta nella differenza tra riuscire a risolvere un problema in linea di principio e poi invece farlo nella pratica. La seconda difficoltà sta poi nella traduzione di una conoscenza complessa in termini più formali richiesti dalla notazione logica, nello specifico quando la conoscenza è di carattere incerto. Inoltre un limite che non va trascurato, che deriva dall'utilizzo di questi sistemi, è la limitata disponibilità di risorse computazionali. Nell'analisi dei fatti presi in esame dalla macchina, la molteplicità di soluzioni disponibili e il numero elevato di fattori considerati contemporaneamente; possono esaurire e colmare le risorse di calcolo prima ancora che la macchina sia stata in grado di arrivare a una soluzione. Sebbene questi problemi possono sorgere in tutti i sistemi che cercano di arrivare a un sistema di calcolo intelligente e quindi all'avvicinarsi al concetto di intelligenza artificiale, sono sorti per primi nella tradizione logica.

1.3.4 L'approccio secondo l'agire razionalmente

Questo approccio si discosta dagli altri modelli per la presenza di un soggetto che agisce in modo razionale. Figura fondamentale è quindi l'agente, ovvero colui che agisce e fa qualcosa. Tuttavia distinzione deve essere fatta per gli agenti computazionali, che si discostano dai tradizionali programmi per la presenza di caratteristiche distintive quali la capacità di operare autonomamente, la capacità di cogliere e comprendere il contesto in cui devono operare, adattarsi al cambiamento e scambiarsi a vicenda gli obiettivi e proseguire nello svolgimento di un'attività per un tempo anche molto lungo. Il modo in cui agisce l'agente razionale è fine al raggiungimento del miglior risultato ottenibile e qualora ciò non fosse determinabile, lavora per il miglior risultato atteso. Riguardo a

quello che è l'approccio all'AI, ci si basa su quelle che sono le "leggi del pensiero". In questo caso l'agente deve avere la capacità di formulare deduzioni corrette e ragionare in modo razionale, seguendo quindi dei ragionamenti logici che lo porteranno al raggiungimento dei propri obiettivi. Tuttavia la deduzione derivante da una conseguenza logica non è sempre proveniente da un ragionamento razionale, si verificano infatti situazioni dove non c'è sempre una cosa giusta da fare malgrado però una scelta debba essere fatta. Ancora, ci sono vari comportamenti logici che non fanno riferimento solo all'aspetto razionale. Essi richiedono ugualmente dover fare qualcosa di giusto e corretto, ma magari in tempi più rapidi di quelli richiesti da un atteggiamento razionale. Pensiamo per esempio a una mano vicino a un fornello acceso, la rapidità nel ritirare la mano prima che si scotti, genera benefici maggiori rispetto a un'azione più lenta generata da un ragionamento attento e razionale.

Per affrontare in maniera corretta le diverse situazioni che la realtà ci propone e prendere sempre la decisione più giusta, dobbiamo essere in grado di sviluppare e poi applicare un nostro ragionamento basandoci su quella che è la conoscenza che possediamo. L'apprendimento e la comunicazione sono solo due delle diverse abilità necessarie all'intelligenza artificiale per comprendere e comunicare con la realtà del mondo con cui dovrà relazionarsi e interagire. Le singole abilità non devono essere fine a se stesse, l'agire razionalmente richiede che tutte le capacità vengano combinate tra loro nel raggiungimento degli obiettivi, solo così si potrà generare un valore più che meramente additivo delle singole.

Due sono i vantaggi che derivano dallo studio dell'AI come progettazione di agenti razionali. Il primo è dato dal fatto che il meccanismo di deduzione col fine di sottolineare una conseguenza logica è un meccanismo utile al raggiungimento della razionalità, ma non necessario. Il secondo invece riguarda l'approccio scientifico che fa riferimento al comportamento umano e al suo modo di pensare. Se da un lato la razionalità è generalmente applicabile e i suoi standard sono chiaramente definiti; il comportamento umano invece è ben adattato a un ambiente specifico ed è frutto di un lungo processo evolutivo sconosciuto ancora lontano dal raggiungimento della perfezione. In conclusione è fondamentale capire che raggiungere una perfetta razionalità, ovvero nel

fare sempre la cosa giusta, non è possibile nei contesti complicati. Lo stesso cervello umano quando si trova in situazioni complesse si trova in difficoltà nello scegliere in modo razionale la soluzione più corretta. Quanto detto vale ancor più nell'applicazione dell'intelligenza artificiale, le variabili da considerare e il numero di casi possibili nella determinazione della scelta giusta da fare, crescono esponenzialmente e esauriscono in breve tempo le risorse computazionali della macchina. Riguardo a ciò inoltre si aprono gli studi riguardanti la razionalità limitata, la capacità di agire in modo appropriato quando non c'è il tempo di svolgere tutti i calcoli necessari per prendere la scelta più giusta.

1.4 L'intelligenza artificiale oggi e le sue potenzialità per il domani

L'I.A oggi giorno è ampiamente utilizzata in quasi tutti i settori, dagli inizi degli anni 2000 la sua applicabilità ha trovato riscontro in molte forme e soluzioni.

Basti pensare l'utilizzo che facciamo oggi delle tecnologie informatiche e di quanto queste facciano parte della nostra vita e soprattutto del nostro mondo lavorativo. Gran parte delle innovazioni che oggi vengono sviluppate si basano sull'I.A e sono possibili grazie al lavoro di molti studiosi svolti anni fa.

Oggi, lo scenario che ci presenta l'intelligenza artificiale vede come maggiori protagoniste le Big Tech. Le più grandi aziende multinazionali dell'IT sono tra le maggiori investitrici del settore. Aziende dunque come Facebook, Amazon, Apple, Microsoft e Google sono tra i nomi più frequentemente ricorrenti quando ci si addentra nel mondo dell'I.A moderno. Le Big tech investono miliardi di dollari ogni anno in ricerca e sviluppo di nuove applicazioni dell'I.A, portando avanti diversi progetti innovativi in vari settori.

Se prendiamo per esempio il colosso hi-tech, Amazon, possiamo notare come la sua strategia di diversificazione del business gli permetta di essere presente in diversi settori, quali il settore logistico, dello streaming video e audio, il settore musicale, il settore domotico, il settore e-commerce e quello letterario. Questo permette uno sviluppo dell'I.A e una sua applicazione in diversi settori che sempre più sfruttano queste

tecnologie intelligenti per crescere.

Le grandi multinazionali sopra citate, non sono solo in grado di formare nuove startup innovative nel campo dell'I.A, ma anche a dar vita a progetti di ricerca già in essere come le traduzioni linguistiche, il riconoscimento vocale, l'identificazione dei volti, immagini etc.

Vediamo in seguito una serie di esempi di come l'Intelligenza artificiale sia oggi utilizzata nei diversi settori e come viene applicata.

- Nel settore Marketing:

L'utilizzo dell'I.A per quanto riguarda le strategie di marketing hanno dato vita a una vera e propria nuova disciplina, l'"Artificial Intelligence Marketing". Questo ramo del marketing, sfrutta le nuove tecnologie in ambito di A.I , come il "Machine Learning" e il "Natural Language Processing" insieme a tecniche matematiche, scientifiche e di studi comportamentali per andare a definire la migliore strategia e applicazione dei sistemi pubblicitari in grado di attirare maggiormente l'attenzione del consumatore. Attraverso l'uso di algoritmi e del "Machine learning" si va a spingere una persona ad utilizzare un servizio, piuttosto che acquistare un prodotto o compiere una determinata azione desiderata. Per far ciò è tuttavia necessario raccogliere una quantità di dati consistente che verrà poi analizzata per determinare di volta in volta quale sia la strategia, l'azione o la tecnica di comunicazione e vendita più adatta (quella più efficace che abbia un potenziale di successo maggiore in base all'utenza target).

Gli strumenti più utilizzati dalle Hi-Tech per raccogliere queste informazioni, in realtà sono molto più vicini a noi di quanto pensiamo. Assistenti vocali/virtuali (Siri di Apple, Alexa di Amazon, Cortana di Microsoft) e chatbot, sono tra i più utilizzati; in quanto sono in grado di sfruttare l'I.A per il riconoscimento del linguaggio naturale ma anche per l'analisi delle abitudini e dei comportamenti che ogni giorno gli utenti svolgono. Attraverso l'interazione con questi dispositivi l'utente involontariamente comunica con il dispositivo, trasmettendo in tempo reale dati per lo studio e la comprensione del "sentiment" e delle proprie esigenze. Ciò permette di definire l'user experience, migliorare il servizio di assistenza e support, ma soprattutto delineare un profilo

personalizzato per ogni utente così da studiare i suoi comportamenti d'acquisto e sviluppare una strategia di comunicazione personalizzata e più efficace, a volte in grado di prevedere anche i futuri bisogni del consumatore. ("Marketing in the Age of Alexa", Niraj Dawar, Harvard, 2018)

-Nel settore sanitario e dell'HealthCare: Spesso negli anni la tecnologia è riuscita a dimostrare come il progresso scientifico e medico dipendano sostanzialmente anche da quello tecnologico. Ciò si conferma anche nel caso dell'I.A , la quale viene utilizzata per migliorare ulteriormente dispositivi già in uso da persone disabili , per esempio i sistemi vocali sono in grado di permettere una comunicazione naturale anche a chi non è in grado di parlare. L'uso dei sistemi intelligenti tuttavia non si limita a questo, nel campo medico l'A.I viene utilizzata nella lotta contro i tumori e il cancro. Sistemi di I.A sono infatti sfruttati per la diagnosi e la ricerca della cura più adatta da somministrare al paziente, anche in casi molto complessi e complicati. Ciò è possibile grazie alla capacità del sistema intelligente di riuscire a ricercare informazioni significative attraverso l'analisi di pubblicazioni scientifiche, ricerche, dati sui farmaci, cartelle cliniche etcc., e riuscire così a fornire diagnosi accurate in brevissimo tempo, cosa determinante nella cura di queste patologie. Ancora, i sistemi A.I svolgono importanti servizi di assistenza e supporto al personale nelle sale operatorie. L'implementazione del 5G e l'uso di intelligenza artificiale combinati assieme, aprono nuove possibilità al campo della chirurgia a distanza, grazie alle quali sarà possibile avere il supporto a distanza di chirurghi specializzati che potranno operare le persone anche senza essere fisicamente presenti in sala operatoria. Quanto detto è già realtà in molti ospedali all'avanguardia. (Annals of internal medicine).

-Nel settore della pubblica sicurezza:

Le potenzialità computazionali applicate all'analisi intelligente dei dati da parte dell'A.I può generare un beneficio comune derivate dalla prevenzione di attacchi terroristici o scene di pericolo che minacciano la sicurezza pubblica. L'uso combinato di telecamere e fotogrammi analizzati in tempo reale dai sistemi di A.I permette l'identificazione di

persone e soggetti poco raccomandabili o che addirittura sono stati allontanati dal paese e permettere di conseguenza un intervento tempestivo delle forze dell'ordine limitandone al massimo le conseguenze. Queste sono spesso utilizzate nei varchi d'ingresso dei vari paesi come aeroporti, stazioni ferroviari, grandi porti o grandi piazze dove passano migliaia di persone al giorno ed è difficile mantenerne la sicurezza e il controllo. (Law Enforcement's Use of Facial Recognition Technology, FBI, 2017).

L'impiego dei sistemi autonomi, in particolare quelli basati sull'A.I ricopre grande importanza in ambito militare. Secondo uno studio pubblicato dal centro studi Belfer di Harvard nel 2018 viene mostrato come la spesa annuale per la ricerca nel campo dell'intelligenza artificiale da parte del Department of Defence (DoD) sia raddoppiata, passando da 400 milioni di dollari nel 2012 a 800 milioni di dollari nel 2017, affermando addirittura che l'impatto che avrà l'A.I per gli impieghi militari sarà analogo a quello prodotto dallo sviluppo dell'arma nucleare. (Harvard Kennedy School, Belfer Center: "Artificial Intelligence and National Security, aprile 2018)

-Nel settore della sicurezza informatica:

Utilizzata anche per la prevenzione di frodi, l'A.I è in grado di svolgere analisi molto sofisticate in grado di combinare eventi, operazioni comportamenti e abitudini per scovare attività fraudolente. Vengono chiamate "advanced analytics" e sono frutto delle potenzialità dell'A.I, dalle quali è possibile risalire a clonazioni di carte di credito o esecuzioni di transazioni non autorizzate, riducendo così in genere e frodi fiscali. Queste tecniche di analisi vengono sempre più implementate anche dentro ai sistemi informativi delle grandi aziende con scopi quali la mitigazione dei rischi, la lotta al cybercrime e la protezione delle informazioni e dei dati sensibili.

-Nel settore Automotive:

L'utilizzo dell'intelligenza artificiale ricopre poi un ruolo chiave anche nel settore automobilistico. Uno dei settori che più sta vivendo una transazione digitale, non solo nei sistemi produttivi e nella produzione e assemblaggio delle autovetture, ma anche all'interno delle vetture stesse; le quali comprendono al loro interno sempre più

tecnologia e sistemi intelligenti in grado di portare l'automobile verso una totale guida autonoma. Come andremo ad approfondire successivamente, il settore automobilistico si sta prestando sempre più, ad implementare l'I.A all'interno delle autovetture. Alcune delle applicazioni di questa tecnologia all'interno dell'auto riguardano sia la guida autonoma che richiede l'elaborazione e l'analisi in tempo reale dei dati raccolti dai vari sensori al fine di guidare la macchina per le strade della città, ma non solo, anche la manutenzione predittiva e quindi l'uso dell'A.I per ricucire a prevenire o riparare eventuali malfunzionamenti dell'auto evitando che si guasti. Ancora l'A.I viene usata oggi all'interno dell'automobile per raccogliere i dati relativi alla vettura e alla guida svolta dal conducente, da parte delle compagnie assicurative, nel caso si verificassero sinistri stradali o incidenti così da ricostruire più precisamente la dinamica dell'incidente o definire il profilo di rischio del conducente in modo più accurato. In ultimo il software AI viene usato per il monitoraggio dei driver, così da personalizzare l'esperienza in base al confort del guidatore richiesto, ma anche attraverso l'analisi del volto per verificarne lo stato consenziente e il livello di attenzione alla guida per arrestarne l'utilizzo in caso non fosse idoneo.

Per permettere ai sistemi intelligenti di arrivare a compiere ragionamenti sempre più simili e vicini a quelli che compie la mente umana, i ricercatori si sono focalizzati non solo sullo sviluppo di sistemi di I.A e di algoritmi sempre più elaborati e sofisticati, ma anche nell'aumentare il numero di questi ultimi. La strada intrapresa è stata quella di combinare assieme l'uso di più algoritmi capaci di imitare i diversi comportamenti a seconda degli stimoli ambientali. La combinazione di questi algoritmi su cui l'A.I si basa, permette alle macchine di "prendere decisioni" e fare delle scelte, anche complesse, in base al contesto in cui si trovano. Nel caso dei sistemi intelligenti di guida autonoma per esempio, la scelta che può fare il computer di bordo in caso di pericolo potrebbe essere o quella di frenare o quella di sterzare (con relative conseguenze). Si può capire quindi che in base al contesto in cui si trova l'automobile, il sistema deve prendere una decisione che possa massimizzare la sicurezza del conducente e dei passeggeri. In alcuni casi quindi sarà più corretto fare una brusca frenata, in altri casi invece, una sterzata con

relativo cambio di direzione potrebbe essere la scelta più opportuna. Questa è una delle tematiche che ancora oggi il settore della guida autonoma sta cercando di risolvere.

I sistemi di I.A sono formati idealmente da due tipologie di conoscenza. La prima è una conoscenza di base che è formata dalla conoscenza che il sistema possiede già al suo interno e che viene trasmessa tramite il processo iniziale di training; la seconda è invece una conoscenza più allargata, ovvero quella conoscenza creata tramite l'esperienza che il sistema acquisisce e incrementa sempre più durante il suo utilizzo.

La continua ricerca nel rendere gli algoritmi sempre più precisi e complessi, ha portato gli studiosi a studiare tutte le possibilità di ragionamento della mente umana, per simularne poi il funzionamento e trasferire tali sistemi logici alle macchine, tramite comandi sempre più precisi e dettagliati.

Come precedentemente spiegato, anche la conoscenza dell'uomo si basa su due aspetti differenti. Il primo è dato dalla conoscenza pura che l'individuo possiede e che può incrementare attraverso una propria formazione teorica, come possono essere libri o qualsiasi materiale di studio; la seconda invece è data dall'esperienza, ovvero la possibilità di apprendere nuove informazioni tramite quelle già possedute.

Le informazioni vengono poi trasferite alla macchina secondo diverse modalità, tra le più usate sono quelle che si basano sulla "Teoria dei linguaggi formali" e sulla "teoria delle decisioni". La prima teoria si rifà agli approcci quali: l'approccio generativo, riconoscitivo, denotazionale, algebrico e trasformazionale che riprendono il concetto di stringa e dei suoi utilizzi. L'utilizzo delle stringhe rappresenta veri e propri linguaggi formali le cui proprietà cambiano a seconda dell'approccio utilizzato. In base al tipo di risposta e ai risultati che si vuole ottenere dalla macchina, in base alle differenti situazioni, si può decidere quindi di utilizzare un approccio piuttosto che un altro.

La seconda teoria invece, quella delle decisioni, concettualmente si ispira a un albero di decisioni, secondo il quale è possibile valutare ogni possibile azione e decisione con le rispettive conseguenze, identificando così la scelta migliore da prendere. In base alle impostazioni e allo scopo del programma, il sistema prenderà la scelta che più ottimizza il risultato che si vuole ottenere.

1.5 Deep Learning

1.5.1 Cos'è il deep learning

Il Deep Learning, che tradotto in italiano letteralmente significa “apprendimento profondo”, è una branca del Machine Learning; la quale a sua volta è una sottocategoria dell’Intelligenza Artificiale che, come precedentemente spiegato, fa capo al concetto di sistemi intelligenti artificiali che si basano sulle reti neurali profonde, ovvero reti neurali di nuova generazione che si basano su diversi strati di neuroni per cercare di compiere ragionamenti tipici della mente umana.

Il Deep Learning è una sorta di processo grazie alla quale la macchina è in grado appunto di apprendere, analizzando in maniera autonoma, una grande varietà di dati che vengono processati e appresi grazie a degli algoritmi.

Questa tecnologia, che appunto si basa sul concetto di reti neurali, viene applicata oggi in diversi ambiti quali per esempio nel riconoscimento audio e nella comprensione della lingua parlata, nella bioinformatica attraverso lo studio dei geni, delle proteine e dei processi biochimici, ma anche nella computer vision. Quest’ultima in particolare è l’elemento chiave sulla quale si basano i sistemi moderni di guida autonoma delle autovetture, e verrà analizzata, nello specifico dell’Autopilot di Tesla, nei capitoli seguenti.

La disciplina del Deep Learning, è una materia di studio relativamente recente che base le sue origini come approfondimento di quelle che erano già molti anni prima le aree di ricerca e sviluppo dell’Intelligenza artificiale e del machine learning. Negli ultimi anni i progressi che si hanno avuto in queste discipline e le nuove necessità che richiedeva la nostra società, hanno portato allo studio di questa branca dell’I.A.

Il termine “Deep Learning” fu coniato, nel 2006, da colui che alcuni considerano “il padre del deep learning”, ovvero lo psicologo cognitivo e informatico inglese canadese Geoffrey Everest Hinton.

Hinton, figura sicuramente di riferimento nel campo del deep learning, diede il suo contributo alla ricerca già molti anni prima; fu infatti il primo ricercatore a dimostrare l'uso di un algoritmo di backpropagation generalizzato per l'addestramento di reti neurali multistrato e introducendo anche la “Boltzmann Machine” (Hinton, Williams, Rumelhart, 1985).

Grazie a questi sistemi di apprendimento automatici, si potrebbe definire il deep learning come un sistema che sfrutta una serie di algoritmi automatici per che si basano su:

1) gli algoritmi utilizzano una serie di livelli a cascata, dove l'output di un livello diventa l'input del livello successivo, ciò avviene fino alla determinazione del risultato finale. Inoltre l'applicazione degli algoritmi introducono l'analisi di pattern, che utilizzano l'apprendimento non supervisionato, ed inoltre la classificazione attraverso un apprendimento supervisionato.

2) Fanno parte della classe di algoritmi dell'apprendimento automatico

3) Gli algoritmi si basano sull'apprendimento autonomo non supervisionato, dove i dati attraversano diversi livelli gerarchici, quindi dove le caratteristiche del livello più alto, derivano da quelle del livello ad esso subordinato.

4) apprendono in modo multi livello, ogni livello corrisponde a un certo grado di astrazione, sono organizzati secondo una certa gerarchia.

Il sistema di deep learning è quindi in grado di permettere alla macchina di classificare e strutturare gerarchicamente, in modo autonomo, i dati raccolti; grazie all'apprendimento continuo, la macchina è in grado di capire da sola quali dati sono più importanti e rilevanti alla soluzione del problema.

1.5.2 Le reti neurali artificiali

La caratteristica fondamentale che permette al deep learning di essere così ampiamente utilizzato oggi nella risoluzione dei problemi che richiedono un approccio intelligente nell'analisi dei dati rilevanti al fine di trovare una soluzione è la sua capacità di apprendere in modo profondo. Con questa tipologia di apprendimento, intendiamo la capacità della macchina di simulare quanto più possibile un ragionamento logico simile a quello della mente umana. Il cervello umano sfrutta le connessioni neurali messe in moto dai neuroni biologici per arrivare formulare una deduzione logica, a una risposta ce si basi su un ragionamento sensato per arrivare a fornire una risposta al problema; ciò viene fatto in maniera simile anche attraverso il deep learning che sfrutta le reti neurali per analizzare una grande vastità di dati e trarre una soluzione.

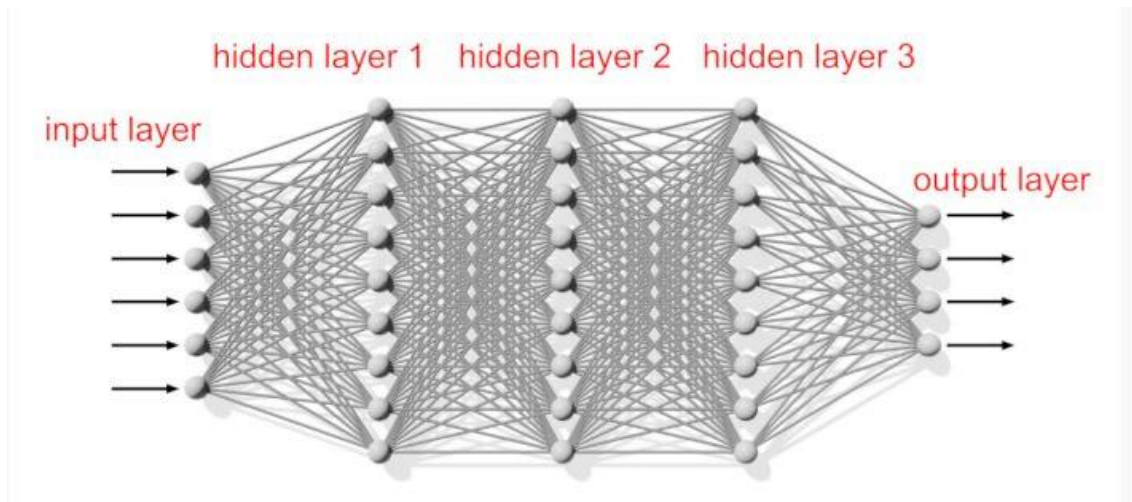
Le reti neurali artificiali sono appunto insiemi di algoritmi di calcolo basati su modelli matematici e informatici che generano una serie di interconnessioni di informazioni come fanno le reti neurali biologiche.

La capacità di queste reti neurali di adattarsi e modificare la loro struttura, i loro legami, i nodi e le interconnessioni permette alla rete di variare la sua struttura sulla base di informazioni interne o esterne, questo processo di addestramento cambia in base alla tipologia di dati forniti in pasto al sistema che in questo modo apprende e ragiona in modo autonomo. Fondamentale attenzione è quindi la tipologia e la "qualità" dei dati con la quale il sistema viene allenato, in quanto la presenza distorsioni all'interno dei dati possono portare a soluzioni non richieste. Questo e altri problemi verranno approfonditi in questo lavoro in seguito.

1.5.3 Come funziona

Il Deep Learning, come accennato precedentemente, sfrutta le reti neurali per simulare i processi di apprendimento caratteristici della mente umana attraverso l'uso di sistemi artificiali. Ciò permette alla macchina sia di apprendere in modo autonomo, ma anche di farlo in modo più "profondo". Quando si parla di apprendimento profondo, si fa

riferimento al numero di livelli nascosti a cui la macchina fa riferimento; le prime reti neurali erano composte da qualche livello, un paio o pochi di più, le reti neurali profonde invece superano abbondantemente anche più di un centinaio di livelli.



Le reti neurali profonde sono costituite da un numero elevato di livelli nascosti (hidden layer), i quali identificano ognuno un livello di astrazione, più questi livelli sono numerosi e più è incomprensibile anche all'uomo capire come la macchina abbia generato un certo risultato. Il livello di astrazione delle reti neurali fa riferimento in parte a quella che è la teoria dei circuiti booleani, dove si studia la complessità computazionale per determinare le risorse minime necessarie per la risoluzione di un problema.

Un esempio di come funziona una rete neurale profonda applicata al riconoscimento visivo dei pattern può essere immaginato come se ad ogni livello i neuroni fossero in grado di analizzare e aggiungere sempre più informazioni. Il primo livello potrebbe per esempio riconoscere i bordi, il secondo livello invece forme più complesse come quelle geometriche, il terzo livello identificare qualche dettaglio in più, il quarto livello riconoscere oggetti semplici e via dicendo, all'aumentare di ogni livello il numero di informazioni aggiunto cresce e si arricchisce incrementandosi sempre di più. La struttura a livelli permette una scalabilità della rete sempre maggiore, è intuibile come al crescere di livelli aumentino le informazioni assorbite dal sistema, che può analizzare il problema in modo sempre più accurato e fornire così un output di maggiore precisione e coerenza.

I vari livelli di astrazione sono così in grado di amplificare la rete neurale in modo esponenziale e permettere al sistema di risolvere problemi sempre più complessi (Jimmy SJ. Ren et al., 2015).

È quindi facile capire che tanto più una rete neurale profonda è strutturata, composta da vari livelli nascosti e ampia, tante più informazioni è in grado di analizzare e fornire così un risultato più efficace; tuttavia ciò è limitato sostanzialmente da tre fattori principali, il primo riguarda la base di dati dalla quale si apprendono le informazioni, il secondo dai modelli statistici-matematici utilizzati e in ultimo dalle disponibilità di risorse computazionali a disposizione.

1.5.4 Differenza tra machine learning e deep learning

Se negli anni l'IA ha avuto uno sviluppo sorprendente e con risultati entusiasmanti che gli permisero di essere applicata oggi in molteplici ambiti e situazioni anche molto diverse, quello che emerge da un'analisi della sua "evoluzione" identifica sostanzialmente una maggiore concentrazione dei filoni di ricerca in base al periodo storico. Un recente studio svolto dal MIT Technology review ha analizzato 16.625 documenti riguardanti l'intelligenza artificiale, pubblicati su uno dei più grandi database open source di articoli scientifici, noto come arXiv di degli ultimi 25 anni, al fine di scoprire quali fossero i più importanti filoni di ricerca in ambito di IA. Ciò che è emerso dallo studio è stato che gli ambiti di ricerca volti allo studio del machine learning si concentrano per la gran parte nel decennio degli anni 90 fino agli anni 2000; successivamente dagli anni 2000 in poi gli i ricercatori si interessarono maggiormente a quello che è il concetto di deep learning e la sua applicabilità nelle realtà odierne. In ultima sta suscitando particolare interesse in questi ultimi anni una nuova applicazione dei sistemi intelligenti autonomi, il reinforcement learning (MIT study, Karen Hao archive, 2019).

Una delle cause per la quale i sistemi di deep learning hanno suscitato maggior interesse principalmente negli ultimi anni, si coglie nelle differenze che lo distingue dal machine learning. Uno dei fattori chiave che distingue il del deep learning è la sua scalabilità; sebbene la richiesta di capacità computazionali enormi possa rappresentare un limite,

l'aumento degli algoritmi e la disponibilità di dati permettono a questo sistema di poter crescere e sfruttare una scalabilità sempre maggiore.

I sistemi di apprendimento superficiale (machine learning), una volta raggiunto il loro limite performativo, non sono in grado di crescere ulteriormente; il processo di allenamento delle reti neurali, con l'inserimento di ulteriori dati e algoritmi, non è in grado di generare una performance superiore del sistema. Diversamente accade invece nel deep learning, dove la scalabilità del sistema aumenta all'aumentare della quantità di dati e informazioni dati in pasto alla rete neurale che può sviluppare performance superiori all'aumentare della base di dati somministrata.

Tale differenza deriva dal modo in cui i due sistemi sono in grado di apprendere, nel machine learning infatti il modello sulla quale si basa poi il sistema per categorizzare gli oggetti, viene definito manualmente; vengono selezionate ed estratte manualmente le caratteristiche da analizzare sulla quale poi il modello baserà le sue scelte. Nel Deep learning invece la selezione e definizione delle caratteristiche che il modello andrà ad analizzare sono definite in modo automatico, la rete neurale profonda è in grado da sola, analizzando una vastissima quantità di dati, di capire quali caratteristiche prendere in considerazione, senza la necessità che queste gli vengano espressamente segnalate. La superiorità del deep learning in questo processo di apprendimento è nettamente superiore e più evoluta di quella primaria del machine learning e ciò ha permesso una interazione più intelligente del sistema con la realtà e i problemi sottoposti.



“Confronto di un approccio di machine learning (a sinistra) e deep learning (a destra) nella categorizzazione dei veicoli”

Va considerato tuttavia che la potenza di calcolo necessaria per sostenere un sistema di deep learning è notevole. Le potenze di calcolo necessarie a questa tecnologia, che oggi sono disponibili, non lo erano pochi anni fa. Inoltre è necessario combinare diverse componenti tecniche come le CPU e le GPU per poter supportare una potenza di calcolo sufficiente a sostenere queste reti neurali profonde, che tengono occupate le risorse computazionali anche diverse ore se non addirittura giorni interi. Infine la differenza economica da sostenere per implementare un sistema deep learning piuttosto che semplicemente di machine learning non è da trascurare.

1.5.5 Come si addestra un sistema di Deep Learning

I sistemi basati sull'intelligenza artificiale per operare in modo efficace ed efficiente richiedono un processo di apprendimento il quale viene svolto attraverso lo sviluppo di un processo di addestramento. L'apprendimento è stato sempre uno dei problemi principali da risolvere per chi si occupava di intelligenza artificiale, e negli anni diversi furono i tentativi di implementare un processo di addestramento in grado di far apprendere le informazioni in modo corretto al sistema. Un processo di training svolto in maniera errata, comporta a sua volta l'elaborazione di una soluzione sbagliata o con la presenza di distorsioni nei risultati proposti. I dati sono di fatto il "libro di studio" delle reti neurali, attraverso il quale il sistema impara a riconoscere e catalogare le informazioni. Un contributo essenziale per agevolare i ricercatori nella fase di addestramento delle macchine fu svolto nel 2009; quando un gruppo di ricercatori universitari del dipartimento di informatica di Princeton, e la professoressa Fei-Fei Li, docente di informatica all'Università di Stanford riuscirono per la prima volta a dare vita alla più grande piattaforma di immagini catalogate, nasce così ImageNet (Li Fei-Fei, 2015).

Questo database di immagini catalogate, fu il primo archivio contenete appunto più di 14 milioni di immagini catalogate manualmente, indicando e segnalando gli oggetti

contenuti e rappresentati in ogni singola foto. Grazie alla formazione di questo database i ricercatori possono allenare i sistemi di deep learning a aiutarli riconoscere le immagini, migliorando notevolmente la loro performance e riducendo il tasso di errore.

Secondo gli studi riportati dal Financial Times, a seguito di tale evento, non solo all'interno dell'ambito della ricerca, ma anche nel settore tecnologico-industriale, è aumentato l'interesse nei confronti del deep learning e delle sue applicabilità industriali, cosa che prima erano appunto limitata all'interesse dell'ambito della ricerca. Aziende come Microsoft e Amazon hanno costruito, negli anni a seguire, reti neurali profonde composte da centinaia di livelli che sfruttano tale database per offrire e migliorare i propri servizi, riconoscendo nel deep learning una potenzialità fonte di vantaggio competitivo (Financial Times, 2018).

Il sistema di apprendimento degli algoritmi cambia in base alla complessità della rete neurale. I sistemi di reti neurali tradizionali (machine learning) sono composti da un numero di livelli inferiori, mediamente tra i 2-3 livelli, e richiedono un apprendimento sostanzialmente lineare; i sistemi di reti neurali profonde (deep learning) invece presentano un numero di livelli che arriva anche al centinaio e una gerarchia di astrazione e complessità sempre più crescente.

Poiché, come precedentemente spiegato, i sistemi intelligenti artificiali cercano di simulare la mente umana, anche il sistema di apprendimento e allenamento di queste reti cerca di simulare lo stesso sistema di apprendimento usato dal cervello biologico.

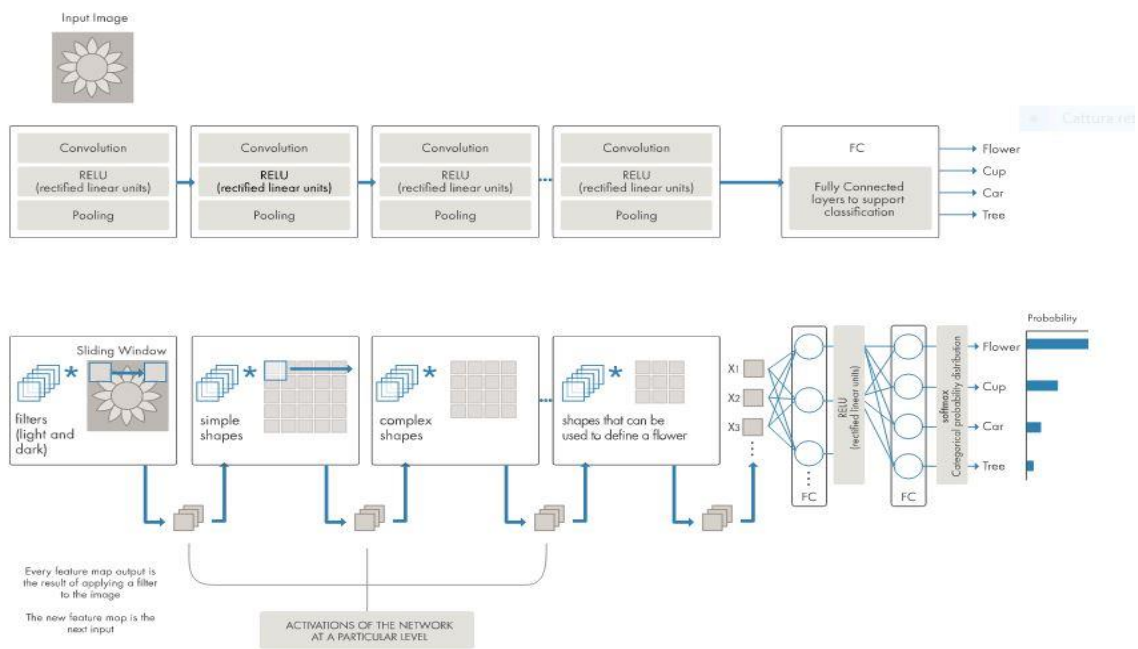
Pensiamo per esempio a un bambino piccolo che cerca di apprendere la parola "cane". Il bambino inizierà a puntare diversi animali e identificarli come un cane, i genitori tuttavia lo correggeranno dicendogli di volta in volta se l'animale puntato è effettivamente un cane oppure no. Via via che questo processo si ripete, il bambino inizierà a capire sempre meglio le caratteristiche che possiede un cane e che differenze rispetto agli altri animali, arrivando magari dopo qualche mese a identificare in modo corretto quando un animale è un cane e quando non lo è. Questo processo che la mente umana svolge inconsapevolmente è cercare di chiarire un'astrazione complessa (il cane), dove, ad ogni tentativo di individuazione del cane, vengono aggiunte informazioni

relative all'oggetto che successivamente vengono sommate a quelle già in possesso per arrivare dopo diversi tentativi a definirlo correttamente.

Allo stesso modo funziona il processo di apprendimento e allenamento dei sistemi intelligenti artificiali, i quali analizzano una vastissima quantità di dati in input e gli viene detto cos'è giusto e cosa è sbagliato. Più dati analizzano e maggiormente è strutturata la rete e meglio sono in grado di identificare correttamente la soluzione migliore.

Per svolgere queste operazioni, le macchine che utilizzano algoritmi di Deep Learning, impiegano diversi minuti o qualche ora a esaminare e ordinare milioni di immagini; il tutto viene svolto senza la necessità di specificare alla macchina la catalogazione di tutte le foto prese in esame. I sistemi di apprendimento approfondito sono in grado infatti di comprendere in modo autonomo le caratteristiche e le variabili da analizzare così da riuscire a selezionare le foto interessate senza un processo di training guidato.

Di solito nei sistemi di deep learning, l'unica accortezza, da parte dei ricercatori, è quella di assegnare dei "tag" alle immagini in base al loro contenuto. Tornando al nostro esempio, tutte le immagini contenente un cane avranno un tag: "cane". Il sistema di apprendimento approfondito sarà in grado da solo, senza l'interazione di nessuno, di riuscire a identificare le caratteristiche comuni a tutte le immagini che presentano un cane e iniziare quindi a identificarlo nelle diverse foto. Per arrivare a un risultato soddisfacente è chiaro quindi l'importanza di poter allenare l'algoritmo con una grande vastità di dati dalla quale potrà apprendere.



“Esempio di una rete con molti layer convoluzionali. A ciascuna immagine in diverse risoluzioni, vengono applicati dei filtri e l’output di ogni immagine coinvolta serve da input per il layer successivo”

È fondamentale tuttavia precisare che il processo di training deve essere svolto utilizzando dei dati già accuratamente etichettati e classificati, poiché è essenziale che, mentre il sistema viene allenato, deve apprendere in modo corretto e con un margine di errore il più basso possibile. Durante le prime fasi del training è importante usare dei database contenenti dei dati di “qualità” e quindi dati che siano stati etichettati correttamente. Una volta che l’accuratezza dell’output è arrivata a un livello sufficiente, allora sarà possibile somministrare al sistema anche dei dati che non sono strutturati, per allenarlo ulteriormente. Nella prima fase sarà quindi necessario utilizzare database di dati strutturati come ImageNet, grazie al quale il sistema di deep learning sarà in grado di apprendere in modo accurato; nella seconda fase invece sarà possibile sfruttare i Big Data come fonte di dati non strutturati per le successive fasi di allenamento autonomo del sistema.

Questi sistemi si basano su un processo di apprendimento chiamato “trial and error” ma affinché si possa ottenere un output finale apprezzabile sono necessari grandi quantità di dati.

1.5.6 Casi di applicazione

Malgrado le problematiche che i sistemi di intelligenza artificiale presentino ancora oggi, della quale parleremo in modo più approfondito nel prossimo capitolo, i numerosi sforzi della ricerca e dei ricercatori riguardo a questo argomento di studio ha permesso notevoli passi in avanti. Questo progresso nella materia è stato possibile grazie anche al contributo della tecnologia, che inevitabilmente oggi è fonte di progresso per molti campi di ricerca. La realizzazione di nuove CPU e GPU molto più performanti e in grado di offrire risultati migliori, hanno ampiamente aumentato la potenza di calcolo e le risorse computazionali a disposizione. I limiti computazionali che negli anni passati avevano frenato lo sviluppo di questa disciplina, oggi sono ampiamente superati, permettendo l'implementazione di sistemi di apprendimento profondo in molteplici campi di applicazione e nel settore industriale.

