



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

Dipartimento di Informatica

Corso di Laurea Triennale in Informatica

TESI DI LAUREA

L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE A SUPPORTO DELLO SVILUPPO DELLE AUTO A GUIDA AUTONOMA

RELATORE

Prof. Fabio Palomba

Università degli Studi di Salerno

CANDIDATO

Luigi Emanuele Sica

Matricola: 0512109540

Anno Accademico 2021-2022

La vita può essere capita solo all'indietro, ma va vissuta in avanti.

(Søren Kierkegaard)

Sommario

I progressi delle tecnologie adottate nel mercato delle auto a guida autonoma, stanno spingendo il settore a produrre veicoli sempre più performanti e tali da richiedere un repentino adeguamento, all'occorrenza, della regolamentazione in materia, nei vari paesi. Di fatti il mercato delle auto a guida autonoma è negli ultimi anni in continua crescita. Nell'ambito del presente lavoro viene introdotto il mondo delle auto a guida autonoma: cosa si intende per esse, i vari livelli di automazione in base ai sistemi di ausilio alla guida a bordo, le tecnologie oggi presenti nei veicoli in commercio (come cruise control adattivo, mantenimento di corsia, cambiamento di corsia automatico ecc...) e gli algoritmi di intelligenza artificiale che consentono di raggiungere i vari gradi di automazione, in base ad architetture di calcolo basate sulle reti neurali. In particolare, saranno dettagliate alcune tecniche principali di intelligenza artificiale, per permettere a un veicolo di percepire l'ambiente circostante (reti neurali convoluzionali) e reagire con una specifica modalità di guida (correzione della direzione, della velocità, ecc.). In un futuro oramai prossimo, in cui l'auto a guida autonoma potrebbe sostituire le autovetture tradizionali a guida umana, si pongono problemi di natura diversa da quella tecnologica e informatica, e vale a dire problemi di natura etica, sul corretto comportamento che deve tenere il veicolo in caso di pericolo, di natura governativa, sulla regolamentazione di tali veicoli, di cyber security, per la protezione di attacchi informatici che potrebbero compromettere i comportamenti prestabiliti dei veicoli a guida autonoma, e, infine, di accettazione psicologica, con particolare riferimento alla fiducia che un utente ha nei confronti di un veicolo che non può gestire e a cui affida la propria vita.

Indice	ii
Elenco delle figure	iv
1 Introduzione	1
1.1 Motivazioni e Obiettivi	1
1.2 Struttura Tesi	2
2 Stato dell'arte	3
2.1 Concetto di auto a guida autonoma	3
2.2 Classificazione in livelli dei veicoli	4
2.3 Sistemi di assistenza alla guida presenti ad oggi nei veicoli a guida autonoma	7
2.3.1 Monitoraggio dell'angolo cieco	7
2.3.2 Avviso deviazione di corsia	8
2.3.3 Cruise control, Adaptive cruise control e mantenimento di corsia: prime automazioni di livello 1	8
2.3.4 Mantenimento di corsia (Lane keeping assist)	11
2.3.5 Riconoscimento automatico dei segnali stradali	12
2.3.6 Sistema di Autosterzata	14
2.4 Architetture informatiche alla base dei sistemi delle auto a guida autonoma	14
2.4.1 Cosa sapere	16
2.4.2 Reti neurali artificiali	16

2.4.3	Tipi di apprendimento usati per addestrare una rete neurale in un veicolo	17
3	Metodologie	18
3.1	Tecniche di intelligenza artificiale applicate al self driving car	18
3.1.1	Rete neurale convoluzionale	19
3.1.2	Struttura delle reti neurali convoluzionarie	19
3.1.3	Come funziona il livello convoluzionale	20
3.1.4	Come funziona il Livello di pooling	21
3.1.5	Appiattimento (Flattening)	23
3.1.6	Rete neurale completamente connessa	23
3.2	Rilevamento degli oggetti Region-based CNN	25
3.2.1	R-CNN (Region Based Convolutional Neural Networks)	25
3.2.2	R-CNN veloce (Region Based Convolutional Neural Networks fast)	26
3.2.3	R-CNN più veloce (Region Based Convolutional Neural Networks faster)	27
3.2.4	Region Proposal Network (RPN)	27
3.3	Unità Centrale	29
3.4	Statistiche dei veicoli a guida autonoma e sviluppo dell'intelligenza artificiale	29
3.5	Situazioni spiacevoli con algoritmi di intelligenza artificiale	31
3.6	Problemi etici e limitazioni	31
3.7	Problemi di incertezza sotto aspetti etici e morali: dilemma del carrello	33
3.8	Cybersecurity	34
3.9	Futuro	35
4	Conclusioni	37
	Ringraziamenti	42

Elenco delle figure

2.1	SAE livelli auto a guida autonoma	4
2.2	Livelli di Automazione della guida	6
2.3	Blind Spot Assist uscita dal parcheggio	7
2.4	Blind Spot Assist cambio corsia	7
2.5	Funzionamento dell'avviso di deviazione di corsia	8
2.6	Adaptive cruise control	9
2.7	Radar	10
2.8	Radar e telecamera in funzione	10
2.9	Visone a bordo dell'Adaptive cruise	11
2.10	Visione radar	11
2.11	Visuale utente	11
2.12	Telecamera in azione correzione della corsia	12
2.13	Telecamera in azione lettura segnali stradali	13
2.14	Lidar	13
2.15	Ricostruzione ambiente circostante	13
2.16	Visione di possibilità di auto sterzata	14
2.17	Immagine delle componenti di un neurone biologico e artificiale	16
2.18	Esempio architettura rete neurale artificiale	16
3.1	Prima Parte CNN, Feature Learning	19
3.2	Seconda parte CNN, la classificazione	20
3.3	Esempio di applicazione di un filtro	20

3.4	Esempio applicazione filtro bianco e nero.	21
3.5	Applicazione di più filtri su una singola immagine.	21
3.6	Esempio applicazione MaxPooling.	22
3.7	Esempio passaggi di filtraggio e pooling.	22
3.8	Esempio applicazione Average pooling.	22
3.9	Esempio applicazione Average pooling.	22
3.10	Esempio di flttening.	23
3.11	Esempio di tutti i passaggi di una rete neurale convoluzionale.	23
3.12	Utilizzo di una rete neurale convoluzione in ambito del rilevamento dei segnali stradali.	24
3.13	Esempio passaggi RCNN combinata con radar lidar e telecamere	24
3.14	Esempio ricerca selettiva RCNN.	25
3.15	Esempio RCNN completo.	26
3.16	Esempio Di RCNN veloce.	26
3.17	Ancoraggi di RPN.	27
3.18	Esempio di di riquadri di dimensioni fisse creati dagli ancoraggi di RPN. . . .	27
3.19	Esempio RPN	28
3.20	Esempio completo passaggi RCNN-faster.	28
3.21	Interno controller Bosh (DASY).	29
3.22	Previsione dello sviluppo del mercato delle auto a guida autonoma nel prossi- mo futuro.	30
3.23	Esempio di ambiente di simulazione con SVL di LG.	32
3.24	Esempio di situazione spiacevole.	33
3.25	Concept volvo 360c	35

1.1 Motivazioni e Obiettivi

La presente tesi è stata sviluppata per consentire di conoscere lo stato attuale delle tecnologie e degli sviluppi informatici - peraltro in continuo aggiornamento - adottati dalle diverse aziende automobilistiche per l'utilizzo ottimale dell'automazione sulle auto a guida autonoma. Come si avrà modo di vedere, infatti, l'architettura informatica basata sulle reti neurali e l'intelligenza artificiale, grazie all'avvalimento dei più avanzati sensori ottici, radar e laser, sembrano rappresentare oramai il sistema più adeguato allo sviluppo e al progressivo miglioramento prestazionale delle automazioni sui veicoli.

La guida autonoma, infatti, mira a migliorare la qualità della vita, minimizzare l'impatto ambientale, il rischio di incidenti e offrire nel contempo servizi su misura per ciascuno.

Indubbiamente, nelle prime fasi, i veicoli a guida autonoma e veicoli con conducente condivideranno le medesime infrastrutture stradali; solo successivamente si potrà assistere a un processo graduale di adattamento umano alle nuove abitudini di trasporto, che saranno comunque soggette a specifica regolamentazione e adeguamento della norma vigente nei vari paesi. Come ogni innovazione, anche l'automazione della guida pone sui piatti della bilancia due contrappesi che occorre approfondire: i benefici e le criticità.

Un sondaggio effettuato dall'American Automobile Association, la più importante federazione automobilistica nordamericana, mostra che il 71 per cento degli intervistati nutre diffidenza nell'affidare la propria vita a bordo di un'auto a guida autonoma, con pieno potere

decisionale sulla condotta di guida e con autonoma capacità di scelta della decisione più etica da adottare in caso di incidente inevitabile. Le nuove frontiere dell'informatica hanno, pertanto, il compito di agevolare e accelerare il superamento di detta diffidenza, per altro ingiustificata, se paragonata ad analoghe situazioni in cui si affida la propria vita ad un conducente terzo, di cui non si conosce pienamente la capacità di guida e l'etica comportamentale in caso di incidente inevitabile.

Infatti, è stato stimato che il 94 per cento degli incidenti gravi sono dovuti a errori umani o a scelte sbagliate, come distrazione e guida in stato di ebbrezza. Le auto a guida autonoma potrebbero essere in grado di rimuovere la totalità di questi incidenti, restando vulnerabili solo a problemi meccanici o attacchi hacker.

L'obiettivo di questo lavoro, pertanto, è quello di consentire di conoscere, a chi volesse approfondire la materia dell'automazione applicata ai veicoli su gomma, quali sono i sistemi usati oggi sia software che hardware, i punti di forza e le potenzialità di questo interessante settore di sviluppo industriale, oggi rallentato da limiti che non sono tecnologici, ma legati a questioni di carattere etico e governativo, che condizioneranno sicuramente il mercato automobilistico del futuro.

1.2 Struttura Tesi

Nei successivi capitoli è descritto innanzitutto lo stato dell'arte attuale dei veicoli a guida autonoma, partendo dalla definizione e la classificazione secondo gli standard internazionali, arrivando poi a presentare i diversi sistemi di ausilio alla guida, le tecnologie oggi adottate, con cenni sull'architettura delle reti neurali, grazie alla quale le prospettive di sviluppo delle auto a guida autonoma appaiono sempre più certe e consolidate.

In un apposito capitolo vengono illustrate le metodologie adottate per consentire ai veicoli di percepire l'ambiente circostante e prendere decisioni ai fini delle scelte migliori di guida. Verranno a tal proposito discussi anche i problemi di natura etica e morale, che impediscono oggi l'attecchimento di tale tecnologia nel mercato e nei sistemi giuridici nazionali.

Nell'ultimo capitolo vengono delineate alcune conclusioni ritenute interessanti ai fini delle prospettive future immediate e remote dei veicoli a guida autonoma, con l'illustrazione di alcuni scenari plausibili di sviluppo di questa tecnologia, che inevitabilmente condizionerà le abitudini dell'umanità nel trasporto su gomma e, probabilmente, nel trasporto in generale.

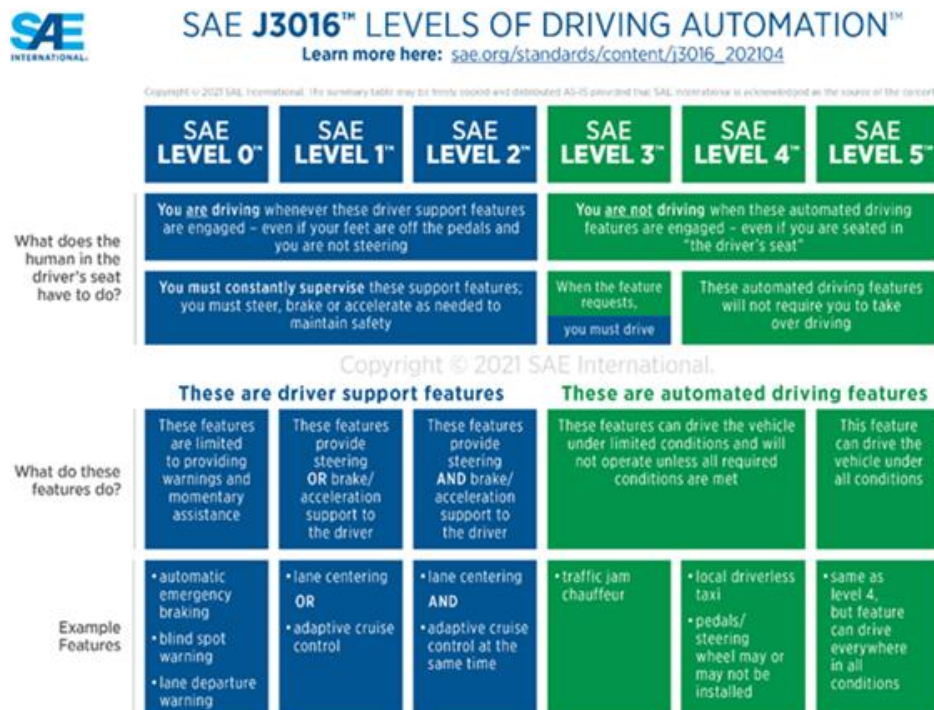
2.1 Concetto di auto a guida autonoma

Il concetto di auto a guida autonoma è di recente formulazione e sviluppo e sicuramente ci accompagnerà nel futuro con enormi positive ripercussioni sulla sicurezza e il comfort degli spostamenti di autovetture su gomma.

