POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

Tesi di Laurea Magistrale

Strumenti di simulazione in realtà virtuale per la valutazione dell'esperienza utente in veicoli a guida autonoma



Relatore Prof. Fabrizio Lamberti Candidato
Antonello Laurino

Sessione di Laurea di Ottobre 2018



Sommario

Le grandi aziende automobilistiche ed informatiche, nell'ottica di investire nelle nuove tecnologie, stanno impiegando molte risorse e studi di ricerca riguardo il settore delle auto connesse ed a guida autonoma. Queste auto, con molta probabilità, diventeranno i mezzi di trasporto ordinari del futuro.

Le sfide tecnologiche, per la diffusione di questa tecnologia, vengono affiancate da un ostacolo più grande, quello dell'accettazione sociale. Il livello di fiducia che le persone ripongono nei confronti delle auto autonome è decisamente basso.

La letteratura scientifica indaga, da tempo, quali siano i fattori in grado di influenzare la fiducia verso sistemi autonomi in generale, e suggerisce come mostrare il sistema gestire in maniera adeguata varie situazioni, insieme alla progettazione di una interfaccia in grado di fornire informazioni di contesto, sia un buon modo per incrementare il livello di fiducia riposto nel sistema.

Le informazioni di contesto, nell'ambito specifico delle auto autonome, servono a fornire all'utente consapevolezza della situazione, a renderlo consapevole di quali oggetti l'auto abbia percepito intorno a sé, i loro stati e i loro movimenti.

Per le auto autonome del futuro, dove l'intervento alla guida non è previsto, e dove, dunque, non esiste più il ruolo di conducente, non è chiaro quanta consapevolezza della situazione sia necessario fornire.

Il passeggero, a bordo dell'auto autonoma, dovrebbe potersi dedicare ad attività diverse e non dovrebbe sorvegliare le azioni del sistema di guida.

La tesi realizza un simulatore, in realtà virtuale immersiva, con strumenti di simulazione automobilistica, in grado di emulare un'esperienza di viaggio a bordo di un'auto a guida autonoma. Lo scenario di test prevede una serie di situazioni ben studiate, in grado di mostrare all'utente delle adeguate capacità decisionali da parte dell'auto.

La progettazione dell'interfaccia ha previsto, in particolar modo, la realizzazione di un Head Up Display (HUD), simulato virtualmente, in cui le informazioni sono proiettate sul parabrezza dell'auto, in maniera spazialmente legata agli oggetti dell'ambientazione virtuale. Allo scopo di verificare quanta consapevolezza sia necessario fornire in auto autonome con il massimo grado di autonomia, sono state realizzate due versioni di HUD, ognuna delle quali fornisce informazioni di contesto in misura differente; la versione omnicomprensiva mostra, in egual misura, tutte le informazioni di contesto, mentre la versione selettiva mostra solo una selezione delle stesse, individuate negli oggetti che influenzano la guida autonoma.

I risultati del confronto mostrano come fornire informazioni di contesto, in generale, sia importante per creare nell'utente consapevolezza della situazione e quindi incrementare il proprio livello di fiducia verso l'auto autonoma; inoltre, la preferenza verso la versione selettiva, indica come fornire all'utente una consapevolezza della situazione adeguata, e non troppo elevata, si rilevi utile per migliorare l'esperienza di viaggio.

Indice

INTRODUZIONE	1
STATO DELL'ARTE	3
2.1 L'AUTO AUTONOMA	3
2.2 L'AUTO DEL FUTURO	6
2.3 L'AUTO DEL PRESENTE	8
2.4 LA MANCANZA DI FIDUCIA	9
2.5 AUMENTARE LA FIDUCIA	12
2.6 HMI PER LE AUTO AUTONOME	13
2.7 HUD IN REALTÀ AUMENTATA	18
2.8 SIMULAZIONI DI GUIDA AUTONOMA	20
2.9 CONSIDERAZIONI	22
TECNOLOGIE IMPIEGATE	24
3.1 UNITY3D	24
3.1.2 VISUAL STUDIO	25
3.2 REALTÀ VIRTUALE	25
3.2.1 HTC VIVE	27
3.3 SIMULATORE DI GUIDA	28
3.3.1 FORZA MOTOSPORT WHEEL BUNDLE FANATEC	30
3.3.2 ATOMIC MOTION PLATFORM	31
PROGETTAZIONE	34
4.1 DESCRIZIONE DEL PROBLEMA	34
4.2 SIMULATORE DI GUIDA IMMERSIVO E GUIDA AUTOMATICA	35
4.3 INFORMAZIONI DURANTE LA SESSIONE DI GUIDA AUTONOMA	36
4.3.1 HUD OMNICOMPRENSIVO E HUD SELETTIVO	37
4.4 TEST E SCENARI	38
4.4.1 SCENARI	39
4.4.2 SITUAZIONI DI TEST	40
REALIZZAZIONE	42
5.1 GENIVI ALLIANCE	42
5.1.2 LA SCELTA DI GENIVI	46
5.2 PRIMA FASE DI STUDIO	48

5.3 COLLEGAMENTO DELL'HARDWARE	49		
5.3.1 COLLEGAMENTO DEL VOLANTE	49		
5.3.2 COLLEGAMENTO DELLA PIATTAFORMA INERZIALE	50		
5.4 SIMULATORE IMMERSIVO	55		
5.3.1 LEAP MOTION E TRACCIAMENTO DELLE MANI	56		
5.4 VEICOLO 5.5 GUIDA AUTOMATICA 5.5.1 AI NATIVA NELLE MACCHINE DEL TRAFFICO 5.5.2 ALGORITMI DI GUIDA AUTONOMA 5.5.2.1 GESTIONE DELLE FRENATE E DELLE ACCELERAZIONI 5.5.2.2 CRUISE CONTROL 5.5.2.3 PID CONTROLLER 5.5.2.4 GESTIONE DELLE STERZATE 5.5.2.5 INTERAZIONE CON IL TRAFFICO 5.5.2.6 GESTIONE DEGLI OSTACOLI	57 58 59 65 68 68 69 69		
		5.5.2.7 RIVALUTAZIONE DEI WAYPOINT	72
		5.5.3 NATURALIZZARE LA GUIDA AUTONOMA	72
		5.6 IL VOLANTE IN GUIDA AUTONOMA	74
		5.7 INFORMAZIONI DI CONTESTO E SVILUPPO DELL'HUD	74
		5.7.1 HUD OMNICOMPRENSIVO E HUD SELETTIVO	76
		5.8 SCENARI DI TEST	77
		5.8.1 Scenario di test in ambientazione urbana	77
		5.8.2 SCENARIO DI TEST IN AMBIENTAZIONE EXTRAURBANA	83
		VALUTAZIONE E RISULTATI	85
6.1 Procedura di test	85		
6.2 QUESTIONARIO	86		
6.3 RISULTATI	89		
CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	100		
7.1 CONSIDERAZIONI	100		
7.2 SVILUPPI FUTURI	101		
APPENDICE A: QUESTIONARIO DI VALUTAZIONE	102		
A.1 DOMANDE PERSONALI	102		
A.2 AUTOVALUTAZIONE DELLO STATO DI SALUTE PRE-SIMULAZIONE	102		
A.3 AUTOVALUTAZIONE DELLO STATO DI SALUTE POST-SIMULAZIONE	103		
A.4 SENSO DI IMMERSIONE E PRESENZA	103		
A.5 FEDELTÀ DELLA SIMULAZIONE	104		
A.6 VALUTAZIONE DELLA SIMULAZIONE DI GUIDA AUTONOMA	104		

A.6 VALUTAZIONE DELL'INTERFACCIA HUD	104
A.7 MODELLO MENTALE	105
A.8 Informazioni di tipo Why	105
A.9 COMPETENZA DEL SISTEMA	105
A.9 CARICO COGNITIVO	105
A.10 CONSAPEVOLEZZA DELLA SITUAZIONE	106
A.10.1 QUALITÀ DELLE INFORMAZIONI	106
A.10.2 QUANTITÀ DI INFORMAZIONI	106
A.11 FIDUCIA	107
A.12 DOMANDE FINALI	107
BIBLIOGRAFIA E RIFERIMENTI	108

Capitolo 1

Introduzione

Il settore automobilistico sta compiendo passi da gigante sul fronte delle nuove tecnologie, puntando, in particolar modo sulle auto connesse e a guida autonoma. Si presume che entro il 2021 il mercato delle auto connesse crescerà del 204%, per arrivare a un valore di 122.6 miliardi di euro [1].

L'auto, nel futuro, è destinata a diventare un elemento dell'IoT (Internet of Things), in grado di ricevere, elaborare ed inviare informazioni nella rete.

La guida autonoma potrebbe, nel futuro, sostituire auto private, taxi e mezzi pubblici tramite servizi di car sharing in grado, tra l'altro, di ottimizzare i tempi di spostamento [2].

Il tempo di viaggio potrebbe essere impiegato per estendere le proprie attività quotidiane, per relazionare con i passeggeri o per riposare.

Attualmente esistono in commercio auto semiautonome, in grado di guidare autonomamente, solo in alcuni contesti, come tratti autostradali o, in generale, poco trafficati, sotto la supervisione del guidatore. Quando il sistema di guida va in difficoltà viene richiesto, infatti, al guidatore di riprendere il controllo.

Le auto completamente autonome sono ancora oggetto di ricerca e sviluppo. Grandi aziende automobilistiche, ma anche grandi aziende informatiche, stanno investendo molto in questo settore, puntando inoltre sulla simulazione come mezzo di valutazione e test dei sistemi di guida autonoma.

L'ostacolo principale per la diffusione di questa nuova tecnologia è l'accettazione sociale. Le persone manifestano preoccupazione che, durante la guida, qualcosa possa andar storto e che questa tecnologia possa spaventare anche chi sta fuori dall'auto.

La mancanza di fiducia nei confronti delle auto autonome è un tema molto importante; la percentuale di persone che si fiderebbe di viaggiare in un'auto autonoma è decisamente bassa. La letteratura scientifica indaga da tempo il problema relativo alla fiducia nei sistemi autonomi ed individua, nella visualizzazione di informazioni di contesto stradale, la soluzione per diminuire il livello di sfiducia verso questa tecnologia.

Le informazioni di contesto stradale servono a fornire all'utente un'idea di cosa l'auto stia considerando intorno a se. Queste informazioni servono a creare nell'utente un'idea delle intenzioni e delle decisioni che l'auto sta per prendere, oltre a fornire consapevolezza della situazione, consapevolezza circa gli elementi ambientali e i relativi cambiamenti.

Questi elementi sono in grado di aumentare la fiducia verso i sistemi autonomi. Nelle auto semiautonome la consapevolezza della situazione rappresenta un elemento molto importante. È necessario, in queste auto, fornire una consapevolezza della situazione elevata, in quanto il guidatore, in ogni momento, potrebbe essere chiamato ad intervenire alla guida.

Capire immediatamente perché l'auto stia richiedendo un intervento e quali siano gli oggetti da valutare durante la ripresa del controllo del veicolo, rappresenta un elemento fondamentale ai fini della sicurezza stradale.

Nelle auto autonome del futuro, invece, il ruolo dell'utente cambia radicalmente. L'intervento alla guida non è previsto e l'utente ricopre il ruolo di semplice passeggero.

In questo contesto, la raccomandazione di fornire informazioni di contesto resta assolutamente valida, ma non è chiaro quanta consapevolezza della situazione sia necessario fornire al passeggero. Fornire molte informazioni, infatti, aumenta anche il carico cognitivo. Nelle auto semiautonome aumentare il carico cognitivo è un obbiettivo che il sistema cerca di raggiungere, in quanto risulta necessario che l'utente rimani attivo e concentrato in caso di richiesta di intervento alla guida.

Nelle auto autonome del domani, invece, aumentare il carico cognitivo non rappresenta un elemento positivo. L'utente vorrebbe potersi dedicare ad altre attività e non dovrebbe monitorare in ogni momento il sistema.

Il progetto di tesi si propone di realizzare un simulatore di guida, in realtà virtuale immersiva, con hardware di simulazione automobilistica, che preveda auto autonome e connesse, in cui si possano implementare interfacce utente, progettate secondo le raccomandazioni fornite dalla letteratura scientifica, in modo tale da fornire informazioni di contesto, utili ad incrementare il livello di fiducia che l'utente ripone nei confronti dell'auto autonoma.

In particolare l'obbiettivo della tesi è quello di studiare la consapevolezza della situazione, oltre che ai fattori che influenzano la fiducia in generale. Si è interessati a capire quanta consapevolezza della situazione sia necessario fornire ai passeggeri in auto con il massimo grado di autonomia, dove non è permesso l'intervento alla guida.

Per effettuare lo studio è utile mettere a confronto due tipi di visualizzazioni che forniscano una misura di consapevolezza della situazione diversa: da una parte una tipo di visualizzazione omnicomprensivo che mostri un'informazione di contesto completa, dall'altra, un tipo di visualizzazione selettivo, che mostri solo una parte delle informazioni di contesto.

Per verificare cosa sia possibile dimostrare, è necessario testare le due versioni e raccogliere delle valutazioni. Il test dovrebbe consistere in una simulazione di un'esperienza, a bordo di un'auto autonoma, in uno scenario cittadino che mostri il sistema di guida impegnato in varie situazioni di guida, tra le quali anche situazioni ritenute pericolose e che richiedano una gestione adeguata da parte dell'auto autonoma.



Figura 1.1 - Concept di un'auto del futuro

Capitolo 2

Stato dell'arte

In questo capitolo si andranno a valutare le ricerche e gli studi effettuati nell'ambito delle auto connesse e a guida autonoma.

Tali automobili, con molta probabilità, saranno le auto del futuro. Le attuali aziende automobilistiche stanno investendo molto sulle tecnologie in grado di realizzare questi tipi di automobili, ma, come ogni nuova tecnologia, una delle sfide più difficili corrisponde a fare accettare questa nuova concezione di auto alle persone comuni.

Non considerando i problemi tecnici relativi alla realizzazione di un'auto così tecnologica e futuristica, un aspetto fondamentale da osservare e da tenere in considerazione è quello della fiducia nel mezzo.

Le ricerche effettuate e riportate nel seguente capitolo descrivono, da una parte, come saranno o come vengono immaginate queste macchine del futuro, dall'altra, i problemi legati alla mancanza di fiducia verso questo tipo di tecnologia che accomuna la maggior parte delle persone, valutando quanto sia importante questo aspetto, come poterlo migliorare.

L'ultima parte del capitolo è dedicata alle riflessioni effettuate alla luce degli studi effettuati, e, in generale, all'obbiettivo di questa tesi di ricerca, identificando gli aspetti su cui dovremmo porre maggiormente l'attenzione durante la realizzazione del progetto.

2.1 L'auto autonoma

La definizione di sistema autonomo, in generale, è cambiata nel tempo ed è destinata a cambiare ancora [3]. Le percezioni individuali, come i precedenti storici, i ruoli dell'interazione con l'uomo, i domini d'uso, i bisogni specifici, possono influenzare il modo in cui una persona definisce una macchina come un sistema autonomo.

G. A. Bekey definisce il sistema autonomo come una macchina intelligente capace di eseguire dei compiti da sola e senza alcun tipo di controllo umano [4].

Nell'ambito specifico delle auto autonome, la definizione ci viene fornita dall'NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration), che le categorizza come quelle auto il cui funzionamento avviene senza un intervento diretto del guidatore, in quanto sterzata, accelerazione e frenata sono progettate in modo tale che il guidatore non debba costantemente monitorare la strada, quando la modalità automatica è in esecuzione [5].

Per raggiungere tali obbiettivi, queste auto hanno bisogno di monitorare continuamente l'ambiente circostante. Le tecnologie utilizzate allo scopo sono radar, LiDAR, GPS e sensori che, interagendo, con il sistema di controllo, permettono all'auto di prendere decisioni sui percorsi da seguire, sui segnali da monitorare, nonché eventuali ostacoli da evitare.