La disponibilità di potenze di calcolo superiori ha permesso così uno sviluppo delle reti neurali, che sono passate da qualche livello a centinaia di livelli, consentendo così ai sistemi artificiali intelligenti di simulare o addirittura superare le capacità della mente umana. Per questo motivo oggi troviamo applicabilità dei sistemi di deep learning in molteplici applicazioni, come il riconoscimento facciale, il riconoscimento vocale e linguistico.

Gli ambiti in cui questi sistemi hanno trovato oggi utilizzo sono vari, dal settore automotive dove grazie alla computer vision le macchine saranno in grado di spostarsi nelle strade senza la necessità di un autista che le guidi a destinazione, fino all'utilizzo di droni autonomi in grado di trasportare pacchi contenenti viveri e materiali di primo soccorso nelle zone più remote e difficili da raggiungere o che sono state colpite da calamità naturali e richiedono soccorsi veloci e tempestivi.

Ancora l'utilizzo di sistemi di riconoscimento e sintesi vocale e linguistica nel settore dei servizi alla clientela come robot e chatbot; nel settore della sicurezza dove attraverso l'uso di telecamere e del riconoscimento facciale vengono identificate situazioni pericolose o elementi sospetti.

Fondamentali sono i sistemi di apprendimento approfondito anche nel settore medico

e farmaceutico, dove aiutano i radiologi a individuare i tumori nei raggi X, ed inoltre nella creazione di farmaci più efficaci e personalizzati, grazie allo studio delle sequenze genetiche e all'identificazione delle molecole correlate alle diverse malattie; nella grande distribuzione come il supermercato senza cassa Amazon Go e nell'analisi dei sensori dell'IoT per definire una manutenzione predittiva su infrastrutture e impianti.

Quanto riportato sono esempi di applicazione del deep learning in contesti differenti, dove l'uso di sistemi intelligenti artificiali affiancati alla prestazione umana generano una performance notevolmente superiore.

In seguito vengono riportati invece i principali compiti che una macchina che sfrutta il deep learning è in grado di svolgere, e un piccolo quadro delle migliori applicazioni del sistema deep learning oggi utilizzato.

1) Colorazione automatica delle immagini:

I sistemi di deep learning oggi sono in grado di ottenere soddisfacenti risultati nella colorazione delle immagini in modo del tutto autonomo. Software basati sull'intelligenza artificiale e deep learning riescono oggi a dare una nuova vita anche a quelle che sono le immagini in bianco e nero scattate vari decenni passati. Nel 1935, grazie all'arrivo della pellicola Kodachrome venne ad esistere la prima foto a colori. Questi ultimi venivano tuttavia aggiunti solo in una seconda fase, quella dello sviluppo del negativo. Solo nel 1936 con la Agfacolor, si riuscì ad ottenere la foto a colori direttamente al momento dello scatto. Tutte le immagini precedenti a questo periodo sono in bianco e nero. Oggi grazie a software come "ColouriseSG" è possibile rivedere le vecchie foto in bianco e nero, colorate e immaginare la scena in modo più realistico. ColouriseSG è un progetto sviluppato presso il GovTech di Singapore grazie all'applicazione di ricerche di data science e intelligenza artificiale. Il sistema di reti neurali è stato allenato sfruttando il database di immagini ImageNet, già precedentemente citato, il quale ha subito un training con più di 1,3 milioni di immagini. (IEEE, 2020)

2) Giochi automatici:

Tra le applicazioni più riuscite del deep learning oggi, sicuramente riguardano anche il mondo dei giochi automatici, dove uno dei due giocatori è virtuale e simulato dalla macchina. Dopo il grande successo dell'IBM nella realizzazione della macchina Deep Blue in grado per la prima volta di sconfiggere il campione mondiale di scacchi Kasparov, oggi un'altra azienda, tra le più grandi Big Tech, è stata in grado di implementare un sistema di deep learning in grado di battere Lee Seedol, campione mondiale di Go (gioco da tavola cinese). Il supercomputer realizzato da Google si chiama AlphaGo ed è un esempio dei risultati sorprendenti che è in grado di dare un sistema deep learning affiancato dalle risorse computazionali più recenti. A differenza del gioco degli scacchi, il gioco Go è estremamente più complesso e richiede l'analisi di più di 10^{360} possibili configurazioni; gli scacchi invece per quanto anch'essi complessi, richiedono un'analisi di configurazioni molto minori. (Granter, Beck, Papke, 2017)

3) Sistema di traduzione automatica neurale:

I sistemi di traduzione automatica delle varie lingue sono stati fin dall'inizio della comparsa dell'intelligenza artificiale spunto di studio e di applicazione. I primi insuccessi si ebbero agli inizi dello studio della materia, dove si cercò di sfruttare le potenzialità dei sistemi di intelligenza artificiale per effettuare traduzioni veloci e tempestive anche in ambito militare e bellico per cercare di comprendere il materiale di studio estero. Negli anni seguenti il sistema di traduzione è stato poi migliorato notevolmente, malgrado le numerose e non semplici problematiche che un sistema di traduzione presenta. Oggi la presenza di risorse computazionali più prestanti e la conseguente possibilità di implementare dei sistemi di reti neurali in grado di apprendere in modo profondo, hanno permesso di migliorare notevolmente l'apprendimento delle relazioni tra le parole e la loro mappatura in una nuova lingua; generando così delle traduzioni più sensate. Un esempio è "Google Neural Machine Translation", il quale si pone l'obiettivo di colmare il gap tra la traduzione umana e la traduzione automatica del 55-85%. Il modello utilizzato dal traduttore di Google, è costituito da una rete LSTM profonda con 8 livelli di codifica e 8 livelli di decodifica, che sfrutta le connessioni neurali e algoritmi base di calcolo per svolgere una traduzione più veloce e ugualmente precisa qualora

fosse possibile; e invece analizza parole o frasi in modo più dettagliato quando esse sono più complesse e ricercate. I risultati ottenuti dall'azienda sono notevoli e portano il processo di traduzione automatica sempre più vicino a quello dell'uomo, ma con tempi nettamente minori. (Yonghui Wu et al. 2016)

4) Generazione di linguaggio naturale e simulazione mimica facciale:

Un'altra capacità del deep learning che ha dato negli ultimi anni sorprendenti risultati ed è sempre più utilizzata è la capacità di riprodurre una qualsiasi voce umana. I primi sistemi vocali comunicavano con una voce molto robotica, negli anni poi questo timbro vocale è stato sempre più migliorato, rendendolo sempre più simile a quello di un umano. Oggi il deep learning si spinge ben oltre, riesce a far riprodurre a una macchina una qualsiasi voce umana. Un esempio è Wavenet, un sistema artificiale intelligente che riproduce un qualsiasi discorso simulando una qualsiasi voce in modo molto più naturale dei sistemi vocali esistenti.

Sempre in questo ambito, ancora più sorprendenti sono stati i risultati ottenuti dall'università di Washington. Questa università è riuscita infatti a sviluppare un software, chiamato Face2Face, basato sulla tecnologia del deep learning e dell'intelligenza artificiale in grado di copiare i movimenti delle labbra e la mimica facciale di una persona che parla. Lo studio dimostra come è stato possibile prendere un video di un discorso dell'ex presidente degli Stati Uniti, Obama e generare un nuovo video dove lo stesso discorso veniva ripetuto dal presidente in contesti differenti ma risultando altrettanto realistico (Thies et al. 2016).

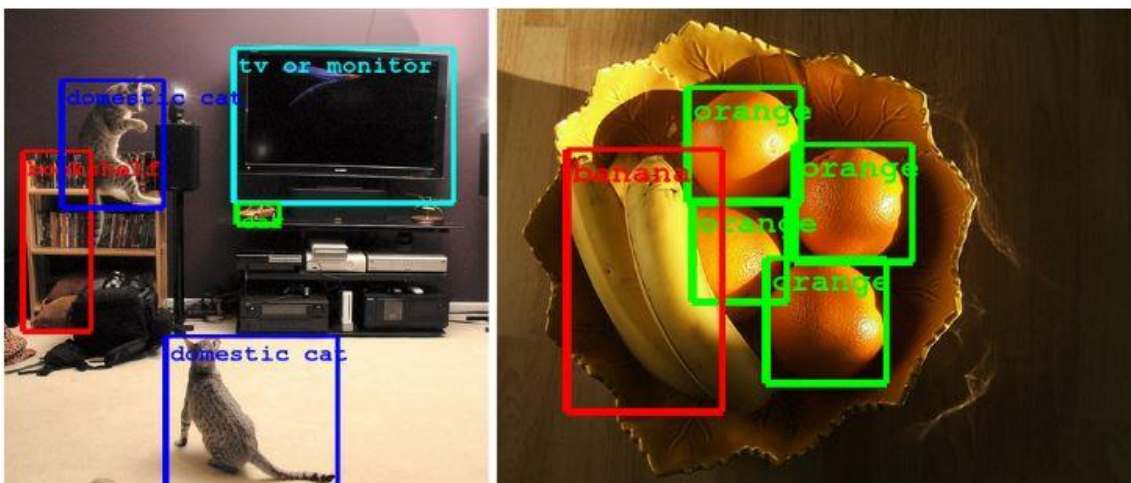
5) Aggiunta di suoni ai video muti:

L'uso di enormi database di dati abbinato alla capacità di calcolo più recenti, permettono ai sistemi di reti neurali di ricostruire con estrema credibilità anche parti di video perse. Nello specifico si tratta della capacità di recenti software in grado di ricostruire i suoni e l'intera traccia audio di video muti. Il sistema di deep learning è in grado di associare ai vari fotogrammi del video una corrispondenza sonora in base alle similitudini trovate con altri dati analizzati in un enorme database. Il processo richiede una rete neurale

altamente strutturata poiché dal video devono essere estratti dei fotogrammi, che a loro volta vengono analizzati e in base al loro contenuto il sistema cerca nel database la corrispondenza con dei suoni pre-registrati. Il risultato è pressoché perfetto tanto da rendere impossibile perfino all'uomo capire se la traccia audio del video è originale o prodotta dalla macchina. (Freeman et al. 2016)

6) Computer Vision e analisi degli oggetti:

ImageNet ogni anno tiene la più grande sfida di riconoscimento visivo su larga scala (ILSVRC), è la più grande sfida accademica nell'implementazione di sistemi a visione artificiale , che ogni anno testa la tecnologia più all'avanguardia in grado di comprendere il contenuto delle immagini, sia nel senso di riconoscimento degli oggetti che le immagini rappresentano, sia nella loro corretta posizione. Questi sistemi richiedono all'algoritmo di analizzare le immagini e iniziare a riconoscere nella maniera più precisa possibile gli oggetti che identificano, ponendo un riquadro colorato su di essi e specificando con un tag di che oggetto si tratta. La complessità di questo compito varia in maniera sostanziale in base alla tipologia di oggetti presenti nella foto, la loro dimensione e la loro posizione. Un esempio di quanto detto è riportato nella foto sottostante:



Fonte: Google AI blog

Questa capacità dei sistemi di deep learning trova applicabilità oggi in diversi contesti, per esempio nei diversi servizi offerti delle Big Tech quali la ricerca di foto, la ricerca di

immagini, YouTube, classificazione delle immagini per luogo o volto e qualsiasi luogo in cui sia utile capire cosa c'è in un'immagine così come dove sono le cose. In particolare negli ultimi anni la visione artificiale ha trovato grande interesse nel settore automotive per l'implementazione della guida autonoma. Essa è infatti l'elemento fondamentale per permettere alle macchine di sviluppare un sistema di guida che non richieda l'intervento del conducente. La capacità di identificare tutti gli oggetti catturati dai sistemi di rilevamento, identificarli correttamente e successivamente elaborare una relativa scelta con tempestività sono requisiti base per permettere alle auto con guida autonoma di consolidare la loro presenza nelle nostre strade (Erhan, 2014).

1.6 Problemi e limiti dell'intelligenza artificiale

L'uso dell'intelligenza artificiale nei sistemi sociali, produttivi e dei servizi della nostra società moderna è senza dubbio ormai assodato. L'intelligenza artificiale oggi ha permesso a molti settori di compiere passi in avanti e progredire verso l'innovazione e verso nuove sfide che fino a pochi anni fa potevano sembrare irraggiungibili o comunque molto lontane. Molti settori hanno tratto vantaggio da queste nuove tecnologie intelligenti, diventando più efficienti ed efficaci aprendo nuovi orizzonti di ricerca e sviluppo settoriale. Se da un lato l'A.I consente un progresso nello svolgimento anche di compiti complessi e difficili, permettendo di raggiungere risultati sorprendenti in settori come il consumo energetico, l'elaborazione di file audio e la diagnosi della leucemia; dall'altro lato tuttavia inevitabilmente l'I.A ricopre un ruolo di responsabilità sempre maggiore nelle nostre vite. Proprio per questa posizione di decisione e scelta che i sistemi di intelligenza artificiale possono ricoprire nelle nostre vite, è necessario definire dei limiti di applicazione di queste tecnologie e soprattutto definirne una responsabilità giuridica per sapere chi è poi responsabile di queste scelte. La responsabilità giuridica derivante delle conseguenze delle scelte fatte e prese dai sistemi di intelligenza artificiale è argomento di dibattito che ancora oggi non ha trovato un chiaro accordo comune nella legislatura italiana. Da un lato infatti la responsabilità delle scelte prese dalla macchina viene affidata al suo inventore, dall'altro a chi ne è proprietario e ne fa

utilizzo, in altri casi ancora a colui che prende la decisione finale basandosi però sull'output fornito dal sistema. Sempre in termini di tutela dell'individuo è sempre più sentito dall'utente il tema della privacy e dell'utilizzo che viene fatto dei suoi dati; la profilazione dell'individuo, la tutela della sua identità digitale e la garanzia dell'anonimato sono diritti che l'intelligenza artificiale non sempre riesce a garantire. La grande capacità di calcolo e la disponibilità di diverse forme e quantità di dati, permettono ai sofisticati algoritmi dell'A.I di risalire al soggetto a cui i dati appartengono e violare quella che è la privacy dell'individuo.

La presenza di "bias", ovvero di distorsioni all'interno dei dati utilizzati per allenare gli algoritmi possono generare output errati o discriminatori, non dovuti alla correttezza dell'algoritmo in sé, ma da come questo è stato allenato. Queste tematiche verranno ora analizzate in modo più approfondito e concreto.

1.6.1 La Black Box

Come precedentemente spiegato i sistemi di Intelligenza Artificiale sono composti da algoritmi complessi, che sono formati da molteplici livelli a seconda della complessità della rete neurale, i quali, dato un input generano un output. Questa parte di algoritmo che elabora le informazioni per poi generare un output, viene anche chiamato "Black Box", ovvero "scatola nera". Poiché l'algoritmo viene allenato utilizzando enormi quantità di dati che gli permettono di apprendere e formare così una sorta di sua intelligenza artificiale, non è possibile ispezionare realmente come l'algoritmo realizzi le sue decisioni. Quello che gli scienziati sono in grado di osservare sono la parte iniziale di questo processo (gli input) e la parte finale (gli output generati). Quello che avviene, all'interno del processo e del ragionamento svolto dalla macchina, tra queste due fasi non è possibile conoscerlo; proprio per questo motivo viene chiamata "black box". Tuttavia sapere come la macchina abbia elaborato il risultato finale, non è sempre importante. Ci sono ambiti e applicazione dei sistemi di intelligenza artificiale dove conoscere in che modo l'algoritmo abbia generato il risultato finale non è poi così fondamentale; pensiamo per esempio al riconoscimento vocale o del volto di una

persona, se il riconoscimento fatto dalla macchina è corretto, non è necessario sapere come abbia fatto a farlo.

Al contrario invece ci sono situazioni dove è necessario sapere come la macchina apprende e cosa ha appreso, poiché l'interesse non è solo dello scienziato ma anche della gente comune che richiede spiegazioni sulle decisioni prese e che gli riguardano.

Oggi vengono utilizzate soluzioni artificiali intelligenti in grado di analizzare il profilo di un cliente e, in base alle informazioni fornite, decidere se concedergli un mutuo piuttosto che negarglielo; in altri casi addirittura a questi sistemi è affidata la responsabilità di decidere se concedere la libertà vigilata a un detenuto, oppure no ... e molte altre decisioni. È chiaro che in situazioni come quelle elencate, la necessità di sapere come la macchina abbia preso certe scelte e su che basi si sia affidata per arrivare a certe conclusioni è di estrema importanza per poter dare poi una spiegazione al diretto interessato.

1.6.2 Biases e Discriminazioni razziali

In America, veniva utilizzato un sistema di intelligenza artificiale applicato al contesto legale e penitenziario. Veniva affidato a un sistema artificiale intelligente il compito di decidere se concedere o meno la libertà vigilata ai detenuti. Come il software prendesse questa scelta non era possibile di fatto saperlo, esso infatti era stato allenato utilizzando una vasta quantità di dati proveniente dai database del sistema penitenziario americano, i quali però, si scoprì in seguito, contenevano dei bias.

Queste distorsioni presenti nei dati, presentavano dei problemi razziali; il sistema artificiale intelligente infatti era discriminatorio verso la popolazione di colore, i quali avevano meno probabilità di ottenere la libertà vigilata poiché i dati con cui era stata allenata la macchina contenevano uno storico penalizzante per questa popolazione. L'importanza di poter allenare la macchina, in modo che essa apprenda da sola, deve porre estrema attenzione sulla correttezza e qualità dei dati che gli forniamo per questo allenamento. Il sistema infatti non replicava soltanto un pregiudizio già presente nella società, ma lo amplificava ulteriormente (Harvard Law Review, 2017).

Il sistema giudiziario americano fa ormai largo uso di sistemi di intelligenza artificiale al

fine di consentire ai tribunali di valutare meglio l'accuratezza della pena e dare un giusto peso al punteggio di rischio. Paradossalmente però allo stesso tempo si richiede ai giudici di validare soggettivamente l'output di uno strumento che dovrebbe servire anche a evitare valutazioni soggettive degli stessi giudici.

Diversi sono i casi in America dove i sistemi di A.I emanano sentenze discriminatorie o non eque nei confronti dei vari imputati, portando i giudici a confermare e approvare queste ingiustizie sociali.

Per potersi fidare di questi sistemi e vederli sempre più applicati nei contesti della nostra società, anche in quelli più "delicati" e complessi, che toccano la libertà delle persone e la giustizia del paese, è necessario risolvere questi problemi e renderli più trasparenti e interpretabili per poter capire chiaramente come essi ragionano.

Altri tipi di discriminazioni o "preferenze" emerse dall'analisi dei software basati sull'I.A emergono dagli studi svolti dal professore James Zou e dalla professoressa Londa Schiebinger entrambi docenti all'università di Stanford.

Essi hanno studiato come sistemi di riconoscimento facciale come quello delle fotocamere Nikon, non distinguono molte caratteristiche delle minoranze sottorappresentate nella società. Il software di questa azienda cataloga come asiatici tutte le persone con gli occhi scuri senza valutare altre etnie diverse. Anche in questo caso i dati con cui viene allenato il software ricoprono un ruolo fondamentale per permettere all' algoritmo poi di performare adeguatamente nelle sue scelte, e non ripresentare errori o discriminazioni come quelle appena mostrate.

Un'altra conclusione a cui sono arrivati i due docenti di Stanford nel loro studio è la conseguenza dell'utilizzo del più grande database di immagini classificate, ImageNet, da parte di ormai gran parte dei sistemi di visione automatizzata per il loro allenamento.

ImageNet è di fatti composto da oltre il 45% di immagini proveniente dagli Stati Uniti, i quali rappresentano solo il 4% della popolazione mondiale. La provenienza di immagini da paesi come Cina e India che rappresentano il 36% della popolazione mondiale invece è di appena il 3% dell'intero database. È stato documentato dallo studio che i sistemi di riconoscimento facciale infatti sono molto precisi e non sbagliano quasi mai quando si tratta di riconoscere donne col colore della pelle chiara, mentre sbagliano molto spesso

(35 % delle volte) quando si tratta di riconoscere donne con la pelle scura.

L'errore commesso tuttavia non è imputabile all'algoritmo della macchina, e al suo funzionamento, ma alla presenza di bias all'interno dei dati attraverso cui esso apprende. Se i dati somministrati alla macchina per allenarsi contengono distorsioni, pregiudizi o qualsiasi genere di discriminazione, la macchina rifletterà questi nelle sue scelte. In ultima la professoressa Schiebinger e il professore Zou, hanno studiato come i traduttori che si basano sull'A.I come Google Translate spesso associno due parole tra di loro nella traduzione da una lingua all'altra. Per esempio "uomo" a "dottore" e "donna" a "infermiere", "uomo" a "programmatore" e "donna" a "casalinga" oppure nelle frasi al femminile vengano tradotte in "lui ha detto..." o "lui ha fatto...". (Schiebinger, 2018).

I sistemi di intelligenza artificiale sono alimentati da enormi quantità di dati, i quali non sono altro che il riflesso della nostra società, dalla quale provengono. Sotto questa visione i bias che i dati presentano, raffigurano i pregiudizi e le distorsioni che sono già intrinseche nella nostra società e che gli algoritmi non fanno altro che portare alla luce.

1.6.3 Privacy

L'intelligenza artificiale richiede l'accesso a vasti set di dati, in molti casi, dati sensibili o protetti, inclusi dati su razza, etnia, genere e altri attributi sensibili. Visto il grande volume di dati necessari agli algoritmi per poter apprendere ed essere sempre più efficaci, sorgono sempre più preoccupazioni; in primis da parte degli utenti per la tutela dei propri dati, ma anche da parte degli addetti ai lavori, i quali sono sempre più attenti nel definire un limite per l'utilizzo di questi dati in modo che si possa garantire e tutelare la privacy dell'utenza. L'aumento delle potenzialità dell'intelligenza artificiale e la sua capacità di identificare gli utenti combinando tra loro una serie di dati, ha aumentato la sensibilità dei dati che una volta erano considerati sufficientemente anonimi. Nonostante la continua ricerca di tecniche di anonimizzazione che permettano di utilizzare i dati raccolti nei bigdata rispettando la privacy dei loro proprietari, l'intelligenza artificiale rappresenta ancora una minaccia crescente per il diritto degli

esseri umani di fronte le proprie opinioni e decisioni autonome. Tutto quello che facciamo sulla grande rete di Internet lascia delle tracce delle nostre azioni e scelte sotto forma di dati e informazioni che in qualche modo vengono raccolte e conservate. Quando questi dati erano detenuti in piccola parte da molte società diverse, le informazioni che ogni società aveva sui propri utenti erano irrilevanti e poco identificative. Oggi l'enorme quantità di dati che detengono poche grandi aziende, le Big tech, permettono quella che viene chiamata "profilazione dell'utente", ovvero una raccolta di informazioni inerenti a una singola persona che se confrontate tra di loro e analizzate da sistemi di I.A, vanno a definire un profilo dell'utente completo e accurato fino a crearne una sua identità digitale. L'utilizzo che viene fatto poi di questi profili è sostanzialmente quello dell'uso ai fini economici e remunerativi per l'azienda che li possiede, vendendo i dati ad altre società interessate. I dati raccolti, dopo previa autorizzazione dell'utente, possono essere utilizzati solo per i fini dichiarati per cui l'utente ha disposto il proprio consenso, usi differenti non sono consentiti e non sono leciti. Una particolare attenzione deve essere posta ai sistemi di A.I che utilizzano questi dati per prevedere necessità di cui un soggetto potrebbe aver bisogno, sfruttandole come punto di vantaggio. I sistemi predittivi non devono influenzare le scelte e essere fonte di discriminazione tra gli individui violando la loro privacy in tutti i suoi aspetti. Concetti recenti come il "privacy by design and privacy by default" sono richiamati sempre più spesso all'attenzione di chi progetta questi sistemi, marcando l'importanza della minimizzazione dei dati e la loro limitata applicabilità. Ancora molto c'è da lavorare oggi sul tema della privacy, il quale tocca l'interesse di molteplici parti in gioco, da coloro che vengono profilati fino ad arrivare a chi questi dati li usa poi concretamente per il proprio business. Il diritto di ottenere una spiegazione su una decisione basata sul trattamento dei dati automatizzato, è un diritto che tutt'ora il Garante della Privacy sta regolarizzando, malgrado l'estrema difficoltà pratica richiesta.

1.7 Responsabilità civile e intelligenza artificiale

Quando si parla di intelligenza artificiale, stiamo parlando di sistemi intelligenti capaci di prendere decisioni in modo autonomo e in grado di imparare dalla loro esperienza per quanto questa sia variabile. Tuttavia poiché si tratta di sistemi informatizzati e non di persone fisiche o esseri umani, rimane l'interrogativo su chi sia responsabile delle scelte e delle conseguenze delle decisioni prese dalla macchina. Si pensi per esempio nel caso in cui una macchina con sistema di guida autonoma faccia un incidente; da chi devono essere ripagati i danni? Dal conducente del veicolo, dal costruttore del sistema di guida autonoma o dal programmatore?

Se il produttore fosse privo di responsabilità, probabilmente non si sentirebbe motivato sufficientemente a fornire un prodotto o servizio sufficientemente sicuro e affidabile; opposto invece sarebbe se ne fosse responsabile, ma un'eccessiva responsabilità in capo al produttore potrebbe limitare quella che è l'innovazione. Sistemi artificiali dotati di intelligenza in grado di compiere scelte e prendere decisioni con un impatto anche molto significativo nella società e nella vita delle persone trovano impreparata la dottrina del diritto, che mai prima d'ora si era trovata di fronte a degli oggetti che ricoprissero delle responsabilità così significative. La necessità di algoritmi corretti, il più possibile trasparenti e osservabili, insieme a un loro utilizzo responsabile, sono elementi fondamentali quando ci si affaccia al contesto dell'I.A. Tuttavia richiedere maggiore trasparenza e far luce sulle modalità e sui sistemi di raccolta, utilizzo e trattamento dei dati personali potrebbe scontrarsi con l'interesse di protezione, da parte degli attori commerciali, che hanno sviluppato questi sistemi; i quali hanno interesse nel tenere riservati e tutelare i loro segreti commerciali e la proprietà intellettuale. Di per sé, la condivisione del codice sorgente e del modo in cui l'algoritmo elabora i dati, oltre a essere in molti casi protetto dal brevetto industriale dell'azienda proprietaria, non fornisce una soluzione definitiva alla spiegazione su come la macchina abbia generato l'output; poiché nella generazione dell'output finale incide molto di più la tipologia di dati con cui la macchina è stata allenata. Fornire quindi il codice sorgente e l'algoritmo su cui si basa la macchina, non è la soluzione al diritto alla spiegazione di come è stato

generato l'output.

Il diritto alla spiegabilità pertanto può essere inteso come un diritto al chiarimento di come la macchina è stata allenata, non tanto quindi nella spiegazione di quali scelte e su che ragionamenti l'A.I abbia fondato la propria scelta, ma più sull'illustrazione di quali dati sono stati utilizzati per allenare il sistema artificiale.

L'implementazione di un "diritto alla spiegazione" permetterebbe agli utenti di ricevere chiarimenti sul ragionamento di come una decisione che li riguarda è stata raggiunta con l'aiuto dell'A.I, permettendo così di capire quali dati sono stati utilizzati nel sistema decisionale algoritmico.

L'introduzione di tale diritto, potrebbe aiutare a chiarire il funzionamento dei sistemi di intelligenza artificiale, insieme a una maggiore trasparenza e responsabilità nell'uso di questi sistemi. Riguardo a questo tema ha preso posizione anche la Comunità Europea, che come noto, è sempre più attenta ai termini di privacy e tutela dei dati dell'utente. Il "Regolamento generale sulla protezione dei dati" (GDPR), ha introdotto recentemente l'obbligo per i titolari del trattamento, di fornire i dati utilizzati dal sistema e le relative "informazioni significative sulla logica coinvolta" in un processo decisionale automatizzato.

Risalire al ragionamento e su quali logiche si è basato il sistema di intelligenza artificiale è una delle preoccupazioni legali che richiedono maggiore attenzione quando ci si addentra all'interno dell'economia digitale; deve essere sempre possibile di fatti tradurre il ragionamento artificiale in una forma quanto più possibile comprensibile all'uomo, dotando le macchine di scatole nere in grado di memorizzare i dati relativi alle varie fasi decisionali per poter risalire alla logica che ha portato alla decisione finale. Lo scopo di tale intento non è solo quello di proteggere la proprietà intellettuale e i segreti commerciali di chi sviluppa sistemi di A.I, ma bensì quello di cercare di conoscere il processo decisionale dell'algoritmo per poter poi sviluppare una normativa che possa tutelare discriminazioni sociali o salvaguardare i diritti fondamentali umani quando questi vengono violati da sistemi di intelligenza artificiale.

Migliorare l'accessibilità e la leggibilità della procedura per il trattamento dei dati aprirà anche la strada a una migliore comprensione alla tipologia di dati trattati e a chi questi

dati appartengono, rendendo più chiaro anche il motivo per il quale i dati vengono analizzati.

La questione di come garantire che i sistemi di IA siano trasparenti e responsabili delle loro operazioni è strettamente correlata al dibattito sull'allocazione delle responsabilità nel contesto dell'IA. La capacità dei sistemi di intelligenza artificiale di riuscire a prendere in modo autonomo le decisioni, basandole su una logica non prevedibile per l'uomo, potrebbe portare a molte domande sull'attribuzione poi della relativa responsabilità di queste scelte. Il nesso di causalità e le circostanze impreviste dell'uso di questi sistemi artificiali rendono ancor più complesso il concetto di attribuzione della responsabilità. Sarà necessario riuscire a rispondere a domande come: "chi è responsabile di un danno fisico o morale provocato dal sistema di A.I? chi tra il produttore e gli attori che implementano l'algoritmo saranno responsabili del danno causato da un piano proposto dal sistema artificiale? Un algoritmo può essere citato in giudizio per negligenza? Il diritto alla privacy potrà essere sostenuto e protetto dagli sviluppatori dei sistemi A.I, considerando che l'uso di questi sistemi spesso viene fatto in contesti estremamente privati? ..."

A causa del rapido sviluppo di questi sistemi autonomi e la sempre maggiore influenza che hanno queste scelte nelle nostre vite, il diritto civile dovrà trovare modo di distaccarsi dai classici modelli di responsabilità sulla quale fino ad oggi ha basato l'assegnazione della responsabilità del prodotto, negligenza e responsabilità oggettiva. Sarà necessario sviluppare un regime di responsabilità civile che sappia suddividere in modo opportuno la responsabilità tra progettisti, produttori, fornitori di servizi e utenti finali. La necessità di avere un diritto che sia più specifico e focalizzato sulle esigenze di tutela e regolamentazione del settore che riguarda le scelte prese dai sistemi di A.I è già stato portato all'attenzione del Parlamento Europeo, il quale nel febbraio del 2017 ha emanato delle raccomandazioni alla Commissione sulle norme di diritto civile in materia di robotica. È stato inoltre proposto, sempre dal parlamento dell'UE, di prevedere l'istituzione di un regime di assicurazione obbligatoria e l'istituzione di uno status

giuridico specifico per questi sistemi che possono essere responsabili dei danni causati dalle loro decisioni; ancor più quando queste interagiscono con terze parti in modo del tutto indipendente. (Parlamento Europeo, 2017)

Capitolo 2:

2.1 Intelligenza artificiale applicata al settore automotive

L'Intelligenza Artificiale, argomento approfondito nel capitolo precedente, trova oggi applicazione nella gran parte dei settori e dei mercati di questa epoca digitale. Il capitolo seguente andrà tuttavia ad analizzare l'implementazione dei sistemi di Intelligenza artificiale nel settore Automotive, e nello specifico l'applicazione dell'Intelligenza Artificiale all'interno delle vetture. Le vetture attualmente in commercio, e sempre più quelle che saranno vendute nei prossimi anni, sono dotate al loro interno di diversi strumenti che fanno uso dell'Artificial Intelligence. I molteplici usi di questi sistemi intelligenti li possiamo ritrovare per esempio negli strumenti di assistenza alla guida, ovvero tutti quei sensori che rispondono in modo istantaneo e automatico al verificarsi di determinate situazioni di pericolo grazie all'uso dell'IA. Questi sistemi sono vari e usano, chi in modo più integrato e chi meno, l'Intelligenza artificiale per compiere il loro dovere. Un altro uso dell'IA all'interno della vettura può essere individuato nella manutenzione predittiva, ovvero grazie ai vari dati raccolti dai vari sensori e dalla strumentazione di bordo, l'IA riesce a rilevare qualsiasi tipologia di problema, prima che questa possa incidere sul funzionamento del veicolo permettendo così di prevenire un problema nell'automobile prima che questo si verifichi e causi il fermo dell'auto.

Anche nell'ambito assicurativo l'IA sta prendendo sempre più piede, le auto connesse possono usufruire dei vari servizi delle diverse compagnie in modo più agevole e riducendo inoltre i costi e i tempi al verificarsi di un sinistro stradale. Inoltre l'uso dell'IA ha permesso di definire in modo più preciso il profilo di rischio del conducente, personalizzando la sua polizza assicurativa in modo più accurato. L'Intelligenza artificiale all'interno dei veicoli aiuta anche ad aumentare il livello di sicurezza per il conducente e degli altri automobilisti. I sensori presenti nelle auto smart, supportati dall'IA, riescono di fatto a capire in che stato fisico si trova il guidatore e se necessario portano la vettura ad arrestarsi in condizioni di sicurezza. Analizzando la posizione della testa e l'apertura degli occhi, il software è in grado di rilevare un probabile principio di sonnolenza nel guidatore ed emanare dei segnali per richiamare l'attenzione alla guida; se ciò non

avviene la macchina è in grado inoltre di arrestarsi a lato della strada salvaguardando la sicurezza dell'autista e delle altre persone. Il capitolo poi riporterà un quadro generale dell'avanzamento della guida autonoma nel mondo e nello specifico in Italia, comparando il Paese con gli altri stati. Verranno poi riportati i principali player italiani attivi nello sviluppo della guida autonoma e le città italiane pioniere nell'accogliere questo cambiamento nelle proprie strade. Il capitolo si conclude poi con la normativa vigente italiana che regola ad oggi il settore automobilistico autonomo.

2.2 I sei livelli della guida autonoma

Quando si parla di auto a guida autonoma, si fa riferimento a una molteplicità di "capacità" che la macchina dispone e che gli permettono di muoversi sulle strade senza l'intervento umano del conducente. Si fa riferimento dunque allo scenario dove la macchina si guida da sola, in quanto in grado di rilevare autonomamente l'ambiente che la circonda e riuscendo così ad arrivare a destinazione. Quanto un veicolo, oggi e in futuro, sarà in grado di assumersi i compiti del guidatore in caso di necessità e come saranno in grado di interagire uomo e macchina sulla strada sono questioni che vengono suddivise oggi in sei differenti fasi. Gli addetti del settore suddividono queste abilità del veicolo in sei livelli. Si parte dal livello inferiore, il livello 0, il quale prevede che il conducente del veicolo guidi l'automobile senza il supporto di alcun sistema di guida assistita; fino ad arrivare al livello più avanzato, il livello 5, dove la macchina è in grado di arrivare a destinazione in maniera totalmente autonoma, senza mai richiedere l'intervento del conducente lungo il tragitto.

Per comprendere correttamente la suddivisione dei vari livelli SAE è necessario cogliere la differenza tra "Guida Assistita" e "Guida Automatizzata". Quando si parla di guida assistita si fa riferimento all'utilizzo di sistemi di supporto alla guida, di cui la macchina dispone, e che servono appunto ad assistere il conducente durante la guida. Il conducente ha una guida agevolata dall'uso di questi strumenti, ma è comunque richiesto il costante controllo della vettura e delle mani sul volante. Questi strumenti fanno riferimento ai livelli 1 e 2. Dal livello 3 al 5 le auto incorporano anche sistemi di

guida automatizzata e quindi si rientra nel campo appunto della guida automatizzata.

La catalogazione e suddivisione dei livelli in base alle operazioni automatizzate che un veicolo è in grado di compiere, fino ad arrivare alle auto senza conducente, sono stati istituiti dalla Society of Automotive Engineers (SAE); ente di normazione nel campo dell'industria aerospaziale, automobilistica e veicolistica. Il 3 maggio 2021 è stata aggiornata la classificazione dei livelli di guida autonoma da parte di SAE in collaborazione con l'ISO (International Organization for Standardization) al fine di definire e inquadrare meglio i vari livelli.

Questi livelli rientrano all'interno di una normativa che impone il rilascio di autorizzazioni specifiche per lo svolgimento dei test delle vetture a guida autonoma nelle strade pubbliche.

Vengono trattati, all'interno delle specifiche autorizzazioni i temi relativi alla responsabilità in caso di incidente e dei vari termini assicurativi per il risarcimento dei danni fisici ma anche morali.

Nello specifico i livelli sono:

- Livello 0: Questo livello è considerato il livello più semplice di guida autonoma in quanto non prevede alcun intervento di sistemi di supporto alla guida da parte del veicolo. Il conducente guida il veicolo in completa autonomia senza nessun supporto dei sistemi di guida assistita. Non c'è quindi nessun intervento elettronico da parte della vettura.
- Livello 1: In questa categoria vengono racchiuse tutte le auto che iniziano ad avere i primi sistemi elettronici in grado di aiutare il guidatore nei suoi compiti e offrirgli sicurezza e maggior comfort. Si iniziano a vedere sistemi di regolazione attiva della velocità con la capacità di regolare in modo automatico la distanza con il veicolo davanti. Sistemi in grado di avvertire la presenza di persone o auto e di conseguenza eseguire una frenata automatica prima di investire un pedone o per evitare una collisione. La presenza inoltre di sistemi come l'ABS, obbligatorio in UE dal 2016 su tutti i veicoli, che in fase di frenata evita il blocco delle ruote, ma anche il Cruise Control oppure dell'assistente per i parcheggi e di tutte quelle tecnologie in grado di rilevare la corsia.

- Livello 2: Definita anche come "automazione parziale", la strumentazione di secondo livello è già realtà e a bordo di molte vetture che circolano sulle strade, rendendo possibile una parziale guida autonoma grazie alle loro funzioni. Sono tutti quei sistemi di guida assistita parzialmente automatizzati come l'assistente alle code, l'assistente allo sterzo e l'assistente di controllo corsia che aiutano il conducente ad avere più supporto durante la guida. Queste auto eseguono gran parte dei compiti che già venivano svolti dalle auto del livello precedente come la frenata e l'accelerazione automatizzate, ma il tutto viene integrato con un controllo del volante automatico durante questi compiti. Un esempio è la capacità della macchina, attraverso il controllo remoto del parcheggio, di parcheggiarsi in modo autonomo in spazi molto stretti senza il bisogno che intervenga il conducente. Ancora la macchina grazie ai radar e al rilevamento della corsia è in grado di guidare a velocità molto basse, accelerando e frenando rimanendo all'interno della carreggiata. Come per il livello 1, il guidatore ha sempre la piena responsabilità della guida del veicolo e non si può distrarre da quanto avviene in strada.
- Livello 3: È considerato il primo livello della vera automazione, ovvero l'automazione condizionale. Le vetture di questo livello sono in grado, in determinati contesti specifici, di sostituire completamente l'uomo nel condurre il veicolo sulla strada. I sistemi di livello 3 concedono al conducente una sempre maggiore libertà durante la guida poiché non dovrà più mantenere il controllo del veicolo in modo permanente, ma in certe situazioni potrà delegare la guida al veicolo stesso. Grazie ai sistemi altamente automatizzati installati sul veicolo, il mezzo è in grado di guidare autonomamente anche per lunghi tratti e a velocità molto elevate come può richiedere un contesto autostradale o extraurbano. Tuttavia, questa abilità è sfruttabile solo in determinate circostanze che prevedono un ambiente non troppo complesso come invece può essere il traffico delle grandi città. Anche per questo terzo livello, per il guidatore deve essere

sempre possibile riassumere il controllo della guida della vettura entro pochi secondi nel caso di necessità, come ad esempio in presenza di lavori.