La definizione di “auto a guida autonoma” dell’UE è quella di un “veicolo autonomo che utilizza le tecnologie digitali per assistere il guidatore in modo che tutte, o parte, delle funzioni di guida possano essere trasferite a un sistema computerizzato” [1].

Per poter raggiungere un determinato livello di autonomia, l’auto deve essere in grado di apprendere modalità di guida, le destinazioni da raggiungere e deve al contempo poter percepire l’ambiente che la circonda ed elaborare le informazioni raccolte, per prendere decisioni finalizzate al raggiungimento della destinazione nelle modalità richieste (velocità di crociera, comfort di viaggio, intensità delle accelerazioni e decelerazioni, ecc.).

Le auto a guida autonoma sono classificate in base al grado di autonomia che le caratterizza. La SAE international (Society of Automotive Engineering), ente di normazione nel campo dell’industria aerospaziale, automobilistica e veicolistica, espone una classificazione dei sistemi di aiuto alla guida per le automobili, riportata in Figura 2.1, con livelli crescenti di capacità autonoma di guida variabili da zero fino a cinque, in cui l’ultimo livello è riferito all’autovettura in grado di muoversi su strada in assenza di guidatore [2].

Figura 2.1: SAE livelli auto a guida autonoma ¹

2.2 Classificazione in livelli dei veicoli

Di seguito sono riportati i livelli di automazione dei veicoli stradali così come sono stati classificati dalla SAE international.

Livello 0: Nessuna automazione di guida, i veicoli sono controllati manualmente, bisogna supervisionare costantemente l'ambiente circostante, sebbene possano esserci sistemi in atto per aiutare il conducente, come la frenata automatica di emergenza, la frenata, gli avvisi di angoli ciechi e l'avviso di deviazione di corsia, che sono mere funzioni di ausilio alla guida, che l'autovettura espleta tramite l'emissione di segnali acustici al conducente.

Livello 1: Il veicolo è dotato di un unico sistema d'assistenza alla guida fornendo sterzata, supporto alla frenata e accelerazione. Rientrano in questa categoria sistemi come il mantenimento della corsia (lane keep assist) che permette un movimento automatico dello sterzo muovendolo in modo da far rientrare l'auto nella corsia, i controlli adattivi della velocità (adaptive cruise control) grazie ai quali il veicolo può essere tenuto a distanza di sicurezza dall'autovettura che lo precede, frenando e accelerando autonomamente a seconda delle

¹<https://www.sae.org/blog/sae-j3016-update>

necessità, per consentire il mantenimento della velocità desiderata, ovvero l'adattamento della velocità a quella del veicolo che precede, nel caso sia inferiore a quella desiderata dal conducente del veicolo automatizzato. Anche se il veicolo è supportato da queste funzioni, il conducente deve comunque costantemente vigilare nella guida, dovendo intervenire nella sterzata e, volendo, nella frenata o nell'accelerazione.

Livello 2: Il veicolo include sistemi avanzati di assistenza alla guida o ADAS (Advanced Driver Assistance Systems), e può controllare la sterzata, l'accelerazione e la decelerazione, offrendo sistemi di mantenimento di corsia e controlli adattivi della velocità (Adaptive cruise control) in simultanea. Anche in questo caso è necessario che il conducente sia attento alla guida e visioni costantemente i servizi di automazione subentrando nel controllo del veicolo in qualsiasi momento. Il conducente, quindi, rimane responsabile della guida.

Livello 3: Automazione di guida condizionale, che permette ai veicoli di rilevare l'ambiente per prendere decisioni; l'auto è in grado di guidare da sola, ma in condizioni limitate, sempre con il guidatore al posto di guida, perché non sarebbe in grado di percorrere autonomamente un percorso completo. Un sistema utilizzato è il "traffic jam chauffeur", con cui il veicolo riconosce i confini della strada grazie a uno spartitraffico fisico che delimita la carreggiata; fino a 60km/h il veicolo può prendere decisioni di guida sul mantenimento di corsia e sul mantenimento della distanza di sicurezza, ma, a differenza dal livello 2, il conducente può completamente disinteressarsi alla guida. In assenza di spartitraffico fisico o superando la velocità di 60 km/h, l'auto non è più responsabile, ma la responsabilità ripassa al conducente, anche se l'auto mantiene gli adas attivi (cruise control e mantenimento di corsia).

Livello 4: Alta automazione di guida, in cui la guida è autonoma al cento per cento. È il livello a cui appartengono quei veicoli che non prevedono il conducente, come il "local driverless taxi" (taxi a guida autonoma o taxi senza conducente) e veicoli in cui pedali e volante potrebbero anche non essere installati. Queste auto non inducono all'interazione umana nella maggior parte delle circostanze. L'interazione resta limitata nel caso in cui determinate condizioni di sicurezza non siano soddisfatte, così che l'essere umano ha ancora la possibilità di eseguire manualmente la guida.

Livello 5: Automazione di guida completa come nel livello 4 garantita in ogni occasione

meteorologica: con neve, vento, pioggia. Ancora in corso di sperimentazione.

In Figura 2.2 sono sintetizzati la progressione degli automatismi principali, a seconda dei livelli di automazione, e il grado di partecipazione attiva alla guida del conducente richiesto per ogni livello.



Figura 2.2: Livelli di Automazione della guida previsti dall'Unione Europea ²

Un'auto a guida autonoma, quindi, per arrivare ai massimi livelli deve poter percepire l'ambiente circostante e trarne delle decisioni in base alle varie esigenze che si presentano. Per far sì che questo si concretizzi abbiamo bisogno di strumenti tecnologici sia hardware che software, capaci di collaborare tra di loro per portare a termine una determinata azione, tenendo conto che lo scopo fondamentale della guida autonoma è quello di aumentare la sicurezza e il comfort di trasporto, per cui diventa di fondamentale importanza non sbagliare.

²<https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/economy/20190110ST023102/auto-a-guida-autonoma-in-ue-dalla-fantascienza-alla-realta>

2.3 Sistemi di assistenza alla guida presenti ad oggi nei veicoli a guida autonoma

Nel seguito viene mostrata una panoramica delle tecnologie attualmente utilizzate sulle auto presenti in commercio. Per alcune di queste, specifici approfondimenti verranno trattati nel capitolo 3.

2.3.1 Monitoraggio dell'angolo cieco

Nel paragrafo precedente si è detto che nel livello 0 è assente qualsiasi automazione. In questo caso il veicolo può essere dotato solo di sistemi di ausilio alla guida del conducente, come il monitoraggio dell'angolo cieco (Blind Spot Assist), fornendo supporto al conducente in aree non coperte dalla visione degli specchietti laterali dell'autovettura, supportando il guidatore nel momento in cui sopraggiungono veicoli, ciclisti e pedoni che entrano nel raggio d'azione dell'auto in aree poco o per niente visibili al guidatore stesso, come esemplificato in Figura 2.3, oppure in caso di cambi di corsia, avvisando se c'è un potenziale pericolo, come illustrato in Figura 2.4 [3].



Figura 2.3: Blind Spot Assist uscita dal parcheggio. ³

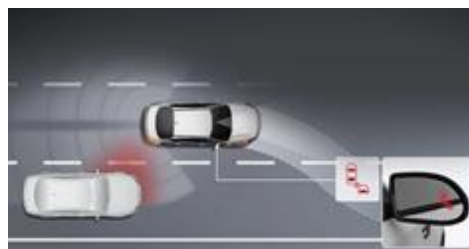


Figura 2.4: Blind Spot Assist cambio di corsia. ⁴

³<https://www.adasmobile.it/post/blind-spot-detection>

⁴<https://www.motorionline.com/volkswagen-grazie-al-rear-traffic-alert-con-blind-spot-monitoring>

Questa tecnologia fa uso di telecamere, sensori e radar a ultrasuoni posizionati in campi di azione dove il conducente potrebbe non avere una visione completa, avvisandolo con segnali acustici, vibrazioni al volante o avvisi visivi sullo specchietto nel momento in cui viene rilevato un potenziale pericolo all'interno di un raggio d'azione. Questi sistemi non sono considerati autonomi, perché hanno il solo scopo di avvisare senza effettuare nessuna azione. Per questo sono collocati al livello 0 che sta ad indicare zero automazione [4].

2.3.2 Avviso deviazione di corsia

Altro ausilio alla guida è l'avviso di deviazione dalla corsia (Lane departure warning), anche esso sistema senza automazione, che ha il solo scopo di avvisare il conducente quando il veicolo inizia a uscire dalla propria corsia senza attivazione di indicatori di direzione. Tale sistema si basa sull'utilizzo di una telecamera di solito montata sul parabrezza [5](per una migliore visione), che permette di rilevare le linee di demarcazione della corsia definite davanti al veicolo e, nel momento in cui viene rilevata una fuoriuscita dalla corsia, si viene avvisati con dei segnali acustici o visivi. In Figura 2.5 è esposto graficamente il funzionamento [6].

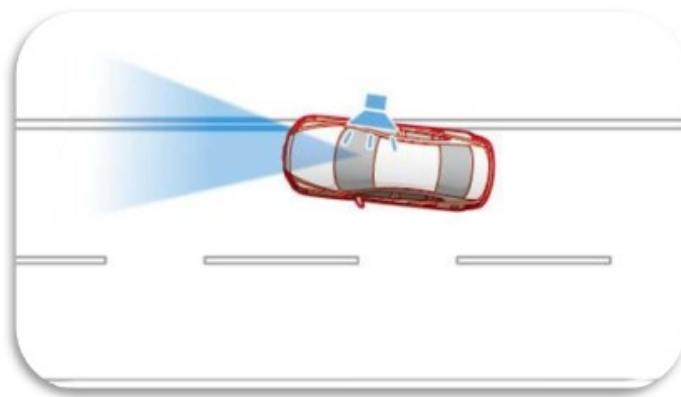


Figura 2.5: Funzionamento dell'avviso di deviazione di corsia. ⁵

2.3.3 Cruise control, Adaptive cruise control e mantenimento di corsia: prime automazioni di livello 1

I due sistemi appena descritti segnalano i pericoli, ma non effettuano nessuna azione correttiva alla guida [3]. Anche la frenata di emergenza è considerata non autonoma, perché la frenata è dovuta al rilevamento di un ostacolo e, una volta rilevato, viene azionata senza

⁵<https://it.motor1.com/news/449904/lane-assist-come-funziona-quando-non-aiuta>

elaborare informazioni.

Cruise control, dispositivo elettronico che consente di fissare una velocità di crociera e di mantenerla senza l'utilizzo del pedale dell'acceleratore da parte del conducente, rappresenta anche esso un sistema di assistenza alla guida, ma non un sistema di automazione. Funzione attivabile e impostabile con tasti all'interno dell'abitacolo, e per disattivarla è sufficiente premere un pulsante apposito oppure toccare il pedale del freno. Il funzionamento è definito agendo su un organo fondamentale del motore che prende il nome di valvola a farfalla, che tramite i segnali della centralina ha il compito di regolare la quantità di aria che può entrare nelle camere di combustione [7].

Il cruise control funziona quindi meccanicamente, gettando le basi per il cruise control adattivo, che invece aggiunge automazione, osserviamo in Figura 2.6 [8].



Figura 2.6: Funzione Cruise control, Adaptive cruise control.⁶

L'Adaptive cruise control, infatti, consente, come il cruise control "normale", di mantenere la velocità desiderata; tuttavia, garantisce il mantenimento della distanza di sicurezza impostata rispetto al veicolo che precede nella stessa corsia di marcia, come esposto in Figura 2.6 [9]. In questo modo, se il veicolo davanti viaggia ad una velocità inferiore, l'auto rallenta automaticamente in modo da mantenere la distanza di sicurezza, mentre la velocità dell'auto viene aumentata automaticamente nel momento in cui il veicolo che precede aumenta la velocità, oppure viene cambiata la corsia o la direzione di marcia. Il sistema, per definire la distanza di sicurezza, fa uso di telecamera e un radar (Radio Detection And Ranging) frontale che viene usato anche per la frenata di emergenza. Di solito i radar sono posizionati nella parte inferiore dei veicoli, oppure vengono nascosti dietro i loghi frontali delle autovetture, guardare figura 2.7 [10].

⁶<https://www.automobilismo.it/hyundai-il-cruise-control-adattivo-che-impara-dal-nostro-st>



Figura 2.7: Radar presente dietro il logo Volkswagen.⁷

Il compito del radar è quello di analizzare l'ambiente frontale per rilevare ostacoli lungo la strada, come possiamo osservare dalla Figura 2.8 e 2.10. I radar sfruttando l'effetto Doppler che permette di calcolare la velocità e la distanza della vettura che precede il veicolo. Emettendo onde radio a modulazione di frequenza, nel momento in cui queste urtano un oggetto e vengono riflesse verso il radar, in base alla frequenza delle onde riflesse verso il radar, il sistema è in grado non solo di conoscere la distanza, ma anche di capire, ad esempio, se l'auto davanti a noi si sta allontanando (l'intervallo tra due onde si allunga) o se sta rallentando e quindi si sta avvicinando (l'intervallo tra due onde si accorcia) guardare Figura 2.9. Il radar funziona bene anche in condizioni meteorologiche difficili, quali pioggia e nebbia [11].