Esistono varie classificazioni di auto autonome. Le classificazioni più seguite dalla letteratura scientifica sono proposte dall'NHTSA stessa e dal SAE International, l'associazione globale composta da quasi 130000 ingegneri nell'ambito della tecnologie automobilistiche e aerospaziali.

I livelli sono sei; nei primi tre il guidatore deve controllare la strada e il traffico, in quanto l'auto non ha la panoramica completa di ciò che avviene intorno ad essa [6]. Negli altri tre livelli, la visione dell'auto è completa, grazie alla connessione dati con l'infrastruttura, dunque può sostituirsi all'uomo.

- Livello 0, nessuna automazione: in questo livello è tutto nelle mani del guidatore. Anche auto moderne appartengono a queste categorie. Nonostante la presenza di sistemi importantissimi ai fini della sicurezza, come l'ABS (Antiblockiersystem) o l'ESP (Electronic Stability Control), il loro intervento corregge situazioni già critiche dal punto di vista dell'aderenza o della stabilità.
- Livello 1, automazione singola: in questo livello, il sistema può intervenire autonomamente, ma solo sullo sterzo o sull'acceleratore. Il guidatore è dunque tenuto a controllare il corretto funzionamento dell'auto. Auto dotate di cruise control adattivo fanno parte di questa categoria;
- Livello 2, automazione multipla: in questo livello, il sistema può intervenire autonomamente, sia sullo sterzo che sull'acceleratore. Auto dotato sia di cruise control adattivo che di sistema di mantenimento della carreggiata (con correzione della traiettoria automatica), ma anche auto dotate di frenata automatica di emergenza, fanno parte di questa categoria. Il guidatore è comunque tenuto a controllare il corretto funzionamento del sistema;
- Livello 3, guida autonoma condizionale: in questo livello il sistema è capace di svolgere manovre complesse in autonoma. È in grado di reagire a eventi come ostacoli improvvisi o cambi di direzione dei veicoli vicini, di svoltare e cambiare corsia. Qualora il sistema lo richieda, il guidatore deve rimanere pronto a intervenire;
- Livello 4, guida autonoma selettiva: in questo livello il sistema è in grado di svolgere tutte le azioni delle auto di livello 3, ma il guidatore potrebbe essere "bypassato" nel caso non rispondesse ad una richiesta di intervento; il sistema è dunque in grado di guidare l'auto in completa autonomia ma il conducente, su richiesta, può riprendere il pieno controllo;
- Livello 5, guida autonoma: in questo livello l'automobile è interamente gestita dal sistema, che, oltre a decidere completamente cosa fare su strada, sa dove dirigersi. L'uomo non è più da intendersi come un guidatore, ma come un semplice passeggero, al quale non è richiesto alcun intervento. A questo livello si parla di vera guida autonoma.

Le auto di livello 1, già da tempo in commercio, offrono funzionalità come l'ACC (Adaptive Cruise Control), un sistema intelligente in grado di mantenere una velocità preimpostata e ridurla in caso di bisogno sulla base della situazione del traffico, garantendo il mantenimento della giusta distanza di sicurezza, e il LDWS (Lane Departure Warning System), un sistema in grado di avvertire il guidatore in casi di abbandono della carreggiata di marcia [7].

Questi sistemi operano tramite sensori ad ultrasuoni, un sensore radar a lungo raggio (LRR) e, eventualmente, una videocamera per monitorare l'ambiente circostante e mostrarlo al guidatore.

I sensori ad ultrasuoni sono in grado di rilevare oggetti molto vicini all'auto mediante la propagazione del suono, mentre il radar permette di localizzare la posizione degli oggetti nelle vicinanze dell'auto mediante l'utilizzo di onde elettromagnetiche, emesse da un'antenna e riflesse successivamente dagli oggetti.

Oltre alle funzionalità delle auto di livello 1, le auto di livello 2 sono in grado di restare all'interno della corsia tramite la tecnologia LKA (Lane Keeping Assist) e di evitare l'impatto con potenziali ostacoli tramite l'AEB (Autonomous Emergency Breaking). Oltre alle tecnologie delle auto di livello 1, quelle di livello 2 fanno utilizzo di radar per distanze ravvicinate (SRR) ad esempio per offrire la funzionalità di assistenza al parcheggio.

Auto di livello 3 offriranno funzionalità avanzate come il DM (Driver Monitoring), in grado di valutare l'attenzione e il grado di stanchezza del guidatore, e il TJA (Traffic Jam Assist), una tecnologia in grado di far avanzare l'auto in maniera autonoma durante le situazioni di traffico congestionato.

Le auto più avanzate in commercio, secondo Danny Shapiro, senior director of automotive di Nvidia (Nvidia fornisce il "cervello elettronico" alla maggior parte delle case produttrici di auto) andrebbero considerate di livello "2 plus" [8]. In occasione della GPU Technology Conference di Monaco ha parlato di queste auto come auto in grado di guidarsi completamente in autonomia, ma solo in determinate condizioni di traffico e solo in alcune aree; al guidatore è infatti richiesto periodicamente di riprendere il controllo del volante, anche senza una reale necessità, ma solo per dimostrare di essere attento.

Le auto di livello 3, come ad esempio l'Audi A8, sono in grado di guidare in autonomia in qualsiasi situazione, ma solo a velocità ridotte. A velocità moderate, invece, un segnale avvisa il conducente della necessità di riprendere il controllo dell'auto.

Dunque, la differenza sostanziale tra il livello 2 e il livello 3 è la possibilità di affidarsi al sistema di guida autonomo in un numero maggiore di situazioni e per un lasso di tempo maggiore.

Solo a partire dal livello 4 sarà possibile distrarsi del tutto dalla guida, settare la destinazione e dedicarsi ad altro. Nvidia sta lavorando sulla produzione del Drive PX Pegasus, il processore pensato per auto di livello 5, ma saranno necessari, come si può immaginare, test, aggiornamenti e sviluppi.

Shapiro, in quell'occasione, ha inoltre discusso la questione relativa alla preoccupazione delle persone circa questa tecnologia; lui pensa derivi principalmente dal fatto che sia una tecnologia che in pochi sono in grado di comprendere a pieno, ma soprattutto, molti non hanno ancora provato; è convinto, infatti, che quando si inizierà a prendere confidenza con tali auto, ci si renderà conto che hanno tutto sotto controllo, letteralmente a 360°. Tutti i problemi causati dalle distrazioni degli umani, per via della stanchezza, per via dello smartphone ecc., ma anche quelli causati dal fatto che un essere umano abbia uno spettro visivo ridotto e che non sia in grado di controllare tutto ciò che lo circonda, verranno eliminati dalle auto autonome.

La capacità di poter controllare tutto quello che avviene nell'ambiente, a 360°, è garantita dalla tecnologia LiDAR (Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging) [9].

Proprio come il sonar utilizza le onde sonore, il radar quelle radio, la tecnologia LiDAR è in grado di creare una mappa dell'ambiente usando, però, la luce. La sua funzionalità è simile a quella di un laser; spara rapidamente, fino a 900000 volte al secondo, su un bersaglio e misura in quanto tempo la luce, rimbalzando sul bersaglio, torna alla sorgente. Siccome la velocità della luce è costante, è, infatti, possibile calcolare la distanza dal bersaglio come:

Distanza = (Velocità della luce * Tempo di volo) / 2

I milioni di punti ottenuti permettono di creare una mappatura digitale dell'ambiente (nuvola di punti).

La tecnologia LiDAR ha avuto importanti applicazioni per decenni, in vari settori, come l'archeologia, la fisica e l'astronomia e nelle applicazioni IoT (Internet of Things), nell'ambito, ad esempio, dell'agricoltura intelligente o delle smart city.

L'applicazione principale della tecnologia LiDAR è associata al settore dell'automotive, perché permette di rilevare ed indentificare tutti gli oggetti che circondano l'auto autonoma e, quindi, di evitarli o gestirli accuratamente.

Per i sistemi LiDAR in movimento, come ad esempio nel caso dell'auto autonoma, è necessaria anche una posizione (GPS) e un sistema di navigazione. Nonostante la luce sia la cosa più veloce che ci sia, non è istantanea. È necessario, quindi, avere informazioni sia sulla posizione esatta in cui è stato sparato il laser, sia della posizione esatta in cui è stato ricevuto il laser di ritorno. Grazie alla combinazione di queste informazioni, è possibile creare una nuvola di punti accurata.



Figura 2.1 - Tecnologia LiDAR sulle auto autonome

2.2 L'auto del futuro

Gli esperti prevedono che, eliminando la presenza umana al posto di guida, si potrà non solo offrire la mobilità a tutti (giovani, anziani, disabili ecc.), ma anche salvare milioni di vite [10]: il 90% degli incidenti stradali è causato da un errore umano.

Secondo l'amministratore delegato di Bosch, durante la conferenza internazionale Bosch ConnectedWorld 2017, le auto del futuro sono auto intelligenti, che imparano, ragionano e predicono i pericoli; sono connesse tra di loro e con il mondo circostante [11].

I veicoli connessi sono equipaggiati con una grande varietà di sensori, che permettono di comunicare con il guidatore stesso, con altri veicoli, con le infrastrutture e con il cloud, allo scopo di migliorare la sicurezza stradale, oltre che l'efficienza e l'esperienza di guida [12]. Il cloud cognitivo è una sorta di "cervellone virtuale condiviso", che raccoglie tutti i dati inviati dalle varie auto in tempo reale, li elabora, e li invia a sua volta a tutte le auto circolanti [13]. Potremmo vedere un'analogia con un'intranet aziendale o con un cloud tradizionale dove un server raccoglie dati ricevuti da vari dispositivi e li mette a disposizione di tutti in

tempo reale. In quest'ottica le auto, dotate di intelligenza, sono allacciate ad una "maxi-rete", dove, chi le dirige, invia in tempo reale suggerimenti, avvisi e ordini alla singola auto e, contemporaneamente, all'intero network.

Grazie all'intelligenza artificiale, le auto potranno interpretare i dati provenienti dai sensori per prevedere il comportamento degli altri utenti della strada e reagire in anticipo ad eventuali situazioni di pericolo.

Sulle auto del futuro troveremo il sistema di avviso di *guida in contromano*. L'avviso arriverà al guidatore sulla carreggiata sbagliata, ma anche a tutti gli altri utenti della strada nelle vicinanze, grazie al sistema di cloud.

Sarà presente la *diagnostica predittiva*, un sistema in grado di analizzare i dati dell'auto stessa e fare previsioni sulle condizioni dei componenti chiave. In questo modo l'auto riuscirà ad avvisare il guidatore prima che un componente si usuri e a fornigli raccomandazioni per la prossima visita in officina.

A proposito di *officine*, anch'esse entreranno nel cloud; ogni qualvolta si verifichi un guasto all'auto, l'officina riceverà automaticamente una notifica tramite il cloud; in questo modo, tutto il necessario per effettuare la riparazione, potrà essere preparato in anticipo; sarà l'officina, con il ricambio pronto, ad aspettare che arrivi il cliente e non il contrario, come avviene oggi.

Il meccanico dovrebbe poter visualizzare le istruzioni, direttamente in realtà aumentata grazie a degli occhiali appositi. In questo modo i tempi di riparazione diminuiranno e, al tempo stesso, tali lavori risulteranno più semplici.

Mentre l'auto sta cercando *parcheggio*, i sensori a bordo si occuperanno di identificare e misurare gli spazi vuoti fra le auto parcheggiate lungo il marciapiede, creando una mappa parcheggi digitale. Queste informazioni verranno inviate al cloud, che potrà quindi effettuare una previsione delle possibilità di parcheggio. Scaricando la mappa dal cloud, le auto nelle vicinanze potranno dirigersi direttamente a un posto libero.

Gli utenti potranno condividere online tutti i dati provenienti dall'auto attraverso la tecnologia basata sul sistema *blockchain*, un database centralizzato e condiviso in grado di distribuire le informazioni ricevute attraverso migliaia di computer. Questo sistema renderà impossibile falsificare i dati, in quanto in grado di garantire l'assoluta immutabilità e incorruttibilità delle informazioni.

E ancora, ci sarà l'assistente personale, un assistente vocale, comandato con la voce, per gestire appuntamenti, chiedere informazioni, rimanendo comodamente alla guida.

Nel corso del tempo l'assistente imparerà a conoscere le abitudini e le preferenze dell'utente per fornirgli un'assistenza migliore.

Dunque, un futuro più sicuro, comodo e rilassato per gli automobilisti.

Le aspettative delle persone, pensando alle auto a guida autonoma, sono abbastanza alte; se da una parte ci sono dubbi e preoccupazioni, dall'altra c'è il desiderio di scoprire come possa essere una macchina così futuristica [14].

Sicuramente l'aspettativa principale è un minor impegno mentale, dunque viaggi tranquilli e poco esigenti. C'è la speranza che i viaggi del futuro siano più predicibili ed esatti, lasciando agli utenti un miglior controllo del proprio tempo.

La macchina del futuro dovrebbe fare di più che trasportare il proprietario da un posto all'altro. Potrebbe, ad esempio, ritornare a casa, trasportare gli altri membri della famiglia, guidare da sola verso l'autolavaggio, dopodiché parcheggiare all'interno del garage.

Dunque ci si aspetta un nuovo modo intelligente di utilizzare le risorse tramite la condivisione delle auto autonome.

Ma stare in una macchina a guida autonoma significa anche che il tempo di viaggio possa essere usato come si vuole, ad esempio per estendere le proprie attività quotidiane e arrivare più energici, perfettamente in orario e preparati, ad esempio, per una giornata di lavoro.

Ci sarebbe una nuova sfida rivolta al design; gli utenti si immaginano uno spazio incentrato sul confort, dove si possano svolgere attività sociali, relazionali o semplici attività quotidiane come, ad esempio, guardare un film. Alcuni utenti, nella loro immagine di auto del futuro, hanno completamente rimosso i sedili a vantaggio di poltrone reclinabili. Un'altra idea comune degli utenti è quella di avere sedili girevoli; questa idea esprime un forte interesse per le nuove possibilità di socializzazione che una macchina autonoma potrebbe offrire.

2.3 L'auto del presente

Ad oggi, diverse auto di livello 2 sono già disponibili sul mercato. Queste auto dispongono quindi delle tecnologie di frenata di emergenza, assistenza al parcheggio, avvertimento di abbandono di corsia e cruise control adattivo.

Le auto più avanzate sul mercato, che Shapiro indica di livello "2 plus" [8], sono quelle prodotte principalmente da Tesla, Volvo, BMW.

Per quanto riguarda, invece, il livello 3, l'Audi A8 si configura come la prima vettura in grado di guidare autonomamente, seppure con delle restrizioni. È in grado, infatti, di procedere in autonomia ad una velocità massima di circa 65 chilometri orari [15].

Secondo Cantamessa, presidente dell'incubatore I3P del Politecnico di Torino, al momento le case produttrici di automobili non stanno contemplando la produzione di auto di livello 4 e 5, considerandole per lo più oggetto di ricerca applicata [16].

L'approccio delle case automobilistiche è quello di delegare al software di bordo la gestione della guida dell'auto in condizioni facili e noiose da gestire, come, ad esempio, incolonnamenti o tratti di guida in autostrada, almeno inizialmente, per poi delegare la gestione anche di situazioni di più difficile gestione, man mano che la tecnologia e le ricerche progrediscano. In tal modo cercano di far sì che la tecnologia emerga gradualmente.

Al contrario, i grandi colossi digitali, consapevoli delle difficoltà poste nei livelli intermedi, anche dal punto di vista normativo ed etico, puntano, invece, direttamente alla produzione di auto di livello massimo, nell'immaginario in cui le auto senza conducente siano la normalità e che la guida umana sia proibita o severamente limitata.