- Livello 4: il penultimo livello precede quella che è la guida autonoma a tutti gli effetti, ovvero quella dove la macchina è in grado di spostarsi senza la necessità di avere un conducente. In questo livello l'autonomia della macchina negli spostamenti è molto elevata e quasi completa, la macchina riesce a procedere in modo autonomo per la maggior parte del tragitto. In questo livello siamo in presenza di un'automazione elevata. La dotazione tecnologica di cui dispone la vettura è sufficientemente avanzata da permettere all'auto di padroneggiare con efficacia anche situazioni di traffico urbano molto complesse o gestire la presenza di ostacoli lungo la carreggiata come potrebbe essere la presenza di un cantiere stradale o dei lavori in corso. Il cuore del sistema infatti è un insieme di sensori, sistemi Lidar e telecamere che raccolgono informazioni sull'ambiente circostante che poi vengono processati dal computer di bordo per ricavare le istruzioni di guida. In ogni caso, per garantire la sicurezza delle persone a bordo del veicolo ed evitare sinistri stradali, l'autista deve poter prendere il controllo del mezzo in pochi istanti in caso di necessità. La guida autonoma di quarto livello tuttavia permette al conducente di distogliere l'attenzione dalla guida per rilassarsi e riposarsi durante il viaggio, anche se è richiesta una presenza che sia in grado di intervenire in caso di necessità. Proprio per questo motivo in questa sezione, i sistemi di guida autonoma sono in grado di rallentare la macchina e condurla in sicurezza al di fuori della corsia qualora il sistema percepisca che il conducente non è nelle condizioni idonee a mettersi alla guida o non risponda agli avvisi di sicurezza.

Se il livello 4 richiede ancora un guidatore, nel prossimo stadio di guida autonoma si avrà proprio un self driving car.

- Livello 5: In questo ultimo livello, i sistemi di guida autonoma sono il più avanzati possibile, permettono al veicolo di arrivare a destinazione in modo totalmente

autonomo senza richiedere la presenza di un guidatore nemmeno nelle situazioni di pericolo o estremamente complesse. A differenza degli altri veicoli, i mezzi di quinto livello non dispongono nemmeno degli strumenti per permettere all'uomo di prendere il comando della vettura; non sono presenti infatti né il volante né i pedali. Il veicolo assume tutte le funzioni di guida. Tutte le persone a bordo del veicolo ricoprono il ruolo di passeggeri, eliminando così il ruolo del conducente. Il concetto di automobile viene dunque rivoluzionato, aprendo così nuove possibilità di mobilità anche alle persone con disabilità per esempio. Le auto di questo livello dispongono di una strumentazione estremamente elaborata e un computer di bordo di ultima tecnologia in grado di processare enormi quantità di dati in pochissimi istanti. L'intelligenza artificiale di cui dispone la macchina dovrà prendere decisioni non solo per le normali situazioni che si presentano nelle strade quotidianamente, ma dovrà essere in grado anche di gestire situazioni di pericolo o scenari imprevedibili nel modo corretto, salvaguardando la sicurezza generale.

Oggi le automobili appartengono per lo più alle fasce intermedie, se il primo livello appartiene ormai a macchine "del passato" che entro pochi anni non vedremo più circolare per le strade, il quinto livello oggi è solo agli inizi della fase di sperimentazione e molto lontano ad essere la realtà di tutti i giorni. Nell'ultima fase la complessità e le sfide delle soluzioni tecniche sono notevolmente elevate; le macchine inizialmente si muoveranno nei centri abitati a velocità relativamente basse, per poi essere utilizzate anche per tragitti più lunghi che richiedono l'utilizzo di strade ad alta velocità. Anche se perfettamente in grado di guidare senza problemi in autostrada, il loro impiego si concentrerà all'inizio sui centri cittadini e le zone limitrofe. La progressiva adozione di sistemi di guida autonoma nelle vetture sta cambiando il nostro modo di concepire l'auto e il sistema di guida. Le funzioni che la tecnologia moderna ha portato nelle vetture ci ha abituati a dei benefici e a dei comfort a cui non saremmo più in grado di rinunciare. Tuttavia quello che avverrà con l'introduzione dei sistemi di guida autonoma di quinto livello è un radicale cambiamento nella concezione del trasporto e della

vettura; inteso non più come un mezzo che dobbiamo guidare e che ci occuperà tempo durante gli spostamenti, ma piuttosto come un bene che ci fornirà un servizio e che ci libererà il tempo del viaggio per fare qualcosa che più ci appassiona come finire di lavorare al computer, piuttosto che dedicarsi alla lettura degli argomenti che ci appassionano, guardare qualche film o semplicemente dialogare in maniera più serena con gli altri passeggeri. (SEA International,2021)

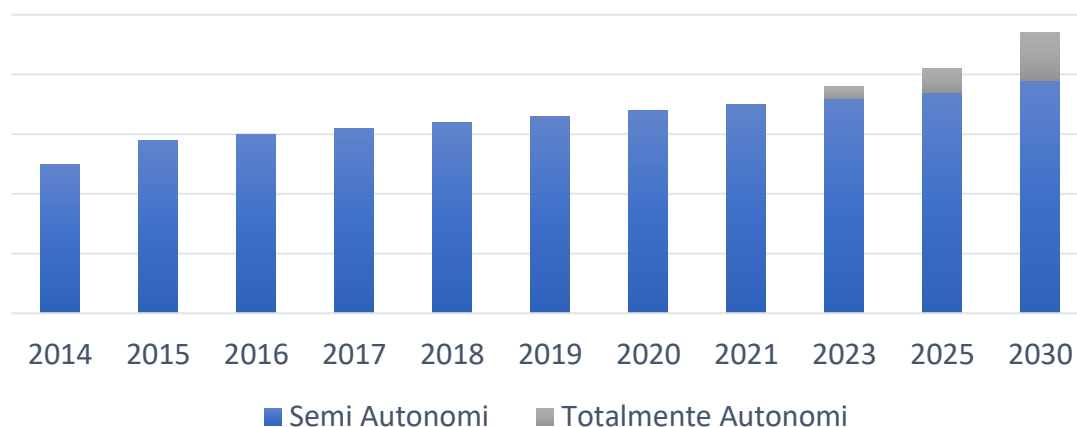
Secondo le statistiche e le previsioni riportate dal Parlamento Europeo, i veicoli a guida interamente autonoma (5 livello) non concluderanno le fasi di collaudo e test prima del 2030, anno in cui si potranno iniziare a vedere i primi modelli girare nelle nostre strade. Per quanto riguarda invece le auto a guida autonoma (livelli 3 e 4) sono oggi in fase di collaudo ed entreranno nel mercato nel decennio 2020-2030. Le vetture che oggi invece vediamo girare nelle nostre strade sono in prevalenza di livello 1 e 2, ma si stima che entro il prossimo anno 2022 tutte le nuove vetture che verranno immesse nel mercato saranno dotate di una loro connessione dati. (Commissione Europea,2017)

2.3 Mercato Europeo dei veicoli autonomi

Secondo le statistiche riportate dalla nota società di indagini statistiche e consulenza Prescient & Strategic Intelligence Private Limited (nota anche come P&S Intelligence), la quale fornisce i suoi servizi a società come Google, Hitachi, Nokia, PWC, BCG, Philips, Bain..., è emerso che i veicoli a guida autonoma in Europa daranno vita ad un mercato dal valore di 191,6 miliardi di euro entro il 2030, con un tasso di crescita annuo del 18,4% (Carg 2023-2030).

Si prevede che il mercato europeo delle auto a guida completamente autonoma raggiungerà i quattro milioni di unità entro il 2030, crescendo a un CAGR del 37,4% nel periodo 2023-2030. Il sostegno dei vari governi per lo sviluppo e la sperimentazione di auto autonome, l'evoluzione della tecnologia e la necessità di una guida più efficiente e sicura sono i principali fattori che guidano la crescita del mercato europeo delle auto a guida autonoma.

Mercato Europeo dei Veicoli Autonomi 2014-2030



Sulla base dell'autonomia del veicolo, il mercato europeo delle auto a guida autonoma è classificato in auto semi-autonome e auto completamente autonome. La categoria semi-autonoma deteneva il 100% della quota di mercato nel 2018. Tuttavia, con l'introduzione delle auto completamente autonome a partire dal 2023 in poi, si prevede che questa categoria assisterà a una crescita più rapida. La crescita delle vendite di auto completamente autonome sarebbe principalmente alimentata dall'adozione di auto di livello 4 e livello 5 in numerosi paesi europei.

In base al tipo di veicolo, il mercato delle auto a guida autonoma è classificato in (motore a combustione interna) ICE, veicolo elettrico ibrido (HEV) e veicolo elettrico a batteria (BEV). Tra questi, le auto autonome basate su ICE hanno detenuto la quota di mercato più grande nel 2018, in termini di volume. Tuttavia, la categoria BEV dovrebbe essere quella a crescere in modo più rapido durante il periodo 2023-2030. Questo perché l'implementazione della tecnologia completamente autonoma è più facile nei BEV rispetto alle auto con altri tipi di carburante. Per rendere un'auto a guida autonoma, vengono utilizzate una serie di telecamere, sensori, radar e altre apparecchiature. È più facile ottenere una connettività e un'integrazione più fluida tra i componenti elettronici nelle auto elettriche a batteria (BEV), rispetto alle auto elettriche a carburante o ibride (ICE o HEV).

Il mercato europeo delle auto a guida autonoma è classificato inoltre anche in base all'utilizzo, che può essere per uso personale e commerciale. Dei due, si prevede che le auto autonome utilizzate per scopi commerciali domineranno il mercato durante il periodo di previsione 2023-2030. Ciò sarebbe dovuto all'impiego di veicoli completamente autonomi nei servizi di car sharing insieme all'introduzione di robotaxi per scopi di ride-hailing. La crescente disponibilità di servizi di car sharing sta cambiando il concetto di proprietà delle auto. Si prevede che, molte persone, nei prossimi anni utilizzeranno sempre più frequentemente i servizi della mobilità condivisa, aumentando così l'adozione delle auto autonome nell'uso commerciale.

Geograficamente, il mercato europeo delle auto a guida autonoma è principalmente suddiviso in Germania, Regno Unito, Francia, Italia, Spagna e il resto d'Europa. Tra questi, la Germania, nel 2018, deteneva la quota di mercato più grande, superiore al 20% in termini di volume. Tra il 2010 ed il 2017, in tutto il mondo sono stati depositati più di 5.800 brevetti per veicoli a guida autonoma, di cui il 51% in Germania. Ciò è dovuto alla presenza di importanti produttori di apparecchiature originali (OEM) nel paese, che stanno lanciando nuovi modelli con livelli di automazione sempre più avanzati. Vari OEM tra cui BMW, Volkswagen AG e Tesla Inc. stanno introducendo nuovi modelli di auto a guida autonoma rivolte ad un pubblico privato, che commerciale. Queste auto sono dotate di sistemi avanzati di assistenza alla guida (ADAS), come il rilevamento degli angoli ciechi, l'assistenza al parcheggio intelligente e il sistema di frenata antibloccaggio, che le rendono un'opzione interessante per i consumatori.

Uno dei fattori chiave che frenano la crescita del mercato europeo delle auto a guida autonoma è il costo eccessivo coinvolto nella produzione di tali auto, che rende difficile per la maggior parte dei produttori concentrarsi su di esse. I veicoli sono estremamente innovativi e tecnologicamente avanzati, motivo principale del loro costo elevato. Il software, l'hardware e la tecnologia avanzati coinvolti nella creazione e nel funzionamento delle auto rendono la produzione di queste automobili autonome estremamente costosa.

Il mercato europeo delle auto a guida autonoma è stato dominato da tre principali OEM nel 2018, ovvero il gruppo Volkswagen, il gruppo PSA e il gruppo Renault, che insieme rappresentavano oltre il 50% della quota di mercato. La recente tendenza del mercato mostra un numero significativo di collaborazioni e partnership tra i principali OEM. Ad esempio, nel 2018, Fiat-Chrysler ha stretto una partnership con il BMW Group per ricevere da loro assistenza software e hardware. Ancora, nel 2021 è stata fondata Stellantis, una società di produzione di autoveicoli nata dalla fusione tra i gruppi PSA e Fiat Chrysler Automobiles. Gli altri principali produttori che operano nel mercato europeo delle auto a guida autonoma in Europa sono Tesla Inc., Daimler AG, BMW Group, General Motors Company, Fiat Chrysler Automobiles NV, Ford Motor Company e Toyota Motor Corporation. (P&S Intelligence,2019)

L'auto a guida autonoma rappresenta ormai l'immediato futuro del settore automobilistico in tutto il mondo. Le case automobilistiche ne sono già consapevoli ormai da diversi anni e infatti, chi prima e chi dopo, si sono attivate per aggiornare il proprio parco auto proponendo nuovi modelli di vetture dotati delle ultime tecnologie in grado di supportare il conducente durante la guida. Per far ciò tuttavia la componente tecnologica è di fondamentale importanza, numerosi sono di fatti gli accordi siglati tra le case produttrici e le aziende hi-tech e del reparto tecnologico per lo sviluppo di componenti e di modelli sempre più avanzati. Condizione necessaria al fine di arrivare ad una mobilità completamente autonoma è la capacità delle macchine di riuscire a comunicare tra di loro e far comunicare il veicolo con l'esterno, possibilità che già oggi alcune macchine dispongono. Parlare di auto a guida autonoma significa quindi parlare anche di auto connesse in rete.

Secondo lo studio riportato dall'Aniasa (l'Associazione che all'interno di Confindustria rappresenta il settore dei servizi di mobilità) e la società di consulenza strategica Bain & Company, un italiano su tre oggi guida un'auto connessa in rete. Poco meno di un terzo degli automobilisti italiani guida già un'auto connessa, dotata dunque di dispositivi in grado di scambiare informazioni avanzate con altri sistemi (non si intende la

connessione Bluetooth). Emerge tuttavia che più della metà degli autisti italiani intende acquistare nei prossimi anni auto connesse in rete e solo una piccola minoranza invece non sembra essere interessata a queste nuove tecnologie nelle automobili. Un ulteriore aspetto che viene messo in luce dal seguente studio è l'attenzione al tema della sicurezza da parte degli automobilisti. Servizi di localizzazione da utilizzare in caso di furto o per segnalare la posizione tempestivamente in caso di incidente, seguiti da un sistema di navigazione e una connettività evoluta in grado di comunicare con le smart road, sono tra le funzionalità più richieste dagli automobilisti, i quali sono disposti a pagare un surplus per averle. Attualmente i veicoli di livello 2 sono i veicoli più diffusi sulle nostre strade, tuttavia secondo lo studio il mercato delle auto connesse in rete (connected cars) oggi vale già 60 miliardi di euro ed ha un tasso di crescita del 260% nei prossimi 8 anni. (Aniasa Report Annuale sulla mobilità)

2.4 I principali player in gioco

Se pochi anni fa, immaginare che un'automobile sarebbe stata in grado di girare in modo autonomo per le strade di una città senza essere controllata da un uomo, sarebbe stato considerato un futuro lontano, oggi grazie al progresso della tecnologia e ai risultati incoraggianti ottenuti dai vari prototipi di auto sviluppati, questo scenario non è poi così lontano dal diventare realtà. Da ormai molti anni le varie case automobilistiche stanno studiando tecnologie e soluzioni differenti nella realizzazione e commercializzazione dei nuovi veicoli a guida autonoma che tra pochi anni solcheranno le nostre strade. Contratti di alleanze strategiche, licensing, joint venture, acquisizioni e collaborazioni tra le case automobilistiche e le società Hi Tech per lo sviluppo di veicoli a guida autonoma, sono in questi anni stati siglati tra le varie aziende accogliendo le sfide future del settore automotive. Tra i principali protagonisti di questo nuovo concetto di automobile troviamo diversi marchi storici del settore automotive, ma anche qualche nuovo entrante, che è pronto a competere in questa nuova sfida del settore automobilistico.

Il seguente capitolo va ad individuare i principali player attivi nello sviluppo di sistemi di

guida autonoma avanzati, che sviluppano prodotti rivolti sia ad un mercato privato che commerciale. Viene dunque riportata una panoramica globale del mercato automotive focalizzato sulla guida autonoma, descrivendo i progetti su cui stanno lavorando le aziende più all'avanguardia nell'implementazione della guida autonoma di quinto livello. Sono state riportate dunque solo le collaborazioni significative tra le diverse case automobilistiche e le relative aziende tecnologiche che collaborano nello sviluppo del veicolo autonomo.

2.4.1 Google con Waymo

Tra le aziende che stanno investendo di più sulla guida autonoma in termini sia di quantità di denaro, che in termini di tempo troviamo il colosso tech, Google. Il colosso tecnologico investe nel settore delle auto autonome dal lontano 2009, e da pochi anni grazie all'acquisizione della società Waymo, è leader indiscusso sulla frontiera della guida autonoma. Con Waymo, Google sta compiendo passi da gigante, basta pensare infatti che lo scorso anno la società ha dato inizio a vari progetti pilota in alcune città degli Stati Uniti, tra cui Phoenix, inaugurando il primo servizio di robo-taxi tramite app chiamato Waymo One.

L'utente interessato a provare il servizio, può prenotare la corsa col "taxi automatico" tramite l'app e una volta selezionata la destinazione, il taxi grazie alla guida autonoma, condurrà il passeggero alla destinazione indicata. Il veicolo utilizzato dall'azienda per sviluppare il progetto è una Chrysler Pacifica, appositamente equipaggiata con la strumentazione hardware e software per la guida autonoma di Waymo, fornita dal gruppo FCA. Sebbene Waymo dichiara che il veicolo sia in grado di gestire il 99,9 % delle situazioni che si possono verificare sulle strade, la normativa vigente non autorizza ancora lo spostamento delle auto senza la presenza di un conducente umano al loro interno che sia in grado di intervenire in caso di bisogno. Il servizio quindi per ora è attivo solo in alcune città test e all'interno della vettura è ancora presente un guidatore che è pronto ad intervenire in caso di necessità, tuttavia la tecnologia è matura e in grado di operare in modo completamente autonomo, nell'attesa che la normativa lo consenta. La società di fatto non si ferma qui, il suo vantaggio sui competitor del settore è

consolidato inoltre dalla presenza non solo di una cospicua flotta di auto adibite al servizio Waymo One, ma anche dall'applicazione di questa tecnologia nei Tir.

Waymo ha stretto un accordo con la società Daimler Trucks & Buses, con l'intenzione di portare la guida autonoma anche sui mezzi pesanti. Il tir candidato per lo sviluppo di questo progetto è un Daimler Freightliner Cascadia appositamente sviluppato per l'occasione. Il gruppo tedesco, Daimler, è tuttavia il secondo partner ufficiale di Waymo poiché già prima la casa automobilistica svedese, Volvo, aveva stretto un accordo con la società di Google in quanto interessata alla tecnologia. Per Waymo la sicurezza e l'affidabilità dei propri veicoli sono punti cardine della filosofia dell'azienda, tanto più se si tratta di mezzi che circolano su strade pubbliche e possono mettere a rischio la vita dei passeggeri e degli altri automobilisti. I notevoli sforzi e l'impegno che ci ha messo l'azienda nello sviluppare un prodotto sicuro e affidabile sono stati ripagati con un risultato che senza alcun dubbio è molto interessante. La stessa azienda ha voluto di fatti dimostrare come i propri veicoli siano in grado di ridurre il numero di incidenti stradali, eliminando quasi completamente l'errore umano dalla guida. Per procedere con questa dimostrazione la società di Google ha infatti simulato diversi incidenti stradali realmente accaduti in Arizona tra il 2008 e il 2017, basandosi sui dati forniti dai dossier della polizia stradale locale, dimostrando dunque che i veicoli di Waymo One sarebbero stati in grado di evitare la collisione tra i due mezzi o in alcuni casi ridurre la gravità dell'impatto, riducendo così il numero dei decessi, che invece sono avvenuti con l'utilizzo delle macchine tradizionali o nei casi più gravi, limitando le conseguenze fisiche dell'incidente. Lo svolgimento dei test, da parte di Waymo, per simulare gli incidenti stradali avvenuti in Arizona e dimostrare come i "taxi automatici" fossero più sicuri, sono stati svolti sostituendo, col "taxi automatico", prima il veicolo che ha causato l'incidente e poi il veicolo che è stato coinvolto. In questo modo sono stati riprodotti nel modo più fedele possibile gli incidenti originali. Ciò che ne è emerso è che in 88 casi su 91, quindi nell'96,7 % dei casi, i veicoli autonomi guidati dall'intelligenza artificiale, sarebbero riusciti a evitare o mitigare l'incidente. Inoltre, nel restante dei casi, dove non sarebbe stato possibile evitare la collisione, la prontezza di risposta e le scelte prese dall'intelligenza artificiale avrebbero permesso comunque di limitare la probabilità di lesioni gravi e

riducendo il numero di morti rispetto agli incidenti originali.

(John M. Scanlon et. al, 2021)

2.4.2 Tesla

Se il colosso tecnologico Google, grazie a Waymo, è l'azienda più all'avanguardia per quanto riguarda la guida autonoma adibita alla mobilità pubblica; dall'altro lato, nel fronte privato, tra le aziende in prima linea troviamo invece l'azienda Tesla Inc, del noto imprenditore americano Elon Musk. Tesla infatti si occupa di progettare e realizzare vetture completamente elettriche, dotate di sistemi di guida assistita avanzati che si rivolgono a un settore privato. Diverse sono le soluzioni tecnologiche implementate dai vari produttori per far cogliere alla vettura i vari soggetti e gli oggetti che caratterizzano l'ambiente circostante e permettere così al veicolo di muoversi sulle strade correttamente. Quello che differenzia Tesla dai concorrenti è tuttavia il nuovo sistema proprietario che il veicolo usa per capire come muoversi sulle strade, il "Tesla Vision".

Tesla Vision è composto da un sistema di più camere che attraverso la computer vision permettono all'intelligenza artificiale di cogliere l'ambiente circostante in modo sempre più preciso e rapido. L'azienda ha recentemente dichiarato che non farà più uso dei sensori radar per rilevare l'ambiente, ma si affiderà esclusivamente alle camere installate in diversi punti del veicolo. Grazie ai continui aggiornamenti OTA che questo sistema riceve dalla casa madre, aumentano e migliorano in continuazione le funzionalità della vettura, portando così la guida autonoma ad un livello sempre più avanzato. Grazie anche all'Autopilot, il sistema di guida automatica presente nelle vetture Tesla, è stato possibile con queste vetture ottenere dei risultati, che lo stesso Elon Musk, ritiene soddisfacenti. Tutti i modelli della casa Tesla sono infatti in grado di cambiare corsia autonomamente e compiere le principali manovre tipiche delle vetture, sia nelle strade urbane che in quelle extraurbane o ad alta velocità, il tutto in totale sicurezza. Le vetture inoltre si sono comportate correttamente anche in situazioni di traffico intenso con la presenza di ostacoli lungo la carreggiata o l'improvviso attraversamento della strada di persone e animali. Nel 2020 la società guidata da Elon Musk ha inoltre implementato al meglio la funzione di attraversamento assistito degli

incroci. Ora la vettura è in grado di capire la pericolosità di un incrocio (con o senza semaforo) e riesce, in modo autonomo, ad affrontarlo senza azzardare immissioni pericolose o avventate che possano compromettere la sicurezza stradale.

Il CEO di Tesla si è posto l'obiettivo di raggiungere il quinto livello di autonomia della scala SAE entro la fine dell'anno, portando le proprie vetture a una totale autonomia della guida autonoma. Sebbene l'ambizione di Musk e la sua capacità nel raggiungere i risultati imposti siano noti a tutti, tuttavia il CEO ha dovuto rivedere queste sue affermazioni in quanto per ora, la normativa attuale non prevede ancora la commercializzazione di vetture che abbiano un'automazione superiore al livello 2 della scala SAE. Le norme vigenti sembrano vincolare notevolmente lo sviluppo della guida autonoma che presto sarà in grado di far circolare le vetture sulle strade anche senza la presenza di un conducente a bordo. La società Tesla è senza dubbio pioniera nello sviluppo di auto a guida autonoma rivolta al settore privato, le tecnologie sviluppate dalla società hanno permesso ai loro veicoli di essere tra le vetture più all'avanguardia nel loro mercato, rendendole competitive e molto apprezzate dai consumatori. Nel prossimo capitolo verranno tuttavia analizzate nel dettaglio e in modo approfondito le tecnologie che queste auto sfruttano. (Matteo De Bord ,INSIDER,18 agosto 2020)

2.4.3 Volkswagen con Argo Ai e Moia

Altro concorrente in gioco verso la corsa alla guida autonoma è la casa automobilistica tedesca, Volkswagen. La casa automobilistica di Wolfsburg ha da poco stretto un accordo di collaborazione con Argo Ai, leader mondiale nella realizzazione di piattaforme tecnologiche per veicoli autonomi con sede a Pittsburgh, in Pennsylvania, e Moia, l'azienda del gruppo tedesco impegnata nello sviluppo di servizi di mobilità. L'obiettivo della collaborazione è quello di presentare a partire dal prossimo anno una serie di prototipi di veicoli commerciali leggeri, dotati di tecnologie in grado di fornire una guida autonoma di 4 livello. Queste vetture, emerse dalla collaborazione tra Volkswagen Veicoli Commerciali, Argo Ai e Moia, verranno testati sul circuito appositamente realizzato per il test vicino all'aeroporto di Monaco. Verrà dunque dato

via libera alla sperimentazione dei nuovi veicoli realizzati dalla collaborazione delle tre aziende, portando il gruppo Volkswagen verso la guida autonoma di quarto livello. La nuova collaborazione ha permesso di costituire una nuova divisione commerciale, volta allo studio e all'implementazione di un livello di guida autonoma avanzato. Ciò sarà reso possibile grazie anche al nuovo sensore lidar progettato appositamente da Argo Ai e dalle nuove telecamere e radar a disposizione. Le caratteristiche di questo nuovo lidar sono sorprendenti; esso è di fatti in grado di percepire oggetti che si trovano fino a 400 metri di distanza, ma non è tutto, è anche in grado di rilevare anche la più piccola particella di luce di un singolo fotone permettendo di riconoscere anche quegli oggetti con una bassa riflettività. (Michael Wayland,CNBC,2021)

La gamma elettrica ID della compagnia tedesca sta riscuotendo un ottimo risultato e apprezzamento da parte del mercato, ed è proprio a questa gamma che i nuovi prototipi si rifaranno. Il modello sulla quale si baseranno i nuovi prototipi sarà il prossimo ID.Buzz (la versione elettrica del vecchio Van Bulli, modello storico del gruppo Volkswaghen), i quali sfrutteranno il nuovo lidar progettato da Argo Ai per implementare la guida autonoma avanzata.

Il servizio di veicoli commerciali a guida autonoma sarà operativo a partire dal 2025. Amburgo, è la città scelta dalla nuova divisione di Volkswaghen, come prima città ad ospitare il nuovo servizio di trasporto di persone e merci in ambito cittadino. L'implementazione del progetto nella città di Amburgo sarà tuttavia affidato alla seconda azienda partner di questa innovazione, Moia, la quale dispone di una notevole esperienza nel ride pooling e dunque si occuperà di gestire la nuova flotta di veicoli a guida autonoma fornendo un servizio di mobilità nella metropoli, alternativo e più efficiente. La mission futura che la compagnia automobilistica tedesca intende raggiungere, è quella di rivoluzionare il sistema di mobilità pubblica e privata, rendendo gli spostamenti più autonomi e più sostenibili a partire dal 2025; facilitando inoltre la distribuzione commerciale e dei servizi di trasporto e consegna. Volkswaghen dimostra oggi di possedere tutte le competenze necessarie per essere protagonista del mercato automotive dei prossimi decenni, rimanendo al passo coi tempi nello sviluppo di progetti

innovativi e che non hanno nulla da invidiare a quelli della concorrenza. (Eric Stafford, Car and Drive,2021)

2.4.4 Baidu con Apollo

Se il colosso tecnologico americano leader nei motori di ricerca, Google, ha realizzato il proprio “robotaxi” grazie alla collaborazione con Waymo; non da meno poteva essere il diretto rivale cinese, Baidu.

Baidu è il più grande motore di ricerca cinese, e proprio per questo viene soprannominato “La Google cinese”. Colosso tecnologico dal valore di centinaia di milioni di euro, ha lanciato un anno fa propria flotta di taxi a guida autonoma, che viene utilizzata all’interno di un servizio di ride-hailing. Il servizio è stato lanciato in collaborazione con la società Apollo, la quale si è occupata di sviluppare il software dell’automobile senza conducente. Il servizio di taxi automatizzato ha iniziato il suo servizio nel parco Shougang di Pechino, una delle future sedi delle Olimpiadi invernali di Pechino 2022. Gli utenti potranno chiamare il robotaxi e chiedergli di portarli ovunque desiderino, verso i palazzetti dello sport, alberghi piuttosto che a prendere un caffè o in ufficio. Il successo del progetto è derivato anche da una molteplicità di test e collaudi che le aziende hanno effettuato, prima in aree più circoscritte, fino a testare i propri veicoli per diverso tempo anche nelle strade trafficate delle metropoli. Inoltre grazie al supporto dello stato Cinese attraverso finanziamenti e la promozione del veicolo elettrico, il colosso tecnologico cinese sta portando avanti progetti di guida autonoma anche nel settore di larga scala privato. A inizio del 2021 è stato stretto l’accordo tra Baidu e il Gruppo Geely, proprietario tra i vari marchi anche di Volvo, con l’intenzione di costituire una società autonoma preposta alla realizzazione dei veicoli elettrici. (Wang Yanlin, SHINE,2021)

2.4.5 Toyota con Aurora

Aurora Innovation, fondata nel 2017, è una startup statunitense di guida autonoma dal valore di 10 miliardi di dollari. Dopo aver acquisito al suo interno la Advanced Technologies Group da Uber, Aurora ha stipulato un contratto di partnership con la nota casa automobilistica giapponese Toyota Motors; con lo scopo di sviluppare un minivan a guida autonoma. La startup statunitense ha attualmente sviluppato il proprio pacchetto di guida autonoma chiamato Aurora Drive. Il pacchetto comprende sia il software che l'hardware necessario a dotare il veicolo di guida autonoma avanzata. Il modello scelto per i test e lo sviluppo della tecnologia di guida autonoma è il minivan Toyota Sienna, il quale utilizzerà l'Aurora Drive. Una volta messa a punto la tecnologia e testata, il Toyota Sienna dotato di Aurora Drive, verrà prodotto in serie e costituirà la flotta del servizio ride-hailing di quale Uber sarà il cliente principale. Sarà di fatti Uber il cliente principale dell'azienda, il quale ha stretto un accordo di collaborazione per il lancio dei veicoli a guida autonoma. Rimane tuttavia da precisare che l'azienda di San Francisco non sarà l'unico cliente esclusivo; altre aziende automobilistiche come Kia, Hyundai e il gruppo FCA, oltre a Toyota, hanno espresso il loro interesse e stretto partnership con Aurora per lo sviluppo di veicoli autonomi da utilizzare poi nel servizio di sharing. Come primo obiettivo, la compagnia americana, ha l'intenzione di sviluppare sistemi di guida autonoma per veicoli pesanti, solo successivamente poi l'azienda si dedicherà anche allo sviluppo dei robotaxi, nicchia di mercato dove attualmente Waymo e Cruise tuttavia detengono un vantaggio competitivo. Allo stato odierno, Aurora dichiarato di avere intenzione, entro la fine dell'anno corrente, di testare i prototipi nelle città dove detiene le proprie sedi, ovvero a Pittsburgh, la Bay Area in California, Bozeman e Dallas. Per quanto riguarda le tempistiche di commercializzazione dei veicoli invece non è ancora stato dichiarato quando entreranno in commercio. (Alfonso Rizzo, Forbes, 22 febbraio 2021)

2.4.6 General Motors con Cruise

Nel 2016 il gruppo General Motors ha acquistato la società Cruise. Attualmente la società fondata nel 2013 con sede a San Francisco, California ha un valore di 30 miliardi di dollari ed è tra le aziende che operano nel settore della guida autonoma con la maggiore capitalizzazione al mondo. Tra i suoi investitori troviamo aziende rinomate tra cui Honda, GM, T. Rowe Price Group, SoftBank e Microsoft grazie alle quali ha ricevuto oltre 9 miliardi di dollari nei soli ultimi 3 anni.

Di recente la Cruise ha acquisito Voyage, una società che opera nel settore delle driverless car ormai da diversi anni. Cruise utilizza una strategia molto simile a quella di Waymo, azienda di appartenenza di Google; utilizzando come vettura per il suo progetto la Chevrolet Bolt equipaggiata con la tecnologia di guida autonoma proprietaria di Cruise. Già nel 2019, la società doveva lanciare il suo servizio di taxi a guida autonoma nella città di San Francisco, ma ad oggi il servizio non è ancora partito.

Solo in un secondo momento, nel 2023, l'azienda intende espandere il proprio progetto anche nella città di Dubai, fornendo il proprio servizio di robotaxi. Per l'occasione verrà utilizzata una navetta completamente autonoma denominata Origin, la cui produzione è prevista a partire dal 2022 presso il Factory Zero Detroit-Hamtramck Assembly Center. Attualmente l'azienda ha già ricevuto un permesso dal "Dipartimento dei veicoli a motore della California" per testare i mezzi autonomi a San Francisco. In futuro, con l'utilizzo della navetta autonoma Origin, Cruise avrà bisogno inoltre di un'esenzione dagli standard di sicurezza del governo federale, che richiedono che i veicoli siano comunque dotati di volante e pedali. (Michael Wayland,2021)

2.4.7 Amazon con Zoox

Portare i veicoli a girare nelle strade guidati da un insieme di strumenti tecnologici coordinati da un'intelligenza artificiale piuttosto che essere guidati da un umano, è la sfida della guida autonoma. La sfida nel realizzare questi nuovi veicoli tuttavia non appartiene solo alle case automobilistiche, ma anche e soprattutto alle aziende hi tech specializzate nel settore. Diverse infatti sono state le aziende della Silicon Valley a investire sulla guida autonoma ed a cimentarsi in questa sfida, attraverso anche la stipulazione di collaborazioni con le case automobilistiche. Tra le prime aziende tecnologiche ad entrare nel mercato delle auto a guida autonoma sicuramente c'è Google, la quale grazie all'acquisizione di Waymo è oggi l'azienda più avanti nello sviluppo di questa tecnologia. Waymo One, il servizio di robotaxi, è stato di recente aperto al pubblico a Phoenix, in Arizona. Tuttavia il vantaggio di Waymo sui concorrenti, potrebbe essere colmato entro pochi anni da un altro colosso tecnologico, Amazon. L'azienda fondata da Jeff Bezos ha investito notevoli somme di denaro nella guida autonoma, entrando anche lei nel settore dell'automotive con l'acquisizione ultima di Zoox, azienda specializzata nello sviluppo di auto a guida autonoma. Dopo sei anni di studio e sviluppo della vettura, Zoox ha presentato il suo robotaxi adibito al trasporto di persone. La vettura è simile ai prodotti offerti dalla concorrenza e concepita con la stessa filosofia, come ad esempio l'Origin della Cruise. La navetta, sviluppata per supportare la guida autonoma anche di quinto livello, può contenere al suo interno fino a 4 persone sedute su due divanetti collocati uno di fronte all'altro. Il robotaxi dispone di tutti i confort di viaggio necessari tra cui uno schermo per visualizzare il tragitto e interagire con le funzioni dell'auto ed inoltre delle prese di ricarica per i dispositivi mobile. La vettura, poiché guidata da un sistema di guida autonoma di quinto livello, non presenta al suo interno né il classico volante né i pedali, in quanto non è richiesta l'interazione dell'uomo in nessun caso. La struttura esterna del robotaxi è speculare, (la parte anteriore e posteriore sono uguali), permettendo al veicolo così di muoversi tra le strade delle città senza necessità di far manovre per invertire il senso di marcia. Questa caratteristica, insieme alle quattro ruote sterzanti, permettono al veicolo di

destreggiarsi nelle strade della città con estrema facilità, anche nei vicoli più stretti. La navetta raggiunge una velocità massima di 120 km/h , alimentata da un pacco batteria di 133 kWh che fornisce un'autonomia al veicolo di 16 ore. Il robotaxi con guida autonoma di quinto livello è dotato di tutto l'hardware necessario per riuscire a viaggiare in completa sicurezza, sono presenti infatti sensori radar, lidar e telecamere gestite dal sofisticato computer di bordo. L'azienda sta ultimando gli ultimi test nelle città di San Francisco e a Foster City, in California, oltre che a Las Vegas, Nevada; per poi nel 2022 lanciare il servizio commerciale. (Alan Ohnsman,Forbes)

2.4.8 FCA con Voyage e Waymo

Il gruppo FCA (Fiat Chrysler Automobiles) azienda italo-statunitense di diritto olandese, è l'ottavo gruppo automobilistico per unità di veicoli prodotti, che nel 2021 si è fuso col gruppo PSA costituendo Stellantis N.V. L'azienda tuttavia già da diversi anni si è interessata anche lei dei vari progetti di guida autonoma diventando fornitore ufficiale di veicoli per diverse startup del settore. Tra queste, troviamo la startup Voyager con la quale ha stretto una collaborazione per implementare il sistema di guida automatica nei propri veicoli. Lo scopo della startup è quello di progettare un software di guida autonoma, che sia in grado di dialogare in maniera eccellente con la vettura, dimostrando di conoscere bene lo stato del veicolo in qualsiasi condizione. Per la collaborazione il gruppo FCA ha progettato un modello della Chrysler Pacifica Hybrid modificato appositamente per migliorare l'integrazione col software di Voyage. I primi test svolti dalle due aziende vicino le loro sedi, hanno dato risultati incoraggianti tanto che le due aziende stanno continuando a investire e a lavorare nel progetto.

Tra le altre partnership stipulate dal gruppo FCA c'è anche quella con l'azienda Waymo, di proprietà di Google che è attualmente l'azienda più all'avanguardia per quanto riguarda la guida autonoma. FCA è fornitore dei veicoli che formano il parco auto di Waymo, producendo per l'azienda di proprietà di Google, la Chrysler Pacifica utilizzata come auto pilota per il progetto. (Oliver Cameron,Voyage)

Se da un lato le aziende stanno investendo ingenti capitali di denaro nello sviluppo di veicoli che siano in grado di circolare sulle strade in modo autonomo, dotati del più avanzato livello di guida autonoma, stringendo partnership con le società hi tech; dall'altro lato molte aziende non sono riuscite a rimanere al passo coi tempi e si sono ritirate dalla competizione.

Tra le aziende più note c'è anche Mercedes, la quale è stata anche tra le prime aziende a credere fortemente nella guida autonoma, e che era riuscita a far circolare 5 anni fa per 20 km, con successo, il proprio prototipo nelle strade di Amsterdam. Oggi l'azienda dichiara di abbandonare i progetti relativi alla guida autonoma e di concentrarsi semplicemente sul fornire ottimi sistemi di assistenza alla guida, mantenendo un livello di lusso elevato all'interno dei propri prodotti. La linea Mercedes si ferma dunque alla guida assistita di Livello 3 della nuova Mercedes Classe S. Vengono tuttavia ancora supportati tutti i progetti della casa automobilistica tedesca che riguardano lo sviluppo di tecnologie di quarto livello destinate al mondo del trasporto pesante. Recentemente Mercedes ha di fatto stipulato una partnership con Waymo per lo sviluppo della guida autonoma su camion della Freightliner, brand di proprietà di Daimler. (Redaktions Netzwerk Deutschland)

Diverse sono le aziende che stanno sviluppando sistemi di guida autonoma da implementare sui propri veicoli. Ogni casa automobilistica sta rinnovando la propria offerta di veicoli offrendo nuovi modelli elettrici e aggiornando i propri sistemi di supporto alla guida. Molte sono le partnership strette tra le varie aziende del settore automobilistico e tecnologico per riuscire a proporre veicoli autonomi di livello superiore. Attualmente gran parte delle aziende propone vetture che appartengono al secondo o terzo livello; tuttavia come sopra riportato, i leader del settore stanno già lavorando su prototipi di guida autonoma completa pronti a commercializzarli entro pochi anni.