Figura 2.8: Radar e telecamera in funzione.⁸

⁷<https://www.partsweb.it/radar-auto-e-lidar-come-funziona-la-tecnologia-dietro-la-guida-a>

⁸<https://www.newsauto.it/notizie/sistemi-ad-as-peugeot-quali-sono-come-funzionano-2020-2768>

⁹<https://smartrider.ch/it/attualita/peugeot-3008-il-tempomat-adattivo>

¹⁰<https://www.sicurauto.it/news/radar-telecamere-e-gps-come-funziona-la-guida-autonoma>



Figura 2.9: Visone a bordo dell'Adaptive cruise.⁹



Figura 2.10: Visione del radar per identificare ostacoli.¹⁰

2.3.4 Mantenimento di corsia (Lane keeping assist)

Il Mantenimento di corsia (Lane keeping assist) è un'automazione che utilizza la logica del lane departure warning, visto in precedenza, con la differenza che quando il veicolo sta uscendo dalle strisce della corsia senza l'inserimento dell'indicatore di direzione, non solo avvisa il conducente con un messaggio e segnale acustico come si vede in Figura 2.11 ma interviene autonomamente correggendo la traiettoria e muovendo il volante in modo che il veicolo si ripositioni al centro della corsia. Questo sistema necessita di una buona visibilità della segnaletica orizzontale di demarcazione delle corsie.



Figura 2.11: Visuale utente quando esce dalla corsia.¹¹

¹¹<https://www.peugeotvietnam.vn/vi/san-pham/chon-san-pham/all-new-peugeot-3008-suv/an-toan.html>

Il funzionamento del Lane keeping assist è assicurato da una fotocamera frontale, in genere montata sul parabrezza, come presente in Figura 2.12, capace di leggere le linee di demarcazione della corsia tramite tecniche di intelligenza artificiale, accertarsi che il veicolo stia uscendo fuori dalle strisce in modo da attivare i segnali di allerta e correggere la traiettoria [12]. Per motivi di sicurezza il sistema si attiva (nel caso in cui si decida di attivarlo) in genere sopra i 65 km/h. Ad esempio, in città, dove il limite di velocità consentito è al massimo di 50 km/h, il sistema è quiescente per consentire di effettuare manovre improvvise dovute a pedoni, autovetture e imprevisti di vario genere [13].

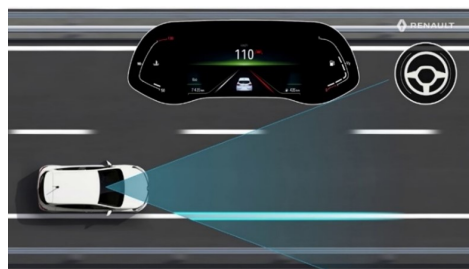


Figura 2.12: Telecamera in azione correzione della corsia. ¹²

2.3.5 Riconoscimento automatico dei segnali stradali

Il riconoscimento automatico dei segnali stradali (TDS Traffic Sign Detection) avviene attraverso l'uso della telecamera frontale posta nel parabrezza (non solo), ha la stessa logica di quella usata per leggere le strisce per il mantenimento di corsia. Il sistema riesce a individuare e riconoscere anche i segnali stradali sempre tramite reti neurali, che una volta letti vengono riportati sul display del cruscotto del veicolo, in modo da informare costantemente il guidatore evitando che segnali possano sfuggire alla vista del conducente, cosa che può facilmente accadere con la frequente presenza dei cartelli stradali, come in figura 2.13. Questo sistema può essere anche combinato al cruise control adattivo in modo che adatti l'accelerazione e la decelerazione in base ai segnali stradali riconosciuti [14].

¹²<https://ch.e-guide.renault.com/ita/Clio-5/RICONOSCIMENTO-DEI-SEGNALI-STRADALI>



Figura 2.13: Telecamera in azione lettura segnali stradali.¹³

Oltre alle tecnologie radar, le autovetture possono essere dotate di tecnologia lidar (Light Detection And Ranging), guarda Figura 2.14, che, trasmettendo un fascio di luce laser e registrando il segnale di ritorno, è in grado di elaborare un modello tridimensionale ad alta risoluzione dell'ambiente circostante, guarda Figura 2.15. Di base la tecnologia del lidar è simile a quella del radar, si basa sul principio dell'eco, con la differenza che al posto delle onde radio, vengono utilizzati "segnali" elettromagnetici pulsati elettro violetti [15].



Figura 2.14: Lidar.¹⁴



Figura 2.15: Ricostruzione ambiente circostante.¹⁵

¹³<https://ch.e-guide.renault.com/ita/Clio-5/RICONOSCIMENTO-DEI-SEGNALI-STRADALI>

¹⁴<https://www.studiarapido.it/il-sensore-lidar-il-laser-che-permette-ai-robot-di-vedere>

¹⁵<https://www.autotoday.it/notizie/tecnologie/lidar-come-funzionano-gli-occhi-elettronici-p>

2.3.6 Sistema di Autosterzata

Il Sistema di Autosterzata è una innovazione del Cruise Control adattativo. Il Sistema di Autosterzata consente di utilizzare gli indicatori di direzione per spostare il veicolo sulla corsia indicata dalla freccia, a patto che i sensori rilevino una zona di sicurezza attorno alla vettura, libera da ostacoli o altri veicoli, come visibile in figura 2.16. A controllare il tutto ci sono: il radar a lungo raggio, una telecamera, oltre a sensori radar che tengono costantemente monitorato il fianco e il posteriore della vettura. La sterzata automatica viene interrotta se è rilevato un ostacolo, se le linee di corsia non sono visibili o se il guidatore sterza in senso opposto [16].

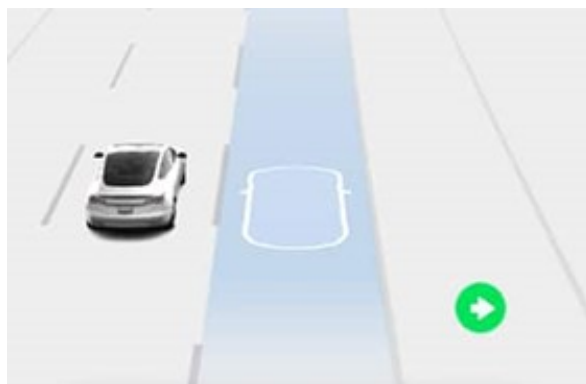


Figura 2.16: Visione di possibilità di auto sterzata.¹⁶

2.4 Architetture informatiche alla base dei sistemi delle auto a guida autonoma

Per elaborare le informazioni che permettono al veicolo di effettuare autonomamente azioni, si fa uso dell'intelligenza artificiale e più precisamente di un'architettura informatica basata sui neuroni artificiali. Questi sistemi sono già oggi utilizzati su diversi veicoli commercializzati. Un veicolo dotato sia di adaptive cruise control che di mantenimento di corsia può garantire già un buon livello di autonomia (livello 2 se combinati), gestendo le situazioni basandosi sull'utilizzo di sensori come il radar e le telecamere per rilevare le diverse circostanze al contorno e comunicarle alla centralina che tramite l'intelligenza artificiale, stabilisce le azioni da svolgere.

¹⁶https://www.tesla.com/ownersmanual/modely/it_us/GUID-0535381F-643F-4C60-85AB-1783E723B9B6
html

Un veicolo, per arrivare ad avere una vera e propria guida autonoma (livelli 3,4,5), deve essere capace di percepire l'ambiente circostante in modo da poter riconoscere le corsie di strada, veicoli, pedoni e tutti gli elementi che possono comparire durante la guida, elaborare tali informazioni e prendere decisioni in maniera autonoma, sostituendosi alla volontà umana. Proprio per consentire ai veicoli di elaborare informazioni come l'essere umano, il sistema tecnologico dell'autovettura è basato sui neuroni artificiali, mediante l'utilizzo del deep learning (apprendimento profondo) sottoinsieme dell'apprendimento automatico (machine learning), entrambe sottocategorie dell'intelligenza artificiale, che ormai vediamo sempre più presenti nel mondo che ci circonda.

Il sistema delle autovetture che puntano alla guida autonoma si basa sull'apprendimento profondo (deep learning), che permette al veicolo di poter effettuare tutte le attività descritte in precedenza e anche attività che porteranno i veicoli ad essere completamente autonomi. Il deep Learning, la cui traduzione letterale significa apprendimento profondo, indica la branca dell'intelligenza artificiale che fa riferimento agli algoritmi che si ispirano alle strutture e alle funzioni che caratterizzano il cervello umano e che prendono il nome di reti neurali artificiali [17].

Il termine rete neurale artificiale è usato per riferirsi a un modello matematico con programma reale, con lo scopo di imitare le caratteristiche computazionali che si trovano nelle reti neurali del cervello umano, andando ad imitare il modo in cui i neuroni biologici si trasmettono i segnali. Sebbene i neuroni biologici siano cellule estremamente complicate, la loro natura computazionale essenziale può essere vista in termini di input e output. Il neurone riceve informazioni in input/entrata dai suoi dendriti, i vari input vengono combinati ed elaborati dal corpo cellulare che produce un segnale che viene propagato attraverso l'assone, diventando un output destinato ad altri neuroni. I collegamenti tra i vari neuroni costituiscono una rete, chiamata appunto rete neurale. Una rete neurale artificiale si basa proprio sui concetti appena descritti, come mostra la figura 2.17 [18].

¹⁷<https://www.isc.cnr.it/public-outreach/divulgazione/neuroscienze/>

<https://www.isc.cnr.it/public-outreach/divulgazione/neuroscienze/>

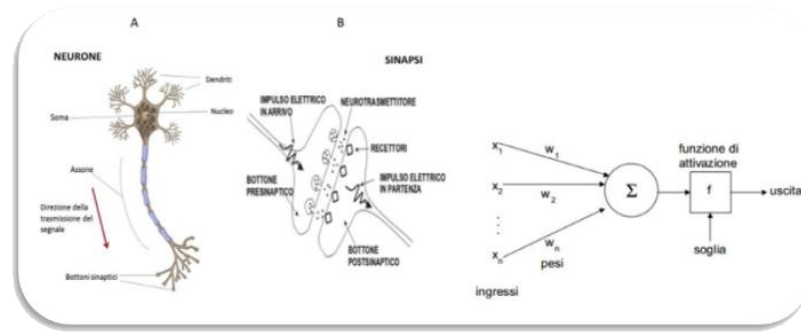


Figura 2.17: Immagine delle componenti di un neurone biologico e artificiale. ¹⁷

2.4.1 Cosa sapere

Il deep learning delle reti neurali artificiali si basa su due stadi di funzionamento. Il primo è di addestramento e il secondo è di inferenza. Di fatti le reti neurali artificiali, per formulare un risultato esatto, devono essere addestrate e attraversare un processo di test per stabilire l'accuratezza (regola della catena).

Successivamente nel momento in cui le viene presentata un nuovo set di informazioni, la rete neurale, già addestrata, fornirà un'inferenza (cioè una risposta) come "Grado X di confidenza" (precisione) [19].

2.4.2 Reti neurali artificiali

Le Reti neurali artificiali (ANN) sono organizzate in più livelli (layer) di nodi (neuroni) collegati tra di loro attraverso un peso associato. Un primo livello è quello di input, dove i nodi (neuroni) ricevono i dati da elaborare. Seguono uno o più livelli nascosti (hidden layer) funzionali all'elaborazione dei dati e infine un livello di output, che riceve le informazioni elaborate per restituire il risultato finale, come mostra la Figura 2.18 [20].

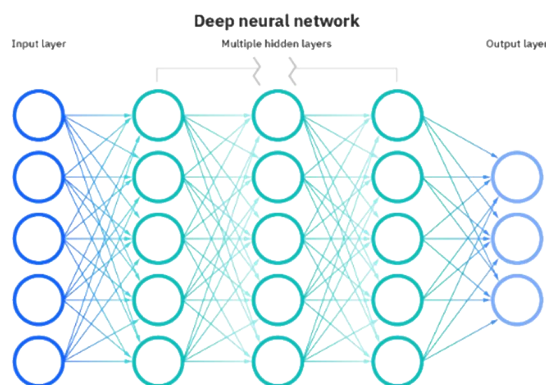


Figura 2.18: Esempio architettura rete neurale artificiale. ¹⁸

2.4.3 Tipi di apprendimento usati per addestrare una rete neurale in un veicolo

Quando viene creata una rete neurale artificiale, all'inizio non possiede alcuna forma di conoscenza sui pesi da associare a ogni connessione. L'addestramento di una rete neurale ha proprio lo scopo di consentire il raggiungimento della configurazione migliore dei pesi, che massimizzi l'accuratezza del modello e quindi del risultato in output (Back propagation), perchè è di fondamentale importanza non sbagliare tipi di approcci. Sono utilizzati differenti tipi di addestramento di una rete neurale, che di seguito vengono descritti:

-Apprendimento supervisionato: La rete neurale artificiale viene costruita partendo da dati di addestramento etichettati ovvero si indica preventivamente il risultato corretto, con i quali si cerca di trovare successivamente una risposta accurata su dati futuri non disponibili. Con questa metodologia di apprendimento i pesi della rete neurale artificiale vengono addestrati sulla base dell'errore commesso nel predire il risultato rispetto al risultato reale che ci si aspetta [21].

-Apprendimento non supervisionato: La rete neurale artificiale viene costruita usando dati di addestramento senza etichetta. Per trovare una risposta accurata, in questo caso la rete neurale ha il compito di scoprire da sola la correlazione tra i dati, quindi di andare a classificare i dati sulla base di caratteristiche comuni.

-Apprendimento semi-supervisionato: La rete neurale artificiale viene costruita facendo un mix tra apprendimento supervisionato e apprendimento non supervisionato, adottando sia dati di addestramento etichettati che set di dati di addestramento non etichettati.