Google, ad esempio, con la sua divisione Waymo, sta effettuando, già da tempo, test di guida autonoma su strada con il minivan Chrysler Pacifica, fornito da FCA (Fiat Chrysler Automobiles), che rappresenta un prototipo di livello 4.

Secondo Cantamessa, però, la visione dei colossi digitali rischia di essere "poco realistica". Egli ritiene che, seppur la gestione di condizioni più semplici sia stata sviluppata in tempi rapidi, le gestione di condizioni più complesse, come traffico caotico o poco rispettoso delle regole, oppure situazioni in condizioni di meteo non ottimali, risulta ancora di difficile gestione in piena sicurezza. La sicurezza è, ovviamente, un elemento fondamentale e cruciale per lo sviluppo di questa tecnologia.

Test effettuati da diversi produttori confermano come esistano effettivamente dei limiti per quanto riguardo l'affidabilità del sistema di guida autonomo: le auto marchiate Tesla hanno richiesto di intervenire alla guida in 182 situazioni su 800 test, BMW ha registrato un solo caso, su mille chilometri percorsi, in cui è stato necessario richiedere l'intervento alla guida,

ed anche altri marchi, come Nissan, Mercedes e Google hanno, in generale, dovuto affrontare dei malfunzionamenti.

Dunque, nonostante le capacità di guida delle auto autonome siano notevolmente migliorate col progredire dei processi tecnologici, i sistemi attuali di guida autonoma non si mostrano ancora affidabili e completamente sicuri, soprattutto in condizioni metereologiche avverse, quando i sensori non riescono a funzionare perfettamente ed il sistema di guida autonomo fallisce a sua volta, costringendo il guidatore a riprendere il controllo dell'auto [17].

A complicare il problema etico e legale, ci sono stati gli incidenti mortali che hanno coinvolto Tesla e Uber, che hanno contribuito a ridurre fortemente la fiducia verso tali auto. L'assenza della capacità di valutazione umana è accolta con scetticismo e diffidenza.

Accanto allo sviluppo tecnologico e commerciale, la guida autonoma deve affrontare soprattutto una sfida culturale.

2.4 La mancanza di fiducia

Le persone sono davvero spaventate dalle auto autonome. Infatti, un recente studio ha rilevato che il 75% degli americani ha paura di essere trasportato in auto che si guidano da sole [10]. Si desume come ci sia mancanza di fiducia, preoccupazione che qualcosa possa andar storto e che questa tecnologia possa spaventare anche chi sta fuori dall'auto.

La mancanza di fiducia nelle auto autonome è il tema fondamentale da affrontare.

La ricerca svolta da Kornélia Lazányi e Gréta Maráczi [18], volta a scoprire il livello di fiducia che le persone riporrebbero in una macchina autonoma, mostra che il 50% dei 200 partecipanti alla ricerca sarebbero felici di usare una macchina a guida autonoma.

Il 30.5% pensa che le auto a guida autonoma potrebbero operare in maniera più sicura.

Il 30% pagherebbe per non dover guidare e questo comporta che, valutando a parte il compito della guida, la volontà di usare un'auto autonoma scende significativamente; ciò vuol dire che molti, dovendo viaggiare come passeggeri, non userebbero una macchina a guida autonoma ma preferirebbero un guidatore umano.

Delle persone disposte a provare un'auto autonoma, il 48% lascerebbe decidere all'auto la velocità di guida, ma solo il 15.5% userebbe un'auto senza pedali di accelerazione e frenata. Il 65.5% lascerebbe guidare l'auto da sola in autostrada, ma solo il 14.5% si fiderebbe di un'auto per la quale non avrebbe alcun modo di controllarla, sull'autostrada.

La percentuale scende al 13% nel caso di una strada affollata. Questo implica che le persone percepiscono l'autostrada come un sistema meno intricato e più semplice da affrontare per un sistema autonomo.

Considerando un'auto semiautomatica, che permetta quindi al guidatore di intervenire, solo il 14% lascerebbe all'auto il totale controllo sulla guida senza intervenire mai.

Un dato interessante è che ¾ dei partecipanti permetterebbe all'auto di guidare autonomamente in caso di ingorghi stradali, dunque in momenti difficili e noiosi.

In accordo con la letteratura, il livello di fiducia può anche misurato indirettamente. Chi non vuole mantenere il controllo si fiderebbe di più di un'auto autonoma.

Il 14% dei partecipanti dichiara che dormirebbe in un'auto autonoma. Di contro, la maggior parte dei partecipanti non si fiderebbe; la metà di essi vorrebbero sorvegliare l'attività del sistema, i restanti sarebbero svegli ma non particolarmente attenti (è una forma di semi-fiducia).

In conclusione, la percentuale di persone che si fiderebbe di un'auto a guida autonoma è decisamente bassa. La maggioranza dei partecipanti ha, però, un certo livello di fiducia iniziale che porterebbe loro a provare e utilizzare un'auto semiautonoma.

Intel ha dato l'opportunità di effettuare un giro in un auto sperimentale, allo scopo di ottenere un feedback su tale esperienza. I partecipanti sono quindi stati intervistati sia prima che dopo il giro di prova e le loro reazioni sono state registrate [10].

L'assenza del giudizio umano nell'auto senza conducente, la mancanza della capacità tipica dell'uomo di innescare processi mentali di analisi e valutazione circa eventi e situazioni inaspettate, come pedoni che attraversano dove non potrebbero, in zone non autorizzate, oppure altri guidatori che tagliano la strada all'auto autonoma, preoccupava i partecipanti. Al tempo stesso, però, hanno anche espresso la convinzione che le auto autonome del futuro saranno più sicure, per via dell'eliminazione dell'errore umano e per il fatto che non faranno congetture tipiche dei comportamenti umano.

L'attenzione dei partecipanti era focalizzata, oltre che sulla fiducia nei confronti dell'auto, sulla comprensione delle interfacce uomo-macchina (display, schermi touch, segnali vocali e altro) che fornivano ai passeggeri le modalità di interazione con l'auto autonoma.

I risultati sono stati unanimi: "ogni singolo partecipante ha sperimentato un enorme incremento del livello di fiducia dopo aver completato il viaggio".

Tutti si sono mostrati entusiasti per la crescita di questo mercato, mostrandosi convinti del fatto che le auto autonoma saranno un mezzo di trasporto più sicuro.

La maggior parte dei partecipanti credeva servisse del tempo per acquisire dimestichezza con il sistema di guida autonoma, ma, una volta sviluppata fiducia in esso, alcuni degli avvisi e delle comunicazioni potrebbero diventare fastidiosi e invasivi. Ricevere avvisi e promemoria è stato infatti apprezzato, ma, al tempo stesso, i partecipanti non volevano essere distratti da troppe informazioni contestuali.

Sentire una voce umana da parte dell'auto è stato particolarmente apprezzato; in molti avrebbero voluto usare la propria voce per comunicare con il veicolo, in modo da conversare e scambiare informazioni.

Alcuni degli assistenti virtuali sono già presenti e utilizzati nelle automobili attuali [19].

Alcuni esempi sono Microsoft Cortana, Google Assistant, Apple Siri che vengono tipicamente integrati tramite l'utilizzo di uno smartphone.

In breve, l'aspettativa è che gli assistenti virtuali in auto consentiranno di trasformare Internet in un "Hypernet", consentendo in tal modo un accesso comodo e onnipresente a contenuti, prodotti e servizi.

Dunque designer e produttori di sistemi automatici in generale dovrebbero concentrarsi non solo sulle funzionalità dei propri sistemi, ma anche su come incrementare il livello di fiducia degli stessi.

La letteratura fornisce una serie di definizioni del concetto astratto di *fiducia*, compreso il suo significato come tratto della personalità, credenza, struttura sociale o intenzione comportamentale [20]. Diverse teorie psicologiche sono state sviluppate per modellare la fiducia, tra cui quelle di Hoff & Bashir [21]. Essi ritengono che la fiducia nei sistemi autonomi sia influenzata da tre componenti:

- 1. la persona che si fida,
- 2. il sistema di cui questa persona dovrebbe fidarsi,
- 3. la situazione.

Il primo componente (cioè la persona) è caratterizzato dalla propria propensione alla fiducia, che è influenzata da diversi fattori (ad es. genere, età, opinioni, tratti caratteriali).

Per quanto riguarda il secondo componente (il sistema da considerare affidabile) è importante che la fiducia sia influenzata dall'abilità del sistema percepite dall'utente, dall'integrità e dalla benevolenza. Mayer et al. [22] hanno stabilito che l'affidabilità, percepita dall'utente, si basa proprio su questi tre costrutti: l'abilità rappresenta la percezione dell'insieme di competenze e capacità del sistema da considerare affidabile; la benevolenza rappresenta la percezione dell'orientamento positivo del sistema da considerare affidabile; l'integrità rappresenta la percezione che il sistema da considerare affidabile aderisca all'insieme dei principi che, chi deve dare fiducia, ritiene accettabili.

In sostanza, usando continuamente il sistema, l'utente raccoglie le esperienze relative alle funzionalità e alle prestazioni del sistema e adegua la sua fiducia a questo sistema.

Ciò evidenzia come la fiducia sia una costruzione dinamica.

La situazione (terzo componente) è considerata indipendente dal sistema; descrive le circostanze generali in cui deve essere stabilita la relazione di fiducia. L'influenza della situazione è particolarmente caratterizzata dal rischio sottostante di questa situazione.

Ekman et al [23] hanno progettato un framework che raccogliesse le idee proposte in letteratura, da altri autori, definendo una serie di fattori in grado di influenzare la fiducia:

- Modello mentale: rappresenta la capacità di creare nella mente dell'utente una rappresentazione approssimata delle funzioni del sistema autonomo, che lo aiuti ad anticipare le intenzioni del sistema;
- Competenza/Rispettabilità: rappresenta la capacità del sistema di mostrarsi come un agente competente;
- Condivisione degli obbiettivi: rappresenta la capacità del sistema di esaudire obbiettivi dell'utente, ad esempio proponendone alcuni e lasciando la possibilità all'utente di accettarli o rifiutarli;
- **Apprendimento**: una fase di apprendimento, da effettuare sia prima che dopo il primo utilizzo del sistema, permette in generale di aumentare il grado di conoscenza dell'utente circa le funzionalità del sistema;
- **Antroporfismo**: rappresenta la capacità di attribuire caratteristiche umane al sistema, come ad esempio un nome, la voce ecc.;
- **Feedback**: rappresenta la capacità del sistema di fornire un riscontro continuo all'utente, inviato idealmente a più sensi (es. vista e udito);
- Automazione adattiva: rappresenta la capacità del sistema di adattarsi alle preferenze dell'utente;
- **Personalizzazione**: rappresenta la capacità di poter regolare funzionalità non critiche del sistema sulla base delle preferenze dell'utente;
- Informazioni di funzionamento non ottimale del sistema: si tratta di informazioni circa l'incapacità del sistema di gestire determinate situazioni ottimamente; ad esempio, indicare l'operatività non alla massima capacità di un sensore o del GPS.
- Informazioni di tipo how e why: si tratta di informazioni riguardanti le azioni che il sistema sta per compiere. In particolare un'informazione di tipo how descrive come il sistema possa risolvere un certo compito, mentre un messaggio di tipo why descrive

perché il sistema sta per compiere una determinata azione; per fare un esempio semplice, ipotizziamo l'auto autonoma stia per fermarsi per via di un semaforo rosso. Il compito dell'auto in una tale circostanza è quello di fermarsi. Un'informazione di tipo how potrebbe essere un avviso che indica all'utente che l'auto sta frenando. Un'informazione di tipo why, invece, potrebbe essere un avviso che indica all'utente che il sistema ha appreso correttamente che il semaforo sia rosso; rappresenta una spiegazione sul perché l'auto stia frenando (compito dell'auto).

Questo framework prende in considerazione più fattori simultaneamente. La fiducia è infatti influenzata da molti aspetti. Le intenzioni di Ekman et al, sviluppando questo framework, erano quelle di sviluppare un quadro semplice da comprendere, per quanto riguarda l'aspetto della fiducia, e in grado di aiutare i progettisti nel compito di calibrare la fiducia dell'utente nel contesto di HMI (Human Machine Interface) per veicoli autonomi.

L'interfaccia uomo macchina rappresenta, infatti, il punto di comunicazione tra l'utente e l'auto autonoma, dunque rappresenta un fattore umano coinvolto nel processo di adozione di auto autonome.

Lo studio di Ekman et al sostiene come si possa raggiungere un buon livello di fiducia tramite un HMI ben studiata.

2.5 Aumentare la fiducia

Uno dei fattori più importanti per aumentare il livello di fiducia nelle auto autonome è quello di fornire informazioni sulle capacità e sulle funzioni dell'auto. In generale, quando gli utenti conoscono il sistema autonomo e familiarizzano con esso, la loro fiducia nel sistema incrementa [24].

Lee e Moray [25], nei loro studi, propongono idee su come ridurre la sfiducia nell'automazione, e sostengono anch'essi come l'ansia del guidatore per situazioni imprevedibili può essere ridotta una volta osservato come l'auto gestisca con precisione varie situazioni di guida.

La maggior parte delle persone tende a dare priorità ad elementi quali sicurezza, efficienza e grado di fallimento nel momento di affidarsi a un sistema autonomo. Le informazioni riguardo le performance passate; gli errori commessi, i fallimenti software o hardware sono da considerare fattori che influenzano in maniera positiva o negativa la fiducia verso l'auto autonoma [26].

Jiang et al hanno infatti dimostrato come ci sia una correlazione diretta tra gli specifici tipi di errori e la fiducia che l'utente ripone nel sistema [27]. I risultati dei test effettuati da Jiang et al hanno mostrato un significativo decremento del livello di fiducia a causa di falsi allarmi dati dal sistema.

Conducendo uno studio su un simulatore, Wintersberger, Riener e Frison hanno scoperto che scegliere chi debba guidare ha solo scarso effetto sugli stati emotivi e sulle condizioni mentali [28]. Di conseguenza ciò vuol dire che i passeggeri sono inclini ad accettare già auto autonome, in cui il guidatore non è un umano, ma un sistema robotico.

Butakov e Ionnau suggeriscono come il livello di comfort e fiducia nei confronti del sistema di guida autonomo possano aumentare se il design e il comportamento del sistema siano più simili a quelli umani. A questo scopo, gli autori hanno individuato nella possibilità di modificare dinamicamente il comportamento del sistema di guida autonomo, per quanto

riguarda il cruise control adattivo (rendendo l'auto più o meno conservativa, e quindi la guida più o meno aggressiva/sportiva) e il sistema di mantenimento della corsia, secondo le preferenze personali [29], un elemento importante per incrementare la fiducia nel sistema di guida autonomo.

I concept di visualizzazione esistenti in automobili parzialmente automatizzate visualizzano lo stato del sistema e, quindi, consentono al conducente di monitorare i componenti automatizzati. Questo tipo di informazione è fondamentale nelle auto attuali, in quanto supporta la prevedibilità, un fattore decisamente importante, considerando che l'utente potrebbe essere richiamato ad intervenire alla guida in qualsiasi instante.

La prevedibilità, inoltre, è un fattore che a sua volta genera fiducia.

Hoff & Bashir forniscono anche una serie di raccomandazioni su come progettare sistemi autonomi al fine di aumentare la fiducia dell'utente [21].

Tali raccomandazioni riguardano l'utilizzo di elementi dell'antropomorfismo, l'aumento dell'usabilità, l'utilizzo di comunicazioni educate da parte del sistema, i comportamenti del sistema, che devono risultare trasparenti, e la possibilità per l'utente, per quanto possibile, di intervenire.

La letteratura internazionale ha una lista lunga di raccomandazioni per incrementare il livello di fiducia nei confronti di sistemi robotici.