2.5 L'Italia e il suo supporto ai veicoli autonomi

Il settore automotive sta in questi anni attraversando una fase di transizione verso lo sviluppo di vetture più sostenibili e più autonome. La recente emergenza ambientale e il richiamo all'attenzione alla sostenibilità, futura sfida del nostro pianeta, ha coinvolto anche uno dei settori più responsabili di questo cambiamento, ovvero quello automobilistico. Gran parte dei paesi del nostro pianeta hanno iniziato ad attuare politiche di salvaguardia dell'ambiente, promuovendo dunque il passaggio a una mobilità elettrica e automatizzata. Il continuo sviluppo della tecnologia e l'aumentare delle potenze di calcolo delle macchine, ci ha permesso oggi di arrivare a concrete e efficaci soluzioni di implementazione della guida autonoma nelle vetture.

Per supportare lo sviluppo della guida autonoma tuttavia sono diversi gli aspetti su cui è necessario operare. I vari governi devono innanzitutto regolamentare l'aspetto normativo in riferimento alla responsabilità e l'aspetto assicurativo di questi mezzi, inoltre è necessario fornire la strumentazione tecnologica necessaria per favorire la comunicazione tra i vari veicoli (V2V e V2X).

I vari paesi stanno investendo innumerevoli quantità di denaro nella modernizzazione delle infrastrutture stradali, necessarie per la realizzazione delle Smart Road; strade tecnologicamente avanzate che permetteranno alle vetture di un domani di migliorare la viabilità nelle città.

Ruolo fondamentale, per il passaggio a questo nuovo modo di vivere la mobilità, è ricoperto dalle varie istituzioni dei vari paesi che possono incentivare e supportare in maniera più o meno consistente il passaggio a questo nuovo concetto di mobilità.

In riferimento a quanto detto, ogni anno viene stipulata una classifica su quali siano i paesi più attivi nella promozione della guida autonoma e nel creare un ambiente idoneo al suo sviluppo e utilizzo. L'indagine, "Autonomous Vehicles Readiness Index (AVRI)", viene condotta dalla nota società di consulenza, KPMG, il quale ogni anno conduce questo studio classificando diversi paesi e attribuendogli un punteggio che poi ne determina una classifica.

L'indagine prende in considerazione 30 paesi e giurisdizioni i quali sono stati valutati su

28 criteri diversi, raccolti in quattro pilastri principali: politica e legislazione, tecnologia e innovazione, infrastrutture e accettazione del consumatore. Ogni paese alla fine riceve un numero che sta ad identificare l'indice AVRI, secondo il quale la società di consulenza KPMG poi stipula una classifica su quali siano i paesi più all'avanguardia nel promuovere e creare un ambiente idoneo allo sviluppo e all'utilizzo dei mezzi di spostamento autonomi.

Nella prima posizione di questa classifica troviamo Singapore. Grazie a un ottimo lavoro svolto dalla politica e dalla legislazione, nel promuovere l'utilizzo di mezzi elettrici e sfruttare i servizi di mobilità pubblica autonomi, attraverso incentivi e finanziamenti vantaggiosi, i cittadini hanno avuto un'ottima risposta nell'abbracciare questo cambiamento che ha portato questo stato ad essere il più all'avanguardia riguardo la tematica corrente.

La città-stato ha esteso i test AV per coprire tutte le strade pubbliche nella parte occidentale di Singapore e mira a servire tre aree con autobus senza conducente a partire dal 2022. Il numero di punti di ricarica nella città aumenterà da 1.600 a 28.000 entro il 2030 con continui incentivi per l'acquisto di veicoli elettrici.

Al secondo posto della classifica si trovano invece I Paesi Bassi. Essi tuttavia mantengono ancora il primato per quanto riguarda le infrastrutture, ed inoltre sono ancora leader nel numero di stazioni di ricarica per veicoli elettrici pro capite. Scendono al secondo posto, superati da Singapore, per la qualità delle strade. I Paesi Bassi tuttavia vantano un consistente numero di progetti pilota riguardo lo sviluppo e test di veicoli autonomi compresi i mezzi pesanti. Il 2019 ha visto i Paesi Bassi estendere l'uso di strumenti stradali intelligenti, come per esempio i semafori smart, che inviano il loro stato in modalità wireless ai veicoli autonomi connessi.

Come terza classificata si posiziona invece la Norvegia. Questo paese ha esteso l'uso dei veicoli autonomi nel 2019 con diverse linee di autobus nella capitale ed inoltre ha aumentato il limite di velocità per i veicoli senza conducente, sulle strade, da 16 km/h a 20 km/h. La maggior parte dei veicoli passeggeri acquistati in Norvegia nel 2019 erano ibridi a batteria o plug-in; a favorirne la diffusione sono state le politiche di tassazione elevate sui veicoli a combustione interna e sui carburanti. La Norvegia sta già inoltre

testando la guida autonoma in condizioni meteorologiche estreme. Nelle innevate isole Svalbard, nel Circolo Polare Artico, le ultime tecnologie di guida autonoma applicate a vetture, camion e autobus, stanno attraversando una severa fase di test per poi essere approvate per l'utilizzo pubblico e privato nelle città del paese.

Nella classifica redatta, l'Italia tuttavia si posiziona solamente al ventiquattresimo posto su trenta paesi considerati; una posizione relativamente bassa.

I punti in cui il paese ottiene un buon punteggio sono le misure incentrate sui veicoli autonomi. È stato possibile raggiungere questo risultato grazie al lavoro del ministero dei trasporti, nel settore dei veicoli autonomi, con la costituzione del decreto Smart Roads del febbraio 2018, il quale autorizza lo svolgimento dei test con i veicoli autonomi, purché siano dotati di controlli e di un operatore in grado di prendere il controllo del veicolo se necessario. È stato inoltre creato un Osservatorio per le Smart Roads per monitorare tutti gli esperimenti riguardanti la guida autonoma in Italia ed esaminare inoltre quelli in altri paesi per sviluppare soluzioni sempre migliori.

Anas, la società statale che gestisce le principali strade italiane, prevede di spendere 140 milioni di euro in tecnologie per supportare la connessione, nelle proprie strade, dei veicoli smart. Il progetto riguarderà oltre 2.500 km della propria rete stradale, con lavori specifici su strade tra cui il Grande Raccordo Anulare autostradale di Roma.

Secondo il rapporto l'Italia sta investendo molto sulla connettività digitale, ampliando la copertura della rete 5G e cablando l'intero paese con la fibra ottica. Ciò permetterà al paese di supportare i veicoli autonomi, favorendo le connessioni V2X (vehicle to everything) e la connessione V2V (vehicle to vehicle). Nel primo caso il veicolo sarà in grado di comunicare con qualsiasi dispositivo come per esempio l'ente autostradale, altri veicoli e qualsiasi entità che sia in grado di influenzarlo; nel secondo caso invece il veicolo potrà comunicare solo con gli altri veicoli nelle vicinanze.

A seguito del decreto Smart Roads, i primi test in Italia sono iniziati nel 2019 a Parma e Torino. Entrambi sono gestiti da VisLab, una società che lavora sulla guida autonoma scissa dall'Università di Parma nel 2009 e acquisita dall'azienda statunitense di semiconduttori Ambarella nel 2015.

Nel febbraio 2020, il Comune di Parma, ha autorizzato lo svolgimento delle prove sui

veicoli a guida autonoma, su tutto il suo territorio.

La seconda città a cimentarsi in questa sfida verso l'automazione è Torino. La città sta tesando un servizio di minibus completamente elettrico e autonomo, realizzato interamente con parti stampate in 3D, chiamato Olli, gestito dalla società statunitense Local Motors.

Ancora a Padova, l'azienda italiana Next sta testando minibus autonomi modulari che possono percorrere percorsi diversi a seconda delle destinazioni richieste dai passeggeri. Anche se l'Italia non si classifica tra le posizioni più alte delle classifiche stilate dai vari studi del settore, poiché nel complesso ci sono molti aspetti su cui il paese può lavorare e migliorare rispetto agli altri stati, tuttavia le iniziative volte a promuovere la guida autonoma non mancano. In diverse città Italiane si sta testando questa nuova realtà che caratterizzerà la mobilità del futuro, per poi integrarla in modo progressivo in tutto il territorio nazionale; inoltre il paese detiene aziende leader del settore della guida autonoma, che collaborano con i più grandi player automobilistici del mercato.

Nonostante ciò, il Paese deve ancora lavorare per ridurre l'alto costo di accesso ai veicoli autonomi, e incentivare l'acquisto dei veicoli a guida autonoma per i consumatori. Non solo, è necessario finanziare i fornitori di trasporto pubblico locale affinché rinnovino il parco auto, contribuendo così a un trasporto pubblico più efficiente e sostenibile. Quest'ultimo infatti, secondo lo studio emerso da KPMG, detiene una enorme mancanza nell'investire nel rinnovo del parco auto, rispetto agli altri paesi classificati.

Il Paese manca anche di una mappatura nazionale ad alta definizione, fondamentale per lo sviluppo della guida autonoma del futuro, ed inoltre la legislatura non ha ancora chiarito completamente a chi viene assegnata poi la responsabilità in caso di incidenti che coinvolgono i veicoli autonomi.

L'Italia deve promuovere poi la collaborazione tra le organizzazioni che lavorano sui veicoli autonomi, come per esempio università, enti pubblici e aziende private, al fine di definire una tecnologia comune che consenti in futuro a tutti i veicoli di comunicare tra di loro.

(Annual Report "Autonomous Vehicles Readiness Index (AVRI)", KPMG)

2.5.1 Aziende Italiane impegnate nella guida autonoma

Nella penisola italiana, più precisamente ad Ispra, in provincia di Varese, in Lombardia è collocato uno dei campus di ricerca sulla guida autonoma leader in Europa, con la presenza di molti laboratori dotati delle ultime tecnologie in commercio e infrastrutture all'avanguardia per la ricerca di soluzioni innovative e uniche. Si tratta del Living Lab del JRC di Ispra, nonché il terzo più grande centro di ricerca della Commissione europea dopo quello di Bruxelles e Lussemburgo. Fondato nel 1960, inizialmente come sito di ricerca nucleare, è oggi punto di riferimento in Europa per lo sviluppo di tecnologie del mondo della robotica e dell'automazione.

Di recente, l'azienda e-Shock ha intrapreso una collaborazione con il JCR partecipando alla co-creazione del Living Lab for Smart City solutions.

L'azienda e-shock fa parte del gruppo e-Novia, considerata la "fabbrica di imprese del futuro", con sede a Milano che, dal 2015, costruisce, promuove e sviluppa società innovative che si occupano principalmente della robotica, mobilità e intelligenza artificiale.

L'azienda ha intrapreso la collaborazione con il Joint Research Center (JRC) dopo aver vinto il bando assegnato dalla Commissione europea per lo sviluppo del progetto Living Lab, il quale consiste nello sviluppare e implementare soluzioni per le Smart City del domani, all'interno dello stesso centro di ricerca.

Lo stesso centro, JCR, fungerà come area dentro la quale sviluppare il progetto, poiché date le sue caratteristiche si presta ad essere un luogo ottimale a questo scopo. Il campus di Ispra infatti ha le caratteristiche di una piccola città, composto da oltre 400 edifici, 36 chilometri di strade e 2.000 dipendenti, è il luogo ideale dove poter svolgere questi test. La durata della collaborazione tra l'azienda e-Shock e il centro di ricerca di Ispra è prevista per tutto il tempo necessario per portare a termine il progetto stesso, dalla quale emergeranno nuovi servizi a disposizione dell'intero campus. I risultati emersi dal lavoro, potranno poi essere condivisi col settore automotive, per fornire materiale di studio per lo sviluppo del settore.

Tra i servizi più interessanti per i dipendenti del campus c'è il veicolo Rob.Y, una sorta di navetta che sarà adibita al trasporto di persone e costituirà il corpo dei futuri veicoli a guida autonoma. Saranno testate tutte le manovre caratteristiche di una vettura, come la frenata, la stabilità la trazione e la tenuta del veicolo su diverse tipologie di malto stradale. Le strade del centro di ricerca JCR si presteranno ad essere il percorso che la navetta Rob.Y dovrà percorrere durante la sua fase di test e sulla quale verrà sviluppato il sistema di guida autonoma messo a punto dall'azienda e-Shock. (Maurilio Rigo, La Repubblica, gennaio 2020)

L'obiettivo della collaborazione nella realizzazione del progetto Living Lab for Smart City solutions tuttavia non si ferma qui. Lo scopo del progetto è di fatti molto più ambizioso e consiste, oltre che al fornire dati utili al settore automotive per lo sviluppo di una guida autonoma sempre più precisa ed efficace, anche in quello di sviluppare soluzioni utili per le smart city del futuro ed inoltre, studiare preventivamente il comportamento delle persone nell'approcciarsi a queste nuove realtà che presto faranno parte delle città.

2.5.2 Le città pilota in Italia

Diverse sono le città italiane che stanno ospitando nelle proprie strade i vari test sulla guida autonoma eseguiti dalle diverse aziende del settore. Grazie al decreto Smart Road del 2018, il ministero dei trasporti autorizza, previa autorizzazione speciale, lo svolgimento dei test con auto autonome, anche nelle strade pubbliche, purché all'interno del veicolo ci sia un conducente che sappia intervenire in caso di necessità. (Decreto Smart Road, G.U. 18/04/2018)

La prima città italiana ad accogliere la sperimentazione della guida autonoma è Torno. Nel capoluogo Piemontese è stato definito un circuito di 35 chilometri lungo le strade

della città, che comprendono tratti di strada di vario tipo, dall'intenso traffico del centro città alle strade più periferiche. Le diverse tipologie di strade e ambiente in cui la vettura dovrà cimentarsi, permetteranno di testare il sistema di guida autonoma in diverse condizioni reali tipiche del contesto urbano e cittadino, facendo emergere i relativi limiti della tecnologia. Il percorso che sarà uso di sperimentazione è stato adeguatamente segnalato con cartelli per richiamare l'attenzione anche degli altri automobilisti, ed inoltre lungo il tragitto è stata installata la tecnologia necessaria, come le antenne 5G, affinché la macchina possa comunicare e interagire con la strada e la segnaletica. Tra le aziende automobilistiche interessate alla proposta di test troviamo FCA, GM, Mercedes-Daimler e Itadesign (marchio del gruppo Volkswagen).

A gennaio 2020, nemmeno la pandemia COVID è riuscita a frenare il lancio del test del nuovo van elettrico a guida autonoma (livello 4) chiamato "Olli 2". Il minibus con un'autonomia di 50 chilometri e la capacità di trasportare fino a 12 passeggeri, ad una velocità massima di 25 km/h, ha iniziato la sua fase di test per la città di Torino. Realizzato grazie alla tecnologia di stampa 3D dalla società americana Local Motors e dotato di quattro ruote sterzanti e un pacco batterie che richiede solo due ore per essere ricaricato completamente, il minibus "Olli 2" dispone di un sistema di guida autonoma ad alta automazione, dov'è ancora richiesta la presenza di un guidatore, almeno in questa fase di test, poiché la normativa non autorizza ancora la circolazione dei veicoli in modalità totalmente autonoma. Se la sperimentazione andrà a buon fine, generando i risultati attesi, il minibus potrà iniziare a svolgere il suo servizio entro pochi anni. (Filomena Greco, *IlSole24Ore*, 16 gennaio 2020)

A detenere il primato italiano in termini di tempo, anticipando anche la città di Torino, è stata la cittadina di Merano, in provincia di Bolzano. La cittadina nel 2019 ha infatti svolto la sperimentazione, durata una settimana, di un minibus totalmente elettrico che ha percorso un anello urbano chiuso al traffico, durato 10 minuti, ad una velocità di 25km/h. Il veicolo, in grado di portare fino a 15 passeggeri, è stato fornito dall'azienda francese Navya, leader mondiale della guida autonoma; la quale ha distribuito il minibus in oltre 25 paesi diversi, tra cui l'Italia, per lo svolgimento dei test. Addirittura in qualche

paese, come la Svizzera, la navetta è già entrata in funzione svolgendo il proprio servizio pubblico all'interno del trasporto urbano.

(Barbara Crimauto, La Repubblica, 2019)

A Padova, la sperimentazione della guida autonoma viene portata dall'azienda Next che, in collaborazione col Comune, sta iniziando a svolgere i primi test con un Minibus. Con un'ottica al futuro, la città di Padova ha accolto nelle sue strade il progetto Next Future Transportation, il quale oggi propone un Minibus totalmente elettrico e dotato di guida autonoma, adibito al trasporto delle persone nel servizio pubblico cittadino. Inizialmente il test col Minibus è stato svolto all'interno di un parcheggio comunale, chiuso al traffico, per poi in un secondo momento, una volta aver ricevuto il permesso da parte del Ministero dei Trasporti, proseguire la sperimentazione anche sulle strade pubbliche della città. Il Minibus, oltre ad essere totalmente elettrico è anche modulare, ciò permette al veicolo di aumentare o diminuire i propri moduli in base al flusso di persone del tragitto e alla capienza necessaria. Ogni modulo contiene al suo interno 10 passeggeri. I moduli possono viaggiare in modo autonomo oppure uno attaccato all'altro, ciò permette ai vari moduli di viaggiare assieme per i tratti del percorso comuni e separarsi autonomamente quando le varie destinazioni richiedono strade diverse. I Minibus, grazie alla loro forma cubica e la capacità di ruotare su sé stessi, si prestano benissimo alle manovre nelle strade strette delle città o nell'eseguire parcheggi estremamente difficili. Padova si mostra così una delle città italiane più all'avanguardia nell'implementazione dei servizi di trasporto pubblici autonomi, pronta nei prossimi anni a proporre una mobilità più sostenibile e autonoma.

(Andrea Barsanti, La Stampa, 26 Giugno 2019)

Nella città di Parma, a gestire i test sulla sperimentazione della guida autonoma è la società Vislab (Vision and Intelligent Systems Laboratory). La società che sviluppa sistemi di guida autonoma, inizialmente appartenente all'Università di Parma, oggi invece di proprietà della compagnia americana Ambarella, società specializzata nel campo dei

semiconduttori e delle nuove tecnologie. La società sviluppa vari progetti legati all'automazione e alla robotica ed è stata la prima azienda ad aver fatto domanda al MIT per avviare i test su strada.

Già nel 2010 la società aveva dimostrato le proprie competenze sul campo, realizzando un Auto van, dotato di sensori, laser e microtelecamere che permisero al veicolo di percorrere in tre mesi 13 mila chilometri, partendo proprio da Parma e arrivando a Shanghai. Per tutto il viaggio il veicolo, chiamato Deeva, è stato in grado di guidare autonomamente senza la presenza al suo interno di un conducente. (Broggi et.al, 2011)

La Giunta comunale di Parma, a febbraio 2020, ha tuttavia concesso la sperimentazione delle auto a guida autonoma in tutto il territorio comunale, con l'obiettivo di supportare le sperimentazioni di tutte le aziende nel campo della guida automatizzata, tra cui appunto Vislab.

Anche altre città in Italia si stanno attivando per integrare nei propri servizi pubblici sistemi di guida autonoma e rinnovare il parco auto con veicoli più sostenibili ed efficienti. Tra queste troviamo Milano, dove la società ATM (Azienda Trasporti Milanesi) ha emanato un bando per la ricerca di un'azienda che si occupi di progettare un sistema di trasporto pubblico basato sulla guida autonoma di quinto livello, con l'ottica di rendere il trasporto pubblico milanese nei prossimi anni totalmente autonomo.

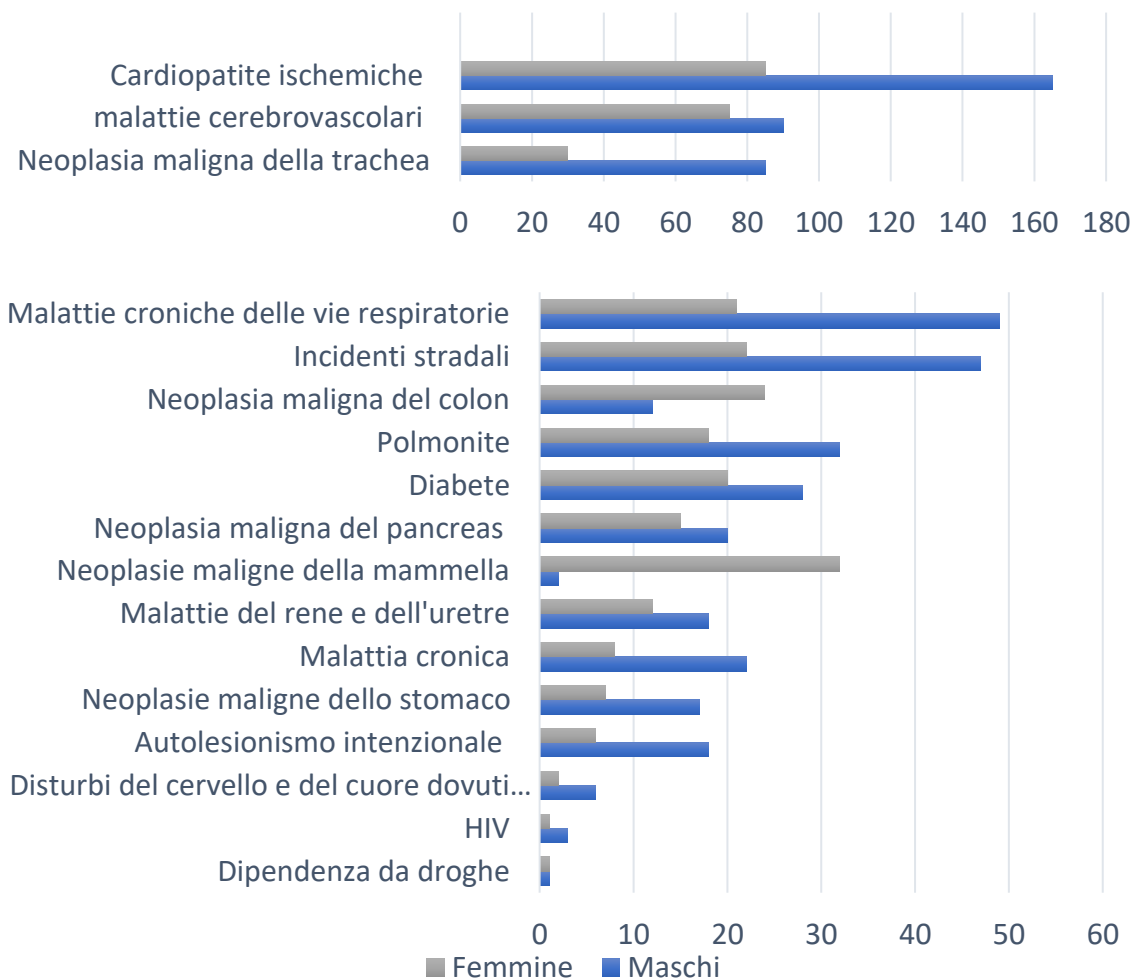
Quelle elencate sono tuttavia le città italiane dove la guida autonoma è stata, ed è tuttora, protagonista nelle strade pubbliche; trascinando a piccoli passi l'Italia verso un cambiamento della mobilità pubblica e in futuro anche privata.

2.6 Le Smart Road

Secondo gli studi riportati da Eurostat, prima del 2009, gli incidenti stradali erano la prima causa di morte nell'Unione europea.

Tasso di mortalità standardizzato sulle cause di morte, UE, 2016

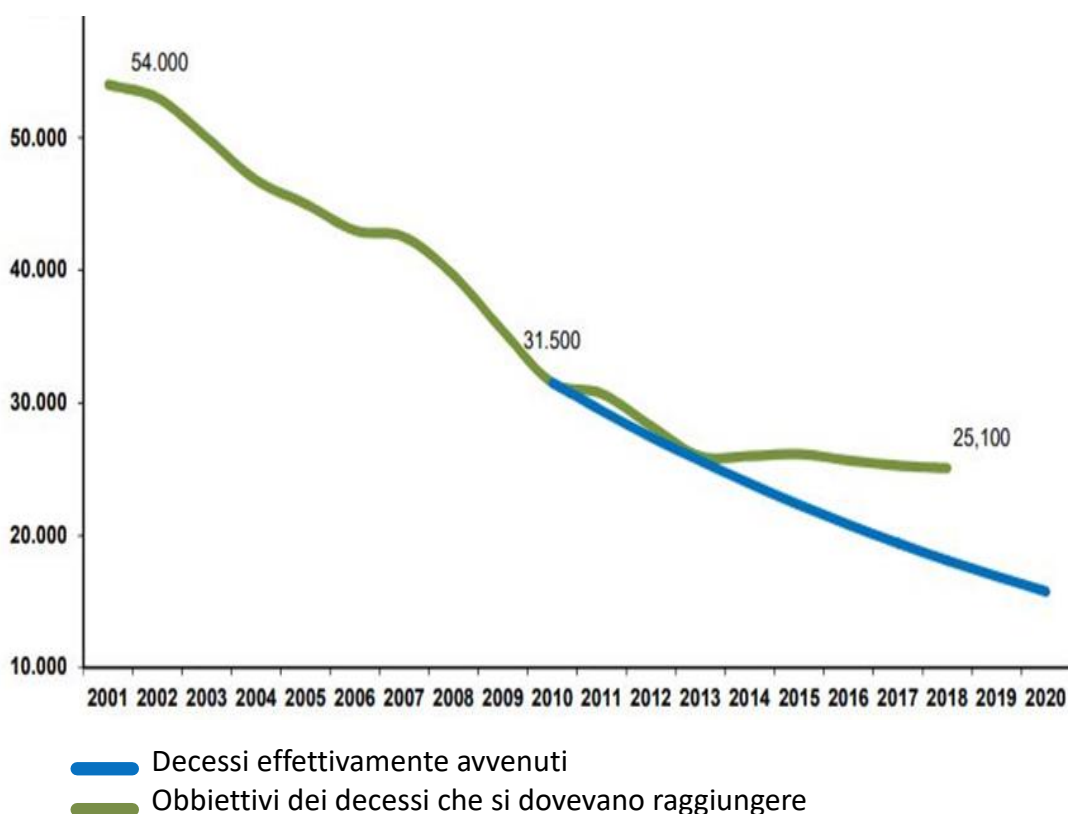
(per 100.000 abitanti)



Vista la situazione estremamente grave, in termini di morti bianche, in cui versava la Comunità Europea, nel 2003, la Commissione europea ha adottato il suo terzo

programma d'azione europeo per la sicurezza stradale, che mirava a dimezzare il numero di vittime della strada entro il 2010. Sebbene l'obiettivo iniziale non fosse stato raggiunto del tutto entro la fine del 2010, si è deciso di continuare con l'obiettivo di dimezzare il numero complessivo di vittime della strada nell'UE entro il 2020, a partire dal 2010.

Evoluzione degli obiettivi e dei decessi stradali dell'UE dal 2001 al 2020

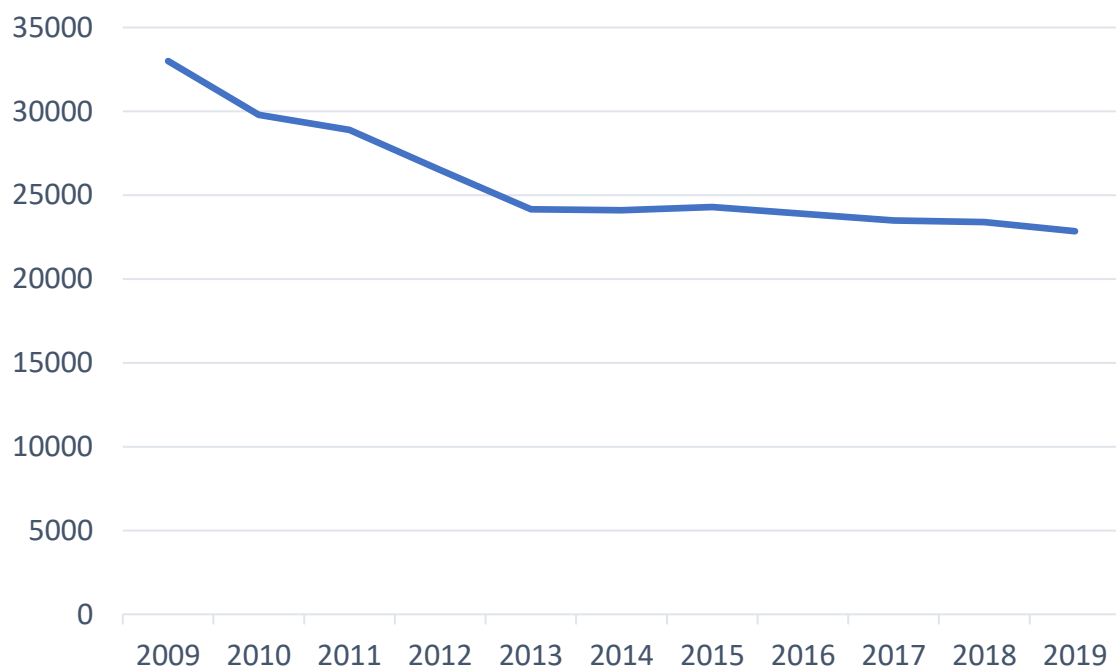


Sebbene il numero di morti in incidenti stradali è notevolmente diminuito, in Europa, negli ultimi 20 anni; il numero di decessi è infatti diminuito del 31,0 % tra il 2009 e il 2019, l'obiettivo imposto per il 2020 non è stato raggiunto. La diminuzione è stata continua negli anni, ad eccezione del 2015, quando si è osservato un aumento dello 0,9 % rispetto all'anno precedente. Nel 2019, rispetto al 2018, il numero di morti in incidenti

stradali ha continuato a diminuire, passando da 25.100 nel 2018 a 22.650 nel 2019. (fonte dati: CARE)

Secondo i dati riportati dalla Commissione Europea in merito ai decessi a seguito degli incidenti stradali avvenuti nel 2020 in Europa, sono 18 800 le persone che hanno perso la vita a causa di incidenti stradali. Rispetto all'anno precedente, il 2019, c'è stata dunque una riduzione del 17%, ovvero quasi 4000 unità. Una riduzione quindi decisamente importante, dovuta senza alcun dubbio alla pandemia di COVID-19 che ha limitato notevolmente il volume di traffico sulle strade e gli spostamenti dei cittadini.

Numero morti per incidenti stradali in Europa 2009-2019

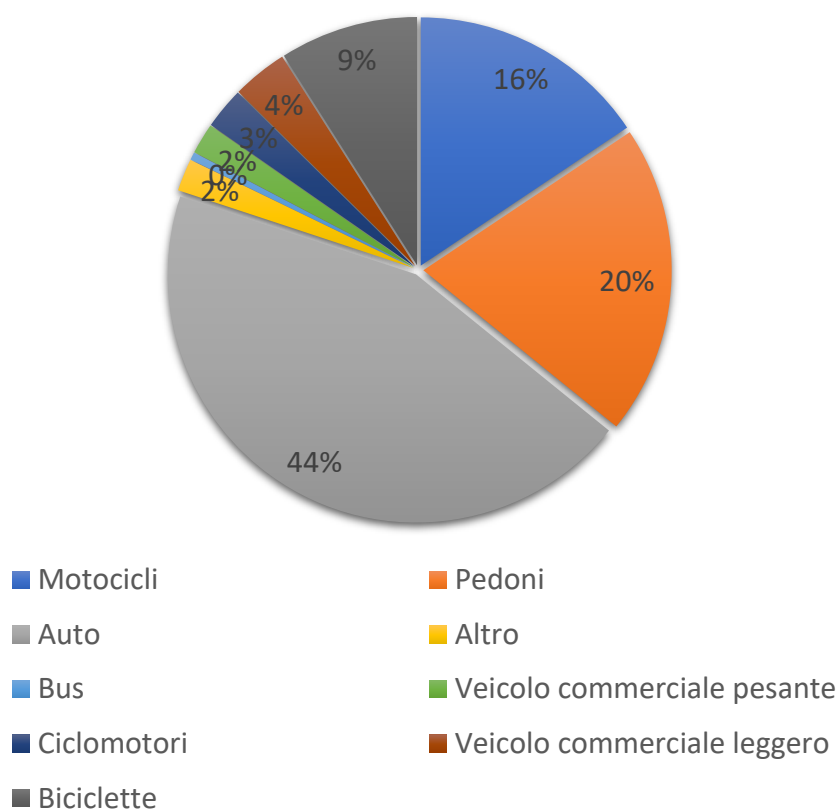


Non sorprende che gli automobilisti e i passeggeri abbiano rappresentato la più grande categoria di decessi stradali nell'UE nel 2019, con il 44,2 % di tutti i decessi stradali. I pedoni (20,2 %) erano la seconda categoria più grande, leggermente davanti ai motociclisti e ai loro passeggeri (15,6 %). I ciclisti hanno rappresentato il 9,0 % delle vittime della strada nell'UE nel 2019. Va notato che le morti per ciclisti sono

sottostimate: alcuni incidenti che coinvolgono ciclisti non vengono denunciati alla polizia. Le restanti categorie di veicoli insieme hanno rappresentato l'11,0 % delle vittime di incidenti stradali nell'UE nel 2019: veicoli commerciali leggeri e pesanti, autobus e pullman, ciclomotori e "altro" (essenzialmente trattori agricoli e altri veicoli a motore).

(fonte dati: Eurostat)

Morti in incidenti stradali per categoria di veicoli , EU, 2019



In media, più del 55% delle vittime della strada si verifica su strade extraurbane, il 38% all'interno delle aree urbane, mentre solo il 7% circa è causato sulle autostrade. Pedoni e ciclisti rappresentano il 30% delle vittime dei trasporti complessivi, ma quasi il 43% nelle aree urbane.

(CARE distribution of fatalities by mode of transport in the EU)

Questi dati danno un'indicazione generale delle aree di miglioramento che potrebbero essere mirate con la revisione delle norme di Sicurezza Generale e Sicurezza Pedonale.

Gli esperti hanno affermato che circa il 95% degli incidenti stradali sia stato causato solo per una certa parte dall'errore umano, mentre si stima che il 75% sia stato causato dal solo errore umano. Tra le principali cause di incidenti legate al fattore umano la ricerca ha individuato la velocità eccessiva, la distrazione e la guida in stato di ebbrezza, come alcuni degli aspetti più importanti. Per essere efficace, la politica di sicurezza stradale nel suo insieme deve tenere conto dell'intera gamma di fattori, come il comportamento dei conducenti e l'infrastruttura stradale, e tenere d'occhio la loro interazione.

(fonte dati: report of the eSafety Working Group)

L'Organizzazione mondiale della Sanità, stima che ogni anno gli incidenti stradali provocano oltre 50 milioni di feriti e più di 1,5 milioni di morti. In circa il 95% dei casi gli incidenti sulla strada sono causati dall'errore dell'uomo che ne determina dunque l'unico responsabile. I sistemi di guida autonoma e dunque i veicoli in grado di muoversi sulla strada in modo del tutto autonomo, possono essere la soluzione per riuscire a ridurre il numero di queste vittime. La guida autonoma di quinto livello esornerebbe l'uomo da ogni mansione di conducente, e di conseguenza anche dalla responsabilità degli incidenti strali. La precisione di guida e il basso tasso di errore che i veicoli autonomi sono in grado di garantire, eliminerebbero quasi completamente gli incidenti stradali, riducendo prossime allo zero il numero delle vittime sulla strada. A una conferenza ministeriale globale sulla sicurezza della strada tenuta nel febbraio 2020 a Stoccolma, tutti i presenti sono giunti alla consapevolezza che *"le tecnologie di sicurezza avanzata dei veicoli, sono tra i più efficaci dispositivi di sicurezza automobilistica"* e hanno chiesto ai paesi di garantire che tutti i veicoli venduti entro il 2030 includano questa tipologia di tecnologia che garantisca una sicurezza avanzata del veicolo quando circola per le strade. Man mano che i veicoli appartengono a livelli di guida autonoma superiori, aumentano anche le tecnologie in grado di prevenire autonomamente collisioni con altri veicoli e dunque di evitare un incidente stradale. La consapevolezza

che attraverso i più avanzati sistemi di guida autonoma si possa arrivare ad eliminare quasi completamente le vittime sulla strada, spinge gli addetti ai lavori a impegnarsi nella realizzazione di queste vetture, portando il settore automotive per la prima volta alla realizzazione di una soluzione che, mai come oggi, può risolvere il problema delle vittime sulla strada.

2.6.1 Cosa sono le smart road

Benché i veicoli a guida autonoma nei prossimi anni stravolgeranno il concetto di mobilità e modificheranno le nostre abitudini, cambiando perfino l'aspetto che avranno i veicoli e le auto che gireranno per le nostre strade; quello che non cambierà è dove le auto correranno, ovvero la strada. È certo infatti che le vetture del futuro, benché autonome, continueranno a scorrere sulle attuali strade, che però, dovranno essere riadattate a questo nuovo sistema di guida. Le strade del futuro si chiameranno "smart road", ovvero "strade intelligenti". Apparentemente queste strade saranno praticamente identiche a quelle attuali, con la sola differenza che saranno dotate di tecnologie in grado di comunicare e far comunicare i veicoli tra di loro e con gli enti stradali. Ciò permetterà alle macchine di scambiare informazioni in modo bidirezionale generando una serie di vantaggi che miglioreranno l'efficienza del trasporto sulle strade. La "smart road" è dunque una strada "intelligente" grazie alla quale i veicoli che la percorrono potranno comunicare tra di loro o con le infrastrutture dedicate alla comunicazione delle informazioni stradali come per esempio le condizioni del traffico e l'eventuale presenza di incidenti, lavori in corso o chiusura di determinate strade, fino ad arrivare a informazioni di servizio più generiche come le condizioni del meteo o la presenza di tratti di strada più pericolosi.

La continua comunicazione tra le auto e i gestori delle strade permette un più efficiente controllo della viabilità; le automobili infatti possono decidere di cambiare tragitto nel caso ricevessero informazioni di un eccessivo traffico o la presenza di incidenti lungo il percorso scelto, oppure ancora permettere il tempestivo intervento, da parte dei soccorritori, inviando la posizione esatta dell'incidente. Sarà più facile inoltre per le

vetture conoscere il parcheggio più vicino e lo stato in cui si trova, riuscendo a prenotare il posto auto se necessario.

Secondo lo studio eseguito dalla società internazionale Indra, azienda specializzata nella consulenza e in tecnologia riguardante le smart road, nel 2022 il settore delle “strade intelligenti” genererà un business da oltre 30 miliardi di dollari. (“Rapporto ITT 2019 sulle Smart Roads”, Indra,2020)

Dalla “Relazione Annuale 2019”, emanata dall’Osservatorio del Ministero dei Trasporti (Mit) per le smart road, emerge quanto segue:

“Lungo le strade italiane si potranno sperimentare mezzi di trasporto innovativi che, per esempio, non dispongono di un volante o di una pedaliera”.

Dal 2019 è possibile dunque eseguire i test con le auto a guida autonoma, previa autorizzazione del Mit, e sempre con la presenza di un conducente in grado di intervenire in caso di necessità, anche se queste auto non sono ancora di fatto omologabili.