-Apprendimento con rinforzo: La rete neurale artificiale è un vero e proprio sistema agente, che inizialmente non conosce nulla e attraverso le interazioni con l'ambiente migliora le proprie prestazioni. Per far sì che ciò accada, l'addestramento si avvale di rinforzi (o feedback) che sono positivi e con un peso maggiore, via via che la risposta si avvicina a quella corretta, oppure negativi, quando la risposta è errata. In questo modo la rete neurale artificiale in futuro tenderà a replicare gli output con peso maggiore, in modo da migliorare le proprie prestazioni [22].

¹⁸<https://www.ibm.com/it-it/cloud/learn/neural-networks>

In questo capitolo ci focalizziamo sulle tecniche di intelligenza artificiale, limiti, sfide e problemi che si nascondono dietro i sistemi di assistenza alla guida visti in precedenza, andando a capire i passaggi e i meccanismi che accompagnano le decisioni da intraprendere da parte di vetture a guida autonoma.

3.1 Tecniche di intelligenza artificiale applicate al self driving car

Gli ambiti su cui le reti neurali possono essere utilizzate si stanno sempre più espandendo. Il settore più in crescita è quello automobilistico. In questo ambito le reti neurali sono utilizzate per far prendere al veicolo decisioni in maniera autonoma sulla base della rilevazione dei parametri circostanti al veicolo.

L'uso dei sistemi di reti neurali a bordo di un veicolo a guida autonoma consente il ricalcolo continuo dello stesso processo, come normalmente avviene nella mente umana, a livello inconscio, per moltissime volte al secondo. Inoltre, la rete neurale confronta i risultati calcolati con i nuovi input che arrivano dai vari sensori per verificare se il risultato atteso è quello realmente percepito. Il funzionamento è quindi una combinazione di sensori, telecamere, radar e intelligenza artificiale (AI) per monitorare le condizioni della strada, spostarsi tra diverse destinazioni senza necessità di un intervento umano, su strade che non siano state precedentemente adattate.

Per tale scopo, le reti neurali che consentono di riconoscere oggetti che circondano il veicolo (segnali, auto, battistrada, persone e animali) appartengono a una specifica casistica nota con il nome di reti neurali convoluzionali (CNN o ConvNet dall'inglese convolutional neural network).

3.1.1 Rete neurale convoluzionale

Una rete neurale convoluzionale è costituita da un blocco di input, uno o più blocchi nascosti (hidden layer) e un blocco di output che effettua la classificazione vera e propria. La differenza rispetto alle classiche reti neurali è rappresentata dalla presenza dei livelli di convoluzione.

Questi livelli convoluzionali riguardano le immagini acquisite con la telecamera, i livelli di convoluzione consentono di svolgere un lavoro con l'obiettivo di estrarre (attraverso l'uso di filtri) caratteristiche (features) delle immagini delle quale si vuole analizzare il contenuto [23].

3.1.2 Struttura delle reti neurali convoluzionarie

Le reti neurali convoluzionali (CNN o Convolutional Neural Network) possono essere distinte in due parti fondamentali.

La prima, definita di Feature Learning, che comprende i filtri che, applicati all'immagine in ingresso, consentono di estrarre importanti informazioni (es. sagome, linee, bordi, etc.). comprendendo una ripetizione di fasi di convulsione, pooling e funzioni di attivazioni (es reLU), come mostra la Figura 3.1.

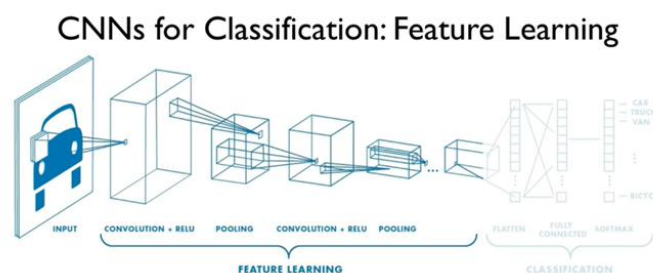


Figura 3.1: Prima Parte CNN, Feature Learning¹

La seconda, definita di Classification, prende l'immagine elaborata, ridotta e convertita in un vettore e ne calcola la classe di appartenenza attraverso una rete neurale completamente

¹<https://andreaprovino.it/tensorflow-mnist-tutorial-semplce-tensorflow-cnn>

connessa, in modo analogo a quanto visto in precedenza nella rete neurale del capitolo 2, come si evince dalla foto 3.2 [24].



Figura 3.2: Seconda parte CNN, la classificazione²

3.1.3 Come funziona il livello convoluzionale

Un filtro digitale (una maschera o kernel) è fatto scorrere sulle diverse posizioni dell'immagine in input, come si vede in Figura 3.3. Per ogni posizione viene generato un valore di output, in base al filtro applicato, ottenendo "l'immagine caratterizzata", come in Figura 3.4 e Figura 3.5.[25]

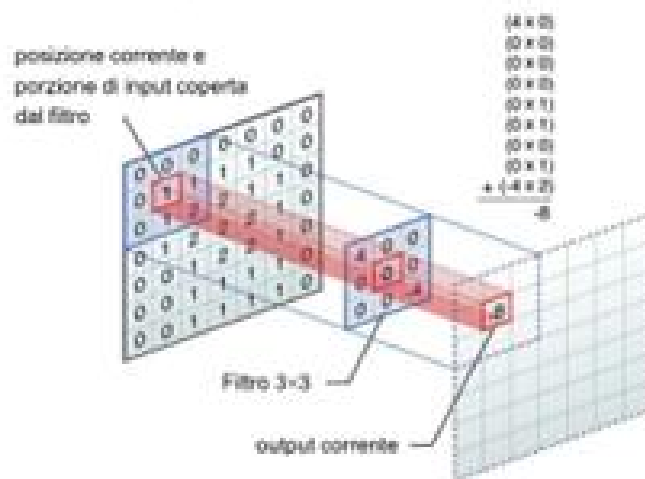


Figura 3.3: Esempio di applicazione di un filtro³

²<https://andreaprovino.it/tensorflow-mnist-tutorial-semplce-tensorflow-cnn/>

³<https://www.domsoria.com/2019/10/come-funziona-una-rete-neurale-cnn-convolutional-neural->

⁴<https://www.domsoria.com/2019/10/come-funziona-una-rete-neurale-cnn-convolutional-neural->

⁵<https://www.youtube.com/watch?v=pj9-rr1wDhM&t=482s>

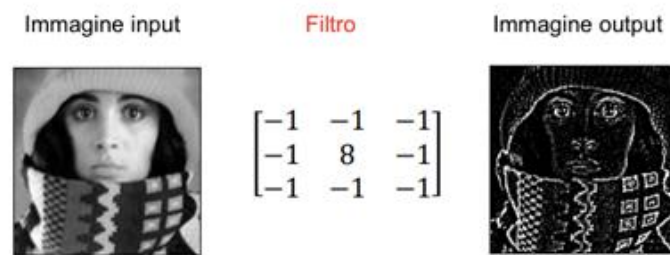


Figura 3.4: Esempio applicazione filtro bianco e nero.⁴

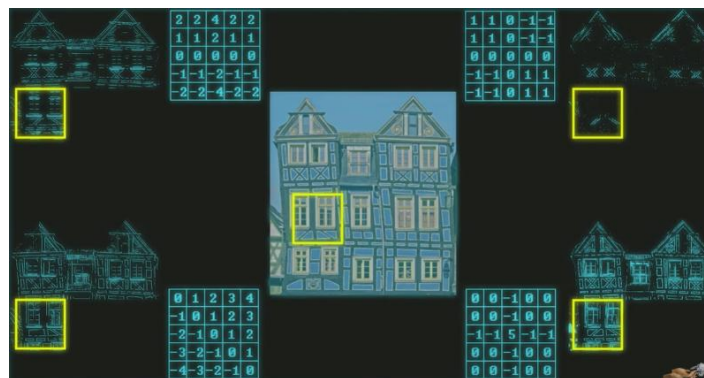


Figura 3.5: Applicazione di più filtri su una singola immagine.⁵

3.1.4 Come funziona il Livello di pooling

Dopo aver effettuato le operazioni dei livelli convoluzionali, si utilizza un layer di pooling, che è una tecnica utilizzata per ridurre la dimensione dell'immagine ottenuta dal precedente strato convoluzionale, riducendo il numero di pixel in uscita per ridurre la varianza e la complessità di calcolo, il che significa che i blocchi a valle avranno bisogno di meno parametri e quantità di calcolo. Un livello di pooling è un nuovo livello aggiunto dopo il livello convoluzionale. I metodi di pooling comunemente usati sono il Max pooling e l'Average pooling [26].

-Max pooling Tale pooling opera utilizzando un filtro di dimensione $n \times n$, che viene fatto scorrere lungo l'immagine data dal livello convoluzionale e per ogni sottoinsieme di pixel, ne verrà estratto solamente il pixel avente valore massimo. In questo caso i pixel di valore più alto sono i più attivati e quindi catturati in questa operazione (Figura 3.6, Figura 3.7).

⁶<https://androidkt.com/explain-pooling-layers-max-pooling-average-pooling-global-average-pooling/>

⁷<https://www.youtube.com/watch?v=pj9-rr1wDhM&t=482s>

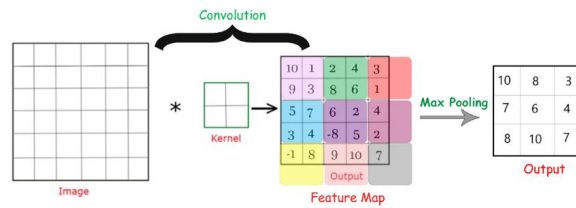


Figura 3.6: Esempio applicazione MaxPooling.⁶

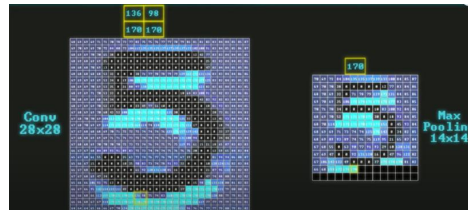


Figura 3.7: Esempio passaggi di filtraggio e pooling.⁷

-Average pooling In questo caso, ogni sottoinsieme di pixel dell'immagine data dal livello convoluzionale, viene assegnata il valore ottenuto facendo la media di tutti i valori presenti all'interno di un sottoinsieme di pixel, come presente in Figura 3.8 e Figura 3.9.

$$\text{Avg} \begin{bmatrix} 3 & 1 & 1 & 3 \\ 2 & 5 & 0 & 2 \\ 1 & 4 & 2 & 1 \\ 4 & 7 & 2 & 4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.75 & 1.5 \\ 4 & 2.25 \end{bmatrix}$$

Figura 3.8: Esempio applicazione Average pooling.⁸

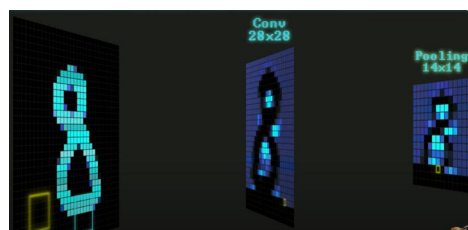


Figura 3.9: Esempio applicazione Average pooling.⁹

⁸<https://medium.com/geekculture/max-pooling-why-use-it-and-its-advantages-5807a0190459>

⁹<https://www.youtube.com/watch?v=pj9-rr1wDhM&t=482s>

3.1.5 Appiattimento (Flattening)

Il processo di flattening consiste nel riordinare la mappa delle caratteristiche, raggruppandole in un'unica colonna (da $n \times n$ a $p \times 1$). Tale processo di riduzione dimensionale consente di utilizzare l'immagine sintetizzata vettorialmente come input di una rete neurale, vedere Figura 3.10.

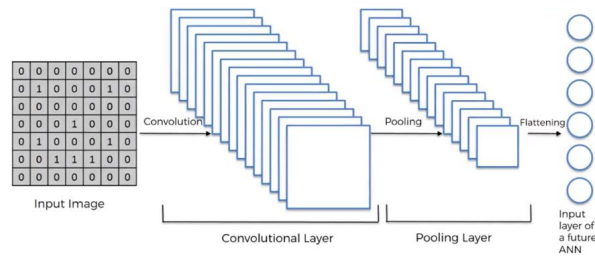


Figura 3.10: Esempio di flattening.¹⁰

3.1.6 Rete neurale completamente connessa

Il vettore sopra descritto può essere utilizzato come input in una rete neurale completamente connessa.

In questo modo le caratteristiche di una immagine sono combinate in più attributi che consentono di prevedere le classi ancora meglio, come possiamo osservare dai passaggi di una CNN in Figura 3.11. [27]

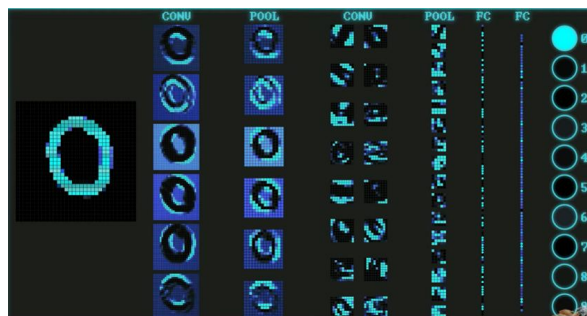


Figura 3.11: Esempio di tutti i passaggi di una rete neurale convoluzionale.¹¹

¹⁰<https://www.andreaperlato.com/aipost/cnn-and-softmax/>

¹¹<https://www.youtube.com/watch?v=pj9-rr1wDhM&t=482s>

In Figura 3.12 possiamo osservare l'esempio di una rete neurale convoluzionale predefinita per il riconoscimento dei segnali stradali, questo sistema può essere utilizzato egualmente per il mantenimento della corsia, quindi poter riconoscere le strisce stradali e intervenire con delle azioni (manovre del volante) nel caso in cui il veicolo sia in procinto di uscire dalla corsia [28].