Le più importanti sono:

- fare in modo che l'utente capisca le funzionalità del sistema robotico,
- aumentare la consapevolezza del fatto che i robot non sono simili agli umani e potrebbero raggiungere obiettivi specifici in modi diversi da quelli umani,
- fornire le informazioni sul perché il robot agisce in un certo modo,
- fornire informazioni sulle prestazioni passate del sistema in modo da aumentare le aspettative razionali su di esso,
- rendere consapevoli gli umani che i robot non sono impeccabili e che hanno dei limiti.

Dunque, per trasmettere fiducia è essenziale che vengano trasmesse delle informazioni all'utente. Come già detto, infatti, lo studio di Ekman et al sostiene come si possa raggiungere un buon livello di fiducia tramite un HMI ben studiata.

2.6 HMI per le auto autonome

Ekman è convinto che utilizzare interfacce uomo-macchina, come diversi tipi di display, sia di fondamentale importanza per informare gli utenti circa le situazioni e gli eventi che stanno per avvenire o essere gestiti. Progettare una buona HMI è uno dei requisiti principali per creare fiducia negli utenti.

Gli studi di Ekman riguardano sostanzialmente la progettazione di HMI per auto semiautonome, in cui il guidatore è sempre chiamato ad essere vigile. Nella letteratura, sono stati identificati sei principali problematiche relative all'HMI, strettamente correlate una dall'altra. Questi fattori sono la consapevolezza della situazione, la confusione, l'usabilità, la perdita di abilità, il carico cognitivo e la fiducia.

La consapevolezza della situazione può essere definita come la comprensione di ciò che ci avviene intorno o, più formalmente, come "la percezione degli elementi dell'ambiente di un volume di tempo e spazio, la comprensione del loro significato e la proiezione del loro stato nel futuro prossimo".

La consapevolezza della situazione è molto importante durante le situazioni in cui c'è un cambiamento improvviso nell'ambiente circostante, quando c'è bisogno che l'utente sia concentrato. In queste situazioni, infatti, per le auto semiautonome, un tale cambiamento nell'ambiente potrebbe portare l'auto a restituire il controllo al guidatore.

Ekman sostiene come sia necessario, per fornire una buona consapevolezza della situazione, mostrare all'utente informazioni sul contesto attuale, ovvero su ciò che l'auto sta controllando in un determinato momento. È necessario che l'utente abbia una buona percezione e comprensione del contesto attuale oltre a una buona proiezione circa gli eventi che accadranno nell'immediato futuro. L'ultima frase fa riferimento al modello mentale, che, precedentemente, abbiamo indicato come un fattore importante per creare la fiducia verso il sistema autonomo. A sua volta la fiducia è un elemento importante nella progettazione dell'HMI, e questo dimostra quanto questi fattori siano tutti correlati l'uno con l'altro.

Per fornire o aumentare la consapevolezza della situazione, Ekman suggerisce di fornire n feedback adeguato tramite display che mostrino, in maniera chiara, le intenzioni dell'auto autonoma.

La *confusione* può essere vista come la scarsa comprensione riguardo il livello di automazione attivo, le sue funzioni e le limitazioni a cui è soggetto. Questa confusione viene generata soprattutto durante le transizioni tra diverse modalità di guida, ad esempio nel passaggio da guida automatica a guida manuale, quando le intenzioni del sistema non vengono mostrate in maniera chiara.

Allo scopo di risolvere questa problematica, Ekman crede che progettare una buona HMI possa aiutare il guidatore a monitorare l'automazione, soprattutto nelle transizioni da una modalità all'altra.

L'usabilità di un'auto autonoma è direttamente collegata alla trasparenza del sistema, alla sua semplicità e alla sua accessibilità, che è sempre un elemento importante, ma in maniera significativa nelle situazioni critiche.

È importante progettare display chiari e intuitivi che consentano all'utente di capire con facilità le caratteristiche del sistema. A questo proposito, è necessario fornire informazioni chiare e facili da comprendere, ma, soprattutto, in modo corretto. L'utente dovrebbe essere in grado di capire a pieno le funzioni del sistema, senza avere un quantitativo di informazioni troppo elevato (richiederebbe molto carico cognitivo).

Durante la progettazione dell'HMI dovrebbero essere considerati fattori come la semplicità, l'intuitività, un buon bilanciamento e la struttura e il dettaglio delle informazioni.

La *perdita di abilità* è riferita al fatto che, usare per lunghi periodi, auto autonome di livello 3 o 4, potrebbe portare a cambiamenti indesiderati nelle abilità di guida manuale dei guidatori che fanno sempre affidamento sull'automazione.

La perdita di abilità può essere a breve termine o a lungo termine. La differenza tra le due sta nel tempo entro il quale la perdita di abilità viene percepita, se nell'immediato, o dopo un periodo di tempo di utilizzo dell'automazione più alto.

Questa problematica non è facilmente risolvibile, ma, progettare una HMI che sia facilmente comprensibile e facile da usare, potrebbe portare a considerare la perdita di abilità come un problema meno importante.

Il *carico cognitivo* può essere visto come la relazione tra il carico mentale richiesto per portare a termine un compito e le risorse mentale di un guidatore. Il carico cognitivo che un guidatore percepisce è strettamente connesso all'abilità della persona di comprendere cosa stia succedendo attorno ad essa.

In scenari in cui non sono presenti situazioni critiche, l'automazione comporta una diminuzione del carico cognitivo, in quanto il guidatore non ha più bisogno di rimanere attivo, specialmente nelle operazioni di routine.

Nelle situazioni in cui, invece, il sistema necessita di supervisione, il carico cognitivo potrebbe, e dovrebbe, aumentare.

In generale, ridurre il carico cognitivo, potrebbe portare a situazioni di guida pericolose quando il sistema di guida autonomo fallisce e richiede l'intervento del guidatore.

La riduzione del carico cognitivo va di pari passo con la riduzione di consapevolezza della situazione. Dare più consapevolezza significa in generale aumentare il carico cognitivo, ma ridurre troppo il carico cognitivo significa dare poca consapevolezza della situazione, il che potrebbe comportare situazioni pericolose quando viene richiesto l'intervento alla guida del guidatore, che non ha ben chiaro cosa gli stia succedendo intorno.

La soluzione sta nell'impegnare mentalmente il guidatore in maniera giusta. A questo scopo le interfacce dovrebbero essere progettate in modo da fornire all'utente informazioni nel giusto momento, quando c'è effettivamente bisogno di un impegno mentale più alto. L'utente, in questo modo, avrà il tempo di adattare il nuovo livello di carico cognitivo.

La *fiducia*, come riportato nel Paragrafo 2.4, è un elemento molto importante per quanto riguarda le auto autonome. Nello stesso paragrafo sono stati riportati i fattori che influenzano la fiducia, studiati dallo stesso Ekman.

Egli ritiene che la fiducia sia un elemento di fondamentale importanza durante la progettazione dell'interfaccia uomo-macchina. La fase di progettazione dell'HMI dovrebbe tener conto, oltre che dei fattori appena riportati, dei fattori che influenzano la fiducia verso il sistema autonomo, allo scopo di cercare di aumentarla.

Koo et al. [30], nel contesto della guida semiautomatica, hanno esplorato in che misura un'informazione fornita dal sistema, relativa ad una specifica azione compiuta dallo stesso, possa influenzare l'attitudine del guidatore nei confronti dell'auto.

In particolare, lo studio rivela che, fornire sia informazioni di *how* che di *why*, garantisce il miglior risultato in termini di sicurezza. In generale, però, la ricezione di più messaggi potrebbe causare confusione e ansia, e contribuire ad aumentare il carico cognitivo del guidatore, costretto ad elaborare più informazioni.

L'utilizzo della combinazione di messaggi di tipo *how* e *why* va, dunque, limitato alle situazioni critiche dal punto di vista della sicurezza.

Ricevere, invece, solo messaggi di tipo *how*, non risulta molto gradito; genera confusione e non è utile al guidatore per capire cosa sia facendo il sistema.

La ricezione del solo messaggio di *why* è quella più apprezzata; genera meno ansia e un grado di fiducia più alto.

Comunicare i messaggi in maniera visiva risulta il modo più immediato per permettere all'utente di recepire le informazioni necessarie [31]. In particolare, nell'ambito delle auto semiautonome, quando i messaggi visivi vengono accostati a messaggi o segnali uditivi, si ottiene una maggiore efficienza dal punto di vista della sicurezza. Naujoks, Mai & Naukum ritengono infatti che questa sia la modalità di comunicazione migliore per richiedere al guidatore di intervenire alla guida [32].

Un esempio di display, di un'auto semiautonoma del presente, è quello di Tesla.

Come mostrato in Figura 2.2, il quadro principale, dove si trova lo speedometro, mostra quello che il sistema autonomo ha rilevato intorno a sé, mostrando il veicolo in 3D e gli eventuali veicoli rilevati, oltre che le linee della strada rilevate dalle camere [33]. Questo tipo informazione viene definito "mondo in miniatura".



Figura 2.2 - Quadro principale di una Tesla a guida autonoma

Haeuslschmid, Max von Buelow, Bastian Pfleging, Andreas Butz affermano che la rappresentazione di un mondo in miniatura, in generale, induca più fiducia nei passeggeri [34].

Il presupposto alla base del loro studio è che la fiducia verso auto autonome possa aumentare visualizzando l'interpretazione stessa dell'auto nelle varie situazioni che si propongono durante la guida e l'azione corrispondente.

Lo studio si concentra sui metodi di visualizzazione comparandone tre: da una parte un *mondo in miniatura*, dall'altra parte un *avatar*, per ultima delle semplici *frecce di svolta*.



Figura 2.2 - Comparativa tra mondo in minatura, avatar e una semplice indicazione

- Il mondo in miniatura è una visione computerizzata della percezione dell'auto nella circostanza, della sua interpretazione e dell'azione da svolgere.
- L'avatar dell'autista reagisce agli stessi eventi del mondo in miniatura ma è più "human-like".
- Infine, le frecce visualizzano dove l'auto ha intenzione di curvare.

I test hanno riguardato quattro situazioni, tra cui la svolta, la presa in carico, da parte dell'auto, di oggetti nelle immediate vicinanze, la gestione di un semaforo stradale e, infine, una situazione di pericolo. Si trattava di video di guida reale con la visualizzazione dell'avatar, del mondo in miniatura o della visualizzazione di base tramite HUD (Head Up Display). Come si può vedere in Figura 2.3, il proiettore era posto sul tetto di una Volkswagen Passat in modo da proiettare un'immagine sufficientemente grande da coprire l'intero campo di visione del parabrezza.

Le frecce di svolta sono state usate solo nella situazione della svolta e rappresentano la baseline dello studio.

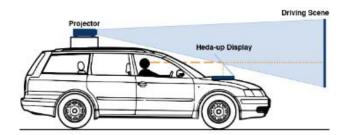


Figura 2.3 – Scenario di svolgimento del test

Il presupposto era che l'avatar avrebbe incrementato la fiducia verso l'auto, in quanto, in uno scenario di guida, gli umani normalmente si fidano di altri umani, come nel caso di un altro conducente o in un taxi.

I risultati hanno però mostrato che, invece, il mondo in miniatura è in grado di indurre più fiducia. Le frecce di svolta si sono rivelate come la visualizzazione meno preferita; le altre due, considerate più intelligenti, hanno avuto effetti migliori, dando un senso di sicurezza maggiore.

Il mondo in miniatura è in grado di trasmettere un sentimento più forte di competenza del sistema, ed è più adatto ad un sistema tecnico come quello di un'auto autonoma rispetto ad una visualizzazione di tipo umano.

Le aspettative sull'avatar, sul fatto che potesse creare un sentimento di fiducia più forte nel senso di comfort, non sono state soddisfatte.

Quello della competenza è un fattore più importante, considerando che le situazioni a cui un'auto autonoma deve andare incontro sono situazioni critiche dal punto di vista della sicurezza.

Vale la pena evidenziare, inoltre, che tipo di display utilizzare per la visualizzazione delle informazioni necessarie a indurre fiducia ai passeggeri.

A questo proposito risulta utile considerare uno studio effettuato in ambiente simulato in cui vengono messi a confronto tre tipi di display in realtà aumentata per fornire informazioni al guidatore [35]:

- **HUD** (Head Up Display) che consiste nel vedere proiettate le informazioni direttamente sul parabrezza,
- **HMD** (Head Mounted Display), uno schermo montato sulla testa dell'utente attraverso un casco ad hoc,
- un classico **HDD** (Head Down Display), un monitor posto al lato del volante.

Partendo dall'HDD, questo non ostacola la visuale del guidatore e fornisce un'immagine chiara delle informazioni da fornire; di contro, bisogna togliere gli occhi dalla strada.

La caratteristica positiva dell'HMD è che permette al guidatore di avere sempre in vista le informazioni, ma, di contro, blocca la visuale.

Infine, l'HUD fornisce una visuale molto ampia e non bisogna togliere gli occhi dalla strada; le principali sfide da affrontare dipendono dal livello di visibilità in caso di luce diretta del sole e nel caso di ostruzioni del mondo reale.

Lo studio prevedeva una simulazione di guida, in ambiente virtuale, in cui venivano testati i tre metodi per dare informazioni. Lo scopo della guida era arrivare alla destinazione nel minor tempo possibile seguendo le istruzioni sul display, non eccedendo il limite di 60km/h, guardandosi attorno in cerca di personaggi virtuali nella scena, piazzati in posizioni strategiche nella città per misurare quanto l'utente fosse attento in situazioni in cui, durante una vera condizione di guida, avrebbe avuto bisogno di guardarsi attorno (come ad esempio ad un incrocio).

Sotto ogni aspetto (errori di navigazione, eccedenza del limite di velocità, numero di personaggi individuati), l'HUD è risultato il display migliore. I feedback dicono che l'HUD risultava semplice e facile da leggere, l'HDD richiedeva di guardare in basso e togliere gli occhi dalla strada portando ad errori, l'HMD era facile da vedere (anche quando non lo si voleva), ma era difficile concentrarsi sul display e sul mondo reale allo stesso tempo.

Dunque, in conclusione, il sistema di display HUD sembrerebbe essere quello da preferire per fornire informazioni ad un guidatore.

2.7 HUD in realtà aumentata

Mediante l'utilizzo di un HUD, le informazioni possono essere mostrate in maniera spazialmente dissociata rispetto all'ambiente reale, oppure in modalità *contact-analog*, ovvero in maniera spazialmente legata all'ambiente reale.



Figura 2.4 - HUD e modalità di rappresentazione delle informazioni

In Figura 2.4 sono mostrati due HUD: il primo (sulla sinistra) non in modalità contact-analog, il secondo (sulla destra) in modalità contact-analog.

I principi di Gestalt [36] suggeriscono che, rappresentare due stimoli vicini spazialmente l'un l'altro, che nel caso dell'HUD in modalità contact-analog corrispondono ad uno stimolo virtuale ed uno fisco, risulta più efficace dal punto di vista della comprensione.

Il legame spaziale aiuta i guidatori a ridurre i tempi di reazione, pur generando distrazione a causa della presenza di informazioni e simboli collocati dappertutto nel suo campo di vista.

La ricerca è molto attiva nell'ambito di utilizzo di AR-HUD (Augmented Reality Head Up Display) per auto in guida manuale o semaiatunoma.

Gli AR-HUD, tramite la proiezione di informazioni direttamente sul parabrezza, contribuiranno ad aumentare l'esperienza di guida e la sicurezza stradale, oltre che a incrementare la fiducia nelle auto del presente ma anche in quelle autonome [37].

Heaeuslshmid et al. [36] hanno dimostrato come un WSD (Windshield Display), ovvero un HUD che proiettasse sul parabrezza informazioni in modalità contact-analog, rispetto all'assenza di informazioni, comporti una capacità di individuare ostacoli più veloce ed efficace, oltre ad un comportamento di guida in generale più attento.

Nell'ambito della guida autonoma, la ricerca in merito all'utilizzo degli AR-HUD è meno attiva.