Le smart road basano i loro servizi e la loro efficienza sulla mole di dati ricevuta ed elaborata. Più le vetture sono in grado di comunicare con la strada, indicando la loro posizione, i dati relativi alla propria andatura e l’orario, e più questi dati, raccolti ed elaborati dai sistemi di Intelligenza artificiale, sono in grado di fornire un quadro completo della situazione delle strade. Ciò permette ai vari enti, che gestiscono le strade, di comunicare i veicoli strade alternative nelle ore di punta più affollate o informarli di eventuali percorsi più scorrevoli e meno congestionati.

Una prima applicazione di Internet of Things applicata ai Big Data è stata sperimentata a Roma nel 2017, tra la società “Roma e Servizi per la mobilità” e “InfoBlu” (società del gruppo Telepass). Le due società hanno sviluppato una piattaforma digitale che elaborava i dati raccolti dai dispositivi mobili di InfoBlu per un miglior controllo della mobilità della capitale.

L’Italia il 4 maggio 2018, ha istituito all’interno del Ministero delle Infrastrutture e dei

trasporti, “l’Osservatorio tecnico per le smart road e i veicoli a guida autonoma”, presieduto dal Direttore Generale per i sistemi informativi e statistici del MIT Mario Nobile. Il compito di tale organo, è quello di continuare a controllare e supportare lo sviluppo dei progetti inerenti alle smart road e ai sistemi di guida autonoma, in tutto il territorio nazionale, già presenti o futuri. Inoltre, tra gli altri compiti, l’osservatorio deve occuparsi anche di fornire supporto legale e giuridico, detenere l’elenco aggiornato di tutte le smart road del Paese e fornire la cooperazione tra le varie aziende pubbliche e private del settore. L’osservatorio ha dunque un ruolo di coordinatore tra le strutture pubbliche e private, indirizzando i fondi nazionali per il raggiungimento di obiettivi comuni che possano aiutare il Paese nel progresso verso la futura mobilità.

2.6.2 Il decreto Smart Road in Italia

Nei primi mesi del 2018, l’Italia ha inoltre compiuto un passo in avanti nella regolamentazione della sperimentazione della guida autonoma nelle strade pubbliche e quindi permettendo lo svolgimento dei test sulla guida autonoma anche nelle strade italiane. Inoltre il decreto in questione, emanato dal Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti, definisce gli standard necessari allo sviluppo delle strade connesse e sicure (smart road).

Secondo quanto espresso nel decreto smart road 2018, i primi tratti stradali e autostradali ad essere convertiti in smart road saranno quelli che hanno richiesto una manutenzione straordinaria o di nuova realizzazione. Si fa riferimento poi all’anno 2025 come ultimo termine per convertire in strade connesse le infrastrutture stradali italiane appartenenti alla rete europea TEN-T Trans European Network – Transport. A seguire poi verranno estesi i servizi delle strade connesse anche al resto delle strade nazionali.

I tecnici del Mit scrivono poi:

“Entro il 2030, saranno attivati ulteriori servizi: deviazione dei flussi, intervento sulle velocità medie per evitare congestioni, suggerimento di traiettorie, gestione dinamica degli accessi, dei parcheggi e del rifornimento, anche elettrico”

(Decreto smart road, 2018, Mit)

Ulteriori specifiche più tecniche vengono fornite dai documenti allegati al decreto, i quali riportano le caratteristiche funzionali che le smart road dovranno avere entro il 2030. Tra le prime appunto, le infrastrutture italiane della TENT-T, a seguire poi tutte le altre strade nazionali dovranno essere dotate di connettività V2X (Vehicle-to-everything). Si tratta della connettività stradale più evoluta che permette ai veicoli non solo di comunicare tra loro, ma anche con le infrastrutture e i device vicini, dando vita a un "ecosistema tecnologico stradale". Sarà poi necessario munire le strade di una connessione hotspot o Wi-Fi affidabile e garantita, anche nelle aree di servizio o di sosta, al fine di garantire tutti i servizi di connessione per l'IoT.

Con l'aggiornamento del Decreto Smart Road a settembre 2020, il Mit con l'ausilio dell'Osservatorio tecnico riconosce la possibilità di svolgere le sperimentazioni e i test con veicoli a guida autonoma anche su strada pubblica; dal Regolamento si legge infatti:

"si mira a estendere la sperimentazione su strada pubblica anche ai mezzi di trasporto innovativi, che non hanno uno schema classico rispetto al normale veicolo omologato oggi in circolazione..."

(Relazione annuale 2020, Osservatorio tecnico di supporto per le smart road e per il veicolo connesso e a guida automatica)

si fa dunque riferimento alla possibilità di svolgere i test, su strada pubblica, utilizzando mezzi sperimentali che non dispongono per esempio dei normali sistemi di controllo del veicolo, come per esempio il volante o la pedaliera.

A seguire nel documento si citano le aziende che contribuiranno alle sperimentazioni:

"di almeno tre soggetti: una startup italiana, la Next Future Transportation con sede a Padova, già attiva a livello internazionale nel settore e interessata a sperimentare i suoi mezzi innovativi anche in Italia... una società francese, Navya, azienda produttrice di mezzi di trasporto autonomi e fornitrice di soluzioni innovative di mobilità intelligente e condivisa... e una startup americana, Local Motors, che ha sviluppato un minibus a guida autonoma."

(Relazione annuale 2020, Osservatorio tecnico di supporto per le smart road e per il veicolo connesso e a guida automatica)

2.6.3 Strade connesse Italiane

Una delle più grandi società italiane a cui è affidato il compito di convertire per prima le strade del Paese in Smart Road è ANAS.

L'ANAS ("Azienda Nazionale Autonoma delle Strade"), che dal 2018 fa parte del gruppo Ferrovie dello Stato, ha annunciato un piano di investimento di oltre 1 miliardo di euro per convertire le strade di sua competenza in Smart Road nei prossimi 10 anni. Il primo investimento di 250 milioni, finanziato anche dall'UE, coinvolgerà alcuni degli assi strategici del Paese tra cui l'autostrada E45-E55 'Orte-Mestre' e la statale 51 "di Alemagna in Veneto. Ancora la Tangenziale di Catania e la A19 'Autostrada Palermo-Catania' in Sicilia e infine nel Lazio le autostrade A90 'Grande Raccordo Anulare di Roma', A91 'Autostrada Roma-Aeroporto di Fiumicino' e la A2 'Autostrada del Mediterraneo'.

Grazie agli sforzi del Paese e alla società ANAS, l'Italia detiene il primato Europeo per aver realizzato la prima strada Smart Road di tutta l'Europa. In occasione infatti dei campionati mondiali di sci del 2021, la società ha dotato la statale 51 "Alemagna" di un'infrastruttura tecnologica Smart Road. A fronte di un investimento di 27 milioni, il tratto fra il comune di Ponte nelle Alpi e il passo Cimabanche posto al confine regionale con il Trentino Alto Adige è stata la prima strada italiana a essere convertita in Smart Road, migliorando la mobilità della Valle e garantendo una qualità degli spostamenti migliore.

(fonte ANAS)

Un'altra caratteristica che potranno fornire le Smart Road, se implementata, è la possibilità di ricaricare i veicoli elettrici senza la necessità che questi si fermano a effettuare la carica. Nello specifico un progetto che implementa già questa tecnologia ed è attualmente in fase sperimentale, è l'Autostrada Brebemi, nel bresciano. Chiamata anche "Arena del Futuro". Finanziata e supportata da diverse grandi aziende e dalle più note Università Italiane, questa autostrada smart sarà dotata di corsie in grado di

ricaricare in modo wireless le auto elettriche che la percorrono, oltre a consentire uno scambio di dati continuo e permettere alla macchina di viaggiare in totale sicurezza e usufruendo di tutti i servizi della infomobilità. La tecnologia nello specifico è chiamata “Dynamic Wireless Power Transfer” ed è la soluzione di ricarica wireless utilizzata nelle smart road più innovativa al mondo. Tra le aziende che stanno lavorando al progetto troviamo importanti nomi del settore automotive e tecnologico quali FIAMM Energy Technology, IVECO, IVECO Bus, Politecnico di Milano, Prysmian, Stellantis, TIM, Università di Roma e Università di Parma.

(Emily Capozucca, Corriere della Sera, 19 maggio 2021)

Un altro progetto di conversione delle strade in smart road è iniziato anche a Trieste, dove sono stati installati sistemi intelligenti adibiti alla trasmissione di informazioni lungo il raccordo autostradale RA14 e RA13 e la strada statale 202 “Triestina”. Questo insieme di sensori e telecamere connessi a un apposito software permettono di tenere monitorato in tempo reale lo stato della strada e rilevare rallentamenti, code o ingorghi in modo da deviare il flusso di vetture su percorsi più scorrevoli. I sistemi intelligenti sono inoltre utilizzati nella dogana, per velocizzare il controllo doganale. I camion che il sistema già riconosce infatti possono transitare senza necessità di continui controlli. Un modo che ritorna utile nel diminuire i tempi di imbarco e sbarco, eliminando l’errore umano.

Si distingue per l’implementazione di Smart Road anche la città di Moena, dove all’interno della “Modena Automotive Smart Area”, sono state installate infrastrutture per la comunicazione dei sistemi V2X e la sperimentazione dei veicoli a guida autonoma di livello 3 e 4 ed in futuro anche il 5. L’area è stata realizzata in partnership con il comune Reggio Emilia e l’università di Modena, i quali collaborano e ricevono costante supporto direttamente dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti e dalla Regione Emilia Romagna. L’Area in continua espansione, studia e testa diversi aspetti dell’applicazione delle nuove tecnologie alla mobilità; dall’Intelligenza artificiale alla computer vision, fino alla realizzazione di software e alle interfacce utente, curando gli

aspetti etici e legali. (MASA official site)

Internet of Things (IoT), Big data e intelligenza artificiale (AI), insieme a tecnologie come 5G e Edge Computing, Blockchain, Bim (Building Information Modeling), droni e Das (Distributed acoustic sensing), rivoluzioneranno il settore del trasporto stradale promuovendo nuovi modi per sfruttare le infrastrutture. In questo contesto, le società tecnologiche acquisiscono sempre più importanza diventando partner delle società di trasporto. Le nuove tecnologie contribuiranno a convertire le strade convenzionali in ecosistemi intelligenti, abilitando una gestione del traffico in tempo reale e automatizzata, più sicura, efficiente e sostenibile. Una nuova mobilità che punta a migliorare l'esperienza del viaggiatore, riducendo le emissioni di Co2 e, nel futuro, puntando a ridurre o addirittura eliminare gli incidenti stradali.

2.7 Normativa italiana per le auto a guida autonoma

Lo scenario che si presenta nelle strade italiane oggi è caratterizzato dalla circolazione di vetture che possiedono strumenti di supporto alla guida e che rientrano quindi nei livelli 1 e 2; i mezzi che appartengono a livelli superiori non sono ancora autorizzati a circolare per le nostre strade. La normativa attuale infatti non autorizza ancora l'ingresso nel mercato di auto appartenenti a un livello superiore del secondo, tuttavia gli ingenti finanziamenti da parte dei governi per la realizzazione di strade e autostrade "Smart" insieme ai progressi della tecnologia nella realizzazione di auto sempre più autonome, preannunciano l'arrivo nelle nostre strade di auto di 3 e 4 livello nell'arco di pochi anni. Oggi il quadro normativo italiano non prevede di fatto la possibilità di far circolare le automobili in modo totalmente autonomo (livello 5), pertanto i prototipi più avanzati che vedremo comparire nei prossimi anni non supereranno il livello 4.

Il passo successivo, che attualmente è ancora molto lontano da raggiungere, ma non così lontano come si potrebbe immaginare, è quello dell'introduzione dei veicoli con una guida autonoma completa, ovvero senza più i comandi per controllare la macchina, ma lasciando all'intelligenza artificiale il completo controllo della vettura, anche in situazioni

di emergenza; si fa dunque riferimento al quinto livello. I primi livelli della scala SAE non sono considerati veri e propri sistemi di guida autonoma, poiché richiedono comunque la presenza di un guidatore attivo, a differenza invece dell'ultimo livello dove una presenza attiva non è più necessaria.

In Italia attualmente, la normativa vigente non consente l'omologazione di vetture che non dispongano di comandi e strumenti che permettano a un guidatore attivo di prendere il controllo della vettura qualora fosse necessario e quindi di conseguenza non è possibile omologare nel nostro paese vetture di 5 livello.

Quello che rende complesso il tema, oltre alla questione tecnologica, è l'aspetto burocratico che mette in difficoltà la normativa italiana ma anche quella del resto del mondo.

Quello che emerge dall'analisi della legislazione riguardante la guida autonoma è un quadro normativo complesso e articolato che tuttavia non è stato pensato per l'epoca digitale moderna, ma piuttosto era stato studiato per un contesto dove la decisione e la responsabilità derivante dalle scelte effettuate alla guida di una vettura, erano attribuite solamente all'uomo.

La legislazione che disciplina il contesto stradale, in Italia, è regolamentata inoltre dal Codice Della Strada, il quale definisce la nozione di veicolo all'interno dell'articolo 46:

“Ai fini delle norme del presente codice, si intendono per veicoli tutte le macchine di qualsiasi specie, che circolano sulle strade guidate dall'uomo.”

(Art. 46 C.d.S. Nozione di veicolo.)

Come enuncia l'articolo 46 C.d.S vengono dunque definiti veicoli tutte le macchine che circolano su strada guidate dall'uomo, escludendo così, a una prima analisi, la possibilità di un'auto di circolare su strada in modo autonomo e senza il diretto controllo di un conducente.

Tuttavia è necessario ricordare che l'Italia, come altri paesi, ha aderito alla Convenzione di Vienna sul traffico stradale (8 novembre 1968).

All'interno del testo normativo, i vari articoli impongono delle restrizioni meno

significative, dove si prevede semplicemente la presenza di una persona all'interno dell'auto che sia in grado di controllare il veicolo quando necessario. Tale convenzione ha permesso negli anni 1998 l'inizio della sperimentazione della guida autonoma anche nel nostro paese; grazie all'esperimento eseguito con una Lancia Thema, la quale era riuscita a percorrere 2000 km lungo la nostra penisola guidando in modo autonomo per il 94% del tempo. Negli ultimi venti anni, lo studio dei sistemi di guida autonoma, il loro sviluppo e la sperimentazione di prototipi in grado di circolare per le strade in modo sempre più autonomo e dando risultati sempre più incoraggianti, hanno portato alla consapevolezza della necessità di dover definire una normativa quanto più possibile idonea a regolamentare la materia.

Il 28 febbraio del 2018 infatti il Ministero dei Trasporti Italiano ha emanato il D.M. n. 70 meglio noto come "Decreto Smart Road" introducendo nuove regole per la sperimentazione di veicoli a guida autonoma su strade pubbliche.

Il nuovo decreto istituito dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti nell'articolo primo riporta la definizione di veicoli driverless come sotto citato:

«veicolo a guida automatica», un veicolo dotato di tecnologie capaci di adottare e attuare comportamenti di guida senza l'intervento attivo del guidatore, in determinati ambiti stradali e condizioni esterne.»

(Art. 1, decreto 28 febbraio 2018, ministero delle infrastrutture e dei trasporti)

Attraverso l'introduzione del decreto smart road viene riconosciuta la capacità ad un veicolo di poter circolare su strada senza l'intervento di un guidatore. Ciò non toglie, come vedremo in seguito, che il veicolo non possa circolare per strada senza un conducente al suo interno in grado di prendere in mano il controllo della vettura nelle situazioni di emergenza. Il veicolo non è più inteso solo come un mezzo guidato dall'uomo, ma viene riconosciuta una certa autonomia di guida al veicolo stesso, facendo emergere così il concetto di guida autonoma.

In secondo luogo il decreto istituisce inoltre un apposito osservatorio tecnico, mirato a coordinare le varie iniziative e sperimentazioni del settore, supportando ricerche, studi

e approfondimenti, soprattutto per quanto riguarda il tema della sicurezza.

Punto cardine della regolamentazione che riguarda la guida autonoma è la responsabilità civile in caso di sinistro stradale e l'obbligo di assicurare il veicolo in modo rigoroso. L'articolo 19 del Decreto Smart Road enuncia:

“1. Il richiedente deve dimostrare di avere concluso il contratto di assicurazione per responsabilità civile specifica per il veicolo a guida automatica, ai sensi della legge 24 dicembre 1969, n. 990, depositando una copia presso il soggetto autorizzante, con un massimale minimo pari a quattro volte quello previsto per il veicolo utilizzato per la sperimentazione nella sua versione priva delle tecnologie di guida automatica, secondo la normativa vigente.”

“2. Il contratto di assicurazione indica espressamente che l'assicuratore è a conoscenza delle modalità di uso del veicolo e che il veicolo è utilizzato in modalità operativa automatica su strade pubbliche.”

(Art 19. Assicurazione della responsabilità civile. Decreto Smart Road 2018)

Ancora oggi la responsabilità derivante dalla decisione presa dai sistemi di intelligenza artificiale, sia nel settore automobilistico che non, è un tema su cui si sta lavorando molto ma non si è ancora riusciti a trovare una decisione conclusiva. L'argomento in questione è estremamente complesso e incerto, tuttavia la rapida applicazione delle tecnologie basate sull'intelligenza artificiale nei vari settori, richiede una regolamentazione quanto più tempestiva possibile.

Proprio per le motivazioni appena descritte, il decreto Smart Road non autorizza la circolazione dei mezzi che non abbiano al suo interno un supervisore adeguatamente preparato, il quale deve soddisfare una serie di condizioni riportate nell'Art. 10 comma 1, ed inoltre deve essere in grado di passare dalla modalità “automatica” a quella manuale, in qualsiasi momento sia necessario.

“Il supervisore deve essere in grado di commutare tempestivamente tra operatività del veicolo in modo automatico e operatività dello stesso in modo manuale e viceversa. Il supervisore ha la responsabilità del veicolo in entrambe le modalità operative.”

(Art.10. Supervisore del veicolo a guida automatica durante la sperimentazione. Decreto Smart Road 2018)

Inoltre, per quanto riguarda le sperimentazioni e i test su strada dei veicoli a guida autonoma, il nuovo decreto richiede la presentazione della documentazione relativa agli aspetti assicurativi e tecnici; per procedere poi con la richiesta della domanda di autorizzazione al Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti:

“Il costruttore del veicolo equipaggiato con le tecnologie di guida automatica, nonché' gli istituti universitari e gli enti pubblici e privati di ricerca che conducono sperimentazioni su veicoli equipaggiati con le tecnologie di automazione della guida presentano la domanda di autorizzazione alla sperimentazione su strada del veicolo a guida automatica al Ministero delle infrastrutture e dei trasporti - Dipartimento per i trasporti, la navigazione, gli affari generali e il personale - Direzione generale per la motorizzazione, che contiene...”

(Art. 11. Domanda di autorizzazione alla sperimentazione. Decreto Smart Road 2018)

Ancora, la normativa richiede inoltre che ogni due settimane venga presentato, da parte del team di sperimentazione, un rapporto che illustri le problematiche e gli eventi che possono compromettere anche solo potenzialmente la sicurezza del conducente e degli altri veicoli.

Altro punto fondamentale che il decreto regolarizza è legato alla sperimentazione della guida automatizzata da parte di soggetti che non coincidono con il costruttore del veicolo. Il decreto infatti impone l'obbligo per chiunque porti avanti la sperimentazione di un mezzo di cui non ne è il costruttore, di disporre di un nulla osta rilasciato da chi il mezzo l'ha costruito. Questo vincolo ha lo scopo di bloccare tutti i tentativi da parte di terzi, di cablare i veicoli di cui non ne sono i costruttori, con i loro dispositivi senza previa

autorizzazione da parte del produttore del mezzo.

“Il soggetto autorizzante può richiedere ogni documentazione ritenuta utile ai fini dell'istruttoria per il rilascio dell'autorizzazione. Se lo considera opportuno, e in ogni caso se il soggetto richiedente non ha documentato percorrenze di prova per un totale superiore ai diecimila chilometri pertinenti agli ambiti stradali oggetto della domanda, sono presentati i risultati di prove eseguite in laboratorio, in ambiente di prova controllato o con l'utilizzo di piattaforme software, che descrivono le logiche di reazione ed attuazione automatica, o di intervento da parte del supervisore, in casi di pericolo imminente. Tali logiche devono coprire i più ricorrenti scenari di rischio per ogni ambito stradale per cui si richiede autorizzazione ed i risultati devono contenere una stima degli esiti previsti, ovvero simulati, dell'attuazione delle logiche di reazione. Detti risultati sono validati da ente o organismo certificato. Nei casi in cui la domanda è presentata da un soggetto diverso dal costruttore, il richiedente presenta il nulla osta alla sperimentazione rilasciato dal costruttore del veicolo.”

(Art. 14. Adempimenti istruttori da parte del soggetto autorizzante. Decreto smart road)

Con particolare attenzione al prossimo futuro e all'incentivare lo sviluppo delle smart road, dal 2019, il Ministero dei Trasporti e delle Infrastrutture ha concesso il via libera alla sperimentazione e allo svolgimento dei test su strada pubblica dei veicoli a guida autonoma, purché vengano rispettate le condizioni imposte dalla normativa in materia. L'Osservatorio per le Smart Road istituito nel giugno del 2018, il quale compito è quello di coordinare le diverse iniziative locali a livello nazionale e promuovere lo studio e l'implementazione della guida autonoma, insieme anche alla Direzione Generale Motorizzazione, si occupano inoltre di analizzare e approvare le domande di sperimentazione.

Il decreto smart road introduce una prima bozza di quella che è la normativa riguardante la guida autonoma, tuttavia sono ancora molti i punti che devono essere discussi e regolamentati. Sebbene allo stato attuale in Italia le auto a guida autonoma non siano ancora le protagoniste sulle nostre strade, è evidente come il settore stia facendo

numerosi passi in avanti e presto sarà necessario avere una normativa completa di riferimento. È pertanto probabile che un'eventuale legislazione al riguardo verrà predisposta qualora ci sarà una effettiva produzione e distribuzione su larga scala delle vetture a guida assistita o autonoma.

2.7.1 Normativa italiana a confronto con gli altri paesi

Al di fuori della nostra nazione la questione è ancora ampiamente dibattuta. La prima nazione, in Europa, a emanare una disciplina di legge specifica per le auto a guida autonoma, è stata la Germania. Sebbene ogni nazione si stia attivando per regolare internamente al proprio stato una normativa in materia, l'Unione Europea sta lavorando per affrontare la questione in maniera completa e approfondita. L'intento dell'UE è dunque quello di definire un quadro normativo che abbracci il tema in tutte le sue sfaccettature e definisca le fondamenta per una regolamentazione comune che riguardi tutti i tipi di trasporto a condotta autonoma; sia quelli su gomma e rotaia che quelli marittimi e droni. L'ambizioso scopo è quello di riuscire a garantire una interoperatività a livello globale, introducendo inoltre le "scatole nere" ovvero un sistema di memorizzazione e monitoraggio dei dati e della vettura in grado di fornire informazioni dettagliante sul veicolo in qualsiasi momento. Ciò può tornare estremamente utile al verificarsi di incidenti o sinistri stradali in quanto permette di capire meglio la dinamica dei fatti. Un sistema di guida autonoma inoltre può agevolare notevolmente gli spostamenti alle persone con disabilità.

Come prima accennato, la Germania è il primo paese europeo ad aver approvato una legge che consente ai veicoli di livello 4 della scala SAE di poter circolare nelle strade pubbliche in modalità del tutto autonoma e quindi senza conducente. Tale concessione inizierà dal prossimo anno, il 2022. Il via libera al disegno di legge, che modifica il Codice della Strada permettendo alle auto a guida autonoma di essere usate in tutto il Paese, è arrivato dal Bundestag, il Parlamento federale tedesco. Ora la parola passa al

Bundersrat, il Senato federale, per arrivare all'approvazione definitiva del provvedimento entro la fine della legislatura. Con l'approvazione definitiva, la Germania sarà il primo Paese europeo ad ammettere la guida autonoma di tale livello.

La nuova legge consente la circolazione dei veicoli a guida autonoma di 4 livello purché sia presente una determinata segnaletica stradale ed inoltre non ci siano situazioni estreme di guida come la presenza di maltempo che possa causare errori nel sistema di guida automatico.

Prima di vedere sulle strade tedesche i veicoli senza conducente però dovranno essere approvati i relativi regolamenti attuativi.

Secondo le previsioni del Ministero dei Trasporti tedesco, i primi veicoli a circolare in maniera autonoma nelle strade tedesche saranno i mezzi adibiti al trasporto pubblico, i quali forniranno servizi inizialmente per lo spostamento delle persone in limitate aree urbane, siano essi bus, taxi o autobus. In secondo luogo verranno poi utilizzati mezzi autonomi per il trasporto di merci e materiale di vario tipo, in un primo momento facendogli percorrere un percorso prestabilito di pochi chilometri, per poi in seguito allargare le distanze a destinazioni più lontane.

L'approvazione di questa legislatura aprirà nuove possibilità al settore automotive tedesco, aiutando le case automobilistiche tedesche a diventare leader del mercato delle auto a guida autonoma; il modo di spostarsi all'interno del paese cambierà radicalmente, rivoluzionando quello che è il concetto di mobilità. (ANSA, 23 maggio 2021)

A seguire le orme della Germania è l'Inghilterra, la quale sta compiendo i primi passi verso la promozione della guida automatizzata avanzata nelle strade pubbliche. Il 29 Aprile 2021 il governo britannico ha annunciato di voler procedere con l'inquadramento a "livello normativo" della guida autonoma, permettendo, in determinate situazioni, di affidare il controllo del veicolo ai sistemi di guida autonoma. Attualmente infatti la normativa vigente prevede che le auto dotate di sistemi ALKS (Automated Lane Keeping System) possono attivare questi sistemi automatizzati purché il conducente mantenga le mani sul volante, attribuendogli così la responsabilità in caso di sinistri stradali. Con

l'approvazione della nuova normativa che andrà a modificare il codice della strada britannico, sarà consentito al conducente di staccare le mani dal volante quando sono attivi i sistemi ALKS. Il conducente quindi potrà, a norma di legge, staccare le mani dal volante, lasciando il controllo della vettura al sistema di guida automatizzato. Tuttavia la guida autonoma potrà essere attivata solo in autostrada fino a una velocità massima di 60 km/h. Questa tecnologia potrà essere sfruttata dunque nei tratti autostradali particolarmente congestionati, a seguito di rallentamenti ed "incolonnamenti". Sebbene la seguente normativa limiti le condizioni dove si possa sfruttare il sistema di guida autonoma, è segno di un inizio da parte dei governi dell'intenzione di voler lavorare sulla modifica delle norme stradali e nel presentare un disegno di legge più congruo alle esigenze dell'era digitale. (Cristina Criddle, BBC, 28 Aprile 2021)

Dando uno sguardo al di fuori dell'Europa, tra gli stati pionieri nella regolamentazione dei sistemi di guida autonoma troviamo gli Stati Uniti e il Giappone. Negli Stati Uniti sia il panorama normativo che quello dell'industria automobilistica sono nettamente diversi da quelli europei. Poiché le case automobilistiche americane sono dirette verso lo sviluppo e l'implementazione di questa tecnologia nei loro veicoli, basti pensare al noto brand Tesla, anche la legislatura di conseguenza ha iniziato a regolamentare il fenomeno. Sono infatti diversi gli stati in cui esistono disegni di legge ad uno stadio ormai avanzato e che a breve verranno sottoposti ad approvazione; tra questi troviamo la California, il Nevada, la Florida, le Hawaii, l'Arizona e l'Oklahoma. Lo scopo da raggiungere tuttavia rimane quello di regolarizzare i test svolti sulle strade pubbliche e garantire il più possibile la sicurezza nelle strade, riducendo di conseguenza gli incidenti stradali. Sono ormai noti gli innumerevoli incidenti avvenuti durante i test di guida autonoma nelle strade pubbliche, da parte dei più noti brand del settore della guida automatizzata, ed è proprio di fronte a questa realtà che la legislatura prende provvedimenti disciplinari. Allo stato attuale infatti la normativa americana prevede che le auto dotate di sistemi di guida autonoma, possano circolare per le strade solo in presenza di un guidatore dotato di patente di guida, che abbia dunque le competenze necessarie per intervenire in modo tempestivo in caso di malfunzionamento della

vettura, o nel caso la situazione di emergenza lo richiedesse. Il conducente è infatti responsabile della guida della vettura e proprio per questo non è esente dai suoi compiti di conducente. (Cecilia Kang, New York Times)

Abbiamo visto dunque come un po' tutti i paesi, chi prima e chi dopo, stanno affrontando il tema della regolamentazione dei sistemi di guida autonoma nelle strade pubbliche. L'Italia nello specifico ha da pochi anni concesso la circolazione dei veicoli dotati di sistemi di guida autonoma nelle strade pubbliche, ai fini dello svolgimento dei test e previa autorizzazione da parte delle autorità competenti. Non è possibile ancora in Italia omologare vetture che non dispongano di sistemi di controllo del veicolo manuali, né tantomeno affidare il controllo della vettura alla guida autonoma sollevando il conducente dai suoi doveri. Nelle strade pubbliche del nostro paese il conducente è sempre responsabile del proprio veicolo e non può in nessun caso assentarsi dai suoi doveri di autista. La corsa, del settore automotive, verso la guida autonoma dei veicoli è sempre più sfrenata, le case automobilistiche sono tutte impegnate a realizzare i propri veicoli autonomi, pronte a cogliere i profitti di un settore che sembra essere molto proficuo. Tra i benefici che dovrebbero portare l'utilizzo di queste nuove tecnologie applicate alla mobilità, c'è sicuramente l'intenzione di ridurre il numero di incidenti stradali causati dall'errore umano e aumentare così il livello di sicurezza nelle strade, affidando la guida dei veicoli ai sistemi automatizzati. Per supportare questo cambiamento, la normativa ricopre un ruolo chiave e necessario a finché questi sistemi di guida automatizzati possano essere utilizzati nella vita di tutti i giorni in modo sicuro e regolamentato. Abbiamo visto che alcuni stati più di altri hanno affrontato il problema in maniera più o meno completa e approfondita. La consapevolezza di questo vuoto legislativo ha messo al lavoro i vari governi che stanno lavorando per colmare queste lacune normative al fine di regolare lo sviluppo del settore automotive.

2.8 Problematiche nello sviluppo del settore dei veicoli autonomi

Lo scenario che si può osservare guardando il settore dei veicoli autonomi, è la formazione di un settore sempre più maturo, il quale sta affrontando le complesse sfide dell'implementazione di queste tecnologie. Quello che è sicuramente noto è il potenziale di trasformazione immenso della tecnologia utilizzata da questi veicoli. Sono stati inoltre compiuti significativi progressi nel lavoro necessario per consentire ai veicoli autonomi di operare in modo sicuro ed efficace nelle nostre strade, compresa la revisione della sezione normative e la gestione dello svolgimento dei relativi test su larga scala.

I vari governi stanno trovando modi distintivi per introdurre la guida autonoma dei veicoli nei vari settori commerciali, non solo in ambienti chiusi come l'estrazione mineraria e la logistica, ma soprattutto nel servizio di trasporto pubblico e privato.

Tuttavia ancora molti sono gli ostacoli e le criticità che il settore sta affrontando, in seguito verranno analizzati i principali fattori di incertezza che limitano lo sviluppo del settore.

2.8.1 La sicurezza stradale

L'Organizzazione Mondiale della Sanità stima che ci siano 1,35 milioni di morti sulla strada e 50 milioni di feriti ogni anno. Di questi l'errore umano è responsabile in circa il 95% dei casi. Lo sviluppo dei sistemi di guida autonoma accuratamente progettati, potrebbe ridurre drasticamente questa percentuale, poiché affidando la guida dei veicoli, ai sistemi di intelligenza artificiale, il tasso di errore sarebbe decisamente inferiore a quello umano. A una conferenza ministeriale globale sulla sicurezza della strada tenutasi a Stoccolma nel febbraio 2020, è emerso che i sistemi di guida avanzata sono tra i dispositivi di sicurezza automobilistica più sicuri. Se da un lato l'automazione dei veicoli può favorire una maggiore sicurezza delle strade e ridurre il numero di vittime causate dagli incidenti generati dall'errore umano; dall'altro lato i governi sono comprensibilmente preoccupati di garantire che le tecnologie dei veicoli autonomi siano il più sicure possibile. Già nel 1997 questa problematica aveva riscontrato interesse dagli

addetti ai lavori, i quali adottarono l'approccio "Vision Zero"; il quale mirava a evitare che nessuno muoia o subisca lesioni permanenti a causa di incidenti stradali.

("Vision zero alla conferenza globale", febbraio 2020)

Se da un lato i sistemi di guida autonoma insieme ai dispositivi di assistenza alla guida potrebbero essere oggi più che mai i migliori meccanismi a disposizione per garantire la sicurezza alla guida delle vetture; dall'altro lato i recenti fatti mostrano come la società abbia una bassissima tolleranza per gli incidenti causati dalle tecnologie. La protesta seguita alla tragica morte di un pedone a Phoenix, in Arizona, ucciso da un veicolo autonomo nel 2019, mostra come la società sia molto severa nel giudicare le nuove tecnologie, soprattutto quando queste sono in grado di determinare, attraverso scelte errate, la morte delle persone. Un'eccessiva preoccupazione però delle conseguenze di queste tecnologie può impostare delle barre di sicurezza troppo elevate per l'introduzione dei veicoli autonomi e rallentare la loro commercializzazione. Questo potrebbe dunque generare più morti nelle strade causati dall'errore umano, di quelli che avrebbe generato l'introduzione di una tecnologia non ancora perfezionata.

2.8.2 Utilizzo dei dati e delle informazioni raccolte

La Privacy dei dati è anche in questo caso un argomento di estrema importanza e che richiede una regolamentazione dell'uso delle informazioni raccolte e utilizzate dai veicoli autonomi. Se da un lato i veicoli connessi potrebbero generare grandi opportunità per quanto riguarda l'ottimizzazione della capacità stradale, dall'altro lato la tutela dei dati utilizzati per fornire questi servizi potrebbe ostacolare la loro implementazione. Conoscendo la posizione di tutti i veicoli in una determinata area, un sistema di gestione del traffico intelligente potrebbe impostare automaticamente le velocità e i percorsi più adatti per tutti questi veicoli al fine di ridurre al minimo i tempi di percorrenza e la congestione delle strade. Per far ciò tuttavia è necessario disporre delle informazioni personali riguardanti ogni singolo veicolo e attivare un sistema di monitoraggio costante lungo tutto il tragitto. Questo, è però considerato attualmente politicamente inaccettabile in molte culture, ed inoltre, molte aziende potrebbero anche rifiutarsi di condividere i dati di viaggio dei propri mezzi per ragioni simili.

I paesi attualmente divergono in modo significativo sulla misura in cui proteggono la privacy degli utenti, per esempio l'Unione Europea ha degli standard molto rigidi per quanto riguarda la privacy, a seguito del "Regolamento generale sulla protezione dei dati" (GDPR). Altri stati invece, come gli Stati Uniti forniscono meno protezione a livello federale, anche se tuttavia, stati come la California hanno di recente rivisto le loro regole in favore di una maggiore tutela per l'individuo. Altri paesi ancora, inclusa la Cina, danno meno importanza alla privacy a causa di un approccio più comunitario. Ciò significa che i dati raccolti e trasmessi dai veicoli autonomi e dai veicoli connessi possono variare notevolmente da paese a paese. Per i paesi con regole di protezione dei dati più rigide, i veicoli dovranno rendere anonimi i dati e ridurre al minimo le informazioni trasmesse, mentre in altri paesi meno restrittivi le autorità potrebbero richiedere l'esatta posizione dei veicoli in qualsiasi momento per generare un maggior controllo sugli spostamenti dei singoli individui. In ogni caso è probabile che in futuro la condivisione della posizione dei veicoli sarà necessaria al fine di garantire una viabilità stradale più efficiente, resta tuttavia da capire come ciò verrà fatto continuando a tutelare la privacy dell'individuo. (Erika Kinetz, Novembre 2018)

2.8.3 Sviluppo delle infrastrutture

Requisito necessario per la circolazione dei veicoli autonomi è la presenza di una solida e completa infrastruttura digitale grazie alla quale i veicoli possono ricevere e scambiare informazioni per circolare in modo autonomo sulle strade. È necessario sviluppare delle infrastrutture che comprendano sensori, apparecchiature lungo la strada come semafori smart che possono dire ai veicoli autonomi quando fermarsi o quando procedere ed inoltre una mappatura digitale di alta qualità. Finché le strade non saranno idonee ad accogliere i veicoli autonomi, fornendo un'infrastruttura adeguata, il loro utilizzo rimarrà limitato e circoscritto alle strade attrezzate, vincolando notevolmente gli spostamenti. (KeithNaughton,2019)

L'infrastruttura digitale, che consente la comunicazione da veicolo a infrastruttura (V2I), è fondamentale per una gestione del traffico efficiente. I sistemi V2I utilizzano un sistema di gestione del traffico centralizzato che consente di ottimizzare l'uso delle

autostrade di una regione organizzando la circolazione dei veicoli a vantaggio di tutti gli utenti. Questo genera scenari differenti, per esempio nelle aree in cui l'affollamento di veicoli è limitato, ad esempio nelle aree rurali, i veicoli autonomi possono fare più affidamento sui propri sistemi. Diversamente invece nelle aree in cui c'è più concentrazione di veicoli, ad esempio nelle città e sulle principali autostrade, sarà più importante per i governi investire in infrastrutture digitali e richiedere ai veicoli di interfacciarsi con i sistemi di gestione del traffico, al fine di ottimizzare la circolazione sulle strade. L'implementazione di infrastrutture digitali in grado di supportare la circolazione dei veicoli autonomi potrà inoltre migliorare l'efficienza del trasporto pubblico. Il dipartimento dei trasporti pubblici di Taipei a Taiwan sta per esempio provando su strada gli autobus autonomi adibiti al servizio notturno, per colmare la carenza di conducenti nelle fasce orarie notturne e fornire ugualmente un soddisfacente servizio di trasporto pubblico. (Patrick McGee and Shannon Bond,2019)

In altri settori invece, sono stati utilizzati i veicoli autonomi per effettuare consegne, piuttosto che trasportare persone. Ne è l'esempio l'operatore sanitario Mayo Clinic e la Jacksonville Transportation Authority della Florida che utilizzano quattro veicoli autonomi per spostare i test COVID-19 dalle varie sedi ai laboratori, senza la supervisione umana tramite dei percorsi isolati. (Tia Ford,2020)

Capitolo 3: Analisi del sistema Autopilot di Tesla

3.1 Come funziona il sistema di guida autonoma e da quali componenti è formato

Le auto a guida autonoma, come è già stato spiegato precedentemente, sfruttano un ecosistema di software e hardware che permette alla macchina di vedere ciò che accade nell'ambiente intorno a sé e prendere di conseguenza delle decisioni su come far muovere il veicolo sulla strada. Quello che questi sistemi di guida autonoma cercano di fare è replicare sostanzialmente le abilità della "guida umana" attraverso l'uso della tecnologia.

È necessario che la macchina in primo luogo acquisisca informazioni riguardante l'ambiente circostante, come ad esempio la presenza di altri veicoli nelle vicinanze, la presenza di oggetti in mezzo alla carreggiata ed inoltre la segnaletica e i semafori presenti.

In secondo luogo devono essere identificati correttamente questi oggetti che invadono la carreggiata e i veicoli che sorraggiungono per poi determinarne la reale distanza e definire lo spazio guidabile.

Tutte queste informazioni vengono infine processate e analizzate dal "cervello" del veicolo, ovvero dall'intelligenza artificiale che, composta da un insieme di algoritmi estremamente complessi, costituisce la rete neurale che poi prenderà le decisioni su come far muovere la vettura.

Ad incidere sulla difficoltà dell'elaborazione dei dati raccolti è la complessità del contesto stradale, le condizioni atmosferiche e la velocità a cui il veicolo viaggia.