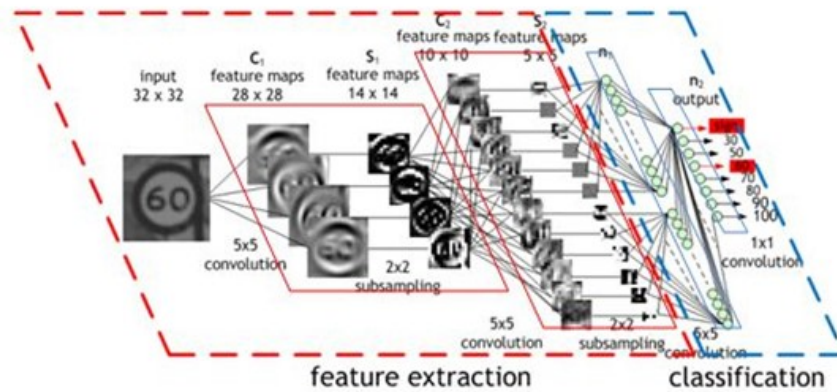


Figura 3.12: Esempio di utilizzo di una rete neurale convoluzione in ambito del rilevamento dei segnali stradali.¹²

Possibile utilizzo anche per la percezione 3D del mondo reale, dato da combinazione di sensori lidar, radar e telecamere che usufruendo delle CNN portano a prestazioni superiori durante la ricostruzione 3D, come si vede in Figura 3.13.

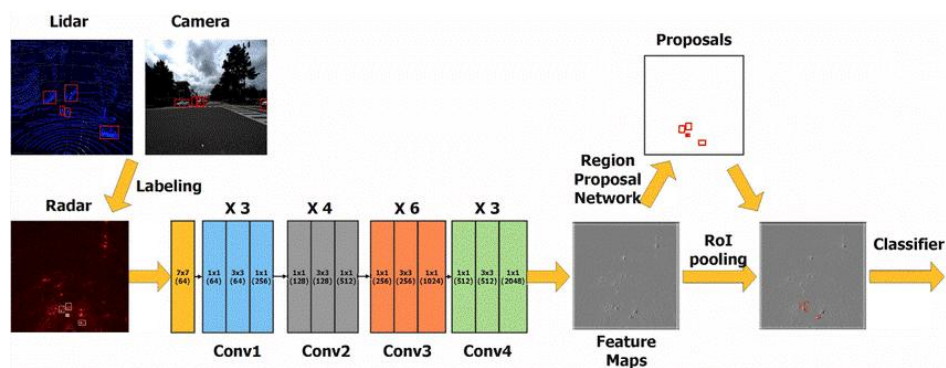


Figura 3.13: Esempio passaggi RCNN combinata con radar lidar e telecamere.¹³

¹²<https://tech.everyeye.it/articoli/speciale-cos-e-convolutional-deep-learning-cosa-serve-3.html>

3.2 Rilevamento degli oggetti Region-based CNN

Quanto illustrato in precedenza descrive la tecnica adottata per la previsione di uno specifico oggetto in una immagine data in input.

In un veicolo a guida autonoma tale tecnica deve essere capace di individuare anche più oggetti all'interno della stessa immagine e elaborarle simultaneamente. Le reti neurali convoluzionali basate sulla regione (RCNN), vengono utilizzate per tale scopo. Il motivo principale per cui la rete convoluzionale standard autonomamente non è sufficiente a consentire il riconoscimento di più oggetti di interesse in una immagine, è dovuto alla lunghezza variabile e non costante dello strato di output, perché il numero di occorrenze degli oggetti di interesse da individuare può variare a seconda dell'immagine di input. [29].

3.2.1 R-CNN (Region Based Convolutional Neural Networks)

L' R-CNN utilizza la ricerca selettiva per andare ad estrarre da un'immagine all'incirca 2000 regioni chiamate regioni proposte (vengono estratte in base all'omogeneità/similarità dei pixel all'interno di una immagine). L'algoritmo di ricerca selettiva è descritto di seguito (Figura 3.14).

Ricerca selettiva:

1. Si genera una sotto-segmentazione iniziale, individuando molte regioni candidate.
2. Si applica l'algoritmo greedy per combinare ricorsivamente regioni simili in regioni più grandi.
3. Dalle regioni generate si producono le proposte di regioni candidate finali.



Figura 3.14: Esempio ricerca selettiva RCNN.¹⁴

¹³https://www.researchgate.net/figure/Radar-machine-learning-with-the-Faster-R-CNN-network_fig2_355873034

¹⁴<https://ivi.fnwi.uva.nl/isis/publications/2013/UijlingsIJCV2013/UijlingsIJCV2013.pdf>

Dopo che le regioni candidate finali sono state identificate vengono evidenziate con un riquadro, queste vengono alimentate in una rete neurale convoluzionale per classificare la presenza dell'oggetto all'interno della proposta di regione candidata. come espone la figura 3.15.

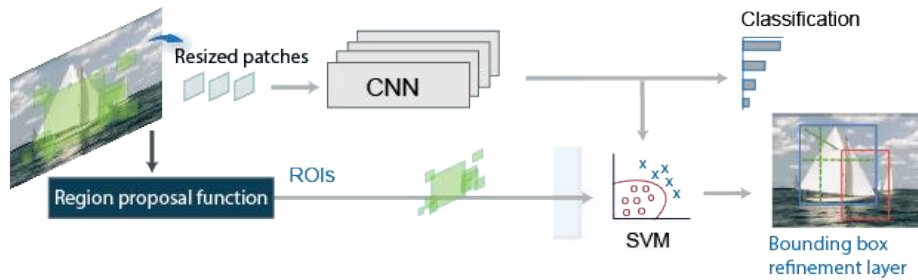


Figura 3.15: Esempio RCNN completo.¹⁵

3.2.2 R-CNN veloce (Region Based Convolutional Neural Networks fast)

Nell'R-CNN veloce l'approccio è simile all'algoritmo R-CNN. Veloce perché non è necessario inviare ogni volta 2000 proposte di regioni alla rete neurale convoluzionale, ma l'operazione di convoluzione viene eseguita solo una volta sull'immagine iniziale e da essa viene generata una mappa delle caratteristiche, da tali caratteristiche estratte si vanno a identificare le regioni e a individuare i riquadri, come si vede dalla Figura 3.16.

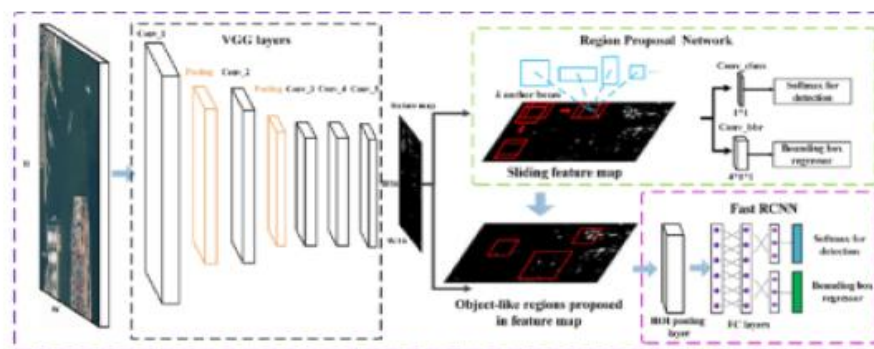


Figura 3.16: Esempio Di RCNN veloce.¹⁶

¹⁵<https://it.mathworks.com/help/vision/ug/getting-started-with-r-cnn-fast-r-cnn-and-faster-r-cnn.html>

¹⁶https://www.researchgate.net/figure/The-architecture-of-Faster-R-CNN_fig2_324903264

3.2.3 R-CNN più veloce (Region Based Convolutional Neural Networks faster)

Entrambi gli algoritmi di cui sopra (R-CNN e Fast R-CNN) utilizzano la ricerca selettiva per scoprire le proposte di regione di interesse. La ricerca selettiva è un processo lento e dispendioso in termini di tempo, che influisce sulle prestazioni della rete.

Faster R-CNN, in parte è simile al Fast R-CNN, in quanto anche essa passa prima in input in una rete neurale convoluzionale e, successivamente, viene utilizzata una rete separata per identificare le regioni proposte. La principale differenziazione per Faster R-CNN è la presenza di **RPN (Region Proposal Network)** che viene inserito dopo l'ultimo strato convoluzionale. Questo è utilizzato per produrre proposte, senza la necessità di alcun meccanismo esterno come la ricerca selettiva [30].

3.2.4 Region Proposal Network (RPN)

La rete Region Proposal Network (RPN) prende in input un'immagine e quest'ultima restituisce un insieme di regioni proposte, che possono contenere oggetti.

Il meccanismo si basa su ancoraggi, come mostra Figura 3.17 che creano riquadri di delimitazione fissi, posizionati nell'immagine con dimensioni e rapporti tra base e altezza ogni volta diverse, come si vede nella Figura 3.18 [31].

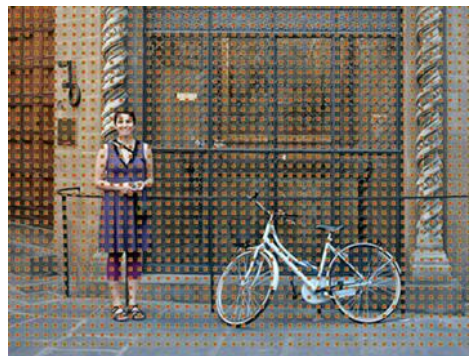


Figura 3.17: Ancoraggi di RPN.¹⁷

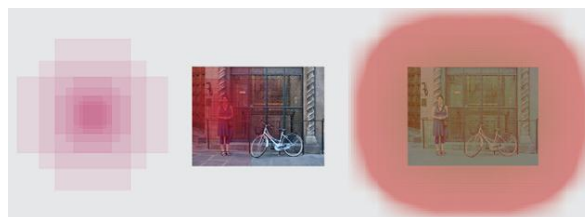


Figura 3.18: Esempio di riquadri di dimensioni fisse creati dagli ancoraggi di RPN.¹⁸

¹⁷<https://tryolabs.com/blog/2018/01/18/faster-r-cnn-down-the-rabbit-hole-of-modern-object->

L’RPN scorre a finestra tutte le caselle di riferimento (ancore) e produce una serie di buone proposte per gli oggetti, come si vede in Figura 3.19.

Controlla la probabilità che un’ancora sia un oggetto, assegnandogli un punteggio. Questo punteggio di obiettività è utile per filtrare le cattive previsioni [32].

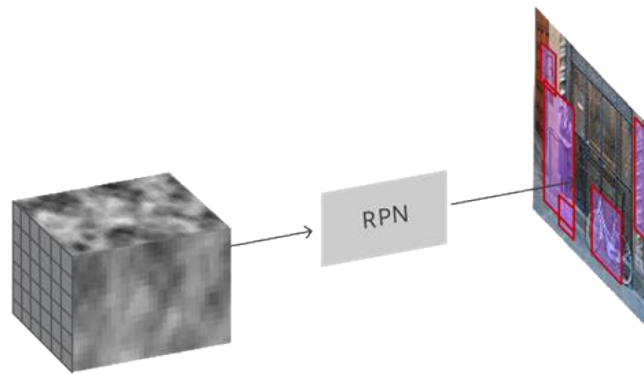


Figura 3.19: Esempio RPN.¹⁹

Dopo aver ottenuto una mappa delle feature convoluzionali dall'immagine e dopo averle usate per ottenere proposte di oggetti con l’RPN, si passa a un livello completamente connesso, che viene utilizzato per produrre la classe di appartenenza di un oggetto, come mostrato in Figura 3.20 [29].

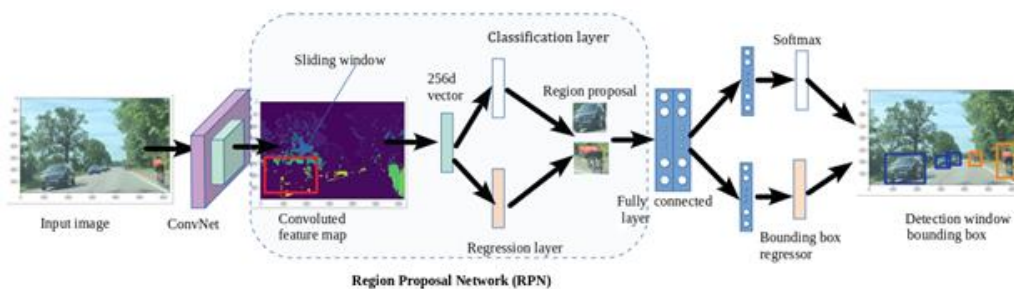


Figura 3.20: Esempio completo passaggi RCNN-faster.²⁰

¹⁸<https://tryolabs.com/blog/2018/01/18/faster-r-cnn-down-the-rabbit-hole-of-modern-object->

¹⁹<https://tryolabs.com/blog/2018/01/18/faster-r-cnn-down-the-rabbit-hole-of-modern-object->

²⁰<https://it.mathworks.com/help/vision/ug/getting-started-with-r-cnn-fast-r-cnn-and-faster->

3.3 Unità Centrale

Ogni veicolo, per il quale vengono sviluppati i software con le architetture di calcolo sopra illustrate, è dotato di una unità di controllo o cuore del veicolo che appunto gli permette di elaborare tutte le informazioni tramite algoritmi per prendere decisioni. Si consideri, ad esempio, il computer di bordo realizzato da Bosh (DASy), rappresentato in Figura 3.21. Esso è costituito da un controller di dominio del sistema di assistenza alla guida, dotato di larghezza di banda, potenza di calcolo e memoria elevate. In questo modo è capace di raccogliere ed elaborare informazioni digitali provenienti da diverse tecnologie (come radar, video, lidar, ultrasuoni e algoritmi funzionali altamente complessi), per costruire un modello ambientale a 360° molto preciso ed elaborare il comportamento di guida più sicuro in maniera dinamica anche a velocità elevate. Il controller ha dimensioni ridotte e una dissipazione di potenza moderata. Ogni unità centrale elabora molti terabyte di dati, quindi con il tempo si evolverà per essere sempre più veloce e consentire di avere tempi di risposta addirittura più rapidi di quelli umani, riducendo la latenza di calcolo, causa di incidenti mortali [33].