Bonte, amministratore delegato e vicepresidente presso ABI Research, sostiene che questo tipo di tecnologia possa aiutare i consumatori nel processo di transizione verso le auto autonome [38]. Durante questo processo, egli ritiene sia importante tenere informato l'utente, mostrandogli informazioni di contesto, ovvero ciò che sta accadendo intorno all'auto; le informazioni dovrebbero mostrare come questa sia in grado di gestire rischi ed emergenze. Mostrare queste informazioni contribuirà a guadagnare la fiducia nelle capacità delle auto autonome.

Un sovraccarico di informazioni, però, può risultare pericoloso, soprattutto se accostate ad informazioni commerciali o di intrattenimento.

Bonte non è in grado di stabilire quando questa tecnologia verrà adottata in quanto estremamente complessa. Proiettare informazioni in modo accurato, con un buon livello di precisione, richiede, infatti, software di elaborazione delle immagini molto sofisticati.

A questo si aggiungono sfide realizzative legate alla scarsa visibilità di tali sistemi in condizioni di luce diretta.



Figura 2.5 - Concept di un'auto autonoma equipaggiata con WSD

2.8 Simulazioni di guida autonoma

Secondo Danny Atsmon, amministratore delegato di Cognata, una compagnia israeliana di intelligenza artificiale e deep learning, la simulazione è la tecnologia chiave che permetterà lo sviluppo e la validazione di auto autonome su larga scala [39].

La piattaforma di Cognata ricrea un scenario di test simulato in cui è presente un modello di traffico basato sull'intelligenza artificiale, oggetti del mondo reali come palazzi, strade e tutti gli elementi di uno scenario cittadino. La piattaforma simula inoltre gli input provenienti dai sensori dell'auto, simula più condizioni climatiche e "casi limite", come, ad esempio, un pedone che corre davanti l'auto.

La piattaforma di Cognata viene utilizzata da AID (Autonomous Intelligent Driving), una sezione di Audi che si occupa dello studio delle auto autonome.

Cognata non è l'unica compagnia a realizzare simulatori nell'ambito della guida autonoma. rFpro [40] è un simulatore di guida utilizzato per il deep learning nell'ambito delle auto autonome, per lo studio dei sistemi di assistenza alla guida ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) e tutto quello che concerne il test virtuale.

rFpro fornisce soluzioni in grado di simulare le varie dinamiche delle auto, ovvero le sue prestazioni e i suoi comportamenti. Il nome originario di rFpro era "rFactor Pro"; nacque nel 2007 come progetto di un team di Formula 1, il cui obbiettivo era quello di simulare le dinamiche di strada, le performance, le velocità di risposta delle vetture più veloci al mondo. Il simulatore rFpro è attualmente utilizzato da sei delle 10 più grandi OEM (Original Equipment Manufacter) al mondo per effettuare test virtuali con auto stradali, sistemi di controllo e relativi sottosistemi.

Nell'ambito specifico della guida autonoma, rFpro fornisce un'ambientazione per lo sviluppo, l'addestramento e la validazione di sistemi di deep learning per le auto autonome. La qualità dell'ambientazione 3D e il realismo grafico sono due fattori ritenuti molto importanti, considerando che i sistemi di sviluppo testati si basano sul machine learning proveniente da sensori, camere, LiDAR e radar.

rFpro mette a disposizione centinaia di chilometri di modelli di strade pubbliche del nord America, dell'Asia e dell'Europa, includendo autostrade, strade urbane, extraurbane, tutte ricreate fedelmente a partire dal mondo reale.

Anche Nvidia crede che, prima di mettere un'auto autonoma su strada, è necessario che questa venga testata accuratamente in una varietà di condizioni e scenari elevati.

A questo scopo ha creato il simulatore NVIDIA Drive Constellation AV, che permetterà di generare test di auto autonome su milioni di chilometri in realtà virtuale [41].

Drive Constellation fa utilizzo di simulazioni fotorealistiche in grado di ricreare vari scenari e ambientazioni di test. Mediante l'utilizzo del software Drive Sim, che su un apposito server, ha il ruolo di simulare i sensori presenti in un'auto autonome, come, ad esempio, LidAR, radar, videocamere, è possibile testare l'auto in condizioni rare come temporali, nevicate, bagliori acuti in momenti diversi della notte e del giorno.

Un secondo server contiene il computer automobilistico Drive AGX Pegasus, che esegue il software completo di guida autonoma. Il sistema elabora dunque i dati simulati, come se provenissero dai sensori presenti effettivamente nelle auto reali.

Toyota sta supportando lo sviluppo di un simulatore di guida open source con un investimento di 100000\$ attraverso il TRI (Toyota Reasearch Institute) [42].

Il simulatore sul quale sta investendo è chiamato CARLA (Car Learning to Act) [43] ed è stato sviluppato dal CVC (Computer Vision Center) dell'università autonoma di Barcellona. Tale simulatore viene utilizzato per testare i sistemi di guida autonoma nelle aree urbane. La simulazione supporta specifiche di più sensori, comunemente utilizzati nelle auto autonome, e più condizioni atmosferiche e ambientali.

Sotto stessa ammissione del Dr. Antonio López, responsabile del progetto al CVC, il lavoro da fare per raggiungere una buona maturità del sistema è ancora tanto, ma il supporto di Toyota è molto prezioso.

BMW ha invece costruito una vera e propria struttura, il cosiddetto Driving Simulation Center, che punta ad essere il punto di riferimento per la simulazione di situazioni di guida, classiche del mondo reale [44].

Il simulatore fa utilizzo di piattaforme inerziali in grado di simulare fedelmente le forze longitudinali, trasversali e rotazionali a cui si è soggetti durante la guida di un'auto. La struttura comprenderà 14 simulatori e laboratori per un investimento totale stimato intorno ai 100 milioni di euro.

Lo scopo di BMW è quello di "portare la strada all'interno del laboratorio", ovvero riprodurre in maniera più realistica possibile, situazioni di guida urbana, che rappresentano la sfida più grande per quando riguarda le auto autonome, in modo da migliorare costantemente le risposte dei sistemi di guida.

Anche Microsoft, tra i tanti big dell'informatica, ha deciso di investire sulla guida autonoma, creando il simulatore di realtà virtuale AirSim [45]. Lo scopo di Microsoft è di utilizzare AirSim per simulare la guida autonoma. Si tratta di un progetto open source, realizzato in Unreal Engine, utilizzabile da chiunque sviluppi software di guida autonoma per testare le proprie tecnologie. Secondo Microsoft, questo approccio è di grande aiuto per chi sviluppa software di questo tipo, perché permette di abbattere i costi di test.

AirSim offre una piccola città virtuale, estesa dodici isolati, che presenta tutti gli elementi classici di uno scenario urbano, ad esempio segnaletiche, semafori, cantieri.

Tra i simulatori di guida open source, è necessario inoltre citare Genivi Vehicle Simulator [46], prodotto da GENIVI Alliance [47], interamente sviluppato in Unity3D. Il simulatore prevede tre scenari: uno scenario urbano, ispirato alla città di San Francisco, uno scenario costale, ispirato alla Pacif Coast Highway e, infine, uno scenario ispirato a Yosemite.

Tutti gli scenari contengono gli elementi tipici dello scenario di appartenenza, oltre che ad un sistema di traffico.

Genivi Vehicle Simulator permette di utilizzare due auto, una Jaguar XJ ed una Land Rover L405 e, in generale, di modificare una moltitudine di settaggi per quanto riguarda la fisica del veicolo, come, ad esempio, la ripartizione di pesi, il sistema di trazione, l'indice di attrito degli pneumatici, il regime di cambiata delle marce del cambio e così via.

2.9 Considerazioni

Nell'immaginario del domani chi sta in auto non è più un guidatore, ma usa l'auto solo come mezzo di trasporto e, più che restare a guardare la strada, dovrebbe distrarsi e dedicare il tempo di viaggio a qualsiasi attività ritenga utile. Potrebbe guardare un film, leggere un libro, o perché no, dormire.

L'auto dovrebbe avere tutto sotto controllo, ma, al tempo stesso dovrebbe farlo capire all'utente. Dalle ricerche riportate in questo capitolo si evince, infatti, come sia opportuno, per stabilire un livello di fiducia adeguato nell'auto, fornire all'utente informazioni di contesto, ovvero una visualizzazione dell'interpretazione della situazione corrente da parte dell'auto.

È necessario inoltre che l'utente si renda conto che il sistema di guida autonoma sia in grado di gestire varie situazioni di guida, in particolare quelle che coinvolgono dei rischi.

Alla luce di quanto emerso dai test di Intel, la fiducia si acquisterà man mano che le auto cominceranno ad essere testate ed usate. Trattandosi di una nuova tecnologia la diffidenza è un concetto normale. La stessa diffidenza e mancanza di fiducia scomparirà probabilmente da sola, col passare del tempo. Come anticipato, infatti, già dal primo viaggio, dopo aver visto con i propri occhi le capacità dell'auto autonoma durante le varie situazioni di guida, alcuni utenti si sono sentiti al sicuro in macchina tanto da ritenere fastidiosi gli avvisi continui del sistema.

Probabilmente, a lungo andare, quello che il passeggero vorrà vedere è solo un'informazione minimale; non è così assurdo pensare che probabilmente nel futuro i passeggeri non vorranno alcun tipo di informazione. In auto di livello 5, il task di guida è completamente nelle mani del sistema di guida autonoma. L'utente ricopre il ruolo di semplice passeggero, dunque non è scontato dire che possa preferire una visualizzazione di contesto omnicomprensiva, perché potrebbe, ad esempio, richiedere un carico cognitivo eccessivo.

Ad oggi, macchine autonome di livello 5 sono in fase di sperimentazione e la progettazione della relativa HMI è ancora in fase di studio.

La letteratura non contiene studi su quali tipi di informazione siano più utili all'utente e quali meno, dunque non sappiamo, per auto di livello 5, quanta e quale tipo di informazione è necessario fornire.

Sulla base di questi ragionamenti si può intuire come l'utente potrebbe preferire una visualizzazione di contesto selettiva, ovvero solo una selezione tra la totalità delle informazioni di contesto.

Concentrandosi sulle informazioni di contesto, uno dei fattori rilevanti per lo studio dell'HMI, l'obbiettivo della tesi è quello di progettare due versioni di visualizzazione di informazione, da una parte una versione omnicomprensiva, dall'altra una versione selettiva e metterli a confronto.

Questo tipo di confronto potrà essere effettuato in un ambiente simulato; nel paragrafo precedente si è fatto notare come l'utilizzo di simulatori di guida, anche nell'ambito delle auto autonome, sia una pratica comune, anche per grandi aziende, e come esistano dei simulatori open source da poter utilizzare come base di partenza.

In un ambiente simulato, i problemi tecnologici relativi all'HUD scompaiono, dunque sarebbe preferibile considerare tale sistema per la visualizzazione delle informazioni di contesto. Come fatto notare, questa tecnologia risulta la più adeguata nelle auto semiautonome, ma viene considerata la più adeguata anche per le auto autonome del domani.

L'HMI è influenzata da diversi fattori. Nell'ambito del presente è necessario considerare il carico cognitivo, la competenza del sistema, la consapevolezza della situazione e la fiducia. La fiducia rappresenta un elemento di particolare importanza nello studio dell'HMI, così come rappresenta un fattore di particolare importanza nell'ambito delle auto autonome. La questione fiducia deve ricoprire un ruolo centrale nello sviluppo del progetto; è necessario quindi seguire le indicazioni e le linee guida presenti in letteratura, dopodiché *verificare se le*

informazioni fornite si siano rivelate utili o meno a stabilire un buon livello di fiducia.

Un altro fattore molto importante nello studio dell'HMI è la consapevolezza della situazione. In particolare questo fattore assume un'importanza rilevante nelle auto semiautomatiche; in tali auto è necessario che il guidatore acquisisca un livello alto di consapevolezza della situazione; è necessario che l'auto mostri con chiarezza all'utente tutto quello che è riuscito a percepire dall'ambiente circostante perché è possibile che venga richiesto un suo intervento alla guida; il conducente deve essere quindi in grado di capire il perché il sistema stia per fallire.

Nelle auto autonome di livello 5 l'utente, nel ruolo di passeggero, è libero di distrarsi; dunque, ottenere un livello alto di consapevolezza della situazione potrebbe non essere prioritario. La letteratura spiega come dare informazioni di contesto aumenta la consapevolezza della situazione, dunque mettere a confronto due versioni di visualizzazione di informazione ci permette di ragionare in termini di quanta consapevolezza della situazione è desiderata dall'utente in auto autonome di livello 5.

Il confronto tra le due versioni di visualizzazione ci permette di effettuare studi su come dovrebbe essere caratterizzata un HMI di un'auto autonoma in generale, per quanto riguarda i sensi di vista e udito, nel fornire informazioni di contesto.

Durante il confronto è altresì possibile valutare il fattore fiducia che, come si diceva, rappresenta un fattore fondamentale nell'ambito delle auto autonome e nella progettazione dell'HMI. In particolare è possibile valutare se dare più consapevolezza della situazione sia necessario per creare il giusto livello di fiducia, oppure, alla luce dei risultati degli esperimenti effettuati da Intel, la fiducia si acquisisce man mano che l'utente prende confidenza con l'auto, man mano che capisce come l'auto gestisce le varie situazioni che si verificano durante la guida, dunque anche una consapevolezza della situazione minore, in auto di livello 5, riesce a garantire un livello di fiducia, nei confronti dell'auto, adeguato.

Capitolo 3

Tecnologie impiegate

Per la realizzazione del progetto di tesi è risultato necessario adottare diverse tecnologie. Parlando invece di hardware, si è fatto utilizzo di varie apparecchiature, che verranno analizzate in dettaglio, che hanno permesso di immergere l'utente in realtà virtuale e di realizzare un simulatore di guida veritiero.

Parlando di software, l'intero progetto è stato sviluppato con il motore grafico Unity3D.

3.1 Unity3D

Il motore grafico è il nucleo software che consente ad una applicazione con grafica, o ad un videogioco, di esporre contenuti in tempo reale.

Unity3D consente quindi di creare videogiochi 3D o altri contenuti interattivi, come animazioni in 3D o visualizzazioni architettoniche, in tempo reale, e su più piattaforme.

Fornisce un'ambiente di sviluppo visuale che consente di lavorare alle applicazioni con grafica; la logica può essere scritta mediante il linguaggio di programmazione C#.

Si tratta dunque di un insieme di strumenti completo per la realizzazione di videogiochi o progetti interattivi, rendendo molto più semplice e veloce il processo di sviluppo.

Molti sviluppatori di giochi indipendenti utilizzano Unity3D per risparmiare e distribuire i propri giochi su più store; una volta creato il videogame, è infatti possibile esportarlo per più piattaforme desktop (Mac, Windows e Linux), ma anche per Web e per marketplace e store per device mobile come Windows Store, Windows Phone, Android, iOS ecc.

Molti giochi, anche molto noti, sono stati creati con questo tool. Il team Rovio, ad esempio, creatore del noto gioco Angry Birds, ha utilizzato Unity3D per la creazione del gioco Bad Piggies.

La logica del gioco viene gestita tramite scripts, pezzi di codice che permettono di stabilire i comportamenti che ogni oggetto deve avere quando, ad esempio, avviene un determinato evento, o per la gestione dell'interfaccia.

Unity3D permette di esportare il progetto come soluzione di Visual Studio.

3.1.2 Visual Studio

Visual Studio è un IDE (integrated development environment, ambiente di sviluppo integrato), ovvero un software che aiuta il programmatore a scrivere il codice.

Sviluppato da Microsoft, supporta diversi tipi di linguaggio: i linguaggi della famiglia C, quindi C, C++, C#, oltre a Visual Basic, Html e JavaScript.

Permette dunque di realizzare applicazioni desktop, con o senza interfaccia grafica, ma anche siti web, applicazioni web e servizi web.

Nell'ottica del nostro progetto, Visual Studio è stato utilizzato per scrivere tutti gli scripts necessari a creare la logica del progetto in Unity3D.