Il sistema di guida autonoma deve di fatto essere in grado di funzionare correttamente anche quando le condizioni meteo non sono favorevoli o si verificano eventi atmosferici estremi. Basta pensare ai casi in cui la vettura autonoma si deve spostare sotto un forte temporale e una pioggia intensa che potrebbe ridurre notevolmente la visibilità, oppure in strade polverose e dissestate o infine in scenari notturni non illuminati, dove la vettura deve in ogni caso essere in grado di riconoscere e captare gli oggetti e la segnaletica

stradale.

Anche in tutti questi contesi complicati da gestire, il sistema di guida deve continuare a svolgere il suo lavoro in maniera perfetta, garantendo la sicurezza dei passeggeri e delle altre persone che circolano in strada.

L'ultimo aspetto fondamentale di questi sistemi è il riconoscimento delle intenzioni degli oggetti e dei veicoli che identifica.

Non è sufficiente infatti capire solo di che oggetto o veicolo si ha di fronte, ma è necessario anche che la macchina capisca le intenzioni che questo elemento ha.

Un pedone a bordo strada che ha intenzione di attraversare la strada può avere dei comportamenti improvvisi diversi da un pedone a bordo strada che è fermo a telefonare; così come una vettura che ha intenzione di effettuare un sorpasso invadendo la careggiata potrebbe essere un pericolo maggiore rispetto a un'auto che sta viaggiando sulla sua corsia in modo indisturbato.

Tutti questi fattori sono determinati quando si tratta di guida autonoma e a maggior ragione quando le velocità del veicolo aumentano. (Jack Stilgoe, November 2017)

Per riuscire a implementare quanto detto, la macchina viene dotata su tutti i suoi lati di telecamere, che permettono alla macchina di "vedere" quello che la circonda e di analizzare in tempo reale l'ambiente circostante.

Le vetture che dispongono di sistemi di guida autonoma elevati sono dotate di telecamere frontali che catturano ciò che accade di fronte alla vettura, di telecamere laterali che sono utili ad individuare il sopraggiungere di veicoli a lato del veicolo e infine di telecamere posteriori per agevolare la vettura in complesse manovre di parcheggio o per fornire maggiore sicurezza qualora si intenda sorpassare altri veicoli.

Lo scopo delle telecamere è dunque quello di riconoscere gli oggetti (Object detection) attraverso la Computer Vision. È fondamentale che il riconoscimento degli ostacoli avvenga in maniera corretta, anche nel riconoscimento del loro stato solido o morbido poiché la presenza per esempio di uno pneumatico sulla careggiata richiede azioni diverse da quelle di un sacchetto di plastica. La visione combinata delle telecamere fornisce al sistema di guida autonoma una visione a 360 gradi in tempo reale, eliminando

completamente quelli che sono gli angoli ciechi della vettura e garantendo così una capacità di visione superiore a quella dell'uomo.

Inoltre la macchina deve disporre di radar frontale che abbia la capacità di avere una lunghezza d'onda che sia in grado di superare gli agenti atmosferici come la nebbia, la neve, la pioggia intensa, la polvere e le auto davanti. Questo strumento svolge un ruolo essenziale nel rilevamento e nella risposta agli oggetti che precedono il veicolo.

Infine il veicolo deve essere dotato di sensori a ultrasuoni che comunichino le distanze e le dimensioni degli oggetti e degli altri veicoli nella careggiata.

Questi sensori sono utili per rilevare le auto circostanti, soprattutto quando queste tagliano la strada, ma anche come ausilio nelle manovre di parcheggio. È fondamentale infatti che la macchina abbia una percezione precisa delle distanze e degli spazi in cui si può muovere e in cui può guidare (drivable space) e che sia in grado di capire quanto distano effettivamente gli oggetti o gli altri veicoli in movimento per evitare di avere una collisione (obstacle detection).

Se si pensa a una situazione dove la macchina di fronte rallenta, la guida autonoma deve essere in grado di capire che la distanza col veicolo di fronte sta diminuendo e di conseguenza che deve rallentare. Inoltre la percezione degli spazi è fondamentale in tutte le manovre, che sia il sorpasso di una vettura, piuttosto che l'immissione in una nuova strada, fino al parcheggio del veicolo stesso.

Tutti questi dati raccolti dalle varie strumentazioni di bordo, vengono analizzati dal "cervello" della vettura, ovvero dall'intelligenza artificiale, che combina assieme le informazioni raccolte per decidere come la vettura dovrà comportarsi.

Attraverso la Computer Vision, il software analizza in tempo reale i video che le telecamere forniscono, identificando all'interno dei fotogrammi i vari oggetti riconosciuti (Object detection). Questi, combinati con le informazioni derivanti dai radar e dai sensori, permettono alla macchina di capire in tempo reale il contesto in cui è coinvolta e poter così decidere come muoversi di conseguenza. (Harry Surden, Mary-Anne Williams, Jan 2017)

3.2 Dotazione Hardware e Software dei veicoli Tesla

3.2.1 Videocamere, Telecamere, Sensori e Radar

I veicoli Tesla sono tra le vetture, che si rivolgono anche a un mercato privato, meglio equipaggiate della strumentazione necessaria per il supporto della guida autonoma.

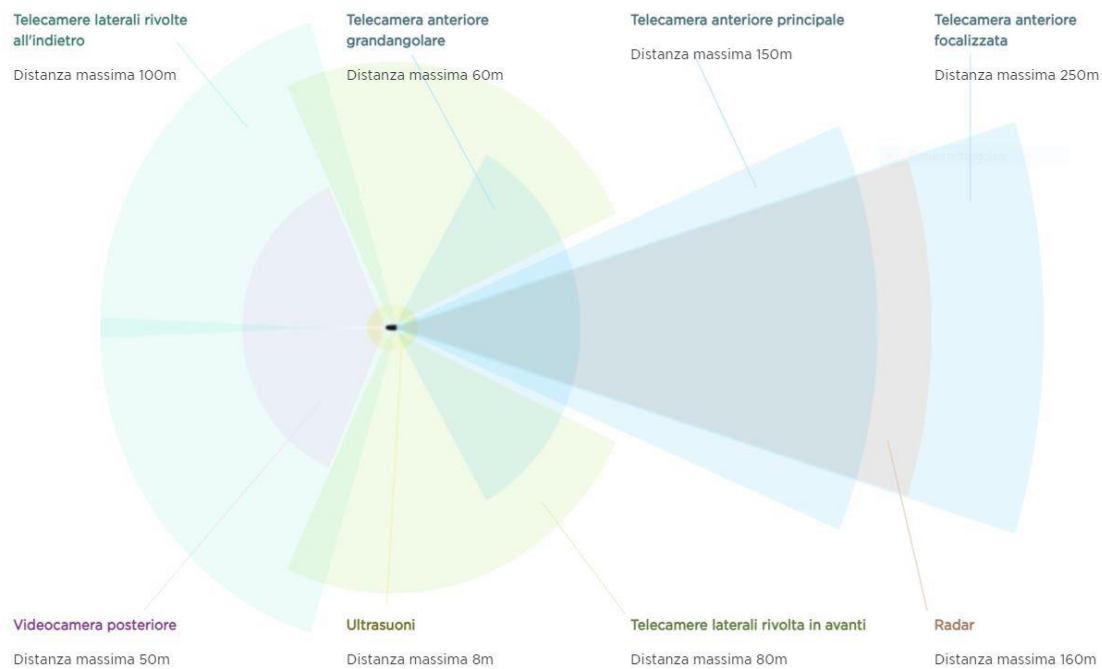
Il CEO di Tesla, Elon Musk, ha di recente infatti dichiarato che i nuovi modelli delle sue auto sono già tecnologicamente dotate della strumentazione hardware necessaria a supportare la guida autonoma di quinto livello. Il CEO precisa infatti che in futuro sarà sufficiente aggiornare solo il software dei veicoli affinché questi siano in grado di guidare in modo completamente autonomo. La stessa casa automobilistica, fornisce nel suo sito internet i dettagli tecnici della strumentazione di bordo dei loro veicoli. A seguire infatti vengono riportati i dati tecnici della strumentazione, con cui sono state equipaggiate le vetture Tesla, presi direttamente dal loro sito ufficiale.

Nello specifico dei modelli di Tesla, le vetture del marchio sono dotate di ben otto videocamere disposte su tutto il veicolo in grado di garantire una visibilità a 360 gradi attorno all'auto per un raggio totale di 250 metri.

I modelli Tesla inoltre sono dotati di dodici sensori a ultrasuoni in grado di rilevare oggetti duri e morbidi a una distanza di 8 metri con un'elevata accuratezza.

Il radar frontale rivolto in avanti contribuisce a acquisire ulteriori dati e informazioni sull'ambiente circostante su una lunghezza d'onda ridondante capace di vedere attraverso le condizioni atmosferiche più sfavorevoli come può essere una forte pioggia, una fitta nebbia, la polvere ed addirittura al di là delle auto precedenti.

In seguito una illustrazione di come sono disposti i dispositivi sui veicoli Tesla



Frontalmente, dietro al parabrezza, sono montate tre videocamere, una principale, una grandangolare e una focalizzata. La combinazione di queste tre tipologie di camere fornisce una completa e ampia visione di ciò che accade davanti alla vettura, riuscendo a rilevare anche gli oggetti lontani a lungo raggio. Nello specifico la telecamera grandangolare dispone di una visione a 120 gradi fino a una distanza di 60 metri che permette al veicolo di rilevare la presenza di ostacoli lungo il cammino e tutti quegli oggetti che si trovano a distanza ravvicinata, compresi i semafori. La sua utilità è fondamentale soprattutto nelle aree urbane e nello svolgimento di manovre a velocità moderata.

La telecamera principale invece viene utilizzata nella maggior parte dei casi in cui il veicolo è in movimento per captare oggetti fino a 150 metri, a differenza invece della telecamera focalizzata che diventa fondamentale quando il veicolo viaggia a velocità elevate per avere una visione calibrata e a lunga distanza degli elementi più lontani grazie a una copertura massima di ben 250 metri.

In tutti i veicoli Tesla sono poi presenti delle telecamere laterali, sia rivolte in avanti che rivolte all'indietro. Nel primo caso le telecamere hanno una visione a 90 gradi con un raggio di 80 metri e vengono utilizzate dal sistema di guida per rilevare la presenza di

altri veicoli che intendono immettersi nella nostra corsia, come può accadere nell'immissione in autostrada o nelle tangenziali, ed inoltre servono a garantire una maggiore sicurezza quando la vettura Tesla intende attraversare un incrocio con scarsa visibilità.

Nel secondo caso, le telecamere laterali rivolte all'indietro, coprono un raggio fino a 100 metri e vengono utilizzate nell'immissione e nel cambio corsia per agevolare le manovre in caso di traffico inteso, fornendo visibilità anche nei punti ciechi della vettura.

Nella parte posteriore delle vetture Tesla è posizionata invece una videocamera che ha un raggio di copertura di 50 metri. Questa viene utilizzata in primo luogo per tutte le manovre di retromarcia, comprese quelle del parcheggio della vettura; ma inoltre, nei nuovi modelli, la videocamera è parte integrante della dotazione hardware del pilota automatico contribuendo a fornire informazioni e dati al sistema di guida autonoma.

Sempre nella parte frontale della vettura, è posizionato il Radar. Questo strumento, è in grado di percepire e rilevare oggetti sulla carreggiata fino a una distanza di 160 metri, anche nelle condizioni meteorologiche più difficili. Ricopre dunque un ruolo fondamentale nel rilevamento e nella risposta agli oggetti che precedono la vettura.

In conclusione la dotazione hardware dei modelli tesla dispone di sensori a ultrasuoni. Questi coprono un raggio di appena 8 metri e raccolgono informazioni di quello che accade ai lati e nella parte frontale della vettura. La loro utilità si apprezza per la capacità di rilevare le auto circostanti al veicolo e nei casi in cui un veicolo taglia la strada o come ausilio nelle manovre di parcheggio.

Tutti i veicoli Tesla sono dotati di un Gps estremamente preciso, il quale serve per individuare la posizione esatta dell'auto rispetto alla strada.

(Tesla Official Site)

3.2.2 Tesla Autopilot

Tutta la strumentazione hardware montata sui veicoli ha lo scopo di raccogliere informazioni e dati che poi vengono trasmessi al "cervello" della macchina, che analizzando i vari dati ricevuti e combinando tra loro le informazioni, decide come far muovere il veicolo sulla strada.

Il “cervello” dei modelli Tesla è un software chiamato “Autopilot”.

Costruito su una rete neurale, l’Autopilot utilizza telecamere e sensori a ultrasuoni per vedere e rilevare l'ambiente intorno all'auto. Questo insieme di sensori e telecamere è in grado di fornire al sistema una consapevolezza dell'ambiente circostante migliore di quella che riuscirebbe a percepire un guidatore umano. Un potente computer di bordo elabora questi input in pochi millisecondi per decidere come dovrà poi muoversi la vettura.

Ancora una volta, il sito ufficiale della casa automobilistica, fornisce i dati tecnici sul proprio sistema di guida, i quali sono stati qui sotto riportati:

L’Autopilot è composto da una rete neurale che a sua volta è composta da 48 reti diverse con funzioni specifiche, in grado di elaborare i dati e le informazioni ricevute tra cui anche le immagini provenienti dalle varie camere. Ognuna di queste reti analizza fino a 1.000 input provenienti dall’ambiente circostante e lo fa con una frequenza di 2.300 volte al secondo. Ogni rete ha un compito preciso, alcune per esempio si occupano di raccogliere informazioni sulla presenza degli oggetti ripresi dalle telecamere, sulla loro dimensione, sulla loro forma e sulla loro disposizione nello spazio.

Tutto ciò viene fatto attraverso un’analisi monoculare della profondità, che combinata assieme all’elaborazione dei video provenienti dalle altre telecamere svolta dalle altre reti, restituiscono una visione della strada e degli oggetti tridimensionale.

Tutti i dati raccolti da queste reti vengono poi elaborati da un processore chiamato ASIC (Application Specific Integrated Circuit). Questo processore, realizzato internamente da Tesla, considera tutte le possibili variabili e cerca di ricreare tutti i probabili scenari futuri che possono verificarsi a breve, così da permettere all’auto di reagire correttamente di fronte a ogni evenienza.

L’Autopilot essendo composto da reti neurali ha bisogno di essere allenato e di ricevere una grande quantità di casi ed esempi diversi per migliorare la propria accuratezza nel riconoscere gli oggetti e diventare sempre più preciso.

Il software in questi anni ha comunque continuato a raccogliere tutti i dati possibili, così da permettere agli sviluppatori di affinare la tecnologia e progredire con la ricerca.

Il sistema Autopilot ad oggi ha raccolto ed immagazzinato dati per circa 5 miliardi di km

percorsi sulle strade di tutto il mondo.

Benché l'Autopilot sia tra i più evoluti sistemi di guida autonoma, molti sono i fattori che possono influire sulle sue prestazioni, impedendo al sistema di funzionare come dovrebbe.

Alcuni di questi fattori sono: la scarsa visibilità, che può essere causata da eventi atmosferici come forti piogge, neve, nebbia, ...la luce intensa come può essere la luce solare diretta o la luce proveniente da dei fari in avvicinamento; ancora il fango, il ghiaccio, la neve o qualsiasi cosa che causi l'ostruzione dei sensori o delle telecamere sul veicolo.

Inoltre altre cause di un malfunzionamento del sistema di guida autonoma possono essere attribuite alle interferenze causate da altre apparecchiature che generano onde ultrasoniche o da temperature estremamente calde o fredde.

(Tesla Official Site)

3.3 Computer Vision

All'interno di questo capitolo ho scelto di approfondire in modo pratico e dettagliato il funzionamento della Computer Vision nell'applicazione dei sistemi di guida autonoma. Lo scopo del lavoro che ho svolto è stato quello di capire e dimostrare come l'intelligenza artificiale analizza i vari fotogrammi che le telecamere e le videocamere, poste sulle vetture, catturano.

Il computer di bordo della vettura sfrutta le reti neurali per analizzare in tempo reale i fotogrammi dei video catturati dalla strumentazione di bordo, per poi identificare gli oggetti riconosciuti attraverso l'intelligenza artificiale per capire il contesto dell'ambiente in cui si trova.

Quello che ho cercato di simulare con questo lavoro è stato dunque il funzionamento dei sistemi di guida autonoma, cercando di capire in modo esemplificativo il loro funzionamento e come questi utilizzano la computer vision per riconoscere l'ambiente

circostante.

L'intelligenza artificiale che ho utilizzato nell'esperimento per analizzare i video, tuttavia non è ovviamente quella che viene utilizzata da Tesla nei suoi veicoli.

Non è stato possibile infatti risalire alla tecnologia proprietaria dell'azienda americana in quanto è riservata e protetta da brevetti e segreti industriali alla quale per ovvie ragioni non è stato possibile accedervi.

Il significato del lavoro che ho svolto tuttavia è stato quello di andare a capire come un sistema di intelligenza artificiale elabori i dati raccolti e come il sistema analizzi l'ambiente che lo circonda per poi prendere le decisioni su come far muovere la vettura sulla strada.

Con il seguente lavoro sono andato ad analizzare e capire se i limiti e i punti di forza di queste tecnologie, che precedentemente sono stati citati in linea teorica, siano poi effettivamente riscontrati anche nella realtà attraverso un esempio pratico; con il fine di cogliere gli effettivi vantaggi e svantaggi che possono caratterizzare la guida autonoma rispetto a quella umana.

3.3.1 Metodologia

Per svolgere questo lavoro mi è stato necessario possedere innanzitutto tre elementi fondamentali:

- il video da far analizzare,
- l'intelligenza artificiale stessa che andrà ad analizzare il video e a riconoscere gli oggetti in esso,
- un sistema che sia in grado di far girare l'intelligenza artificiale e che produca il video finale dove si vede come la computer vision ha riconosciuto i vari elementi del video.

L'intelligenza artificiale che ho utilizzato nel lavoro svolto si chiama "AI YOLOv4", si tratta di un'intelligenza artificiale Open Source, ovvero è un software non protetto da copyright e liberamente modificabile dagli utenti, che una volta installato nel proprio

computer è in grado di analizzare i video somministrati e riconoscere tutti gli elementi che sono presenti in esso riuscendo a simulare completamente quello che accade all'interno dei sistemi di guida autonoma come l'Autopilot di Tesla.

I video che ho utilizzato per mettere alla prova l'intelligenza artificiale e le abilità della computer vision sono video che riprendono diverse situazioni che si possono verificare durante la guida di un veicolo, sia in ambienti affollati e complessi, sia in ambienti più deserti e semplici.

Inoltre ho sottoposto all'intelligenza artificiale scenari notturni e insoliti, al fine di capire come, di fronte a situazioni nuove, l'intelligenza artificiale si comporti.

In seguito riporto e analizzo i fotogrammi del video elaborato dall'intelligenza artificiale. In ogni fotogramma gli oggetti riconosciuti dall'intelligenza artificiale vengono racchiusi all'interno di un rettangolo di colore diverso con indicato, in cima, di che tipo di oggetto si tratta e la relativa percentuale di accuratezza della stima fatta. Ho scelto di utilizzare un'intelligenza artificiale Open Source chiamata YoloV4 disponibile sul sito di Github (link riportato in sitografia) alla quale successivamente ho dato in analisi dei video girati tramite dash cam per auto. Lo scopo di questo lavoro è stato quello di simulare il lavoro svolto dell'Intelligenza Artificiale nella computer vision nei sistemi di guida autonoma; specialmente in scenari particolarmente sfavorevoli per evidenziarne le criticità.

3.3.2 Studio e applicazione della Computer Vision

Nella "figura 1" proposta si può notare come tutti gli elementi dell'immagine vengano riconosciuti e identificati correttamente, tutti con una percentuale di accuratezza elevata. Da notare è la capacità del software di riconoscere in modo distinto, rispetto all'auto, il camioncino (Truck) benché l'inquadratura lo riprenda solo da dietro.

Un altro veicolo che viene identificato correttamente è la macchina che si vede in lontananza. Benché la definizione del frame non è elevata, l'oggetto viene identificato dall'intelligenza artificiale correttamente con una buona percentuale di accuratezza (63%).



Figura 1

Nella “figura 2” è possibile notare invece come l’intelligenza artificiale abbia identificato un falso positivo.

Benché la percentuale di accuratezza sia di appena del 59%, l’intelligenza artificiale ha classificato per pochi istanti la ringhiera come se fosse un’auto. L’individuazione di falsi positivi e falsi negativi è stato un argomento trattato in via teorica nei capitoli precedenti; col lavoro che ho svolto in questo caso è stato possibile dimostrare un esempio concreto di tale nozione. L’analisi di questo frame ha mostrato come l’intelligenza artificiale e le reti neurali non siano sempre perfette, ma possono anche loro rincorrere in errori che riportati nell’uso di un sistema di guida autonoma in ambito stradale possono avere anche gravi conseguenze.

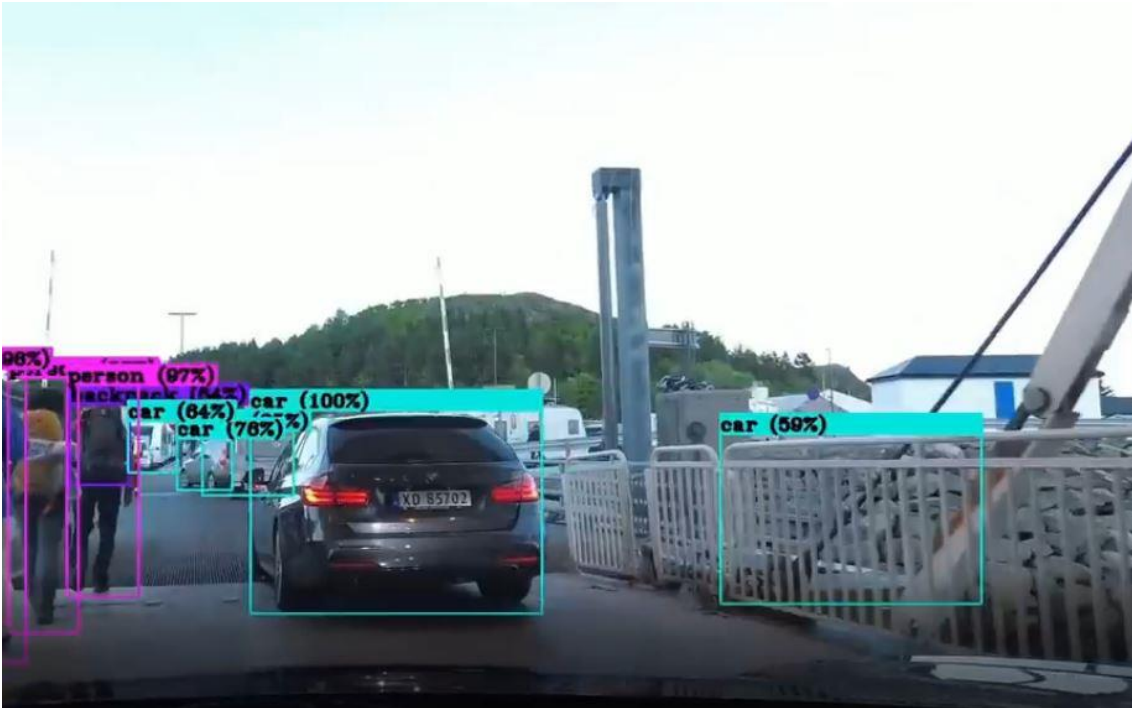


Figura 2

Nella “figura 3” l’intelligenza artificiale riesce ad analizzare il frame del video in maniera corretta malgrado la sua complessità.

Come precedentemente è stato spiegato, l’intelligenza artificiale dei sistemi di guida autonoma deve riuscire a rilevare tutti gli oggetti che appaiono nell’inquadratura, indipendentemente da quanti essi siano e dalla loro posizione.

In questa figura è sorprendente notare come l’intelligenza artificiale riesca, in primo luogo, a identificare correttamente tutti i semafori dell’incrocio, anche i più lontani, senza confonderli con i lampioni stradali. In secondo luogo invece è da notare come il software intelligente cataloga correttamente tutte le macchine nella corsia opposta anche se si tratta di un numero considerevole di veicoli ed inoltre riesce a identificare correttamente anche i veicoli che hanno svoltato a destra.

Da questa figura si comprende anche il concetto di “effort” ovvero lo sforzo che l’intelligenza artificiale deve fare per analizzare scenari più complessi che prevedono la presenza di più oggetti da riconoscere. La presenza di più o meno oggetti nell’inquadratura non deve infatti compromettere l’efficienza del sistema che in

qualsiasi caso deve continuare a svolgere il suo lavoro correttamente.



Figura 3

Nella “figura 4” invece si può notare che l’intelligenza artificiale ha identificato gli animali come se fossero delle mucche. È evidente invece che non si tratta di mucche, ma di renne.

Il motivo per cui l’intelligenza artificiale non è riuscita a riconoscere correttamente l’animale è dato dal fatto che la rete neurale in questione probabilmente non è mai stata addestrata a riconoscere le renne.

Uno dei fattori che caratterizza l’intelligenza artificiale e dunque le reti neurali da cui è composta, è la necessità che queste hanno di essere addestrate.

Com’è stato spiegato in via teorica nei capitoli precedenti, questi sistemi intelligenti richiedono un processo di training, dove vengono allenati e addestrati a riconoscere i vari oggetti, analizzando una vasta quantità di dati. È molto probabile che l’intelligenza artificiale che ho usato (YOLOv4), non sia mai stata addestrata a riconoscere le renne, e dunque di conseguenza abbia classificato quei animali come meglio credeva, identificandoli come mucche.

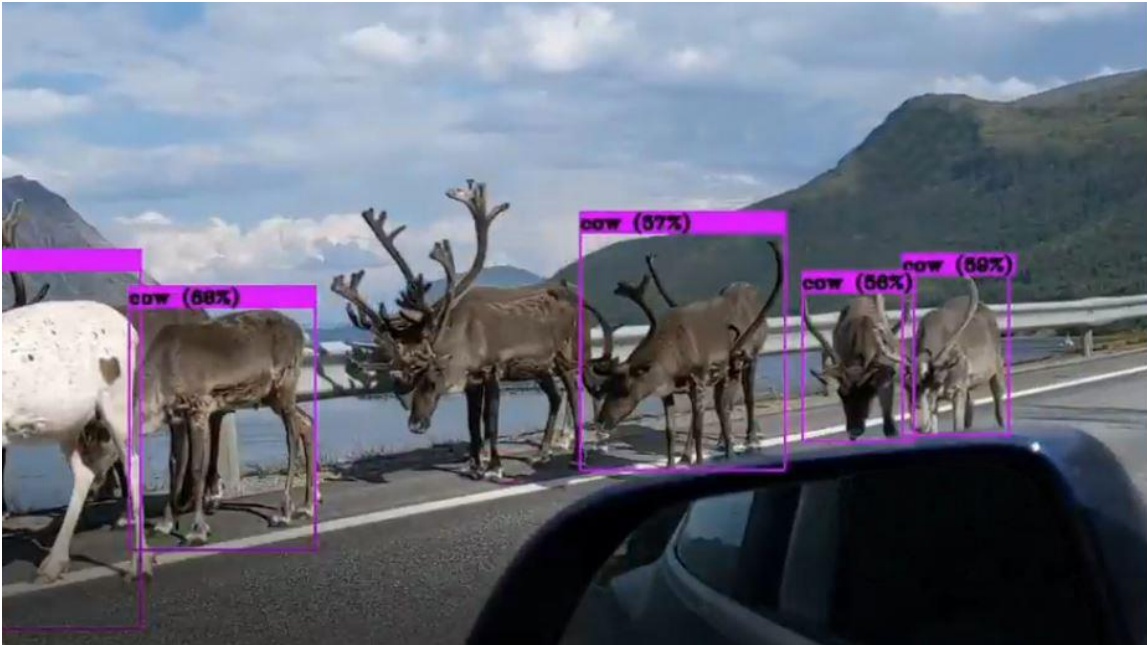


Figura 4

Nella “Figura 5” si può notare invece come la rete neurale abbia riconosciuto veramente pochi elementi presenti nell’inquadratura e come abbia trascurato molti oggetti importanti, tra cui la macchina che sopraggiungeva nella corsia opposta e il semaforo. In questo contesto l’intelligenza artificiale è stata messa sotto stress per le condizioni sfavorevoli.

Il contesto raffigurato è infatti uno scenario notturno, dove la visibilità è minore rispetto a un contesto giornaliero.

Inoltre la poca luminosità e la presenza dei riflessi delle varie luci, rendono più difficile l’identificazione corretta dei vari elementi e la loro classificazione.

I sistemi di guida autonoma tuttavia devono essere in grado di funzionare correttamente in qualsiasi contesto gli si presenti, sia in condizioni favorevoli, che sfavorevoli come in questa inquadratura.

Nel seguente frame si vede come il semaforo a destra non sia stato per niente riconosciuto dal software, generando una mancanza importante per quanto riguarda un contesto di guida stradale.

Inoltre, anche la vettura che sopraggiunge nel verso opposto, benché sia molto vicina,

non è stata identificata dall'intelligenza artificiale, che almeno in questa inquadratura, è stata ignorata.



Figura 5

Nella "Figura 6", ancora in condizioni del tutto simili all'inquadratura precedente, quindi sfavorevoli, si può notare come l'intelligenza artificiale abbia identificato nuovamente un falso positivo, andando a classificare come un semaforo quelle che in realtà erano le luci della finestra del palazzo in fondo alla strada.

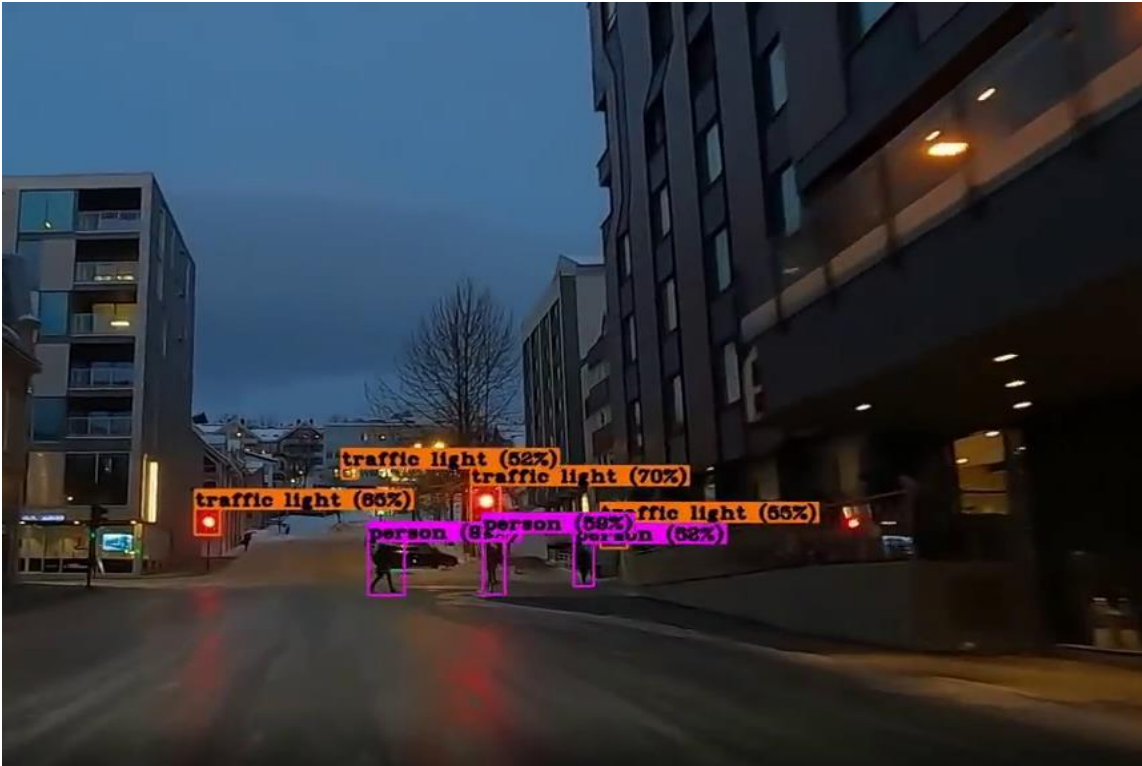


Figura 6

Nella “Figura 7” è sorprendente notare invece come l’intelligenza artificiale sia riuscita a identificare il veicolo a bordo strada completamente al buio, attribuendogli una confidenza di ben 83%. Benché in una condizione di così scarsa illuminazione e a una distanza tale sia difficilissimo perfino all’occhio umano riconoscere il mezzo parcheggiato a bordo strada, il software è stato in grado comunque di riconoscere e classificare correttamente l’auto.

Stessa cosa accade anche per il pedone sul marciapiede, nonostante il contesto fosse molto buio e la persona risultasse molto sfuocata dall’inquadratura, il sistema è stato in grado di riconoscere il passante con una confidenza anche in questo caso dell’83%.

Del tutto simile è quello che è accaduto nella “Figura 8”, dove è sorprendente vedere come una figura umana quasi totalmente buia a lato della strada, di cui si intravede appena la sagoma, sia stata riconosciuta con un livello di attendibilità molto buono pari al 71%.

Tenendo in considerazione inoltre che l’intelligenza artificiale non sa in che contesto si

trova quello che sta analizzando, semplicemente si limita ad analizzare i frame secondo per secondo cercando di riconoscere gli elementi, rende l'identificazione degli oggetti un'operazione più complicata di quanto lo sia per un essere umano.

L'analisi svolta dal software dunque non può fare affidamento su quello che era stato precedentemente trovato e "immaginare" l'evoluzione del contesto per riuscire a classificare meglio gli elementi che andrà a trovare, ma deve ogni volta basarsi su quello che vede e riconosce.



Figura 7



Figura 8

Nella “Figura 9” si vede che l’intelligenza artificiale non è riuscita a distinguere la presenza delle motociclette a fianco al gruppo di persone.

Nonostante le condizioni di visibilità siano ottimali e l’inquadratura risulti ben illuminata, il software non riesce a percepire la presenza delle moto a fianco al gruppo di persone cosa che invece è ben visibile all’occhio umano.

In contesti affollati o che vedono degli elementi molto vicini tra loro, se non addirittura sovrapposti, l’intelligenza artificiale fatica a riconoscere correttamente le singole entità, arrivando addirittura ad ignorare la loro presenza. Questo limite della tecnologia non è da trascurare, poiché contesti affollati dove si incontrano gruppi di persone o assemblamenti, sono molto frequenti nelle grandi città e richiedono un’attenzione maggiore nella guida del veicolo.



Figura 9

Nelle figure a seguire l’intelligenza artificiale si era trovata nuovamente a dover analizzare un’inquadratura in condizioni sfavorevoli. Come si vede chiaramente, la figura che è stata analizzata era totalmente in controluce; la luce del sole rende l’identificazione degli oggetti più difficile poiché risultano più suri e dalla forma meno

definita.

Nella sequenza di frame data dalle figure “figura 10”, “figura 11” e” figura 12” si vede come inizialmente nella “figura 10” la rete neurale aveva identificato lo spazzaneve in modo errato come se fosse una barca, con una percentuale di confidenza del 51%, non avvicinandosi minimamente alla verità.

Qualche metro dopo, nella “figura 11” lo stesso mezzo è stato identificato come se fosse un treno, con una percentuale di confidenza pari al 62%, ed anche in questo caso l’intelligenza artificiale era in errore.

Nell’ultima figura della sequenza, la “figura 12”, l’oggetto, trovandosi più vicino, è stato identificato correttamente.

La rete neurale aveva identificato lo spazzaneve come un camion, percentuale di confidenza inizialmente del 53%, riuscendo alla fine, solo dopo qualche tentativo, a riconoscere correttamente il mezzo.

La condizione di controluce in cui è stato catturato lo scenario aveva messo in difficoltà l’intelligenza artificiale che è riuscita a riconoscere il mezzo a bordo strada solo una volta che questo era molto vicino.



Figura 10

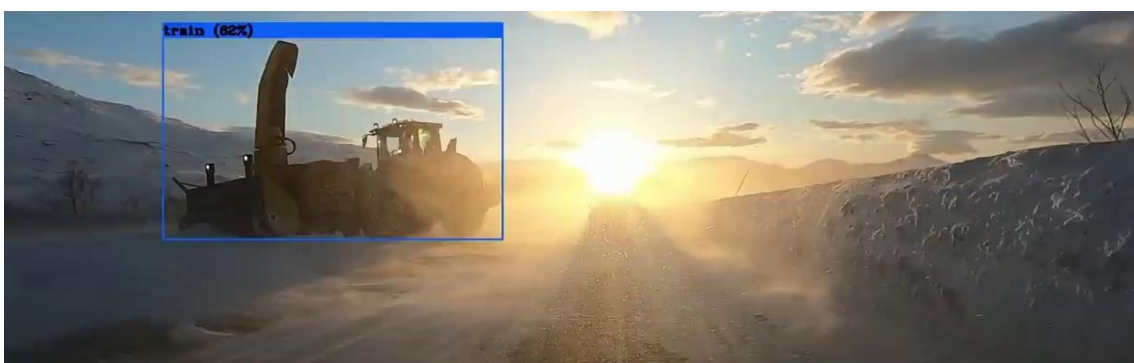


Figura 11



Figura 12

Anche in quest'ultima "figura 13" proposta, l'intelligenza artificiale aveva mostrato lo stesso limite riscontrato nelle figure sopra riportate. L'auto che appare in lontananza, quasi nascosta dall'effetto di controluce generato dal sole, è stata proprio per questo motivo identificata in modo inesatto.

Con una percentuale di confidenza pari al 51%, il sistema aveva identificato la vettura come se fosse una barca, non riuscendo a identificare correttamente il veicolo.



Figura 13

3.3.3 Analisi dei risultati

Quello che emerge dai risultati che ho ottenuto sono le difficoltà che questi sistemi hanno quando utilizzano la Computer Vision per il riconoscimento degli oggetti.

L'intelligenza artificiale riconosce gli oggetti dei vari fotogrammi, grazie all'allenamento e ai processi di training che la rete neurale ha subito. Tanto più il sistema è stato allenato a riconoscere i vari oggetti e tanto migliore sarà la capacità dell'intelligenza artificiale a identificare correttamente gli elementi della strada.

In situazioni di visibilità sfavorevole come quella di scarsa illuminazione e buio, vista nella figura 5 e figura 6 oppure, in situazione di controluce come nella figura 10, figura 11, figura 12 e figura 13 il sistema ha più volte dimostrato i suoi limiti commettendo diversi errori nel riconoscere gli oggetti.

Nelle figure invece dove le condizioni di visibilità erano ottimali, con una buona illuminazione degli oggetti e nessun elemento che disturbasse la chiarezza dell'immagine, l'intelligenza artificiale ha dato prova delle sue abilità, riconoscendo correttamente tutti i veicoli, anche i più lontani, mostrando di essere in grado di gestire contesti stradali anche molto complessi.

Il numero di elementi da riconoscere nelle varie inquadrature non è stata una variabile che ha messo in difficoltà l'intelligenza artificiale.

Come si vede dalla figura 3 infatti il sistema ha riconosciuto tutte le macchine e i semafori, presenti nella strada senza alcun tipo di problema.

Le inquadrature invece dove il sistema sembra aver avuto più difficoltà nel catalogare correttamente gli elementi dell'immagine, sono state le figure con scarsa visibilità.

Le condizioni in cui si trova l'ambiente esterno sembra essere uno dei fattori che influisce maggiormente nella corretta identificazione degli elementi da parte dell'intelligenza artificiale, mettendo in serie difficoltà il sistema che addirittura riconsidera, in maniera diversa, più volte anche lo stesso elemento.

La Computer Vision è dunque la tecnologia che sta alle fondamenta dei sistemi di guida autonoma, grazie alla quale un semplice video, ripreso in tempo reale da una videocamera, diventa una risorsa piena di informazioni preziose che consentono alla

macchina di comprendere il contesto che la circonda.