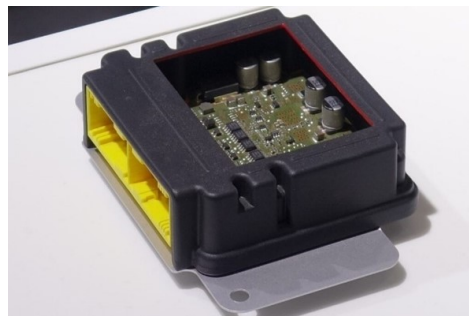


Figura 3.21: Interno controller Bosh (DASy).²¹

3.4 Statistiche dei veicoli a guida autonoma e sviluppo dell'intelligenza artificiale

Dalla descrizione degli algoritmi di calcolo, si è visto come i dispositivi di acquisizione dell'ambiente circostante elaborano informazioni che vengono sintetizzate attraverso un rete neurale addestrata a riconoscere tutto ciò che è necessario durante la guida. Così facendo il veicolo reagisce esclusivamente in base alle informazioni essenziali alla guida, evitando di elaborare dati inutili o che siano di peso per i calcoli delle rete neurale.

²¹<https://ehfcv.com/bosch-vehicle-computer-dasy/>

Negli anni scorsi si parlava già di tecnologie per la guida autonoma a bordo dei veicoli, ma era molto raro vedere veicoli effettivamente dotati di tali strumentazioni. Al giorno d'oggi, invece, quasi tutte le auto poste sul mercato supportano la guida autonoma di livello 2. Si può dire che siamo entrati nell'era in cui sono in circolazione i primi veicoli a guida autonoma, che prima erano solo in fase di sperimentazione. Ciò fa capire che i sistemi di deep learning, accompagnati dalle apparecchiature hardware di cui sono dotati i veicoli, si sono evoluti notevolmente, portando le auto a utilizzare questi sistemi a bordo con notevole maturità applicativa. Questa continue evoluzioni stanno comportando una lenta ma inarrestabile evoluzione dei livelli di guida autonoma. Infatti, basti pensare a quante sperimentazioni sono state svolte per superare le incertezze e le perplessità in merito a queste nuove tecnologie, incertezze e perplessità che si stanno superando anche per introdurre sul mercato auto a guida autonoma di livello 3. In Figura 3.22 è riportato lo studio della Boston Consulting Group in merito alla previsione dello sviluppo del mercato delle auto a guida autonoma nel prossimo futuro.



Figura 3.22: Previsione dello sviluppo del mercato delle auto a guida autonoma nel prossimo futuro.²²

²²<https://www.forbes.com/sites/worldeconomicforum/2017/06/20/the-most-revolutionary-thing-about-self-driving-cars-isnt-what-you-think/?sh=66b2e8965c57>

3.5 Situazioni spiacevoli con algoritmi di intelligenza artificiale

I recenti progressi delle reti neurali profonde (DNN), nonostante abbiano portato a spettacolari risultati, hanno anche mostrato che sono inevitabili i bug (come accade per i software tradizionali) che causino una decisione errata, ovvero che una circostanza impreveduta trovi il sistema di automazione impreparato, con alta possibilità di causare collisioni potenzialmente fatali. Sono già accaduti molti incidenti nel mondo reale che coinvolgono auto a guida autonoma. La maggior parte delle tecniche di prova esistenti per i veicoli guidati da DNN (reti neurali profonde) dipendono fortemente dalla raccolta manuale dei dati di prova in diverse condizioni di guida. Oggi di fatti si utilizzano ambienti di simulazione per testare i software. Tali ambienti permettono di generare automaticamente casi di test sfruttando i cambiamenti del mondo reale in condizioni di guida come pioggia, nebbia e condizioni di scarsa illuminazione, attraversamento di animali insoliti, portando così a rilevare situazioni di incidenti potenzialmente fatali. [34].

Diversi casi studi riguardano la sfida che i ricercatori stanno affrontando per consentire alle auto a guida autonoma di riconoscere oggetti sospesi (per i quali la pavimentazione stradale non può essere considerata come riferimento o base di appoggio) qualora il sensore utilizzato per il loro rilevamento è quello ottico e non radar. A tal proposito si stanno perfezionando in laboratorio degli algoritmi di riconoscimento di anomalie che attraversano la strada sospesi, come canguri e le anatre a volo radente, che saltano o volando ingannando l'algoritmo di riconoscimento, facendo percepire al veicolo l'oggetto più lontano di quanto lo sia realmente [35].

3.6 Problemi etici e limitazioni

Viste le limitazioni hardware (per costruire veicoli dotati di tutti i sensori), molti sviluppatori di auto a guida autonoma utilizzano simulatori software per testare i propri modelli di rete neurale o risolvere alcuni problemi. Poiché gli incidenti automobilistici reali essendo difficili da testare sul campo, vengono ricreati con simulazioni fisicamente accurate per consentire, così, di testare in maniera quanto più approfondita i software per auto a guida autonoma, come si vede in Figura 3.23.

²³<https://www.svl simulator.com/downloads/SVL-Simulator-Overview.pdf>

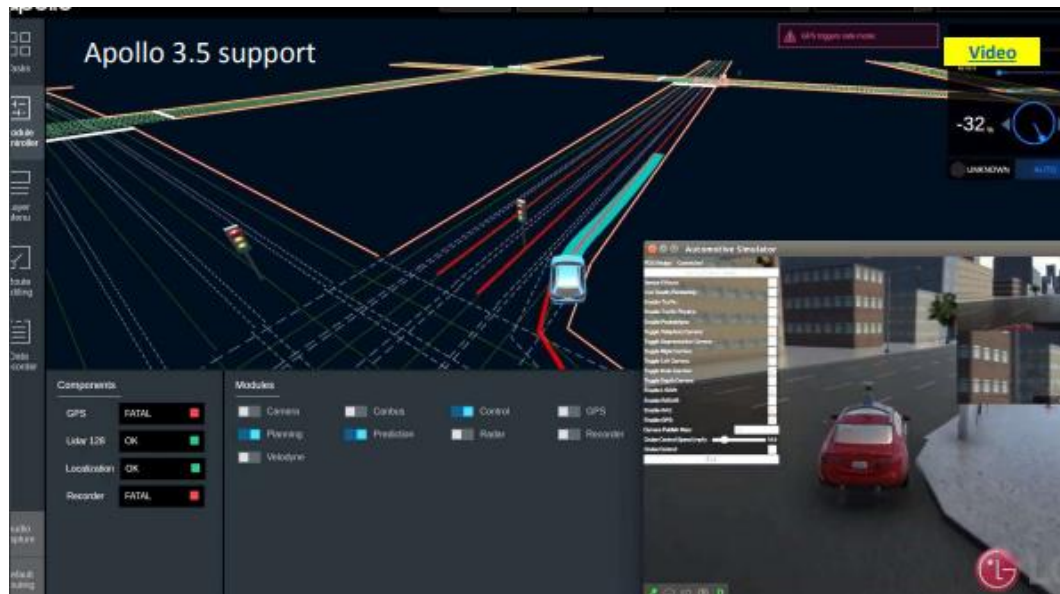


Figura 3.23: Esempio di ambiente di simulazione con SVL di LG.²³

Il principale problema nell'utilizzo su strada di questi veicoli riguarda, oltre le limitazioni hardware, soprattutto l'ambito legislativo, che va ad intrecciarsi con le questioni etico-morali, per le quali non è stata ancora trovata una soluzione definitiva. Queste si riferiscono principalmente all'attribuzione di responsabilità, in caso di incidente, ovvero sul chi paga i danni, il conducente o l'azienda produttrice.

Essendo una tecnologia in crescita, è normale che la piena apertura al mercato delle auto a guida autonoma trova ancora molto scetticismo, attesi gli incidenti, anche mortali, che alcune auto a guida autonoma hanno procurato. La vera sfida più grande per le auto a guida autonoma potrebbe non essere tecnologica, ma psicologica. Infatti, i consumatori possono essere suscettibili al pensiero che le auto dovranno affrontare ambienti di traffico complessi, con potere decisionale della vita e della morte sui pedoni, altri conducenti e persino sui propri passeggeri. Data questa enorme responsabilità i consumatori considerano le auto a guida autonoma con trepidazione e non sono disposti a cedere qualsiasi vulnerabilità a una macchina di cui non si fidano. I potenziali acquirenti ci penseranno due volte quando si troveranno di fronte al pensiero che la loro auto un giorno potrebbe decidere di danneggiarli [36]. Per questo bisogna cercare anche di instaurare un rapporto di fiducia tra uomo-macchina.

3.7 Problemi di incertezza sotto aspetti etici e morali: dilemma del carrello

La ricerca suggerisce che i veicoli a guida autonoma ridurranno il numero di incidenti e, quindi, dei decessi sulle nostre strade, facendo risparmiare miliardi di dollari nella sola assistenza sanitaria. Le auto computerizzate sono annunciate come i futuri benefattori di un nuovo standard per la sicurezza stradale, in gran parte grazie ai loro tempi di reazione estremamente brevi e alle capacità decisionali pragmatiche. Di fronte a decisioni che devono essere prese in una frazione di secondo, non ci si può aspettare che i conducenti umani agiscano secondo alcune regole scritte e quindi debbano fare affidamento sui loro precetti neurali e sui loro istinti naturali. Per questo motivo, la capacità di valutare e agire in situazioni difficili in un arco di tempo limitato ha portato in quarto luogo una nuova serie di enigmi morali da affrontare. I veicoli, sostituendosi in toto al conducente, pongono una serie di questioni anche in termini di decisioni autonome da intraprendere in caso di incidente inevitabile, con possibilità di causare vittime umane. In Figura 3.24, ad esempio, a causa dell'attraversamento improvviso di pedoni, tale da non consentire al veicolo di avere uno spazio sufficiente di frenata, l'auto a guida autonoma si trova di fronte al dilemma di chi sacrificare: i pedoni o le persone all'interno del veicolo? Il dilemma si pone anche per il conducente umano, in caso di vettura senza guida autonoma. Tuttavia, a differenza del comportamento automatico, basato su algoritmi predefiniti, il comportamento umano è condizionato da stati d'ansia, che a volte possono giustificare una decisione sbagliata [36].

What should the self-driving car do?

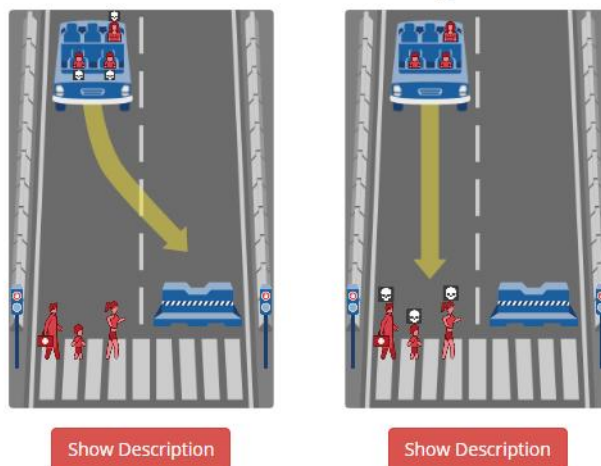


Figura 3.24: Esempio di situazione spiacevole.²⁴

Attraverso una serie di algoritmi, si ricreano scenari del problema del carrello, così da mostrare il comportamento di una macchina autonoma a seconda delle diverse etiche.

I fattori coinvolti riguardano anche quelli di costruzione di un rapporto di fiducia tra veicolo e uomo, grazie alla quale l'uomo acquisisce maggiore sicurezza nei confronti della risposta del veicolo, tenendo aggiornato il pubblico su tutte le situazioni. L'accettazione di questa tecnologia, infatti, è anche subordinata al grado di fiducia che l'uomo infonde nei confronti di un veicolo in grado di prendere decisioni in piena autonomia.

3.8 Cybersecurity

Un altro aspetto da non sottovalutare è la possibilità di subire attacchi hacker mentre si è alla guida del veicolo. Quindi dovrà essere di fondamentale importanza integrare la cybersecurity.

Un veicolo a guida autonoma può subire tre tipi di attacchi:

- 1) Accesso fisico all'auto: tramite l'interfaccia OBD (On-Board Diagnostics) presente sulle auto per motivi di diagnostica e raccolta di informazioni, è possibile interagire con tutte le unità elettroniche e quindi con tutte le funzionalità automatizzate realizzate;
- 2) Short-range distance: ne fanno parte il sistema passivo dell'antifurto (10 cm), il sistema di lettura della pressione degli pneumatici (1 m), i sistemi Keyless per apertura e start engine (5-20m) e tutti i sistemi connessi via bluetooth (10 m);
- 3) Long-range distance: ne fanno parte il radio data system, i sistemi di comunicazione Wi-Fi o 4/5G, con le quali possono essere caricate Internet App di gestione dell'auto.