Il linguaggio utilizzato per la scrittura degli scripts è stato C#, un linguaggio orientato agli oggetti, sviluppato da Microsoft, abbastanza simile a linguaggi nati precedentemente, su tutti Java.

3.2 Realtà virtuale

La realtà virtuale immersiva nasce dalla combinazione di dispositivi hardware e software, la cui collaborazione, permette di creare uno spazio virtuale, una realtà simulata, all'interno del quale l'utente può immergersi e muoversi liberamente.

L'avanzamento delle tecnologie informatiche permette di navigare in ambientazioni fotorealistiche in tempo reale.

L'idea alla base è di utilizzare visori VR, insieme ad altri accessori, in modo da poter "vivere" all'interno della realtà virtuale e poter quindi interagire con gli oggetti presenti nelle ambientazioni.

La realtà virtuale potrebbe essere creata tramite sistemi totalmente immersivi in cui l'utente possa utilizzare tutti i sensi umani all'interno delle ambientazioni.

Dunque si crea un mondo simulato e tridimensionale, che, agli occhi, e non solo, degli utenti appare, appunto, come reale.

Oltre a poter esplorare ogni punto e in ogni direzione l'ambientazione in cui si trova, l'utente potrà percepire cosa gli succede intorno semplicemente voltando la testa.

Sentirà i rumori provenienti dai singoli oggetti presenti nell'ambientazione di riferimento e potrà interagire con essi tramite l'utilizzo di vari accessori che i produttori delle tecnologie hardware mettono a disposizione insieme ai visori.

La realtà virtuale immersiva, per il prossimo futuro, potrà essere utilizzata dalla massa grazie ad alcune periferiche, in parte già utilizzate:

• visore – si tratta di un casco o di semplici occhiali in cui gli schermi vicini agli occhi fanno sì che il mondo reale venga escluso dalla visuale dell'utente. Il visore contiene inoltre dei sistemi per la rilevazione dei movimenti, in modo che, girando la testa da un qualsiasi lato, si ottenga l'azione anche nell'ambiente virtuale. Visori più costosi e professionali forniscono altri sensori in grado di trasferire nella realtà virtuale non solo la semplice rotazione della testa, ma tutti i movimenti del casco, dallo spostamento in avanti o indietro della testa, fino ad uno spostamento dovuto ad una camminata dell'utente nell'ambiente che percepisce grazie al visore.

- auricolari solitamente i visori (professionali) consentono di collegare direttamente ad essi gli auricolari in modo da trasferire i suoni all'utente, lasciando più libertà di movimento.
- wired gloves (guanti) i guanti possono essere utilizzati per rimpiazzare tutti quei dispositivi di input tradizionali, come mouse, tastiera, oppure joystick ecc.., in modo da creare l'immagine e i movimenti delle nostre mani nell'ambiente virtuale, ma potrebbero essere utilizzati anche per impartire comandi, oppure digitare su tastiere virtuali, e, in generale, per molte applicazioni.
- *cybertuta* si tratta di una tuta che avvolge il corpo e può avere molteplici utilizzi: potrebbe simulare il tatto, flettendo su se stessa grazie al tessuto elastico, potrebbe realizzare una scansione tridimensionale del corpo dell'utente in modo da trasferirla nell'ambiente virtuale, oppure ricreare i movimenti di tutti gli arti dell'utente.

La differenza con una realtà virtuale non immersiva consiste nel fatto che, nel secondo caso, si fa semplicemente uso di un monitor che fa da finestra verso il mondo tridimensionale; l'utente potrà interagire tramite joystick appositi o più in generale tramite mouse e tastiera. Pare abbastanza chiaro come l'effetto che ne deriva sia assolutamente diverso rispetto ad una realtà virtuale immersiva, in cui è molto più semplice che l'utente si trovi più coinvolto e in generale distratto del tutto dalla realtà.

La realtà virtuale può essere utilizzata in varie maniere, ad esempio viene utilizzata nei musei e nei siti archeologici; un campo dove la realtà virtuale può riscontrare enormi applicazioni è sicuramente quello del gaming; in questo campo infatti le aziende stanno investendo molto ed è un futuro che già presto potrebbe diventare realtà.

Il mondo virtuale, strettamente inteso, è, però, un ambiente idoneo a compiere vari tipi di esperimento di vita artificiale, allo scopo di studiare i comportamenti sociali degli umani in situazioni particolari.

In una situazione, ad esempio, di pericolo si potrebbe valutare come reagirebbe l'utente in una tale situazione, quanto starebbe attento alle eventuali indicazioni che gli verrebbero fornite e quanto l'emotività (ansia, paura) influenzerebbe le sue decisioni.

I risultati di un tale esperimento potrebbero essere utilizzati per sensibilizzare gli utenti, per valutare cosa, in queste situazioni, funziona e cosa no, in modo da intervenire e migliorare i punti deboli e, in generale, fare un passo avanti nell'ambito della sicurezza.

Non solo, la realtà virtuale immersiva potrebbe venire utilizzata come forma di addestramento o di allenamento.

Tra i tanti esempi è possibile citare la NASA, che, agli allenamenti tradizionali, negli ultimi tempi ha accostato la realtà virtuale per svolgere addestramenti realistici, simulando condizioni a gravità zero [48].

Il senso dell'esperienza virtuale è dato dalla relazione tra *presenza* e *immersione*. Con presenza si intende il livello di realismo psicologico che l'utente percepisce in un'ambientazione virtuale, grazie al rapporto istantaneo con esso, alla sua evoluzione rispetto alle aspettative e alle previsioni, e grazie all'interazione con gli oggetti presenti nell'ambiente.

Considerando un semplice esempio: ci troviamo in un'ambientazione virtuale e lasciamo la presa di un oggetto fragile.

Ciò che l'utente si aspetta e che, innanzitutto, l'oggetto cada a terra, senza fluttuare nell'aria, e che, al contatto con il suolo, si rompa o si danneggi gravemente. Se ciò non accadesse, l'aspettativa dell'utente non risulterebbe soddisfatta, dunque si perderebbe il senso di presenza nell'ambientazione virtuale.

Per immersione si intende, invece, la capacità dell'ambiente virtuale di coinvolgere, dal punto di vista percettivo, i sensi del soggetto e distaccarlo dall'ambiente reale.

Da un punto di vista psicologico, l'immersione si realizza con l'impiego e il coinvolgimento delle risorse cognitive del soggetto.

Considerando ancora l'esempio dell'oggetto lasciato cadere a terra, l'immersione è data, oltre che dalle conseguenze a livello visivo delle caduta, dal suono prodotto dall'impatto col terreno, e, prima ancora, dalla sensazione tattile che l'oggetto scivoli dalla mano, anche dall'attivazione di processi automatici, propri degli esseri umani, legati al tentativo di evitarne la caduta, cercando quindi di riprendere l'oggetto prima che entri in contatto con il terreno.

Tra gli attuali dispositivi di realtà virtuale in commercio quelli più utilizzati sono l'HTV Vive [49] e l'Oculus Rift [50].

Una considerazione importante è che il visore virtuale può essere sopperito da un supporto VR per smartphone, una sorta di visore che non fa altro che reggere lo smartphone e regolare le varie misure, creando effetti 3D; la componente video viene dunque elaborata e visualizzata dallo smartphone.

Ovviamente, un tale sistema risulta molto meno costoso, ma è adattabile a molti smartphone e molto semplice da utilizzare.

Per il progetto oggetto della tesi, nell'ambito della realtà virtuale si è utilizzato un visore HTC Vive ed un Leap Motion Controller per il tracciamento delle mani.

3.2.1 HTC Vive

La differenza sostanziale tra un supporto VR per smartphone e un visore virtuale come HTC Vive sta nel fatto che quest'ultimo permette non solo di vedere il mondo virtuale tramite il visore ottico, ma, grazie alla tecnologia "room scale" e l'utilizzo di sensori da porre nella nostra stanza reale, trasforma l'ambientazione virtuale che circonda l'utente in uno spazio 3D in cui l'utente è libero di muoversi. Il tracking della testa è molto preciso e, grazie all'utilizzo di tracker che, tenuti in mano, vengono visualizzati nell'ambiente virtuale (allo scopo di tenere traccia anche nell'ambientazione virtuale dei movimenti delle mani), l'esperienza risulta particolarmente immersiva, avendo l'utente molta possibilità di interazione.



Figura 3.1 - HTC Vive e relativi accessori

3.2.2 Leap Motion Controller

Nello scenario del progetto, trattandosi in primo luogo di un simulatore di guida, l'utente dovrebbe avere la possibilità di interagire con il volante e con l'auto in generale. Risulta fondamentale, perciò, visualizzare nell'ambientazione virtuale le proprie mani e i loro movimenti.

A tale scopo si è fatto utilizzo di un dispositivo chiamato Leap Motion Controller.

Può essere attaccato direttamente sul visore e, grazie ai sensori presenti all'interno del dispositivo, è in grado di individuare le mani e tracciarne i movimenti.



Figura 3.2 - Esempio di utilizzo di un Leap Motion Controller

3.3 Simulatore di guida

Il progetto realizza, in primo luogo, un simulatore di guida. Rendere quanto più reale una tale esperienza significa utilizzare hardware specifico che consenta all'utente di trovarsi in una situazione quanto più possibile vicina ad una situazione di guida reale.

Dunque, l'utente dovrebbe essere seduto su un sedile ed utilizzare un volante e dei pedali, proprio come avviene in macchina.

I volanti utilizzati per simulazioni di guida offrono un livello di realismo molto alto.

Il volante, oltre ad essere un dispositivo di input in grado di controllare quanto l'auto debba sterzare, è un qualcosa di più perché deve essere in grado di restituire all'utente tutte quelle sensazioni che un volante reale, in un'auto reale, restituisce al guidatore.

In un'auto reale, il volante, controllando direttamente le ruote del veicolo, subisce spostamenti e forze dovute al fondo stradale. Basti pensare alla sensazione che si ha sul volante quando guidiamo su un fondo stradale sterrato o comunque sconnesso; il volante non sta fermo e ci restituisce quella sensazione di ridotta aderenza dovuta alle sconnessioni del fondo stradale.

Al contrario, pensando ad una situazione in cui, avendo guidato su un fondo stradale sconnesso, passiamo ad un fondo stradale ben asfaltato e ben tenuto, quello che percepiamo sul volante è un cambiamento non indifferente; il volante rimane fermo e non subisce spostamenti, restituendoci una sensazione di completa aderenza. Il volante diventa più "pesante".

Il volante subisce spostamenti anche in seguito a dossi, buche, dovuti al colpo che le ruote subiscono, che viene direttamente percepito sul volante.

I volanti utilizzati per simulazioni di guida sono pensati soprattutto per situazioni di simulazioni di corse, quindi con auto sportive da portare al limite.

In una situazione reale di auto sportive guidate al limite in pista, la sensazione che il pilota riceve dal volante ricopre un ruolo fondamentale perché è grazie a quella sensazione che il pilota può stabilire quanta fiducia riporre nel mezzo; grazie a quella sensazione può capire dov'è il limite di aderenza, quanto può spingere in una determinata curva o quanto può aprire il gas in uscita di curva.

Quando l'aderenza delle ruote diminuisce in curva si verifica il fenomeno del sottosterzo. Un bravo pilota dovrebbe riuscire a percorrere la curva alla maggior velocità possibile senza perdere aderenza, dunque affrontare la curva al limite del sottosterzo.

La conseguenza del sottosterzo è una perdita di aderenza recuperabile solo riducendo la velocità. La sensazione che si ottiene dal sottosterzo è una perdita del volante, ovvero un alleggerimento improvviso del volante; l'auto non risponde più alla sterzata effettuata dal pilota e sterzare di più non ha ovviamente alcun effetto.

Di contro, quando l'auto torna a prendere aderenza, il volante torna improvvisamente ad essere ben presente e pesante.

Senza questo feedback del volante, un pilota non potrebbe capire in un determinato momento quant'è l'indice di aderenza della sua vettura e trovare il limite diventerebbe molto difficile, se non impossibile.

Un altro aspetto da considerare è quello del sovrasterzo. Nelle auto a trazione posteriore, un colpo improvviso di acceleratore comporta una perdita di aderenza nelle ruote posteriori.

Considerando nuovamente una guida sportiva in pista, in cui la stragrande maggioranza delle auto da corsa sono a trazione posteriore, in uscita di curva il pilota dovrebbe riuscire ad accelerare a fondo il prima possibile, in modo da uscire più velocemente possibile dalla curva e raggiungere la velocità di punta più alta possibile nel prossimo rettilineo.

Un colpo di gas troppo repentino può portare dunque a sovrasterzo, la cui conseguenza drastica è il cosiddetto testacoda.

Il pilota deve dunque essere bravo ad aprire il gas in maniera graduale, ma, al tempo stesso, più velocemente possibile per i motivi spiegati sopra.

Ha dunque bisogno di sentire quella sensazione di perdita di aderenza del posteriore in modo da riuscire, ancora una volta, a capire il limite.

La sensazione che si prova sul volante è uno spostamento improvviso verso l'interno della curva. Istintivamente, quando un pilota sente questa sensazione, controsterza (sarebbe saggio anche lasciare l'acceleratore) in modo da controllare il sovrasterzo (la cosiddetta derapata) e riprendere l'aderenza necessaria per uscire dalla curva il più in fretta possibile.

Tutte queste sensazioni che un volante reale di un'auto reale è in grado di regalare al guidatore, vengono percepite dagli utilizzatori anche nei volanti pensati per le simulazioni. I motori presenti all'interno del volante sono in grado di simulare in maniera molto realistica tutte le situazioni citate. Tale tecnologia è detta force feedback (retroazione della forza).

E' una tecnologia in grado di opporre una resistenza alla forza impressa dall'utente per controllare il dispositivo; permette quindi di modificare dinamicamente la percezione del peso del volante, o addirittura muovere forzatamente il volante, opponendosi ai movimenti dell'utente che, dunque, non è libero di muovere il volante nello spazio, come potrebbe desiderare.

Anche i pedali hanno un ruolo fondamentale nelle simulazioni di guida. La differenza di materiale modifica sicuramente il feeling che il piede percepisce, ma ciò che fa la differenza è sicuramente la forza necessaria a premerlo.

Quello che ci si aspetta infatti che il pedale di accelerazione sia più "morbido" rispetto al pedale del freno che, invece, deve essere molto rigido, soprattutto a fine corsa.

Le pedaliere professionali di nuova generazione rispondo in maniera molto accurata alla pressione del pedale e offrono un ottimo feeling sotto al piede. La frenata risulta molto veritiera e offrono controllo separato dei vari pedali su assi diversi, ovvero è possibile, ad esempio, frenare ed accelerare allo stesso momento; questo non avviene nelle pedaliere economiche che invece hanno freno e acceleratore in un unico asse (accelerare e frenare allo stesso momento equivale a non premere ne acceleratore ne freno).

3.3.1 Forza Motosport Wheel Bundle Fanatec

Il set di simulazione utilizzato, per il nostro progetto, è un bundle, prodotto da Fanatec [51], che prevede la base motorizzata al quale collegare un volante, con relativa pulsantiera e cambio al volante, una pedaliera a tre pedali e un cambio utilizzabile sia nella configurazione ad H che nella configurazione sequenziale.



Figura 3.3 - Fanatec Forza Motorsport Wheel Bundle

Si tratta di una serie di componenti di simulazione professionale.

La base motorizza, ClubSport Wheel Base v2.5, è il cuore del sistema. A questa base si possono collegare vari tipi di volanti, a discrezione dell'utente.

La base contiene tutti i motori e le componentistiche hardware utili a generare il force feedback e a regalare una simulazione molto veritiera.