Sebbene siano i vari dispositivi hardware, di cui è dotata la macchina, a raccogliere le informazioni sull'ambiente circostante, queste informazioni acquisiscono un senso e trovano un'utilità, solo dopo che questi dati vengono processati ed elaborati dal sistema di intelligenza artificiale che li traduce in comandi al veicolo.

Oggi la precisione e la taratura dei dispositivi hardware non è più un vincolo per le società automobilistiche. I dispositivi hardware come telecamere, sensori e radar sono in continua evoluzione e diventano sempre più potenti e precisi. Il mercato ogni anno fornisce strumentazioni tecnologiche sempre più all'avanguardia in grado di fornire ai veicoli di guida autonoma tutte le informazioni di cui hanno bisogno.

Quanto detto viene confermato dalla stessa Tesla, la quale ha dichiarato che le nuove vetture sono già dotate della strumentazione hardware necessaria a supportare la guida autonoma di quinto livello e che per raggiungere tale fine sarà necessario solamente aggiornare in futuro il software dei veicoli.

La sfida degli sviluppatori di software, che si dedicano a sviluppare sistemi di guida autonoma, è quella di riuscire a dare un significato concreto a questo insieme di dati raccolti al fine poi di trarre informazioni utili per la guida della vettura.

Un radar che identifica un ostacolo sulla carreggiata, rimane un'informazione fine a sé stessa se questa non viene completata con le informazioni provenienti dagli altri sensori che devono comunicare al sistema, per esempio, la possibilità di invadere o meno la corsia a fianco per effettuare il sorpasso.

Il raggruppamento delle informazioni raccolte, la loro elaborazione simultanea e l'extrapolazione di comandi di guida corretti da fornire alla vettura sono i temi su cui gli addetti ai lavori stanno lavorando.

Le problematiche che sono emerse dal lavoro che ho svolto, mostrano quali sono i principali limiti delle tecnologie utilizzate nella guida autonoma, riportando quindi i punti in cui gli sviluppatori di questi sistemi stanno lavorando per correggere e migliorare i sistemi di guida autonoma.

Sebbene ogni casa automobilistica abbia sviluppato diversamente il proprio sistema di guida automatizzata, e dunque i vari sistemi possono trovarsi in stadi di sviluppo più o

meno avanzati, ciò che emerge dai risultati del lavoro che sopra ho riportato, sono i punti cardine sulla quale la tecnologia non è ancora matura e affinata.

Ho potuto vedere come la Computer Vision soffra notevolmente in condizioni di visibilità estreme, come può essere una situazione di controluce, dove oltre a risultare meno illuminato il soggetto inquadrato, la luce che penetra all'interno della lente della videocamera offusca parte di ciò che viene ripreso e rende notevolmente più difficile il riconoscimento degli oggetti stessi.

Inoltre, anche nella situazione opposta, ovvero in contesti bui e poco illuminati, ho visto come l'intelligenza artificiale non sia riuscita a cogliere tutti gli elementi presenti sulla strada, tralasciando per esempio qualche semaforo o addirittura dei veicoli che stavano circolando.

Altre situazioni dove la Computer Vision ha dimostrato i suoi limiti sono nel riconoscimento corretto degli oggetti.

Poiché il sistema di guida autonoma si basa sul concetto di intelligenza artificiale e dunque di reti neurali, come è stato precedentemente spiegato, le reti neurali hanno bisogno di essere allenate per riconoscere correttamente gli oggetti.

L'intelligenza artificiale utilizzata nei veicoli a guida autonoma, deve prima subire un processo di training accurato per poter riconoscere tutti i vari oggetti che il veicolo può incontrare lungo la strada.

Malgrado ciò però, la varietà delle strade del mondo e la particolarità dei vari oggetti che su di esse si possono trovare, richiede un continuo allenamento di questi sistemi e un costante aggiornamento del sistema.

Più la rete neurale viene allenata a riconoscere gli oggetti presenti sulla carreggiata e più il sistema di guida diventa preciso ed affidabile.

Poiché per procedere con questi processi di training è necessaria una vasta quantità di dati e una vasta varietà di contesti stradali, le aziende automobilistiche impegnate nel self driving, continuano a far percorrere ai propri sistemi autonomi migliaia di chilometri al giorno al fine di correggere e perfezionare il loro funzionamento e migliorare l'apprendimento della rete neurale.

Questa procedura genera un doppio vantaggio. Da un lato infatti il sistema inizia a riconoscere contesti stradali sempre diversi e nuovi, dall'altro lato è possibile analizzare il comportamento del pilota automatico in situazioni diverse e apportare miglioramenti al sistema o correggere i comportamenti nel caso commetta errori.

Nel caso specifico di Tesla, la società ha addestrato il proprio sistema di guida autonoma, l'Autopilot, con un processo di training che vanta più di 5 milioni di chilometri percorsi, fornendo così al pilota automatico una vasta varietà di contesti stradali diversi dalla quale ha potuto imparare.

Nonostante il buon risultato ottenuto, dal sistema di guida autonoma dell'azienda americana, Tesla deve raccogliere ancora molti dati per riuscire a dimostrare ai clienti (e alle autorità di regolamentazione) che la tecnologia è sicura e affidabile, pronta a sostenere una guida autonoma di quinto livello.

Per raggiungere questo obiettivo Tesla ha di recente implementato il sistema "Tesla Shadow Mode".

Si tratta di una modalità, che viene azionata in background ad insaputa del conducente mentre questo continua a guidare la sua auto, grazie alla quale Tesla può raccogliere dati statistici al fine di scovare falsi positivi e falsi negativi del proprio pilota automatico. In "modalità ombra" (Shadow Mode), l'auto non esegue alcuna azione, ma si limita a registrare quando e come avrebbe agito durante la guida.

Per esempio, se una vettura Tesla guidata da un conducente umano, viene coinvolta in un incidente, l'azienda può vedere, grazie alla modalità Shadow Mode, se la guida autonoma si sarebbe comportata diversamente e se sarebbe riuscita a evitare l'incidente (o viceversa, se il pilota automatico avrebbe causato l'incidente).

Grazie a questo sistema, l'azienda può registrare come si sarebbe comportata l'auto se l'Autopilot avrebbe avuto il controllo del veicolo ed eventualmente correggere i comportamenti errati andando così a perfezionare il funzionamento del pilota automatico.

Allo stesso modo il sistema Shadow Mode potrebbe dimostrare il caso opposto dove la guida automatizzata sarebbe stata in grado di evitare incidenti causati dalla guida

umana, dimostrando l'efficienza del sistema di guida autonoma.

Le potenzialità di questo sistema, moltiplicate per le migliaia di possessori di vetture Tesla, possono fornire all'azienda un vantaggio competitivo sulla concorrenza importante, permettendo alla società automobilistica di sfruttare tutti i suoi acquirenti per migliorare il proprio sistema di guida automatizzato.

Gli addetti ai lavori infatti possono analizzare il comportamento del sistema di guida autonoma da remoto di migliaia di possessori Tesla, apportando miglioramenti e correzioni all'Autopilot senza la necessità che questo sia effettivamente in funzione.

Grazie a questa modalità, il miglioramento di questo pilota automatico sarà sempre più veloce e efficiente.

3.4 Analisi del funzionamento dell'Autopilot attraverso la Computer Vision

Quello che in seguito ho analizzato è ciò che viene registrato dalla videocamera frontale montata nei veicoli Tesla. La registrazione video mostra tutte le informazioni che l'Autopilot elabora durante la guida della vettura, mostrando a video come il sistema di guida analizzi l'ambiente circostante grazie alla Computer Vision.

L'elaborato video è stato rilasciato ufficialmente dalla casa automobilistica, Tesla e mostra il reale funzionamento dell'Autopilot.

Ciò che ho fatto è stato analizzare le varie informazioni mostrate a video per vedere e studiare come l'Autopilot si è comportato durante la guida.

Ho approfondito il comportamento dell'Autopilot in merito alle valutazioni e alla classificazione dei vari oggetti che incontrava lungo il percorso, valutando l'esatto riscontro tra ciò che il pilota automatico rilevava e quello che poi erano realmente gli oggetti.

Ho proseguito poi lo studio estrapolando le informazioni che L'Autopilot coglieva dall'ambiente circostante come la pendenza della strada, la presenza di un asfalto bagnato o la distanza che separava il veicolo dagli altri oggetti.

Infine ho valutato le capacità del sistema di guida di prevedere l'andamento della strada e come questo sia in grado di definire lo spazio guidabile anche in assenza di riferimenti che definiscano la corsia.

Lo svolgimento di questo lavoro si prefigge dunque l'obiettivo di verificare se l'Autopilot, durante il suo funzionamento, riscontri gli stessi problemi e limiti che sono emersi dallo studio della computer vision nel paragrafo precedente. Sono andato quindi ad osservare in modo critico e puntiglioso come l'Autopilot gestisca i vari contesti che gli si pongono di fronte, osservando il suo comportamento soprattutto nelle situazioni che richiedono una maggiore attenzione da parte del sistema di guida autonoma.

In seguito l'analisi personale del funzionamento dell'Autopilot svolta attraverso l'analisi dell'elaborato video fornito ufficialmente da Tesla.

3.4.1 Osservazione del funzionamento dell'Autopilot

Nella "Figura 14" sotto riportata, si può notare come l'Autopilot di Tesla sia stato in grado di identificare la segnaletica orizzontale, nello specifico le frecce direzionali disegnate nella pavimentazione stradale.

Come dimostra l'inquadratura l'Autopilot ha classificato correttamente le frecce, attribuendogli le etichette arancioni "LA", "FA" e "RA" che stanno rispettivamente per "Left Arrow", "Front Arrow" e "Right Arrow".

Ciò che è però sorprendente è la capacità del sistema di identificare e etichettare anche la freccia disegnata sulla carreggiata opposta in fondo alla strada. L'Autopilot è riuscito a identificare, anche in lontananza, la freccia sulla carreggiata opposta prima della svolta a destra, etichettandola con "RA" a una distanza che perfino l'occhio umano sarebbe in difficoltà a identificare. Nell'inquadratura infatti non è ancora visibile che si tratta di una freccia disegnata sulla pavimentazione stradale, è possibile accorgersene solo avvicinandosi. L'Autopilot, essendo dotato di una visuale più ampia, è invece riuscito a cogliere la segnaletica orizzontale con largo anticipo rispetto all'uomo.

Va inoltre tenuto in considerazione che la Computer Vision era ignara del contesto in cui stava analizzando i vari oggetti; ciò che si era limitata a fare era riconoscerli senza potersi aiutare del contesto che li circonda.



Figura 14

Nella figura seguente, “Figura 15” va posta molta attenzione all’identificazione del segnale di “Stop”.

Come si può vedere dall’immagine catturata dal video analizzato, l’intelligenza artificiale era riuscita ad identificare in maniera sorprendente il segnale di Stop che è stato identificato con un rettangolo rosso in lontananza.

L’Autopilot segnala l’identificazione di uno Stop riportando in alto, al centro della schermata, il segnale raffigurato e circoscrivendo il cartello a lato in fondo alla strada con un rettangolo rosso.

Nella “Figura 16”, che mostra lo stesso scenario della figura precedente solamente qualche metro dopo, si può riscontrare come l’identificazione del segnale di “Stop” precedentemente avvistata sia stata corretta, ed inoltre, come l’Autopilot sia riuscito a identificare la corrispettiva linea di arresto, del segnale di Stop, disegnata sulla strada.

Già in lontananza il pilota automatico aveva segnalato la linea dello Stop sulla strada contrassegnandola con una linea rossa orizzontale e etichettandola con una “s” arancione che sta a significare “Stop” in relazione al cartello precedentemente rilevato.

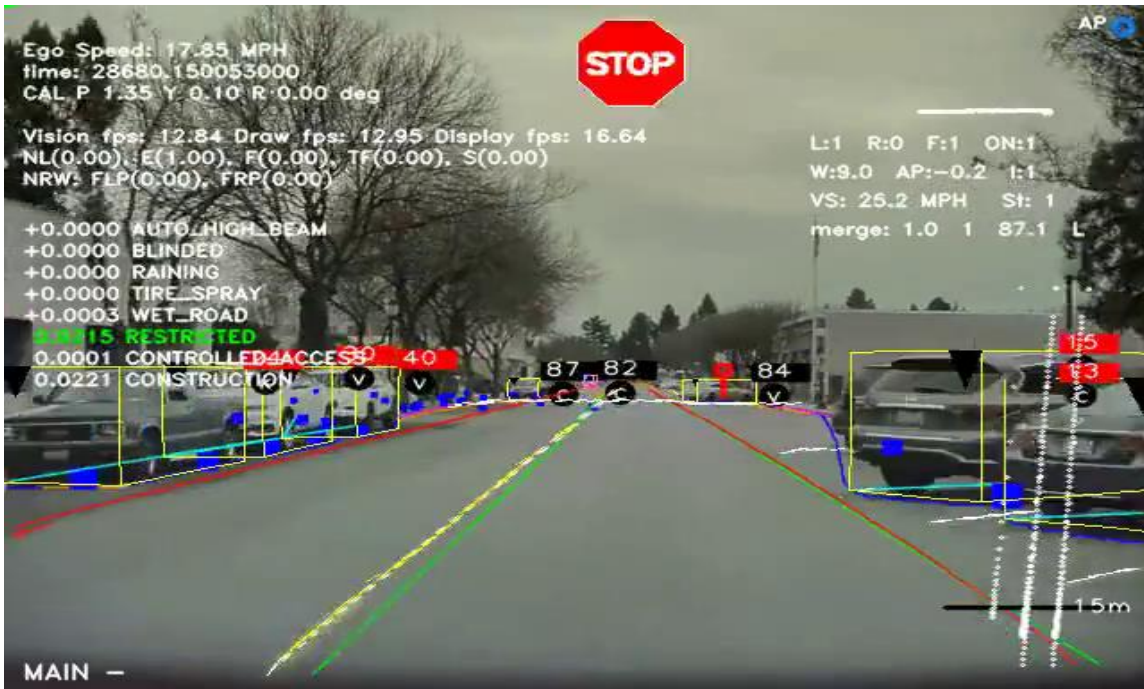


Figura 15



Figura 16

Quello che accade nella “Figura 17” conferma le osservazioni fatte per le figure precedenti.

Anche in questo caso il pilota automatico aveva rilevato correttamente il segnale di

“stop”; questa volta però, la Computer Vision, abbinata all’intelligenza artificiale, aveva elaborato la presenza della linea di fermo sulla strada anche se questa era in gran parte nascosta dal camioncino fermo sulla careggiata. L’Autopilot in questo caso aveva associato al cartello di “stop” anche la rispettiva linea orizzontale, intuendo che, la linea orizzontale sulla strada, si riferisse alla linea d’arresto, benché questa sia nascosta dal camioncino.

Com’è stato spiegato nei precedenti paragrafi, i sistemi di guida autonoma devono anche sapere intuire e prevedere quello che accadrà o succederà in strada, proprio come cercano di fare i conducenti umani, al fine di prevenire incidenti o anticipare situazioni di pericolo.

Quest’ultimo evento descritto ne è una piccola dimostrazione, benché la ripresa video non permettesse di visualizzare tutta la linea di arresto sulla strada, il sistema aveva intuito perfettamente la sua presenza, comunicando alla macchina il limite entro il quale il veicolo doveva fermarsi.

Un secondo punto da analizzare in questa inquadratura è la “X” rossa al centro dell’immagine.

La “X” rossa è l’etichettatura che aveva attribuito il sistema alla linea bianca che identifica la corsia che svolta a destra.

Con questo contrassegno il sistema aveva indicato al pilota automatico che non doveva considerare quella linea, in quanto si riferiva alla corsia affianco che svolta a destra.

Il sistema di guida autonoma aveva riconosciuto che la vettura si trovava nella corsia di sinistra, mentre la linea bianca si riferiva alla corsia di destra. Contrassegnando la linea con la “X” rossa, il sistema aveva comunicato al pilota automatico che non doveva seguire quella linea.

Per un essere umano fare un ragionamento deduttivo e capire che non dovrebbe seguire quella linea bianca può sembrare una cosa scontata e banale; tuttavia per un “cervello artificiale”, che trae informazioni da tutto quello che vede, valutare o meno l’opportunità di seguire una linea piuttosto che un’altra non è una deduzione così semplice e scontata come può apparentemente sembrare.

Come ultima accortezza da notare nella “Figura 17” è la capacità dell’Autopilot di

individuare la presenza di una pozzanghera sulla strada.

Sulla parte sinistra della figura, vengono riportati dei numeri con a fianco delle parole, tra queste, una riga riporta la dicitura evidenziata in verde "+0.4064 WET_ROAD" la cui traduzione in italiano è "+0.4064 STRADA BAGNATA".

Questa dicitura sta a indicare che il sistema di guida autonoma aveva identificato, con un livello di attendibilità del 40%, la presenza di una strada bagna sulla careggiata.

Questo valore di attendibilità aumentava sempre più man mano che la vettura si avvicinava alla pozzanghera, finché non è stato infine confermato.

È sorprendente notare come l'Autopilot sia riuscito a identificare la presenza di una pozzanghera sulla strada, ovvero una forma non sempre ben definita e che spesso si mimetizza con il manto stradale.

Questo genere di informazioni è tuttavia importantissimo da cogliere per i sistemi di guida autonoma, in quando la variazione del manto stradale determina di conseguenza una modifica dell'aderenza della vettura sulla strada e dunque è necessario che il pilota automatico adegui l'andatura del veicolo poiché questo potrebbe perdere aderenza o necessitare di uno spazio di frenata maggiore.



Figura 17

Quello che mostra la “Figura 18” è invece la corretta identificazione dei semafori nell’incrocio.

Tutti i semafori dell’incrocio sono stati identificati correttamente dalla computer vision che li racchiude all’interno di un rettangolo. Si può notare come il colore del rettangolo che circonda il semaforo, sia dello stesso colore della luce del semaforo. L’Autopilot aveva dimostrato dunque di aver riconosciuto oltre che la posizione del semaforo anche la relativa luce accesa e dunque aveva capito se doveva fermare la macchina o se poteva proseguire la corsa.

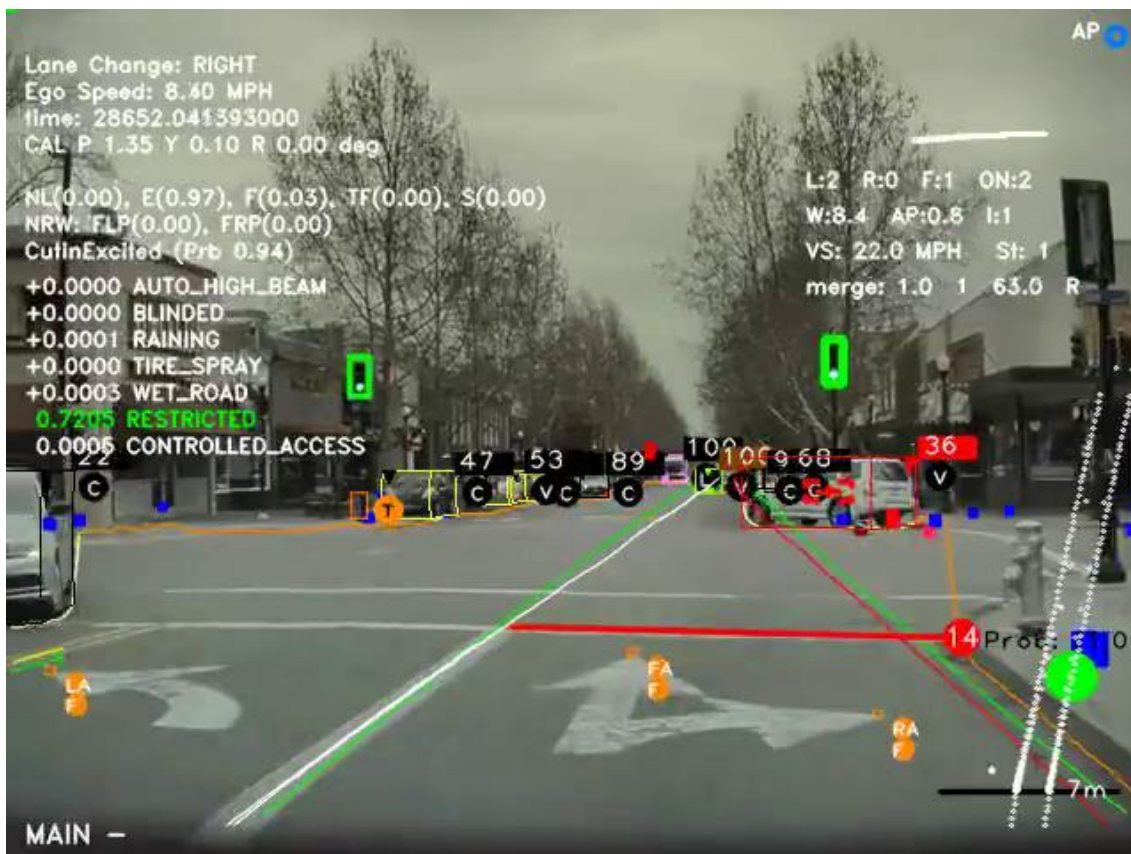


Figura 18

Nella "Figura 19" viene mostrato invece l'abilità del pilota automatico nel riconoscere e definire una corsia non delineata e dunque l'individuazione del concetto di "spazio guidabile", di cui l'importanza è stata spiegata nei paragrafi precedenti.

Si può notare che sul lato destro della strada sono presenti dei parcheggi delineati con delle strisce bianche in cui all'interno sono parcheggiate delle macchine. Tra la carreggiata e questi parcheggi tuttavia non è presente nessuna linea tratteggiata che definisce lo spazio della corsia.

L'Autopilot è stato in grado di riconoscere le macchine parcheggiate a lato della strada e a identificarle come veicoli fermi che non intralciavano la corsa della vettura; inoltre anche se la corsia non era definita dalle linee bianche, il sistema di guida automatico è stato in grado comunque di delimitare autonomamente lo spazio guidabile entro il quale la macchina poteva circolare (drivable space).

In questo caso il sistema di guida aveva dimostrato la capacità di riuscire a definire una

corsia entro la quale può correre anche senza che questa sia stata appositamente segnalata. Il sistema di guida autonoma basandosi su dei punti di riferimento individuati lungo la strada, cerca da solo di darsi delle linee dentro le quali può proseguire la sua corsa.



Figura 19

Nella “Figura 20” viene riportato un ulteriore esempio di quello che Tesla intende come “drivable space” indicando in modo più preciso cosa si intende per corsia e spazio guidabile.

Nella figura sottostante si può notare che, i bordi della strada, sono stati delineati dall’Autopilot con una linea continua arancione. Questa linea delimita lo spazio entro la quale la vettura può guidare. In nessun caso la macchina può oltrepassare questa linea che funge come una sorta di “muro” oltre il quale la macchina uscirebbe di strada.

Le linee bianche ai lati della strada identificano invece le corsie dentro le quali la macchina può correre e spostarsi lungo il suo tragitto. Le due linee verdi invece

identificano la corsia che la macchina sta occupando e sulla quale intende proseguire la propria marcia, di fatti spesso coincidono con le linee bianche della corsia occupata dalla vettura.

Durante la guida solitamente la macchina viaggia all'interno delle linee verdi, ma in caso di necessità l'Autopilot sa che può spingersi fino alla linea arancione.

La linea arancione identifica dunque lo spazio guidabile, mentre le linee bianche le corsie della strada.

Inizialmente i primi sistemi di guida autonoma per guidare si basavano sull'identificazione delle strisce bianche che definiscono la corsia sulla strada. Questo sistema limitava notevolmente le capacità della guida autonoma in quanto non tutte le strade erano provviste delle strisce bianche, ed inoltre in condizioni di strada sterrata o innevata la vettura non era in grado di guidare in modo autonomo.

Per risolvere questo problema Tesla ha sviluppato il sistema Autopilot che è in grado di definire lo spazio guidabile basandosi non più solo sulle strisce bianche, ma cercando di riconoscere i bordi della strada stessa.

In questo modo la vettura è in grado non solo di guidare in strade correttamente segnate dalle strisce bianche, ma anche in strade dove la segnalazione della corsia è assente, come strade innevate o sterrate.

Inoltre, le linee arancioni, oltre ad aiutare il sistema a identificare la strada e dunque la corsia di marcia, aggiungono un ulteriore livello di sicurezza delineando lo spazio oltre la quale la vettura non può andare; evitando che l'auto finisca in qualche fossato o fuori strada. In ogni caso infatti, la macchina anche in assenza delle linee di corsia, deve essere in grado di scansionare l'ambiente e determinare dove può e non può guidare.

Come dimostrano le figure riportate, Tesla è riuscita a raggiungere questo obiettivo, riuscendo a far definire all'Autopilot lo spazio guidabile anche in assenza delle linee di corsia.

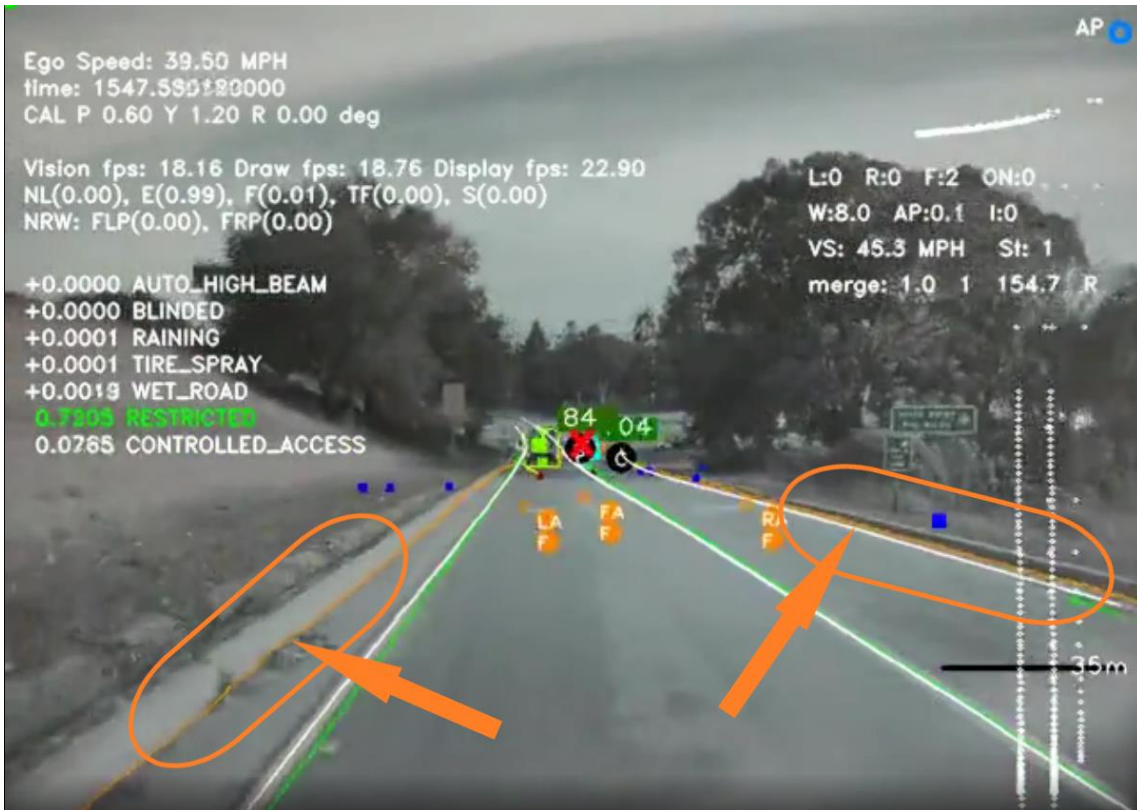


Figura 20

Nelle Figura 21 e Figura 22 si può vedere come funziona la delimitazione dello spazio guidabile in condizioni più inusuali.

Nella Figura 21, nell'attraversamento pedonale, c'è la presenza di un cartello in mezzo alla strada, si può vedere come la linea arancione circonda il cartello tutto attorno in modo da indicare alla macchina che, anche se il cartello occupa uno spazio all'interno della corsia, in quell'area la vettura non può andare altrimenti investirebbe il cartello. Nella Figura 22 invece si può notare che tutte le sezioni sopraelevate a lato o in mezzo alla strada vengono correttamente rilevate e bloccate dalla linea arancione in modo che la vettura non possa andarci sopra; invece nei tratti liberi dove non ci sono ostacoli la linea arancione si estende fino all'altro lato della strada lasciando alla macchina la possibilità di immettersi correttamente nelle nuove strade.

Tornando alla figura 21 è possibile accorgersi di un ulteriore dettaglio che l'Autopilot grazie alla computer vision è stato in grado di cogliere. La figura mostra che la strada

sulla quale la vettura stava viaggiando, è stata attraversata dalle strisce pedonali. Benché questo attraversamento pedonale non sia stato segnalato con delle segnaletiche verticali, si può vedere che il sistema aveva contrassegnato con una linea rossa orizzontale la linea d'arresto alla quale la macchina doveva fermarsi nel caso in cui il radar avesse rilevato la presenza di pedoni che avrebbero potuto attraversare la strada. Questo dimostra come l'Autopilot sia oggi in grado di rilevare gli attraversamenti pedonali anche se questi non sono segnalati con cartelli verticali, ed inoltre come sia in grado di capire che deve arrestare la macchina entro un certo limite se il radar frontale rileva dei pedoni.

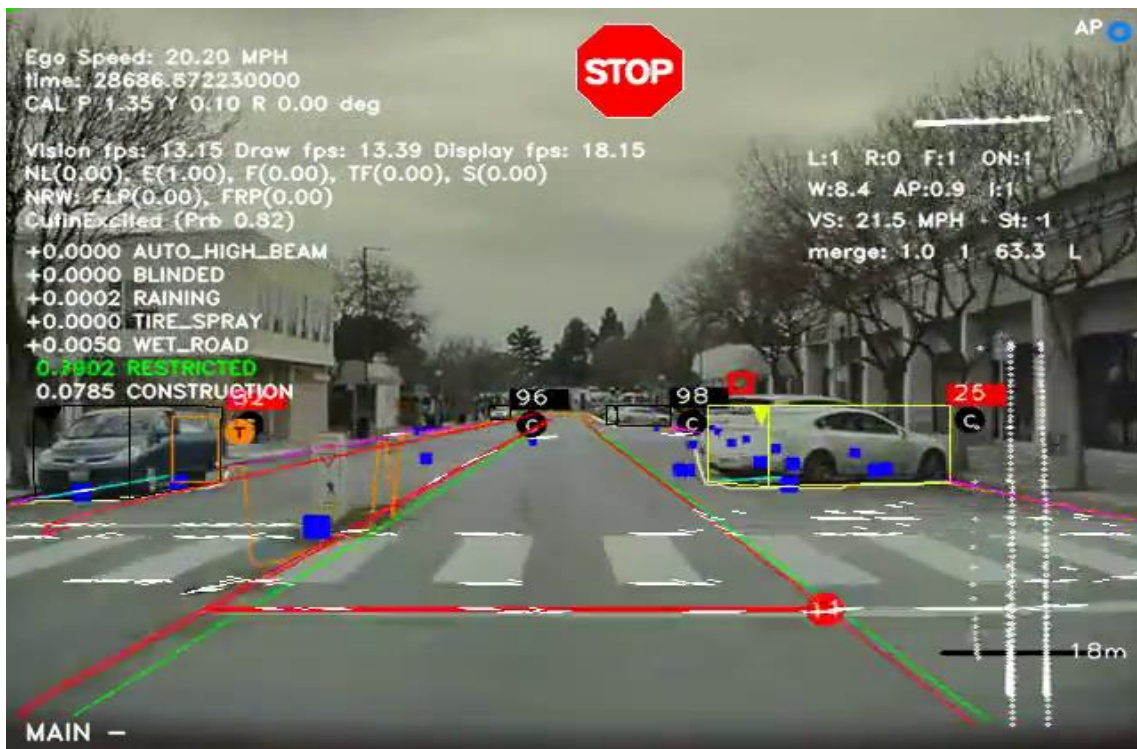


Figura 21



Figura 22

Approfondendo ulteriormente come il sistema Autopilot mappa l'ambiente circostante per poi considerare qual è lo spazio guidabile entro il quale il veicolo può viaggiare, si può notare come in tutte le figure proposte siano presenti dei quadratini blu.

Questi quadratini blu hanno lo scopo di mostrare ostacoli o servizi che devono essere evitati dall'auto. Spesso questi quadrati blu infatti appaiono fuori dalla corsia o dallo spazio guidabile, dove sta invece viaggiando l'auto.

Il radar frontale insieme alle videocamere, grazie alla visione artificiale, identificano gli oggetti e gli spazi dell'ambiente circostante dove la macchina non può andare, o che deve assolutamente evitare. Questo sistema, una volta perfezionato, potrebbe aiutare l'Autopilot a capire quali ostacoli sono presenti sulla strada o quale spazio ha a disposizione per guidare, contribuendo a migliorare l'identificazione degli ingombri presenti sulla carreggiata.

Come si può notare, osservando nuovamente la "Figura 21", le vetture a bordo strada erano contrassegnate tutte da dei quadratini blu, per indicare al sistema di guida la presenza di oggetti a lato della carreggiata e contrassegnare le aree dove la macchina non poteva andare. Ancora, si può notare come anche il cartello dell'attraversamento

pedonale precedentemente preso in analisi, sia stato contrassegnato con il quadratino blu ad identificare un oggetto sulla strada che la vettura doveva evitare.

In questo modo lo spazio guidabile è stato definito in modo più preciso e accurato, aiutando l'Autopilot a evitare, come in questo esempio, i mezzi parcheggiati a bordo strada o il cartello sulle strisce pedonali.

Un sistema di guida autonoma avanzato com'è l'Autopilot, non si può limitare tuttavia al solo riconoscimento degli oggetti che vengono catturati dalla videocamera e analizzati dalla computer vision, ma deve cogliere anche lo stato in cui essi si trovano.

Limitarsi a riconoscere un veicolo non è sufficiente, ciò che deve essere anche percepito dal sistema di guida autonoma è se questo veicolo si trova fermo a bordo strada o se il veicolo è in movimento e può dunque compiere manovre improvvise.

Come si può osservare dalla "Figura 23" sotto riportata, l'Autopilot è stato in grado di fare tutto ciò. Nella figura in questione infatti si può notare come tutti i veicoli siano stati racchiusi all'interno di una "scatola" tridimensionale che definisce il volume che questi occupano. Ogni "scatola", che si riferiva a un veicolo, è stata etichettata con tre lettere diverse: V che sta per "Van" (furgone), C che sta per "Car" (auto) e K che sta per "pickup truck" (camioncino).

Inoltre le "scatole" che identificano un po' tutti gli oggetti che la computer vision riconosce, tra cui i veicoli, sono state etichettate con un numero che sta ad indicare la distanza tra questi e la vettura Tesla. Questo numero infatti decresceva sempre più man mano che la vettura si avvicinava a questi oggetti.

Grazie al radar e ai sensori di cui era stata dotata l'auto, la macchina teneva sempre sotto controllo a che distanza si trovavano i vari oggetti che identificava, avendo un'idea più chiara di ciò che si trovava in movimento e ciò che rimaneva invece fermo e statico. Sempre riguardo alla staticità degli oggetti, l'Autopilot aveva assegnato un colore diverso alle varie scatole che racchiudono i veicoli; si può vedere dalla figura infatti che le auto che erano parcheggiate a bordo strada e dunque ferme sono state racchiuse da una scatola gialla, mentre la vettura che sopraggiungeva nel verso opposto è stata racchiusa da una scatola rosa, in quanto si trattava di un veicolo in movimento.

In ultima invece, le auto che erano in movimento, ma che si trovavano di fronte alla vettura Tesla e dunque viaggiavano con lo stesso senso di marcia, erano state racchiuse da una scatola di colore verde. (Figura 24)

Questo modo differente di etichettare, con colori diversi i veicoli, sta ad indicare come l'Autopilot di Tesla sia in grado di percepire in che stato si trovano i vari elementi che vengono riconosciuti durante la guida.



Figura 23



Figura 24

In conclusione, va poi notato come in ogni inquadratura, nell'angolo in alto a destra, sia presente una linea bianca.

Questa linea è dinamica e a volte si presenta piatta mentre a volte appare più curva e pendente.

La linea infatti cambia la propria inclinazione in base alla pendenza della strada.

Nella "Figura 23" per esempio la linea era piatta in quanto l'auto stava percorrendo un tratto di strada pianeggiante, che non presentava alcun tipo di pendenza.

Diversamente invece accade nella "Figura 22" dove la linea era decisamente curva e pendente verso il basso, ad indicare che l'auto stava percorrendo un tratto di strada in discesa.

Il sistema di guida autonoma delle vetture Tesla è stato dunque in grado anche di percepire la pendenza della strada.

Questo è molto importante soprattutto per le discese, dove l'auto ha bisogno di sapere che necessiterà di più spazio di frenata per fermarsi o dovrà frenare con più decisione per arrestare il veicolo. L'Autopilot è dunque sempre consapevole di quale sia l'inclinazione e la pendenza della strada sulla quale sta viaggiando il veicolo e può dunque adattare la guida in base alla pericolosità della strada.

3.4.2 La previsione del percorso (path prediction)

Nell'Aprile 2019, Tesla ha rilasciato un ulteriore video ufficiale di quello che registra la videocamera frontale montata sulle sue vetture.

Il video mostra come funziona la "previsione del percorso" effettuata dal sistema di guida autonoma della casa automobilistica, l'Autopilot.

A seguire riporto una mia analisi, con le relative osservazioni, dell'elaborato video rilasciato da Tesla, il quale mi è stato fondamentale al fine di comprendere e approfondire il concetto di "path prediction", ovvero come il sistema di guida autonoma riesce a prevedere l'andamento del percorso che sta seguendo.

Nel video sono presenti delle linee verdi che indicano la corsia dove viaggia la vettura e quale sia l'andamento della strada prevista dall'Autopilot. Si può vedere infatti, come le

linee verdi riuscivano ad indicare la presenza di curve sulla strada, prima che queste fossero effettivamente visibili.

Questa abilità del sistema di guida autonoma è uno dei fattori che permette all'Autopilot di migliorare notevolmente la qualità della guida ed essere più efficiente durante la guida.

La previsione del percorso (path prediction) è un aspetto della guida autonoma molto importante, in quanto consente al veicolo di avere una previsione su come la strada curverà e dunque permette al sistema di guida autonoma di adeguare l'andatura del veicolo in base all'andamento della strada.

Nel video che ho preso in esame si può vedere come l'Autopilot sia in grado di prevedere la direzione delle curve, e non solo, il sistema prevede inoltre anche l'angolo di curvatura di queste, dove in alcuni casi è più accentuato ed in altri meno.

Queste previsioni sono importanti per un sistema a guida autonoma, in quanto incidono sulle scelte di guida; l'Autopilot infatti si comporterà diversamente quando si troverà ad affrontare dei percorsi collinari o montani pendenti caratterizzati da molte curve di cui non si ha una visuale libera, rispetto invece a quando affronterà una strada cittadina pianeggiante con qualche curva poco accentuata.

La previsione dell'andamento della strada e degli scenari a cui si va incontro mentre si guida, è un'analisi che un guidatore umano effettua inconsapevolmente per prepararsi, per esempio, a frenare per tempo nel caso intraveda poco più avanti una curva molto stretta.

Come si può vedere dalla "Figura 25" sottostante, la strada che stava percorrendo l'auto era dritta e in salita; non si poteva vedere se la strada avrebbe curvato a destra o a sinistra in seguito. L'Autopilot tuttavia era riuscito a prevedere che la strada avrebbe curvato verso destra e infatti si può vedere dalla figura come all'orizzonte le linee verdi curvano verso destra.

Tale previsione si rivela poi corretta.