Un attacco hacker potrebbe avere conseguenze molto importanti, in termini di:

- Modifica della velocità del veicolo, agendo sulle unità elettroniche che governano l'acceleratore, o il freno.
- Modifica della distanza dal veicolo che precede, alterando il modo in cui l'auto accelera o frena.
- Rotazione del volante, agendo sui relativi attuatori.
- Accesso al sistema di Infotainment da remoto per registrare la voce, o carpire informazioni sul tragitto impostato dal navigatore.

In sostanza ogni singolo comando implementato dall'auto in maniera non meccanica può essere compromesso [37].

²⁴<https://www.weforum.org/agenda/2016/08/the-ethics-of-self-driving-cars-what-would-you-do>

3.9 Futuro

Le tecnologie che possono essere montate a bordo degli autoveicoli consentono di rendere sempre più affidabili gli algoritmi di intelligenza artificiale. L'avanzamento in questo settore ha portato a brevettare e a mettere in commercio veicoli a guida autonoma a motorizzazione elettrica, ad impatto ambientale zero, comportando anche una notevole riduzione dell'inquinamento. Le attuali sperimentazioni sono per lo più orientate a rendere comunicanti le autovetture tra loro e con le infrastrutture su cui viaggiano, in modo da consentire la gestione del traffico stradale, con notevoli vantaggi sia per i veicoli a guida autonoma, che per i veicoli standard, che ne trarrebbero benefici in termini di riduzione delle congestioni veicolari, di riduzione dei ritardi e di riduzione di incidenti. La comunicazione dei veicoli a guida autonoma comporterà un enorme salto in avanti in termini di sicurezza, in quanto il comportamento dei veicoli intorno non sarebbe più percepito solo tramite sensori, ma conosciuto mediante scambio di informazioni su accelerazioni, frenate e cambi di corsie. In futuro la responsabilità della guida potrebbe essere totalmente a carico dei veicoli a guida autonoma, che non avranno più in dotazione volante e pedali. Chiunque salirà a bordo di uno di questi veicoli potrà disinteressarsi della guida e impiegare il tempo di viaggio in maniera alternativa e, certamente, più produttiva. Un esempio che ci proietta nel futuro è il Concept 360c di Volvo, che prevede quattro casi d'uso per le varie esigenze: un salottino per spostarsi da casa al lavoro, e magari fare colazione, un ufficio in cui lavorare, un ambiente dedicato al tempo libero e a chi vuole godersi la vita e infine una suite che si trasforma in stanza da letto, per lunghi viaggi notturni, come osservabile in figura 3.25



Figura 3.25: Concept volvo 360c.²⁵

²⁵<https://www.volvocars.com/it/v/cars/concept-models/360c>

I problemi etici e di regolamentazione normativa appaiono comunque di gran lunga meno difficoltosi da superare, rispetto alla instaurazione di un rapporto fiduciario tra uomo e macchina, cui affidare la propria vita, in un contesto che oggi soffre di un grado di incidentalità ancora troppo alto. Certamente questo rapporto fiduciario si potrà instaurare solo creando un contesto infrastrutturale in cui i veicoli sono tutti automatizzati e, pertanto, in grado di comunicare tra loro e prevedere una casistica di situazioni al contorno limitata e poco contaminata da comportamenti eccezionali, che solo l'uomo può generare quando è alla guida.

Sulla base della classificazione SAE International dei livelli di automazione richiamata al Capitolo 2, oggi i livelli di automazione commercializzati in tutto il mondo appartengono fondamentalmente, tranne rare eccezioni in alcuni paesi, al I e al II livello. Gli sviluppi tecnologici della sensoristica e delle architetture di calcolo per la percezione dell'ambiente circostante e per il decision making automatico, consentono oramai l'introduzione di veicoli con gradi di automazione anche superiori al II livello (e in alcuni paesi come gli Stati Uniti e l'Australia sono già in commercio). Tuttavia, l'esordio sul mercato mondiale tarda ad avvenire, per motivi di natura etica, giuridica e psicologica, che oggi ostacolano in maniera significativa la diffusione di self-driving car vere e proprie, facendo presumere che i livelli di automazione successivi non potranno prescindere – almeno nei primi tempi – dalla presenza obbligatoria del conducente.

Appare di tutta evidenza, pertanto, che le nuove sfide tecnologiche saranno quelle di superare le problematiche e le criticità di cui si è discusso al Capitolo 3. In aggiunta alle sperimentazioni delle case automobilistiche su infrastrutture hard e soft dedicate, i conducenti potranno condividere in maniera consapevole i dati di guida, per consentire alle stesse case automobilistiche di analizzare le circostanze più svariate in cui i conducenti si sono sostituiti alla guida autonoma per evitare incidenti. In questo modo sarà possibile stabilire, soprattutto ai fini delle autorizzazioni giuridiche e in maniera sempre più definita, l'entità del "rischio consentito" o "rischio tollerato" o ancora "rischio adeguato" [38]. Questo concetto si fonda sul bilanciamento di due esigenze contrapposte, che sono, da un lato, la necessità di considerare

i benefici collettivi derivanti dall'introduzione delle auto a completa guida autonoma, e, dall'altro lato, la necessità di tenere conto di quanti più rischi sono connessi con l'uso delle auto a guida autonoma rispetto a quelli attualmente accettati con la guida umana, valutati sia sotto il profilo scientifico-oggettivo, che di percezione sociale-soggettiva (i già accennati problemi di etica).

La graduale introduzione e diffusione dell'autonomous driving sarà, pertanto, l'effetto ineludibile dell'evoluzione nel tempo di tale complessa dialettica, in cui, comunque, la tecnologia e un adeguato ed eticamente accettato addestramento delle reti neurali, potranno velocizzarne l'autorizzazione giuridica.

Si può anche ragionevolmente prevedere che l'inerzia di natura giuridica ed etica posta alla diffusione dell'autonomous driving possa consentire anche di esorcizzare, addolcendoli gradualmente, i timori e le retrosie di natura psicologica e sociale.

È indubbio che i benefici sociali legati all'autonomous driving sono destinati a crescere sempre di più e che i livelli di automazione dei veicoli autorizzati dagli ordinamenti giuridici sarà sempre più elevato. Basti pensare alle esigenze sociali della sicurezza stradale. Vari studi hanno mostrato come la diffusione dell'autonomous driving condurrebbe a una drastica riduzione del numero di incidenti e delle relative vittime [39]. Ben il 90 per cento circa dei sinistri, infatti, deriverebbe da cause umane [40], dovuti a consapevoli violazioni del Codice della strada, allo stato di intossicazione da alcool o stupefacenti del conducente, oppure – più semplicemente – all'umana disattenzione.

Le self-driving car, invece, non soffrono di rischi di "distrazione" o "intossicazione", né possono deliberatamente violare le regole di circolazione, essendo programmate per rispettare scrupolosamente il Codice della strada. Grazie ai propri sensori, che saranno sempre più performanti rispetto ai sensi umani, percepiranno gli ostacoli in situazioni nelle quali, invece, un conducente umano potrebbe non essere in grado di rendersi conto della loro presenza.

Tuttavia, fin quando le autonomous car circoleranno a fianco dei veicoli tradizionali, rimarranno sempre dei fattori di rischio connessi a tale commistione, e in particolare all'imprevedibilità del comportamento umano al volante nei confronti degli schemi algoritmici perfettamente razionali, propri dei mezzi a guida autonoma; oppure, viceversa, all'enigmaticità della condotta robotica rispetto ai canoni comportamentali tipici dell'uomo (l'esperienza comune di guida potrebbe far sì che un conducente umano possa non aspettarsi una frenata improvvisa da parte di un veicolo a guida autonoma che lo precede, e causare l'incidente).

Sicuramente un fattore di agevolazione delle autorizzazioni giuridiche delle auto a guida

autonoma sarà l'introduzione di sistemi di "comunicazione", dapprima tra veicoli autonomi e utenti umani della strada – pedoni e auto tradizionali [41] – e poi, in una fase di automazione del traffico più avanzata, tra soli veicoli a guida autonoma, che potranno cooperare tra loro, interagendo e scambiando informazioni via cloud computing [42].

Ulteriori benefici derivanti dalla diffusione della guida autonoma potranno risiedere nell'incremento dell'efficienza della circolazione veicolare, resa più rapida e fluida da capacità sensoriali e tempi di reazione sconosciuti ai guidatori umani, nonché dall'atteggiamento cooperativo dei mezzi tra di loro. Basti pensare che i veicoli a guida autonoma potranno evitare il fastidioso fenomeno dello stop and go, che si innesca a partire da una brusca frenata con rallentamento di un primo veicolo, tale da indurre, a catena, il rallentamento sempre più spinto dei veicoli a seguire, fino a provocare la fermata del veicolo n-esimo e dei veicoli successivi, con generazione di congestione veicolare, rallentamento dei tempi di percorrenza, inquinamento amplificato dell'aria [43]. Ne conseguiranno notevoli risparmi di tempo per gli spostamenti, oltre che di carburante, a tutto beneficio dell'ambiente.

Ulteriori benefici si avranno sugli effetti sulla salute legati alla riduzione dello stress traffico-correlato; un'auto a guida autonoma avrà solo passeggeri, che potranno dedicarsi ad attività diverse rispetto alla guida, con vantaggio per la produttività complessiva e dei singoli, mediante la riduzione dei "tempi morti" oggi spesi al volante [44].

Poiché è inevitabile che, parallelamente all'avanzamento del livello di automazione di guida, si sviluppi anche il livello di comunicazione tra veicolo automatico e alcune infrastrutture stradali, come quelle dedicate all'auto-parking, le vetture completamente autonome saranno in grado di parcheggiarsi da sole, consentendo un ulteriore risparmio di tempo agli utenti. A tal proposito si possono prevedere incisivi mutamenti sulle modalità di progettazione degli edifici di nuova costruzione, delle nuove infrastrutture di urbanizzazione primaria, fino alla conformazione di nuovi quartieri o città o alla rigenerazione di quelli esistenti (Zakharenko (2016)). I veicoli autonomi, una volta accompagnato a destinazione l'utente, potranno finanche girare per le strade delle città, secondo algoritmi che riducano al massimo le improduttività, senza dover necessariamente fermarsi o parcheggiare (Grush e Niles, (2019), pp. 87 ss., Levinson (2015) pp. 798 ss).

Ultimo, ma non meno importante, vantaggio sociale della completa automazione veicolare è quello di permetterebbe di mobilitare categorie di persone finora impossibilitate a muoversi autonomamente, come anziani con difficoltà, disabili, minori, o semplicemente persone prive di patente, nonché di consentire la mobilità su gomma di soggetti sotto l'effetto di alcool o droghe, "sterilizzando" così la loro pericolosità alla guida [45].

Se dal punto di vista della pericolosità oggettiva è indubbio che la sicurezza stradale sia destinata a giovare enormemente della tecnologia della guida autonoma, riducendo il numero complessivo dei sinistri, in ragione dell'eliminazione della gran parte di collisioni di derivazione umana, è pur vero che rimarrebbe quel piccolo gruppo di eventi, che si sarebbero comunque verificati – a prescindere dal tipo di guida, autonoma o manuale – in quanto aventi perlopiù derivazione “esterna”. A questi occorre aggiungere una quota, anche se statisticamente piccola ma inevitabile, di incidenti che potranno derivare proprio dalla guida autonoma medesima, a essa connaturati, per effetto di bugs o anomalie a cui il sistema di intelligenza artificiale non è stato adeguatamente addestrato per riconoscere e rispondere correttamente all'evento, ma anche per effetto di hackeraggi e di problemi connessi alla cybersecurity, come già ampiamente illustrato al Capitolo 3.

Se, però, sul rischio oggettivo la tecnologia sensoristica e l'implementazione di nuovi sistemi informatici più aggiornati può contribuire significativamente in termini di risposta a un campo sempre più vasto di eventi esterni e per potenziare la cybersecurity, sul versante soggettivo della percezione sociale dei rischi, la partita è ancora tutta da giocare.

Infatti, qual è il rischio tollerato, accettato dalla società? Deve scaturire da un giudizio di natura esclusivamente politico-valutativa, fondata su granitici dati scientifici, oppure dai mutevoli umori sociali, della più varia origine, che ne condizionano la percezione? [45].

La tollerabilità sociale di un rischio, in genere, non si fonda tanto nella sua dimensione oggettiva, scientifica, quanto piuttosto in pregiudizi culturali e sociali dell'epoca. Tra questi vi è il timore, per principio, ancorché privo di solido fondamento razionale, che la collettività nutre, in generale, nei confronti della tecnologia innovativa che sia in grado di condizionare i comportamenti umani.

Ulteriore criticità di natura etica, come già illustrato al Capitolo 3, si pone quando occorre programmare l'auto rispetto alla condotta da tenere in occasione di incidente inevitabile, in modo da scegliere, tra scenari alternativi, quello ritenuto meno dannoso, noto in letteratura come Trolley problem. Nyholm e Smids, ritengono che il dilemma morale del Trolley problem per le auto a guida autonoma sia ingannevole, in quanto vi è una differenza del contesto in cui si svolge la decisione etica: quello concitato dell'azione da un lato, e quello algido e distaccato della programmazione ex ante dall'altro [46].