Con un angolo di rotazione massimo di 900° e motori molto potenti, è possibile creare la propria configurazione e adattare il volante per situazioni completamente diverse, da quelle di una guida in pista con una Formula 1, dove vorremmo un angolo di rotazione ridotto ma un peso del volante alto e il force feedback ben presente, ad una guida stradale, dove, al contrario, vorremo un angolo di rotazione ampio e il force feedback meno presente.

Il volante presente nel bundle, il ClubSport Steering Wheel Universal Hub, prevede una pulsantiera completa, per creare piena compatibilità con tutti i videogiochi e con le console supportate. La pulsantiera è completamente smontabile ed è possibile montare i pulsanti nelle posizioni che riteniamo più opportune lasciando piena libertà all'utente di configurare il volante secondo le proprie necessità.

Un piccolo display ci permette di regolare tutta una serie di impostazioni, e ci mostra, durante la fase di gioco, la velocità e i cambi di marcia.

Il cambio al volante è molto comodo. Le palette sono ampie, ben raggiungibili e soprattutto molto robuste.

Tutto il volante è fatto di ottimi materiali e, ad un primo contatto, ci si rende subito conto di avere tra le mani un prodotto professionale.

Il cambio, il ClubSport Shifter SQ V 1.5, è utilizzabile sia in configurazione ad H, con marce dalla prima alla settima, più retromarcia, o in configurazione sequenziale. Una particolarità interessante è che è possibile settare il cambio ad H perché funzioni al contrario (la prima si troverà più a destra e la settima più a sinistra) in modo da poterlo tenere sulla sinistra, invece che sulla destra, e renderlo compatibile ed utilizzabile per chi è abituato ad una guida a destra, ad esempio, nel caso degli inglesi.

Per quanto riguarda la pedaliera ClubSport Pedals V3 USA, i pedali sono di ottima fattura. Il pedale del freno è duro da spingere ed è possibile regolare la rigidità. Soprattutto nei giochi di corsa, il feeling con il pedale del freno è ottimo e molto veritiero.

Sia il pedale dell'acceleratore che quello del freno sono dotati di un sistema di vibrazione, utile a dare all'utente un ulteriore feedback.

La vibrazione sul pedale del freno da subito un feedback all'utente sul fatto che sia entrato in azione l'abs o che stiamo bloccando le ruote per una frenata troppo accentuata.

3.3.2 Atomic Motion Platform

L'ultimo step, per rendere una simulazione altamente realistica, è quello di utilizzare una piattaforma inerziale.

Durante la guida di un veicolo reale, oltre al volante, ciò che fa davvero la differenza nella ricerca del feeling con la vettura è ciò che la vettura trasmette al guidatore.

I piloti affermano che è con il sedere che si stabilisce il feeling con la vettura.

Con quest'affermazione, che può sembrare stupida, vogliono in realtà dire una cosa molto importante. Quando, ad esempio, la macchina sta scappando via nel posteriore, quindi nel caso di sovrasterzo, prima di arrivare a sentirla sul volante, questa sensazione di perdita di aderenza del posteriore viene percepita direttamente sotto al sedile. La macchina, spingendo nel posteriore, trasmette un tipo di forza, che sul sedile (sotto al sedere), viene subito percepita come sovrasterzo.

Una piattaforma inerziale serve proprio a trasmettere questo tipo di forze al guidatore.

Principalmente, durante una sessione di guida reale, le forze maggiormente percepite sono quelle laterali e longitudinali.

Immaginiamo di essere in un'auto potente e premiamo a fondo l'acceleratore; quello che sentiamo è una forza molto forte che ci "spinge" all'indietro facendoci incollare al sedile.

Se, al contrario, immaginiamo di frenare bruscamente, verremo spinti in avanti, verso il parabrezza.

Anche nelle curve, quando guidiamo, sentiamo queste forze che agiscono su di noi che ci spostano lateralmente. In una curva a sinistra verremo spostati a destra e, al contrario, in una curva a destra, verremo spostati a sinistra.

Nelle auto da corsa queste forze sono particolarmente violente.

Nelle vettura da Formula 1 raggiungono valori altissimi. Non è così strano sentire parlare di forze laterali che superano i 5G oppure di frenate che sfiorano i 6G di decelerazione.

Sono valori altissimi, che impegnano notevolmente i piloti a livello fisico.

Anche i sedili, per via di queste forze così elevate, sono fatti su misura e sono molto avvolgenti, in modo da evitare che il pilota venga sbattuto all'interno dell'abitacolo.

Quasi tutti i piloti, quando provano una vettura di Formula 1, rimangono impressionati, oltre che dall'indice di aderenza altissimo della vettura, dalle notevoli forze G che subiscono all'interno dell'abitacolo, che rappresentano un fattore importantissimo nell'esperienza appena vissuta.

Avere, dunque, l'opportunità di utilizzare una piattaforma inerziale, in grado di simulare, seppur in maniera molto limitata, queste forze, rappresenta un notevole incremento di realismo nella simulazione di guida.

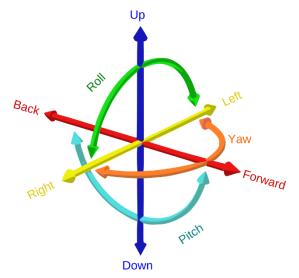


Figura 3.4 - Rappresentazione dei 6 gradi di libertà

Le piattaforme inerziali possono essere principalmente 2DOF, 4DOF e 6DOF. Il numero di DOF (degree of freedom) indica i gradi di libertà della piattaforma.

Come si può vedere nella figura 3.4 avere 6 gradi di libertà significa avere movimenti lungo i tre assi in aggiunta alle rotazioni lungo i tre assi. 6DOF rappresenta il grado massimo di libertà, dunque una piattaforma 6DOF è quella che può garantire i risultati simulativi migliori.

Nell'ambito del nostro progetto di tesi è stata utilizzata la piattaforma ATOMIC A3. Si tratta di una piattaforma 2DOF; i movimenti consentiti sono Roll e Pitch.

Consente dunque di simulare accelerazioni longitudinali, derivanti da accelerazioni e frenate del veicolo, e accelerazioni laterali, derivanti dalle sterzate dello stesso.

Consente un range di movimento di 27° per ogni asse ed uno spostamento di 72° al secondo. Riesce a simulare una forza G di circa 0,4.

A tutti gli effetti si tratta di un sedile, con gli appositi alloggiamenti per poggiare volante, pedaliera e cambio regolabili in altezza e distanza.

I motori sono posti nella base; collegati tramite dei bracci meccanici al sedile, riescono a trasmettere i movimenti al sedile stesso e a tutti gli alloggiamenti, collegati a loro volta al sedile.



Figura 3.5 - Atomic A3 Motion Platform



Figura 3.4 – Test dell'hardware nella sua interezza

Capitolo 4

Progettazione

In questo capitolo, a partire dalle considerazioni effettuate sulla base delle ricerche effettuate e riportate nel Capitolo 2 (Stato dell'arte), si andrà a parlare delle fasi di progettazione che hanno riguardato il progetto.

Partendo dall'individuazione del problema da risolvere, è necessario stabilire quali siano le caratteristiche fondamentali che il progetto debba includere e come poter testare il lavoro, in modo da stabilire dei risultati e delle conclusioni riguardo gli obbiettivi alla base della tesi.

4.1 Descrizione del problema

Nel Capitolo 2 (Stato dell'arte) si è parlato ampiamente del problema legato alla fiducia nei confronti delle macchine a guida automatica. Avendo individuato l'utilizzo dei simulatori una pratica comune come modalità di test di software di guida autonoma e, in generale, di valutazione di esperienza, il problema alla base della tesi consiste nel realizzare un ambiente virtuale che realizzi un simulatore di auto che preveda la guida automatica.

Affinché la prova risulti quanto più veritiera e vicina alla realtà possibile, è necessario un buon livello di immersione.

Idealmente, essendo l'essere umano, in generale, intimorito da un sistema robotico che prende decisioni volontariamente, soprattutto se, come nel caso delle macchine a guida autonoma, riguardano la propria sicurezza, l'ambientazione virtuale dovrebbe essere quanto più immersiva possibile, in modo da ricreare, anche durante una fase di simulazione, gli stati di ansia, stress, che le persone proverebbero in una vera auto autonoma, soprattutto in situazioni ritenute pericolose.

Considerando un classico scenario considerato pericoloso come, ad esempio, un ostacolo improvviso che appare davanti la macchina, in una situazione reale si potrebbe provare una sensazione di paura dovuta alla percezione del pericolo imminente.

L'ambiente virtuale dovrebbe essere immersivo, con l'obbiettivo di ricreare queste sensazioni anche durante la simulazione.

Da queste considerazioni possiamo trarre una importante conclusione: per rendere l'esperienza immersiva non basta mettere l'utente davanti ad un monitor, ma bisogna utilizzare dei visori virtuali in grado di isolare l'utente dalla realtà e fargli percepire solo il mondo virtuale. L'utente dovrebbe vedersi in macchina e dovrebbe effettuare la prova completamente immerso nella realtà virtuale.

4.2 Simulatore di guida immersivo e guida automatica

Simulatore di guida è il termine utilizzato per indicare quei tipi di videogiochi in cui l'utente deve guidare un'auto (o in generale un veicolo) in un'ambientazione virtuale.

Generalmente tali videogiochi si basano su corse motoristiche, cercando di riprodurle fedelmente.

I software utilizzano un motore fisico in grado di simulare il comportamento reale di un veicolo in ogni situazione.

La maggior parte dei videogiochi è di tipo arcade; in tali videogiochi la fisica è fortemente semplificata in modo da rendere il gioco semplice all'utente. Non verranno simulati molti elementi, come le sospensioni o le sollecitazioni subite dagli pneumatici.

Un'altra fetta di videogiochi è invece di tipo simulativo. Questo tipo di videogiochi cercano di riprodurre quanto più fedelmente possibile le leggi della fisica, creando reazioni della vettura quanto più possibili veritiere, in ogni circostanza.

Simulatori molto avanzati vengono utilizzati per allenamento anche da piloti professionisti. I piloti di Formula 1, ad esempio, passano molto tempo al simulatore. Arrivare in pista conoscendo alla perfezione ogni curva, ogni punto di frenata, i setup della vettura mirati al suo stile di guida, corrisponde ad un grosso vantaggio in termini di tempo e costo.

I piloti possono permettersi di guidare al limite fin dal primo giro di pista, risparmiando tempo e preservando le componenti della vettura per via dei giri minori percorsi.

I videogiochi di simulazione richiedono l'utilizzo di volanti con pedaliera e force feedback per poter apprezzare la bontà della simulazione.

Nell'ambito del progetto, oggetto della tesi, bisogna realizzare un simulatore di guida stradale. Non si è interessati ad auto da corsa né tantomeno ad una guida in pista.

Non è necessario dunque dotare il simulatore di un motore fisico altamente professionale; è sufficiente che la fisica della macchina sia abbastanza veritiera.

Nonostante si è interessati alla sola guida autonoma, per verificare la qualità della simulazione, intesa come la veridicità del motore fisico, è necessario implementare anche la guida manuale. Anche al solo scopo di sviluppo e aiuto la guida manuale dovrebbe essere presente.

Per sviluppi futuri, inoltre, la guida manuale potrebbe diventare necessaria e, dunque, implementarla fin da subito, risulta conveniente.

Come fatto già notare in precedenza, lo sviluppo di un simulatore potrebbe partire da un progetto open source; tali simulatori dovrebbero già prevedere la guida manuale, con l'incognita relativa alla compatibilità con l'hardware a disposizione.

Si evince, infatti, da queste considerazioni, la necessità di utilizzare un hardware opportuno, ovvero un volante, una pedaliera e, in aggiunta, una piattaforma inerziale, per portare la simulazione ad un livello di veridicità superiore.

Trattandosi di un simulatore di guida in realtà virtuale immersiva, l'utente, se in posizione del guidatore, si vedrà in macchina, dunque vedrà davanti a se un volante e ai suoi piedi i pedali.

Fornire all'utente altri metodi di input in grado di controllare il veicolo e guidare (ad esempio la tastiera, piuttosto che un joystick), nell'idea generale di sviluppare un simulatore di guida, farebbe sì, inoltre, che l'utente non si senta presente all'interno della realtà virtuale. Si perderebbe l'immersività.

Una volta indossato il visore, se in posizione di guidatore, l'utente dovrebbe vedersi seduto in macchina e dovrà vedere davanti a se lo stesso volante, con le stesse dimensioni, di quello reale.

Quando il volante viene mosso nella realtà, dovrebbe muoversi anche nell'ambientazione virtuale. In caso di guida manuale il volante reale farà da input, ma l'utente agirà su di esso vedendolo in realtà virtuale.

In parole più semplici, quando l'utente prova a toccare il volante che vede nell'ambientazione virtuale toccherà il volante reale, posto realmente davanti a lui. All'utente sembrerà di utilizzare il volante virtuale, ma, avendo un feedback tattile.

Affinché ci sia questa interazione è necessario, però, che l'utente veda le sue mani nell'ambientazione virtuale; se non vedesse le sue mani, psicologicamente, non si sentirebbe presente nell'ambiente. L'aspettativa, quando cercherebbe di mettere le mani sul volante, è di vedere le sue mani che si avvicinano ad esso.

Vedere le proprie mani serve anche a migliorare l'immersività; grazie ad esse, l'utente è in grado di percepire quando sta per toccare il volante.

Una volta create le basi del simulatore di guida e collegato tutto l'hardware, è necessario implementare la guida automatica sul veicolo. La simulazione deve riguardare un auto di livello 5, ovvero un'auto con il massimo grado di autonomia, che non permetta alcun intervento alla guida. Risulta necessario, dunque, realizzare una guida autonoma in grado di gestire varie situazioni di guida in modo corretto.

Alla base degli studi riportati nel Capitolo 2 (Stato dell'arte), il modo migliore per infondere fiducia in un sistema autonomo consiste proprio nel mostrare le capacità del sistema, come sia in grado di interagire con l'ambiente circostante e raggiungere i suoi obbiettivi. Nel contesto delle auto autonome, la problematica relativa alla fiducia è alimentata dalle preoccupazioni delle persone legate alla gestione di situazioni ritenute particolarmente pericolose.

La guida autonoma, dunque, dovrebbe essere in grado di gestire tutte le situazioni che si verificano durante la guida di un veicolo, ma anche situazioni improvvise e pericolose, relative alla gestione di ostacoli.

4.3 Informazioni durante la sessione di guida autonoma

Fornendo un opportuno feedback all'utente, riguardante l'interpretazione della situazione corrente della vettura, l'utente è in grado di acquisire consapevolezza della situazione oltre a crearsi un modello mentale.

Come documentato nel Capitolo 2 (Stato dell'arte), fornire queste informazioni incrementa la fiducia dell'utente nei confronti dell'auto autonoma.

Trattandosi di un ambiente simulato, tutte le tipologie di display potrebbero essere sviluppate. L'AR-HUD è ritenuto la migliore tecnologia per la fruizione di informazioni di contesto, nelle ambito della auto semiautonome. Secondo Bonte [38], questa tecnologia si potrà rivelare molto utile nella transizione alle auto completamente autonome, per via dei notevoli vantaggi riportati nel Capitolo 2.

Si è deciso dunque di voler implementare un WSD in grado di fornire informazioni spazialmente legate agli oggetti di interesse [52]. In particolare le informazioni da visualizzare riguardano:

- gli elementi statici e dinamici all'interno dell'ambientazione virtuale,
- le informazioni di velocità, distanza dalla nostra auto e pericolosità degli oggetti,
- i semafori e i segnali stradali,
- la linea di navigazione della nostra auto degli altri veicoli del traffico, come informazione di predizione del percorso,
- la linea di mezzeria.

4.3.1 HUD omnicomprensivo e HUD selettivo

Dalle considerazioni riportate nel Capitolo 2 (Stato dell'arte), si è ritenuto possibile valutare quanta consapevolezza della situazione sia necessaria, in auto di livello 5, mediante il confronto di due versioni di HUD display, una versione omnicomprensiva ed una versione selettiva.