Figura 25

Per riuscire a “prevedere il percorso” e capire come curverà dunque la strada, l’Autopilot sfrutta due informazioni principali.

La prima è la linea gialla in mezzo alla strada, che divide le due corsie; la seconda invece è il bordo stradale laterale destro che delinea dove finisce la strada e dove inizia l’erba. Queste due linee sono indicate rispettivamente con le frecce gialle e le frecce verdi nella “Figura 26” sottostante.

Questi due indicatori sono i primi due fattori che l’Autopilot considera per definire lo spazio guidabile e quindi dove la macchina può guidare.

Tuttavia può accadere che la vettura si trovi a viaggiare in strade senza alcun tipo di linea che definisca la corsia di marcia. Un sistema di guida autonoma avanzato com’è l’Autopilot deve riuscire ugualmente a guidare la vettura attraverso queste strade non dotate di riferimenti di corsia. Uno di questi casi può essere studiato dalla “Figura 27” sotto riportata.



Figura 26

Nella “Figura 27” si può osservare come non fosse presente la linea gialla che divide le due corsie in mezzo alla strada, in quanto era stata sostituita con dei semplici tratteggi che sono stati cerchiati di rosso. Dall’inquadratura inoltre si può vedere che non era presente la linea laterale destra della strada, che doveva essere stata posta nel punto indicato e contrassegnato dalla “X” rossa.

Tuttavia, anche in questo caso, l’Autopilot è stato in grado di riconoscere la differenza tra la strada e l’erba della collina, riuscendo ugualmente a creare una linea di bordo strada tra i due ambienti.

Per quanto riguarda invece la linea sinistra in mezzo alla strada, l’Autopilot è stato in grado di definire una linea di corsia basandosi sui piccoli tratteggi rilevati in mezzo alla strada, riuscendo così a definire una corsia di riferimento dentro la quale la macchina poteva muoversi.

Malgrado le linee della corsia fossero poco visibili o indicate con dei punti tratteggiati, la vettura aveva però comunque a disposizione dei riferimenti più o meno chiari di quale fosse la corsia sulla quale poteva correre, cosa che non si verifica quando la strada è

invece sterrata o ricoperta per esempio dalla neve.

Nel caso in cui la vettura Tesla si trovasse in una condiziona come quella appena descritte, dunque senza alcun tipo di riferimento sulla corsia nella quale la vettura può viaggiare (strada è ricoperta di neve o completamente sterrata), l'Autopilot riesce comunque a gestire correttamente la guida della vettura determinando il "Drivable space".

In assenza di riferimenti che possano aiutare il sistema di guida ad identificare le corsie della strada, l'Autopilot non si basa più sulle linee presenti sulla strada, ma bensì si basa su una serie di circostanze ed informazioni che l'ambiente circostante fornisce, andando così a definire lo spazio guidabile (Drivable space), concetto più volte richiamato precedentemente.



Figura 27

3.4.3 Considerazioni conclusive sull'Autopilot

Ciò che emerge dall'analisi che ho svolto sul funzionamento dell'Autopilot attraverso la computer vision è estremamente interessante.

In primo luogo ho potuto notare come uno dei sistemi di guida autonoma, ad oggi più evoluti, disponga di capacità di guida altamente qualificate, in grado di gestire anche le situazioni di guida più complesse che richiedono un'alta precisione del sistema.

Durante l'analisi svolta, il sistema di guida autonomo della casa automobilistica Tesla aveva dimostrato le sue capacità di guida in diversi scenari che caratterizzano le città della nostra società moderna, spesso molto trafficate e con numerose accortezze da tenere in considerazione durante la guida.

L'Autopilot ha dato dimostrazione delle sue abilità inizialmente dimostrando di riuscire a cogliere la presenza di oggetti, veicoli e della segnaletica stradale sulla strada a una distanza nettamente maggiore di quella che è in grado di percepire l'uomo, riuscendo così ad avere un quadro completo della situazione che circonda il veicolo con un ottimo preavviso.

Questa capacità, combinata con l'abilità di prevedere l'andamento del percorso ed inoltre la presenza delle linee d'arresto riferite alla segnaletica verticale, permettono all'Autopilot di avere una guida in grado di prevenire situazioni di pericolo o di compromettere la sicurezza delle persone a bordo del veicolo.

Un esempio di quanto detto lo si può riscontrare nelle "Figura 15" e "Figura 16" dove il sistema di guida aveva rilevato la presenza dello "Stop" e della corrispondente linea d'arresto già da una notevole distanza. Ancora, anche nella "Figura 25", il sistema di guida automatico era riuscito a dimostrare la sua capacità di previsione del percorso, indicando con delle linee verdi come la strada avrebbe curvato. Infine anche nella "Figura 14" si è visto come il sistema aveva colto già a un centinaio di metri di distanza la segnaletica orizzontale disegnata sulla strada.

Proseguendo con l'osservazione del funzionamento del 'Autopilot ho potuto capire concretamente come questo utilizzi i delineatori della carreggiata per riuscire a mantenere la vettura all'interno della propria corsia di marcia.

Il sistema di guida automatica infatti aveva rilevato correttamente, lungo il suo tragitto,

le linee che delineavano le corsie; ma non solo, era riuscito infatti anche a spingersi oltre, cercando di capire il limite entro il quale finiva la strada e iniziava l'area in cui la macchina non poteva andare. Questo limite oltre al quale la macchina non poteva più andare, era delineato dall'Autopilot con delle linee arancioni, ed andava a definire quello che era lo "spazio guidabile", all'interno del quale in veicolo poteva guidare.

Questa capacità di cui dispone l'Autopilot ha permesso ai veicoli Tesla di riuscire a percorrere tratti di strada non contrassegnati dalle linee di corsia, come possono essere strade sterrate o strade ricoperte di neve o fango.

La dimostrazione di queste abilità possedute dal sistema di guida autonoma viene raffigurata nelle "Figura 20", "Figura 21" e "Figura 22" dove sono mostrate le rispettive linee di corsia che l'Autopilot considerava per guidare la vettura, contrassegnando invece con delle "X" rosse le linee di corsia che il sistema non doveva considerare. Ancora, nella "Figura 20", vengono mostrati i limiti, che erano stati identificati dall'Autopilot, che definivano lo spazio guidabile delineati dalle linee arancioni, grazie al quale il sistema di guida autonoma riesce a guidare le vetture Tesla anche in strade sterrate e assenti di delineatori di corsia.

L'individuazione dello spazio guidabile è una capacità d'importanza rilevante poiché la vettura deve sempre avere una percezione dello spazio in cui può andare e delle aree della strada che invece deve evitare. Questo, il sistema Autopilot di Tesla ha dimostrato di saperlo fare egregiamente.

Nella "Figura 21" infatti ho visto come il cartello che occupava parte della strada nell'attraversamento pedonale sia stato correttamente segnalato come area al di fuori dello spazio guidabile, per evitare che la vettura potesse travolgerlo.

La definizione dello spazio in cui la macchina può guidare e l'area invece dove la macchina non può andare, costituisce un vincolo in più che attribuisce al sistema di guida autonoma un ulteriore livello di sicurezza.

Il lavoro sopra svolto ha dimostrato in più come Tesla abbia perfezionato il riconoscimento del drivable space nel proprio Autopilot in due modi, il primo attraverso il limite indicato dalle linee arancioni, come precedentemente spiegato, ed il secondo etichettando gli elementi al di fuori dell'area di guida con dei quarantini blu.

Come è possibile riscontrare in tutte le inquadrature prese in esame, gli oggetti al di fuori delle linee arancioni, erano stati marchiati da questi quadratini blu per indicare al sistema di guida che si trattava di oggetti da evitare. Questa catalogazione ha aiutato l'Autopilot in primo luogo ad identificare meglio lo spazio guidabile, in secondo luogo anche ad identificare tutti quegli elementi, a lato della strada, che non costituivano un pericolo imminente, come possono essere state le auto parcheggiate a bordo strada nella "Figura 19".

Dall'analisi sul funzionamento dell'Autopilot è poi emerso un aspetto della guida autonoma estremamente importante.

Ho potuto riscontrare come lo sviluppo dell'Autopilot non si sia concentrato solamente sugli elementi che si possono trovare sulla strada: come i veicoli, le persone, la segnaletica o una vasta gamma di oggetti, ma addirittura sull'analisi della strada stessa e del manto stradale.

Ciò che è emerso, in particolare dalla "Figura 17", è come il sistema di guida autonoma di Tesla sia riuscito a percepire le condizioni in cui si trovava la strada, nello specifico, rilevando come questa fosse bagnata e come presentasse una pozzanghera sulla corsia. Questa capacità di rilevare le condizioni in cui si trova la strada può essere utilizzata dall'Autopilot per adattare lo stile di guida e innescare manovre preventive.

In aggiunta ho potuto studiare un'ulteriore rilevazione che l'Autopilot è in grado di fare, ovvero la determinazione della pendenza della strada.

Il sistema di guida autonoma di Tesla è stato in grado di cogliere la pendenza della strada lungo tutto il suo tragitto, riuscendo a sapere costantemente quale fosse la pendenza della strada. In tutte le inquadrature proposte infatti, in alto a destra, era presente una linea bianca dinamica che cambiava la propria curvatura in base alla pendenza del tratto di strada che il veicolo stava percorrendo.

Il sistema di guida autonoma è stato in grado dunque di cogliere tutti i differenti aspetti dell'ambiente che lo circondava, riuscendo così a garantire una qualità della guida decisamente più elevata e soprattutto più sicura.

CONCLUSIONI

Con la presente tesi si è andati a studiare lo sviluppo ed il progresso che ha avuto l'intelligenza artificiale, a partire dall'anno 1956; anno in cui questa disciplina è stata coniata nel New Hampshire al Dartmouth College, fino allo stato maturo della tecnologia dei giorni odierni. La tesi prosegue con uno studio di come l'Intelligenza artificiale sia oggi applicata al settore Automotive attraverso la guida autonoma, riportando un quadro della competitività del settore con particolare riferimento al contesto Italiano. Infine il lavoro viene concluso con lo studio di un caso pratico, analizzando nel dettaglio il comportamento del sistema di guida autonoma di Tesla attraverso la Computer Vision.

Partendo dalle origini dell'intelligenza artificiale, si è studiato come questa scienza sia maturata nel corso degli anni, grazie inoltre al continuo progresso della tecnologia che ha permesso all'artificial intelligence di disporre delle risorse tecnologiche in grado di supportare l'enorme sforzo di calcolo che questa scienza richiede.

Agli stadi iniziali, viste anche le dotazioni tecnologiche dell'epoca, questa disciplina si rifaceva al concetto di "Machine Learning", ovvero la capacità della macchina di saper prendere delle decisioni basandosi su degli algoritmi.

Con il passare degli anni e grazie ai risultati ottenuti degli scienziati, l'intelligenza artificiale oggi si è evoluta al tal punto da poter parlare di "Deep Learning", ovvero l'abilità di un sistema intelligente nel riuscire, in modo del tutto autonomo, a prendere delle decisioni. Tutto ciò dopo aver imparato in maniera autonoma da un enorme quantità di dati.

Le potenzialità di calcolo oggi disponibili, hanno permesso al Deep Learning di disporre di un sistema di reti neurali talmente complesso e complicato che attribuiscono a questi sistemi la capacità di saper prendere delle decisioni in modo autonomo proprio come il cervello umano. Grazie a questo concetto è stato possibile sviluppare i sistemi di guida autonoma.

L'enorme potenzialità dell'Intelligenza artificiale, vede oggi una sua applicazione in quasi tutti i settori e mercati, diventando un fattore essenziale in grado di far la differenza.

Con il secondo capitolo della tesi, il lavoro svolto ha voluto convergere sull'applicazione

dell'Intelligenza artificiale al settore dell'Automotive, il quale vede impegnata oggi l'intelligenza artificiale nello sviluppo dei moderni sistemi di guida autonoma avanzati. Le potenzialità della tecnologia oggi sono sufficientemente evolute da consentire alla macchina di svolgere ragionamenti del tutto simili a quelli che svolge l'essere umano. Ciò ha permesso ai moderni sistemi di guida autonoma di riuscire a guidare le vetture in modo quasi del tutto autonomo nelle nostre strade.

Benché lo sviluppo di questa tecnologia abbia avuto dei miglioramenti notevoli in questi ultimi anni, quello che la tesi dimostra è come ci sia ancora molto lavoro da fare per raggiungere una guida autonoma di quinto livello sufficientemente sicura e affidabile.

Si è visto infatti che malgrado gli ingenti sforzi degli Stati nel supportare questo progresso, le vetture ad oggi non sono ancora sufficientemente pronte a viaggiare in modo completamente autonomo sulle strade. Da un lato infatti, com'è stato spiegato nel secondo capitolo, i Paesi non dispongono ancora di una rete di copertura capillare di infrastrutture tecnologiche. Tali infrastrutture dovrebbero essere in grado di comunicare con i veicoli autonomi durante la loro guida e dovrebbero permettere l'interscambio di informazioni tra questi ultimi. Dall'altro lato l'attuale stato di sviluppo dei sistemi di guida autonoma soffre ancora di problemi; come l'identificazione corretta dell'ambiente circostante e degli elementi che lo caratterizzano. Si nota infatti che in situazioni di buio o scarsa illuminazione o nell'evidente difficoltà nel riconoscere i soggetti sulle strade, quando questi si trovano in controluce o sono poco visibili al buio, la capacità del sistema di guida risulta ancora poco efficiente. Questi limiti, riportati dai risultati del terzo capitolo, mostrano inoltre ulteriori difficoltà nel riconoscimento di oggetti o situazioni particolari nella careggiata.

Tuttavia il lavoro svolto mostra come, senza alcun dubbio, i vari Paesi stiano investendo e cercando di spingere verso l'adozione della guida autonoma, attraverso l'implementazione delle strutture necessarie quali: le strade intelligenti (smart road), le connessioni ultraveloci (5g) e l'attenzione nel definire un quadro normativo che regoli il settore della guida autonoma (per l'Italia il "Decreto smart road del 2018").

Focalizzandosi sullo Stato Italiano, la tesi ha poi riportato la situazione del paese nell'investire in infrastrutture che supportino questo nuovo modo di concepire la

mobilità. Quello che è emerso è che l'Italia sta muovendo ancora i primi passi nel creare un ambiente idoneo all'implementazione della guida autonoma, ma tuttavia non è di certo tra i Paesi più preparati sotto questo aspetto e necessita ancora di molto lavoro per recuperare il gap con i paesi leader nell'accogliere la guida autonoma.

A suo favore infatti il Paese dispone di una normativa sulla guida autonoma, il Decreto Smart Road 2018, che nel secondo capitolo viene analizzato, ma dall'altro lato tuttavia sono ancora pochi i chilometri di strada intelligente che il paese dispone e solo alcune città stanno avviando progetti di mobilità autonoma all'interno dei propri comuni.

Il capitolo conclusivo della tesi, in una sua prima parte sottopone a contesti differenti ed estremi un sistema di intelligenza artificiale open source per analizzare in modo pratico quali sono le difficoltà della computer vision utilizzata dai sistemi di guida autonoma. Nella seconda parte del capitolo invece si è analizzato come la computer vision, utilizzata nel sistema di guida autonoma di Tesla, riesca a catturare il contesto che circonda la vettura.

È stato dunque preso in esame in ogni suo dettaglio, il comportamento e il funzionamento del sistema di guida di Tesla, grazie all'uso della computer vision che ha mostrato quello che l'Autopilot analizza durante la guida.

Quello che è emerso dall'analisi è come la computer vision soffra sotto diversi aspetti di molteplici errori causati dall'ambiente circostante.

La tecnologia utilizzata dai sistemi di guida autonoma per analizzare quello che le videocamere riprendono (computer vision), presenta ad oggi problemi sostanzialmente legati alle condizioni atmosferiche dell'ambiente esterno e alle condizioni di luce.

È stato visto infatti come in condizioni di controllo la tecnologia faccia estremamente fatica a riconoscere correttamente gli oggetti presenti e spesso venga tratta in errore. Inoltre nel caso opposto, in condizione di scarsa luminosità e buio spesso vengono confusi gli elementi sulla strada o addirittura non vengono riconosciuti.

Ancora in condizioni meteorologiche estreme, come forti piogge o nevicata e in presenza di polvere in aria, il sistema commette diversi errori di valutazione.

Altro errore riscontrato è stato il riconoscimento errato degli oggetti in quanto il sistema

probabilmente non era mai stato allenato a riconoscerli prima di quel momento.

Malgrado ciò, quello che invece è emerso dal sistema di guida Autopilot è stato come in condizioni atmosferiche e ambientali ottimali, il sistema di guida di Tesla abbia dimostrato le sue capacità di guida sorprendenti.

In molti casi la tecnologia di Tesla ha dimostrato di riuscire a gestire la guida della vettura in modo sicuro e affidabile, riuscendo a cogliere tutti i fattori di rischio che la strada presentava. Non è stato tuttavia possibile testare il funzionamento dell'Autopilot in contesti estremi.

In conclusione la presente tesi porta alla formulazione della seguente teoria. I moderni sistemi di guida autonoma avanzati presentano ancora oggi dei limiti di applicazione importanti, e dunque non è possibile affidare a questi sistemi di guida autonomi il controllo delle vetture in qualsiasi contesto si presentino. Fattori come le condizioni meteorologiche estreme quali tempeste di neve, fitte piogge o strade molto polverose e piene di fango, non permettono alla strumentazione della vettura di garantire una guida autonoma sicura e affidabile. Inoltre, come emerso dal lavoro sopra riportato, non sempre l'identificazione degli oggetti presenti sulla strada viene fatta in modo corretto. Non è dunque possibile per ora affidare il totale controllo della vettura solo alla guida autonoma. Ne sono dimostrazione i fatti riscontrati e riportati durante lo studio svolto. Tuttavia lo stato attuale della tecnologia sicuramente è molto valido e permette in molti contesti di affidare la guida delle auto al sistema di guida autonoma in totale sicurezza, a condizione che sia sempre presente la supervisione di un occhio umano. Gli addetti ai lavori riusciranno sicuramente ad arrivare alla realizzazione di sistemi di guida sicuri e performanti, in grado di affrontare qualsiasi condizione. Tuttavia il raggiungimento di questo risultato, ad oggi ancora lontano, arriverà, ma non in tempi così brevi come si potrebbe pensare.

Consolidato il fatto che i veicoli a guida autonoma completa, e dunque di quinto livello, non arriveranno nelle nostre strade a breve e nemmeno tra una decina di anni, quello che a mio avviso accadrà nel frattempo sarà l'applicazione e l'utilizzo di forme di sviluppo intermedie di queste tecnologie.

Questo porterà alla nascita di nuovi modelli di business che interesseranno il settore automotive tra cui l'utilizzo della guida autonoma in contesti più circoscritti e ideali per il trasporto di persone o merci, ed inoltre l'utilizzo di queste tecnologie per supportare e rendere più sicura la guida tradizionale umana.

Per quanto riguarda infatti i nuovi modelli di business che potrebbero riguardare il futuro a breve termine, è stato visto, nei capitoli precedenti, come la guida autonoma avrà un impatto nel settore automotive sotto due aspetti: il primo aspetto riguarderà l'utilizzo dei robot-taxi per lo spostamento delle persone; un secondo aspetto riguarderà invece il supporto che gli ADAS saranno in grado di dare alla guida tradizionale umana affinché questa sia più affidabile e sicura.

Riguardo il primo aspetto, la guida autonoma garantirà a breve, nei prossimi anni, un migliore ed efficiente servizio di trasporto pubblico grazie ai robot-taxi, in aree circoscritte e ben definite nelle città. Questi robot-taxi sono realtà oggi già esistenti, che in un breve futuro coinvolgeranno anche il settore privato e non solo quello pubblico, offrendo un servizio di trasporto su gomma più autonomo e sostenibile. Com'è stato riportato nel paragrafo 2.4, aziende come Waymo e Amazon sono oggi già in grado di offrire veicoli da impiegare nel trasporto pubblico adibite al trasporto di persone. Questa sorta di navette autonome, sono in grado di svolgere il loro servizio in modo autonomo all'interno di aree circoscritte e ben definite, riuscendo così ad offrire un trasporto sicuro e affidabile classificabile come una guida autonoma di quinto livello. Personalmente credo che, visti i risultati positivi e incoraggianti ottenuti nelle aree di test come quella di Tokyo e San Francisco (paragrafo 2.4), l'utilizzo di questi veicoli autonomi sarà sempre più diffuso e riguarderà aree sempre più estese. A convincermi di quanto affermato sono inoltre le notizie di cronaca che, sempre più, annunciano nuove collaborazioni tra le aziende che sviluppano robot-taxi e i Paesi all'avanguardia che sono interessati ad incorporare questi veicoli nei loro servizi di mobilità. Un esempio recente riguarda la città di Dubai, la quale ha ufficialmente affermato che, nei prossimi due anni, utilizzerà le navette autonome della società Cruise per ampliare il parco macchine adibite al trasporto pubblico nella città.

In un futuro prossimo inoltre, questi sistemi di trasporto autonomi potranno interessare

anche il mercato privato, trovando una loro applicazione nel trasporto di merci e materiali attraverso la percorrenza di percorsi già prestabiliti, dove il transito di questi veicoli avverrà in modo affidabile e sicuro. Queste nuove possibilità di trasporto apriranno le porte per nuovi concetti di mobilità e logistica nei trasporti.

Il secondo aspetto dove la guida autonoma avrà un impatto a breve termine nel settore automotive, riguarderà l'adozione dei sistemi ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) per supportare la guida tradizionale.

Se è vero che i sistemi di guida autonoma di livello 3 e 4, dunque si fa riferimento a quelle vetture dotate dei sistemi ADAS, sono applicabili solo in determinati contesti e scenari; è altrettanto vero che la guida tradizionale umana produce comunque dei rischi quantificabili. Si può dunque immaginare che il trade off tra gli incidenti implicati alla guida tradizionale e quelli impiegati dalla guida autonoma, potrebbero essere a vantaggio della guida autonoma. Questa mia personale convinzione deriva in parte dagli studi emersi dalle aziende del settore.

Dai risultati dello studio svolto da Bosch e Automobile Club d'Italia in collaborazione con il Politecnico di Torino, emerge che grazie ai sistemi di assistenza alla frenata, il numero di tamponamenti si riduce del 45%. (link in sitografia)

La stessa Comunità Europea, considerando l'evidente contributo che questi sistemi di assistenza alla guida oggi sono in grado di dare, ha imposto l'obbligo alle case automobilistiche di dotare di un equipaggiamento di sistemi di assistenza alla guida (ADAS) tutti i modelli di nuova omologazione che saranno introdotti sul mercato a partire dal 2022 (Regolamento europeo 2019/2144). Ovviamente tali norme dovranno essere riadattate da ogni paese membro, per equilibrare la circolazione delle vetture in tutto il territorio europeo.

Riflettendo dunque sul percorso seguito dall'UE dove: nel 2004 era stato imposto l'obbligo dell'Abs, nel 2014 è stato reso obbligatorio il monitoraggio della pressione degli pneumatici (Tpms), nel 2019 è stata resa obbligatoria la chiamata automatica di emergenza (eCall), ed infine dal 2022 saranno obbligatori gli ADAS, credo che in un futuro a breve termine, questa sia la strada che meglio ci permetterà di sfruttare le potenzialità dei sistemi di guida autonoma, nell'attesa di arrivare all'adozione di una

guida autonoma totale. La guida autonoma attraverso gli ADAS, già tra qualche anno, contribuirà ad una maggiore sicurezza delle nostre strade riducendo non solo il numero di tamponamenti e incidenti, ma salvando addirittura in alcuni casi vite umane, molto di più di quanto già stia facendo oggi. Funzioni come il controllo adattivo della velocità, il rilevamento della stanchezza del conducente, l'avvio del motore dopo etilometro, la frenata automatica di emergenza, la registrazione dati in caso di incidente (scatola nera) ed inoltre il mantenimento attivo della corsia di marcia e anticollisione con pedoni e ciclisti saranno le tecnologie che in questi anni ci aiuteranno a transitare verso una guida autonoma completa nei nostri veicoli.

BIBLIOGRAFIA

- Daniel Kahneman, Paul Slovic, Amos Tversky , (1982), "Judgment under uncertainty: Heuristics and biases", Cambridge University.
- Luis Ramos Franco, (2014), "Psicología cognitiva e inteligencia artificial: Mitos y verdades", UniFe.
- Warren S. McCulloch, Walter H. Pitts, (1943), "A Logical Calculus of the ideas immanent in nervous activity".
- John McCarthy, Marvin L. Minsky, Nathaniel Rochester, and Claude E. Shannon, (1955), "A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence", Shannon.
- JG Carbonell, RE Cullingford e AV Gershman,(1981) "Steps Toward Knowledge-Based Machine Translation", in IEEE
- John McDermott, (1982), "A rule-based configurer of computer systems",
- David Poole, Alan Mackworth, Randy Goebel, (1998), "Computational Intelligence: A Logical Approach, Oxford University.
- Simon, Herbert Alexander, (1981), "The Sciences of the Artificial", MIT Press
- Philip N. Johnson Laird, (1989), "The Computer and the Mind: An Introduction to Cognitive Science", Harvard University
- Crevier, Daniel. (1993). AI: The Tumultuous History of the Search for Artificial Intelligence.
- Raymond Kurzweil's, (1990), "The Age of Intelligent Machines", MIT Press

- John Haugeland, (1985), “Artificial Intelligence: The Very Idea”, MIT Press
- Edward A. Feigenbaum, Julian Feldman, Paul Arme, (1995), “Computers and Thought”, Aai Pr
- Marvin Minsky (2003) “Semantic Information Processing”, MIT
- Bonnie Lynn Webber, Nils J. Nilsson, (1981), “Readings in Artificial Intelligence” , Stanford University
- Avron Barr, Edward Albert Feigenbaum, Paul R. Cohen, (1981), “Handbook of Artificial Intelligence” , Addison-Wesley
- Harvard Kennedy School, Belfer Center: “Artificial Intelligence and National Security”, 2018
- Law Enforcement’s Use of Facial Recognition Technology, FBI, 2017
- Niraj Dawar, (2018), “Marketing in the Age of Alexa”, Harvard
- David E. Ruineihart, Geoffrey E. Hint.., and Ronald J. Williams, (1985) , Learning internal representation by error propagation, University of California
- Li Fei-Fei, (2015), “How we're teaching computers to understand pictures” , TEDx
- Matt Reynolds, 2017, “ New computer vision challenge wants to teach robots to see in 3D”, New Scientist
- John Markoff, For Web Images, Creating New Technology to Seek and Find, The New York Times
- “From not working to neural networking”, The Economist, 2016
- Olga Russakovsky, Jia Deng, Hao Su, Jonathan Krause, Li Fei-Fei et al., (2015) “ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge”, International Journal of Computer Vision
- Jacob Aron, (2015), “ Forget the Turing test – there are better ways of judging AI”, New

Scientist

-Richard Waters, 2018, "Machines 'beat humans' for a growing number of tasks",

Financial Times

-Dave Gershgorn, (2018), The inside story of how AI got good enough to dominate Silicon

Valley, Quartz

-S. Boutarfass and B. Besserer, 2020, "Improving CNN-based colorization of B&W photographs", IEEE

-Scott R. Granter, Andrew H. Beck, David J. Papke; AlphaGo, (2017), Deep Learning e il futuro del microscopista umano. Arch Pathol Lab Med

- "Google's Neural Machine Translation System: Bridging the Gap between Human and Machine Translation", Yonghui Wu Mike Schuster Zhifeng Chen Quoc V. Le Mohammad Norouzi Wolfgang et al. , 2016

-Justus Thies Michael Zollhofer, Marc Stamminger, Christian Theobalt, Matthias Nießner, (2016), "Face2Face: Real-time Face Capture and Reenactment of RGB Videos", University of Erlangen-Nuremberg, Max-Planck-Institute for Informatics, Stanford University

- Andrew Owens, Phillip Isola, Josh McDermott, Antonio Torralba, Edward H. Adelson, William T. Freeman,(2016), " Visually Indicated Sounds, IEEE

- Erhan D., Szegedy C., Toshev, A., and Anguelov, D., (2014), "Scalable Object Detection using Deep Neural Networks" , The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition

- Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., & Malik, J., (2013),"Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation" , arXiv

- Howard, AG,(2013), "Some Improvements on Deep Convolutional Neural Network Based Image Classification" , arXiv
- Krizhevsky, A., Sutskever I., and Hinton, G., (2012), "Imagenet classification with deep convolutional neural networks"
- James Zou, Londa Schiebinger, (2018), "AI can be sexist and racist: it's time to make it fair ", Nature
- Jimmy SJ. Ren, Li Xu, Qiong Yan, and Wenxiu Sun, (2015) "Shepard convolutional neural networks", MIT Press, Cambridge.
- "Europe Autonomous Car Market", 2019, P&S Intelligence
- "20° Rapporto ANIASA",2020,Associazione Nazionale Industria dell'Autonoleggio e Servizi Automobilistici
- Alberto Broggi, Pietro Cerri, Mirko Felisa, Maria Chiara Laghi, Luca Mazzei, and Pier Paolo Porta, The VisLab Intercontinental Autonomous Challenge: an Extensive Test for a Platoon of Intelligent Vehicles, Intl. Journal of Vehicle Autonomous Systems, special issue for 10th Anniversary, 2011
- Alonso Raposo, M., Grosso, M., Després, J., Fernandez Macias, E., Galassi, M., Krasenbrink, A., Krause, J., Levati, L., Mourtzouchou, A., Saveyn, B., Thiel, C. e Ciuffo, B., Un'analisi dei possibili effetti socioeconomici di una mobilità cooperativa, connessa e automatizzata (CCAM) in Europa, EUR 29226 IT, Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea Union, Lussemburgo, 2018
- " Waymo Simulated Driving Behavior in Reconstructed Fatal Crashes withinan Autonomous Vehicle Operating Domain"; John M. Scanlon, Kristofer D. Kusano, Tom Daniel, Christopher Alderson, Alexander Ogle, Trent VictorWaymo, LLC,2021

- "GM-backed Cruise to buy self-driving start-up Voyage", Michael Wayland, 2021, CNBC
- "2020 Autonomous Vehicles Readiness Index-Assessing the preparedness of 30 countries and jurisdictions in the race for autonomous vehicles", 2021, KPMG
- "The Global Competitiveness Report" Klaus Schwab, World Economic Forum
- "L'auto elettrica si ricarica guidando in autostrada, il progetto Brebemi", 19 maggio 2021, Emily Capozucca, Corriere della Sera
- "Vision zero alla conferenza globale", terza conferenza ministeriale globale sulla sicurezza stradale, febbraio 2020
- Erika Kinetz, 'In China, your car could be talking to the government', AP News, 30 November 2018
- Keith Naughton, "Ford CEO riduce le aspettative per i primi veicoli autonomi", Settimane del settore, 10 aprile 2019
- Patrick McGee and Shannon Bond, 'Daimler speeds up self-driving trucking technology', Financial Times, 7 January 2019
- Tia Ford, 'Autonomous shuttles help transport Covid-19 tests at Mayo Clinic in Florida', Mayo Clinic, 2 April 2020
- 'Waymo acquires Latent Logic to accelerate progress towards safe, driverless vehicles', University of Oxford, 13 December 2019
- Patrick McGee, 'BMW and Daimler to join forces on driverless technology', Financial Times, 28 February 2019
- "How Self-Driving Cars Work", Jan 2017, Harry Surden, Mary-Anne Williams, University of Technology Sydney

- "Machine learning, social learning and the governance of self-driving cars", November 21, 2017, Jack Stilgoe, University College London

- M. Daily, S. Medasani, R. Behringer e M. Trivedi, "Auto a guida autonoma", in Computer, vol. 50, nr. 12, pp. 18-23, dicembre 2017

- Mario Hirz & Bernhard Walzel (2018) "Sensor and object recognition technologies for self-driving cars", Computer-Aided Design and Applications,

- "Applied Deep Learning and Computer Vision for Self-Driving Cars" 2020, Sumit Ranjan, Dr. S. Senthilarasu, Packt Publishing Limited

- Q. Rao and J. Frtunikj, "Deep Learning for Self-Driving Cars: Chances and Challenges," 2018 IEEE/ACM 1st International Workshop on Software Engineering for AI in Autonomous Systems (SEFAIAS)

SITOGRAFIA

- https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/PV-8-2017-02-16-TOC_IT.html
- https://it.wikipedia.org/wiki/Alan_Turing
- <https://www.technologyreview.com/2019/01/25/1436/we-analyzed-16625-papers-to-figure-out-where-ai-is-headed-next/>
- <https://home.kpmg/it/it/home/events/2021/04/competere-con-intelligenza-artificiale.html>
- <https://www.automazioneindustriale.com/energia-ambiente/>
- <https://theappeal.org/the-danger-of-automating-criminal-justice/>
- <https://harvardlawreview.org/2017/03/state-v-loomis/>
- <https://www.technologyreview.com/2019/01/21/137783/algorithms-criminal-justice-ai/>
- <https://www.economist.com/open-future/2018/06/04/how-data-driven-policing-threatens-human-freedom>
- <https://www.technologyreview.com/2019/01/25/1436/we-analyzed-16625-papers-to-figure-out-where-ai-is-headed-next/>
- <https://towardsdatascience.com/the-black-box-metaphor-in-machine-learning-4e57a3a1d2b0>
- <https://hbr.org/2018/05/marketing-in-the-age-of-alexa>
- https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=2018-04-

18&atto.codiceRedazionale=18A02619&elenco30giorni=false

- https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/

- <https://www.aniasa.it/aniasa/aniasa-informa/list/pubblicazioni>

-<https://www.rnd.de/wirtschaft/mercedes-gibt-das-autonome-robotertaxi-auf-wir-konnen-das-rennen-nicht-gewinnen-MDFJOQVJCJEDTBBDCTVA5N4EBI.html>

- <https://vislab.it/>

- <https://www.sae.org/blog/sae-j3016-update>

<https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/economy/20190110STO23102/autonomous-driving-in-ue-dalla-fantascienza-alla-realta>

- <https://e-novia.it/e-shock-living-lab-jrc-european-commission/>

- [https://it.scribd.com/document/497900366/Waymo-Simulated-Driving-Behavior-in-Reconstructed-](https://it.scribd.com/document/497900366/Waymo-Simulated-Driving-Behavior-in-Reconstructed-Collisions?secret_password=oz4kiDGZtA3WD83jpbXS#fullscreen&from_embed)

[Collisions?secret_password=oz4kiDGZtA3WD83jpbXS#fullscreen&from_embed](https://it.scribd.com/document/497900366/Waymo-Simulated-Driving-Behavior-in-Reconstructed-Collisions?secret_password=oz4kiDGZtA3WD83jpbXS#fullscreen&from_embed)

-<https://www.cnbc.com/2021/05/12/volkswagen-plans-self-driving-electric-microbus-with-argo-ai-by-2025.html>

-<https://www.caranddriver.com/volkswagen/id-buzz-microbus>

-<https://www.shine.cn/biz/tech/2104197663/>

-<https://www.shine.cn/biz/auto/2104207738/>

-<https://www.theverge.com/2021/3/15/22331794/cruise-acquires-voyage-self-driving-car-merger>

-<https://www.cnbc.com/2021/03/15/gm-backed-cruise-to-buy-self-driving-start-up-voyage.html#:~:text=GM%27s%20majority%20Downed%20autonomous%20vehicle,as%20vice%20president%20of%20product.>

-<https://forbes.it/2021/07/16/aurora-sbarca-borsa-camion-guida-autonoma-vale-11-miliardi/>

-<https://news.voyage.auto/voyage-partners-with-fca-to-deliver-fully-driverless-cars-915c49ecb221>

-<https://d110erj175o600.cloudfront.net/wp-content/uploads/2018/10/TheGlobalCompetitivenessReport2018.pdf>

-<https://www.ilsole24ore.com/art/a-torino-arriva-olli-shuttle-elettrico-e-senza-autista-ACE7zNCB>

https://www.repubblica.it/motori/sezioni/attualita/2019/11/21/news/merano_sperimenta_il_bus_a_guida_autonoma-241498498/

-<https://www.lastampa.it/motori/tecnologia/2019/03/10/news/bus-scomponibili-e-a-guida-autonoma-la-startup-italiana-next-conquista-dubai-1.33686742>

-https://www.ansa.it/canale_motori/notizie/attualita/2021/05/21/bundestag-da-ok-a-auto-autonome-dal-2022-in-germania_3bac1bb2-57c8-4232-b3dd-de07edcc6e6e.html

-<https://www.bbc.com/news/technology-56906145>

-<https://www.nytimes.com/2016/09/20/technology/self-driving-cars-guidelines.html>

https://www.repubblica.it/motori/sezioni/attualita/2020/01/07/news/roby_lo_chassis_digitale_e_servito-245155831/

-<https://forbes.it/2021/02/22/toyota-aurora-insieme-guida-autonoma/>

-<https://www.businessinsider.com/tesla-self-driving-technology-compared-to-everyone-see-how-it-works-2020-7?IR=T>

-https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/images/3/35/Causes_of_death_%E2%80%94_standardised_death_rate%2C

_EU-27%2C_2016_%28per_100_000_inhabitants%29_Health20.png

-https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/default/files/move-2019-01178-01-00-en-tra-00_3.pdf

-<https://www.indracompany.com/en/ittreport>

-<https://www.mit.gov.it/sites/default/files/media/notizia/2020-09/Relazione%20annuale%20Osservatorio%202018-2019.pdf>

-https://www.corriere.it/economia/aziende/21_maggio_19/auto-elettrica-si-ricarica-guidando-autostrada-progetto-brebemi-f6411650-b7e4-11eb-add6-98a2b51489e2.shtml

-<https://www.stradeanas.it/it>

-<https://www.mit.gov.it/>

-<https://www.automotivesmartarea.it/>

-<https://github.com/AlexeyAB/darknet>

-<https://www.tesla.com/AI>

-<https://www.forbes.com/sites/bradtempleton/2019/04/29/teslas-shadow-testing-offers-a-useful-advantage-on-the-biggest-problem-in-robocars/?sh=786a3e743c06>

-<https://www.forbes.com/sites/bradtempleton/2019/04/22/tesla-bets-farm-on-neural-network-based-autonomy-with-impressive-presentation/?sh=4eb8905b63ce>

-<https://greentransportation.info/ev-ownership/safer/tesla-model-s-2013.html>

-<https://searchenterpriseai.techtarget.com/definition/driverless-car>

-<https://interestingengineering.com/how-do-self-driving-cars-work>

-<https://www.digitaltrends.com/cars/how-teslas-autopilot-system-sees-the-streets-of-paris/>

-<https://bdtechtalks.com/2021/06/28/tesla-computer-vision-autonomous-driving/>

-<https://www.upgrad.com/blog/self-driving-cars-computer-vision/>

-<https://www.automotiveworld.com/articles/human-like-vision-pivotal-to-unlocking-autonomous-driving/>

-<https://www.automate.org/industry-insights/vision-systems-cruise-into-autonomous-vehicles>

-<https://www.analyticsinsight.net/computer-vision-makes-autonomous-vehicles-intelligent-and-reliable/>

-<https://medium.com/@albertlai631/how-do-self-driving-cars-see-13054aee2503>

-<https://www.tomtom.com/blog/automated-driving/hd-maps-vision-autonomous-driving/>

-<https://spectrum.ieee.org/tesla-places-big-bet-vision-only-self-driving>

-<https://www.thinkautonomous.ai/blog/?p=deep-learning-in-self-driving-cars>

-<https://startupitalia.eu/87565-20210412-dubai-i-robotaxi-di-cruise-sono-pronti-a-partire>

-<https://www.leaseplan.com/it-it/news-auto/futuro-della-mobilita/adas-cosa-sono-come-funzionano/>

http://www.fondazioneacaracciolo.aci.it/fileadmin/immagini/studi_ricerca/Il_ruolo_degli_ADAS.pdf

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R2144&from=IT>