Lo stato di necessità valutato dalla macchina con il suo algoritmo preimpostato può non coincidere con lo stato di necessità di chi viene condotto dal veicolo a guida autonoma. Questo aspetto non insignificante fa guardare con diffidenza e sospetto questa tecnologia, anche se non ci si fa problemi, oggi, ad affidare la propria incolumità a un conducente umano,

le cui decisioni in base al contesto non sono apriori note, né valutabili per condividerle o meno. A questo punto gli informatici possono venire in aiuto, sviluppando, per il futuro, sempre più raffinati “algoritmi di necessità”, ancorati a criteri etico-consequenzialisti del minimo danno [47], che siano più ammissibili dagli utenti, che potrebbero accettare di sacrificarsi in situazioni eccezionali sempre più circoscritte e limitate. Altra soluzione, potrebbe essere quella di proporre veicoli autonomi a etica differenziata, magari regolabile da parte dell’utente [48].

Quanto disquisito nel presente lavoro porta a una serie di riflessioni sugli sviluppi futuri delle auto-self driving, che, paradossalmente, più che legati agli sviluppi di natura tecnologica e sensoristica, nonché di architettura informatica, saranno condizionati dalla paura dell’ignoto tecnologico, dalla prudenza del consumatore, ma soprattutto dei sistemi giuridici nazionali, ispirati inevitabilmente da logiche di precauzione. L’atteggiamento culturale complessivo, tuttavia, come è accaduto sempre nella storia, cambierà e la tecnologia saprà acquisire la fiducia che obiettivamente merita (anche se una inevitabile limitata cerchia di scettici continuerà a protendere per le auto a guida umana, fino a che probabilmente, non saranno vietate per legge).

Le sperimentazioni vanno, pertanto, sostenute e promosse nei vari paesi, anche se con la dovuta prudenza, e i sinistri vanno esaminati non per produrre battute d’arresto alla ricerca, ma per incoraggiare la individuazione di soluzioni e upgrade dei sistemi a guida autonoma sempre più affidabili e convincenti per essere autorizzati in sede di commercializzazione.

Ringraziamenti

A conclusione di questo elaborato, vorrei ringraziare in primis il mio relatore, prof. Fabio Palomba, per aver accolto la mia richiesta sull'argomento di tesi e avermi messo subito a mio agio con il suo staff; un grazie anche alla mia Tutor, dott.ssa Valeria Pontillo, per essere stata sempre disponibile e rapida a chiarirmi dubbi e fornirmi consigli e modifiche da apportare a questo lavoro.

Ringrazio i miei amici e la compagna, che mi sono sempre stati vicini e si sono dimostrati sempre disponibili a darmi sempre un mano.

Infine, ringrazio tutta la mia famiglia, per il supporto immenso che mi ha dato durante tutti e tre gli anni accademici, consentendomi di affrontarli e terminarli con tranquillità e serenità.

Bibliografia

- [1] S. del parlamento europeo, "Auto a guida autonoma in ue, dalla fantascienza alla realtà." link: <https://www.europarl.europa.eu/news/it/headlines/economy/20190110ST023102/auto-a-guida-autonoma-in-ue-dalla-fantascienza-alla-realta>. (Citato a pagina 3)
- [2] S. S. international, "Livelli auto a guida autonoma," 2021. link: <https://www.sae.org/blog/sae-j3016-update>. (Citato a pagina 3)
- [3] U. Qidwai, "Fuzzy blind-spot scanner for automobiles," in *2009 IEEE Symposium on Industrial Electronics Applications*, vol. 2, pp. 758–763, 2009. link: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5356356>. (Citato a pagina 7)
- [4] R. Rivaroli, "Blind spot assist: come funziona?." link: <https://red-live.it/auto/blind-spot-assist-come-funziona/>. (Citato a pagina 8)
- [5] F. Polimeni, "Il lane departure warning." link: <https://www.fleetmagazine.com/lane-departure-warning-come-funziona-e-levoluzione-lane-keeping-aid/>. (Citato a pagina 8)
- [6] "Sviluppo e implementazione del sistema di avviso di deviazione dalla corsia su adas alpha board." link: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9550915>. (Citato a pagina 8)
- [7] "regolatore di velocità adattivo per un veicolo intelligente." link: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4913274>. (Citato a pagina 9)

- [8] redazione AutoScout24, "Cruise control: cos'è, come funziona, adattivo, come si attiva." link: <https://www.autoscout24.it/informare/consigli/tecnica-auto/cruise-control-come-funziona/#:~:text=Il>. (Citato a pagina 9)
- [9] "controllo della velocità di crociera adattivo del veicolo basato sui dati: una recensione." link: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6640820>. (Citato a pagina 9)
- [10] redazione Patentati, "Come funziona il cruise control normale o adattivo." link: <https://www.patentati.it/how-to/come-funziona-cruise-control-adattivo.html>. (Citato a pagina 9)
- [11] Sicurauto, "Radar, telecamere e gps: come funziona la guida autonoma?." link: <https://www.sicurauto.it/news/radar-telecamere-e-gps-come-funziona-la-guida-autonoma/>. (Citato a pagina 10)
- [12] N. C. Basjaruddin, F. Adinugraha, T. Ramadhan, D. Saefudin, and E. Rakhman, "Lane keeping assist based on fuzzy logic using camera sensor," in *2019 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture and Industrial Automation (ICAMIMIA)*, pp. 101–104, 2019. link: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9223426>. (Citato a pagina 12)
- [13] G. Scrinzi, ""assistente al mantenimento della corsia: tutto quello che bisogna sapere." link: https://www.infomotori.com/guide/assistente-al-mantenimento-della-corsia-tutto-quello-che-bisogna-sapere_337545/. (Citato a pagina 12)
- [14] V. Bonanno, "Cos'è e come funziona il traffic sign recognition." link: <https://www.fleetmagazine.com/traffic-sign-recognition/>. (Citato a pagina 12)
- [15] consystem, "Tecnologia lidar." link: <https://www.fleetmagazine.com/traffic-sign-recognition/>. (Citato a pagina 13)
- [16] Tesla, "Sistema di autosterzata." link: https://www.tesla.com/ownersmanual/model3/it_ch/GUID-69AEB326-9831-424E-96AD-4021EABCB699.html. (Citato a pagina 14)
- [17] N. Boldrini, "come funziona e quali sono i casi di applicazione" di deep learning." link: <https://www.ai4business.it/intelligenza-artificiale/deep-learning/deep-learning-cose/>. (Citato a pagina 15)

- [18] J. Roell, "Dalla finzione alla realtà: una guida per principianti alle reti neurali artificiali." link: <https://towardsdatascience.com/from-fiction-to-reality-a-beginners-guide-to-artificial-neural-networks-> (Citato a pagina 15)
- [19] T. flir, "5 fasi per creare e sviluppare reti neurali di deep learning." link: <https://www.flir.it/discover/iis/machine-vision/5-steps-for-building-and-deploying-a-deep-learning-neural-networks/>. (Citato a pagina 16)
- [20] I. e Umbero Santucci, "Dalla finzione alla realtà: una guida per principianti alle reti neurali artificiali." link: <https://www.ibm.com/it-it/cloud/learn/neural-networks>. (Citato a pagina 16)
- [21] D. Manca, "Reti neurali artificiali tipo di apprendimento." link: <https://pselab.chem.polimi.it/wp-content/uploads/2014/03/DECDPC/Lez-05-Reti-Neurali-Artificiali.pdf> linkSantaMargherita di Pula (CA) 19-26 Giugno 2005 Davide Manca, Politecnico di Milano 2: https://www.researchgate.net/profile/Davide-Manca/publication/267713290_Reti_Neurali_Artificiali_Reti_Neurali_Artificiali/links/546f17930cf2b5fc1760c841/Reti-Neurali-Artificiali-Reti-Neurali-Artificiali.pdf. (Citato a pagina 17)
- [22] J. kahl, "Apprendimento supervisionato, non supervisionato e per rinforzo." link: <https://medium.com/@jacopokahl/i-tre-principali-tipi-di-machine-learning-77ca20d0dbdd>. (Citato a pagina 17)
- [23] D. Soriano, "Come addestrare un'intelligenza artificiale specializzata nel rilevamento di oggetti." link: <https://www.domsoria.com/2019/10/rilevamento-di-oggetti-con-tensorflow/>. (Citato a pagina 19)
- [24] A. Provino, "Tensorflow mnist tutorial: Semplice tensorflow cnn", ai blog - © 2019-2021 andrea provino." link: <https://andreaprovino.it/tensorflow-mnist-tutorial-semplce-tensorflow-cnn/>. (Citato a pagina 20)

- [25] D. Soriano, "Tipologie e comportamenti di reti neurali convoluzionali." link: <https://www.domsoria.com/2020/04/tipologie-e-comportamenti-di-reti-neurali-convoluzionali/>. (Citato a pagina 20)
- [26] MaggioliDevelopers, "Reti convoluzionali." link: <https://www.developersmaggioli.it/blog/reti-convoluzionali/>. (Citato a pagina 21)
- [27] E. L. Piccolomini, P. Cascarano, and E. Polini, "Super resolution di immagini con reti neurali convoluzionali," link: <https://core.ac.uk/download/pdf/226947035.pdf>. (Citato a pagina 23)
- [28] P. CUDRANO, ""prora autonoma del veicolo e stima dello spostamento della linea centrale tramite computer vision." link: <http://hdl.handle.net/10589/152251>. (Citato a pagina 24)
- [29] M. Maity, S. Banerjee, and S. Sinha Chaudhuri, "Faster r-cnn and yolo based vehicle detection: A survey," in *2021 5th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, pp. 1442–1447, 2021. link: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9418274?casa_token=4qTTzzGE9n0AAAAA:S94Hbz6StylM2pvcHmVvYulTeBMr8m45QI5A5rcpf0pXP5iBeRTpu3-Oq_usl6Icuy7WFXcm. (Citato alle pagine 25 e 28)
- [30] J. Rey, "Faster r-cnn: Down the rabbit hole of modern object detection." link: <https://tryolabs.com/blog/2018/01/18/faster-r-cnn-down-the-rabbit-hole-of-modern-object-detection>. (Citato a pagina 27)
- [31] R. Gandhi, "R-cnn, fast r-cnn, faster r-cnn, yolo — object detection algorithms," 2018. link: <https://towardsdatascience.com/r-cnn-fast-r-cnn-faster-r-cnn-yolo-object-detection-algorithms-36d53571>. (Citato a pagina 27)
- [32] J. Rey, "Faster r-cnn: Down the rabbit hole of modern object detection," 2018. link: <https://tryolabs.com/blog/2018/01/18/faster-r-cnn-down-the-rabbit-hole-of-modern-object-detection>. (Citato a pagina 28)

- [33] BOSCH, "Dasy vehicle computer," link: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/vehicle-computer/dasy-vehicle-computer/>. (Citato a pagina 29)
- [34] V. Thanh Dat, P. Quang Huy, N. Dinh Tra, T. Hai Anh, B. Ngoc Anh, and N. Tung Son, "A deep learning based implementation for self-driving car," in *2021 10th International Conference on Software and Computer Applications, ICSCA 2021*, (New York, NY, USA), p. 279–287, Association for Computing Machinery, 2021. (Citato a pagina 31)
- [35] H. M. Thakurdesai and J. Aghav, "Autonomous cars: Technical challenges and solution to blind spots issue," *Research gate*, 2020. link: https://www.researchgate.net/profile/Jagannath-Aghav/publication/342315212_Autonomous_Cars_Technical_Challenges_and_a_Solution_to_Blind_Spot/links/5f955be592851c14bce56ce8/Autonomous-Cars-Technical-Challenges-and-a-Solution-to-Blind-Spot.pdf. (Citato a pagina 31)
- [36] B. Kahl, "Human biases preventing the widespread adoption of self-driving cars," link: https://www.academia.edu/69440427/Human_Biases_Preventing_The_Widespread_Adoption_Of_Self_Driving_Cars. (Citato alle pagine 32 e 33)
- [37] M. Carrà, "I rischi 'nascosti' dell'auto a guida autonoma e il pericolo dell'hackeraggio." link: <https://forbes.it/2021/02/18/i-rischi-nascosti-dellauto-a-guida-autonoma-e-il-pericolo-dellhackeraggio>. (Citato a pagina 34)
- [38] M. (1988), "(il quale tuttavia predilige la dizione "rischio adeguato") nonché forti (1990), pp. 250 ss," (Citato a pagina 37)
- [39] P. . Hanlon (2016), "Fra tanti," (Citato a pagina 38)
- [40] F. (2017), "Coca-vila (2018), p. 60," (Citato a pagina 38)
- [41] S. e Williams, "Technological opacity, predictability, and self-driving cars", *cardozo law review*, 38, pp. 121-181.(il quale tuttavia predilige la dizione "rischio adeguato") nonché forti (1990), pp. 250 ss," (Citato a pagina 39)
- [42] H. (2017), "Sui tipi di connettività tra veicoli autonomi glancy (2015), pp. 640 ss," (Citato a pagina 39)

- [43] S. M. (2001) (Citato a pagina 39)
- [44] P. . p. .- L. . p. . Hanlon (2016), p. 6, "Fra tanti," (Citato a pagina 39)
- [45] A. Cappellini, "Profili penalistici delle self-driving cars, diritto penale contemporaneo (rivista trimestrale), 2/2019," link:https://dpc-rivista-trimestrale.criminaljusticenetwork.eu/pdf/DPC_Riv_Trim_2_2019_cappellini.pdf. (Citato alle pagine 39 e 40)
- [46] N. e Smids (2016), "la riconduzione di tali casi al dilemma morale del trolley problem è ingannevole, in quanto sussistono vari punti di distacco da tale modello.," (Citato a pagina 40)
- [47] G. e Müller (2017) (Citato a pagina 41)
- [48] M. (1988), "(il quale tuttavia predilige la dizione "rischio adeguato") nonché forti (1990), pp. 250 ss," (Citato a pagina 41)