La versione omnicompresiva deve fornire tutte le informazioni di contesto. Tramite questa versione l'utente dovrebbe essere in grado di individuare tutti gli oggetti rilevati dall'auto autonoma: auto del traffico, pedoni, animali, oggetti statici ecc.

Semafori, segnali stradali e qualsiasi oggetto rilevato assumerebbe la stessa importanza, e, per ognuno di esso andrebbe visualizzata l'informazione corretta.

Per ogni auto del traffico, inoltre, dovrebbe essere visualizzata anche la linea di navigazione per fornire l'informazione di predizione del percorso.

Si è deciso, però, di limitare la visualizzazione di alcune informazioni ritenute poco utili. In particolare mostrare l'informazione circa tutti gli elementi statici, quali, ad esempio, pali della luce, alberi, oggetti sui marciapiedi ecc., rappresenta un modo di amplificare inutilmente il carico cognitivo dell'utente.

Una tale visualizzazione risulterebbe inutilmente complessa e ricca di elementi da risultare poco piacevole. Anche l'informazione relativa ai segnali e ai semafori è limitata al percorso seguito dall'auto. È stato, dunque, ritenuto inutile dare informazioni circa i semafori relativi ad una strada non percorsa dall'auto, ma visibile dal parabrezza, che, si ricorda, rappresenta il display dove fruire le informazioni di contesto.

La versione selettiva deve fornire, invece, una selezione delle informazioni di contesto. I modi di effettuare questa selezione sono diversi. Si potrebbe, ad esempio, selezionare le informazioni in un raggio di rilevazione più basso rispetto a quello utilizzato dalla versione omnicomprensiva. In questo modo, ad esempio, auto molto lontane non verranno visualizzate tramite il display.

Si è deciso, però, di utilizzare una selezione più intelligente basata sull'influenza, degli oggetti presenti nell'ambientazione virtuale, sulla guida autonoma.

Dunque l'informazione circa la rilevazione di un oggetto dovrebbe essere limitata alle auto che influenzano la guida, quelle auto, cioè, che necessitano più attenzione rispetto alle altre. Un auto esattamente davanti al nostro veicolo, piuttosto che un'auto ferma al semaforo a cui bisogna accodarsi, o ancora un'auto che viene ritenuta pericolosa, dovrebbe essere visualizzata sul display. In questo contesto, l'informazione di rilevazione è da intendersi in

modo da diverso; questa informazione fornisce, infatti, un'indicazione del fatto che l'auto sta tenendo conto dell'oggetto rilevato perché influenza la sua guida.

Per quanto riguarda, invece, gli oggetti statici e dinamici, dovrebbero essere trattati allo stesso modo, ed essere visualizzati sul display, solo se diventassero in qualche modo pericolosi.

Anche la visualizzazione dell'informazione circa i segnali stradali dovrebbe essere concepita diversamente. Non tutti i segnali stradali influenzano la guida autonoma. Un segnale che indica che una certa strada sia a senso unico, non influenza la guida in nessun modo. Dunque, in questo contesto, tale visualizzazione deve essere limitata ai segnali più rilevanti per la guida autonoma, come, ad esempio, uno stop, piuttosto che un segnale di cambio limite.

Le linee di navigazione per le auto del traffico, infine, vanno visualizzate solo sul display, solo quando rilevante per la guida autonoma, ad esempio quando un'auto diventa pericolosa perché sta per tagliare la strada al nostro veicolo, oppure nei casi di incroci in ci sono da applicare le regole di precedenza.

In queste situazioni, le linee di pianificazione del percorso forniscono un'informazione utile a spiegare meglio cosa stia avvenendo e perché, in un determinato momento, una certa auto viene tenuta in considerazione.

4.4 Test e scenari

Una volta creato un simulatore di guida in realtà virtuale immersivo, in grado di fornire le informazioni di contesto, utili all'utente a indurre fiducia nei confronti del mezzo, bisogna testare il simulatore.

La fase di test serve a verificare le ipotesi riportare nel paragrafo di considerazioni del Capitolo 2 (Stato dell'arte). In particolare si vuole verificare se le informazioni fornite siano state effettivamente d'aiuto a stabilire un buon livello di fiducia, oltre a confrontare le due versioni di HUD, in modo da fare ragionamenti su quanta consapevolezza della situazione è richiesta in auto di livello 5.

Dunque è necessario che l'utente effettui una prova al simulatore, nella quale affronti una serie di situazioni ben definite utili a valutare le sue reazioni. Il tutto dovrebbe essere completato da un questionario, in modo da capire cosa l'utente ha provato in prima persona, le sue sensazioni, lo stato emotivo con cui ha affrontato la prova e le sue considerazioni a prova effettuata.

E' necessario dunque stabilire gli scenari in cui avverrà questo test, ovvero dove la macchina guiderà e tutte le situazioni che dovrebbero avvenire durante il test.

Uno scenario extraurbano, come, ad esempio, un'autostrada piuttosto che una strada fuori città, poco trafficata e senza grosse cose da tenere in considerazione, viene considerato più "semplice". Quello che si pensa è che in un tale scenario, il sistema robotico che controlla la guida abbia in generale meno problemi per via del ridotto numero di situazioni di pericolo che si potrebbero verificare o per via del ridotto numero di azioni da svolgere.

Pensando, ad esempio, ad un'autostrada, per la maggior parte del tempo l'auto sarà a velocità costante e andrà dritta seguendo la propria corsia.

Il fatto che l'auto debba svolgere poche azioni fa sì che le persone pensino sia una situazione più facile da affrontare per il sistema robotico e, dunque, si sentirebbero più fiduciosi a lasciar guidare l'auto in una tale situazione piuttosto che in uno scenario urbano, con traffico e più situazioni potenzialmente pericolose.

Pensando, invece, ad una strada fuori città, poco trafficata, terrebbe più impegnato il sistema robotico, per via, ad esempio, delle curve. Oltre a sterzare, nella giusta quantità, per affrontare la curva, l'auto deve valutare la velocità con cui affrontare la curva; se si stratta di una curva con un raggio di curvatura molto ampio probabilmente potrà tenere costante la velocità; diverso è il caso di una curva con un raggio di curvatura molto stretto; in questo caso l'auto dovrebbe rallentare per affrontarla in sicurezza.

Anche le eventuali differenze di pendenza della strada (salite o discese) impegnano il sistema di guida che, per tenere una velocità costante, o comunque restare nei limiti imposti, dovrebbe dosare l'acceleratore e il freno in maniera accurata.

Nonostante questo maggiore impegno, un tale scenario è comunque considerato "semplice". Questo perché le situazioni di pericolo che potrebbero verificarsi sono poche; la velocità non sarà altissima e, dunque, un eventuale e malaugurato errore del sistema porterebbe conseguenze non eccessivamente gravi.

In autostrada, nonostante, le azioni da compiere sono minori, un eventuale errore da parte del sistema di guida potrebbe, invece, causare conseguenze gravi, per via dell'alta velocità.

In questo caso, però, l'utente percepisce una bassissima probabilità di errore da parte del sistema robotico per via delle poche azioni che deve compiere.

Lo scenario urbano, invece, è quello considerato più "difficile". In un tale scenario, il sistema robotico dovrebbe tenere sotto controllo un numero elevato di situazioni.

Non a caso, le attuali auto semiautonome sono in grado di guidare autonomamente in scenari extraurbani, sotto la supervisione del guidatore, ma non lo sono negli scenari urbani e cittadini, dove le variabili in gioco crescono.

Oltre a seguire la propria corsia, l'auto deve valutare semafori, segnali stradali, macchine del traffico (che potrebbero essere molte in uno scenario cittadino), deve monitorare la presenza di ostacoli sul percorso, pedoni o oggetti in generale, e evitare tutte quelle situazioni di pericolo che in uno scenario cittadino potrebbero verificarsi.

Tra tutte, dalle ricerche riportate nel Capitolo 2, le situazioni più preoccupanti sono pedoni che attraversano in zone non autorizzate o altri guidatori che tagliano la strada davanti all'auto autonoma, dunque, in generale, ostacoli improvvisi che l'auto deve gestire in qualche modo.

4.4.1 Scenari

A partire da queste considerazioni, risulta sicuramente necessario sviluppare uno scenario urbano. La potenzialità delle auto di livello 5 e la novità di questo livello, rispetto alle auto semiautonome, è quello di riuscire a guidare autonomamente anche in ambientazioni cittadine. Come si diceva in precedenza, il modo migliore per infondere fiducia in un sistema autonomo consiste nel mostrare le capacità del sistema, come sia in grado di interagire con l'ambiente circostante e raggiungere i suoi obbiettivi; in generale è necessario mostrare come il sistema sia in grado di gestire situazioni di guida diverse, in particolare quelle ritenute pericolose. È stato infatti dimostrato come questo approccio sia utile a ridurre lo stato di stress degli utenti a bordo di auto autonome.

Un'ambientazione extraurbana, in aggiunta a quella urbana, potrebbe risultare utile per mostrare come l'auto sia in grado di gestire un tipo di guida diversa. Vale la pena considerare un percorso fuori città dove la tortuosità del percorso, i cambi di pendenza e la possibilità di ricreare un numero maggiore di situazioni, rispetto ad un contesto autostradale, possono mettere in luce capacità diverse del sistema di guida, rispetto al solo scenario urbano.

Bisogna dunque sviluppare:

- un ambiente virtuale in grado di ricreare un percorso extraurbano con curve, cambi di pendenza, mettendo in risalto o, comunque, non tralasciando di vista le caratteristiche di un tale ambiente (ad es. la presenza di montagne, piuttosto che alberi ecc..) che serviranno per far sentire l'utente più immerso nell'ambientazione;
- un ambiente virtuale in grado di ricreare una città; è necessario che siano presenti semafori, segnali stradali, traffico e tutti gli elementi caratteristici che si incontrano durante una guida in città; anche in questo caso è necessario non tralasciare le caratteristiche tipiche di un ambiente cittadino (palazzi di diverso tipo, marciapiedi, bidoni della spazzatura, macchine parcheggiate ecc...) che serviranno a far sentire l'utente immerso nell'ambientazione.

4.4.2 Situazioni di test

Stabiliti gli scenari di test bisogna ora passare a individuare le "situazioni" che devono verificarsi durante la sessione di test.

La situazione, come si diceva nel Capitolo 2 (Stato dell'arte) descrive le circostanze generali in cui deve essere stabilita la relazione di fiducia. L'influenza della situazione è particolarmente caratterizzata dal rischio sottostante di questa situazione.

Considerando uno scenario di test in cui ci troviamo in una strada, dritta, senza traffico e senza ostacoli, dove semplicemente l'auto autonoma guida a velocità costante, la relazione di fiducia verrebbe stabilita subito, in quanto il rischio sottostante, percepito dall'utente, risulta basso se non inesistente.

Se, nello scenario appena descritto, ci trovassimo, invece, in prossimità di una curva, la situazione risulterebbe sicuramente più interessante.

Il rischio sottostante una tale situazione, percepito dall'utente, è che l'auto, non sterzando o sterzando non in maniera accurata (poco o tanto), potrebbe portarci fuori strada o nell'altra corsia, causando una collisione.

Considerando standard situazioni come quelle appena descritte, riconducibili a situazioni di guida ordinarie di un'ambientazione sia extraurbana che urbana, durante una fase di guida autonoma, bisogna porre l'attenzione anche su altre situazioni.

Maggiore è il rischio percepito dall'utente nella situazione di interesse, più alta sarà la difficoltà di stabilire la relazione di fiducia.

Al tempo stesso, però, una gestione corretta di una situazione con un alto grado di rischio, aiuta l'utente a fidarsi del sistema autonomo.

Con l'obbiettivo di mostrare l'auto autonoma valutare e gestire varie situazioni di guida e, in particolare, situazioni rischiose, è necessario ricreare varie situazioni negli scenari di test, che in generale, non dovrebbero prevedere tragitti troppo corti.

Il test dovrebbe durare una quantità di tempo ragionevole a far acquisire nell'utente la giusta confidenza con il sistema.

Sulla base delle ricerche riportate nel Capitolo 2 (Stato dell'arte) e delle considerazioni appena tratte, è possibile stabilire una lista di situazioni che dovrebbero essere presenti in uno o entrambi gli scenari:

- in entrambi gli scenari dovrebbero essere presenti situazioni che richiedano un'interazione con il traffico; si potrebbe considerare una situazione in cui semplicemente l'auto del traffico viaggia nella sua corsia nella direzione opposta a quella della nostra auto, fino a considerare situazioni in cui è necessario mantenere la distanza di sicurezza oppure fermarsi dietro di essa, per via ad esempio di un semaforo, uno stop o qualsiasi motivo;
- nello scenario urbano è necessario creare situazioni che prevedano un'interazione con i semafori, in cui l'auto deve valutarne lo stato e decidere l'azione da perseguire;
- situazioni che prevedano la presenza di ostacoli; in uno scenario extraurbano potrebbe essere un animale, mentre in uno scenario urbano potrebbe essere un pedone;
- situazioni ritenute pericolose; lo scenario extraurbano potrebbe prevedere, ad esempio, la comparsa improvvisa di un animale sulla strada. Per quanto riguarda, invece, lo scenario urbano, tali situazioni sono già state individuate e riguardano l'attraversamento di pedoni in posti in cui non dovrebbero attraversare e la comparsa di un ostacolo improvviso, ad esempio un'auto che non rispetta il semaforo oppure lo stesso pedone, che, attraversando dove non potrebbe, e nelle immediate vicinanze dell'auto diventerebbe un ostacolo improvviso.

Capitolo 5

Realizzazione

Nel Capitolo 4 (Progettazione) si è dunque spiegato e illustrato quale sia il lavoro da svolgere e i problemi da risolvere; in questo capitolo andremo a vedere passo passo le soluzioni adottate e, in generale, come è stato realizzato il lavoro.

Avendo individuato, come riportato nel capito 2 (Stato dell'Arte), vari simulatori già creati ed open source, si è deciso di prenderne uno come riferimento e modificarlo secondo le nostre necessità. Questo ci ha permesso di concentrarsi sugli scopi effettivi della tesi, senza dover creare le varie ambientazioni presenti nel simulatore.

Considerando che si tratta di un simulatore di guida su strada, l'ambientazione dovrebbe risultare abbastanza grande, in modo tale da avere l'opportunità di simulare più situazioni, più percorsi.

Se, per assurdo, l'ambientazione prevedesse qualche palazzo e una strada che gira in tondo, per quanto possa essere accurata la fisica del simulatore, il grado di realismo percepito risulterebbe, con molta probabilità, basso.

Creare un'ambientazione abbastanza grande, tale da simulare, ad esempio, una parte di una città, è un lavoro molto lungo che va oltre gli scopi della tesi.

Dunque, partire da un lavoro già fatto, da ambientazioni già fatte, e modificarle secondo i nostri scopi, è stato considerato essere il compromesso migliore.

Tra i vari simulatori, riportati nel Capitolo 2 (Stato dell'Arte), la scelta è ricaduta su Genivi Vehicle Simulator, prodotto da GENIVI Alliance.

5.1 GENIVI Alliance

GENIVI Alliance è stata fondata il 2 marzo 2009 da BMW Group, Delphi, GM, Intel, Magneti-Marelli, PSA Peugeot Citroen, Visteon e Wind River Systems [53].

E' una società no-profit nel campo dell'industria automobilistica impegnata nella realizzazione di software di In-Vehicle Infotainment (IVI) open source. Fornisce tecnologie aperte per l'auto connessa.

GENIVI è dunque una comunità di sviluppo che produce in modo collaborativo componenti software per autoveicoli, API standard, una piattaforma di sviluppo per l'infotainment e soluzioni per veicoli connessi.

Il prodotto principale di GENIVI è la piattaforma open source per lo sviluppo automobilistico, in cui i prototipi e le innovative soluzioni IVI e di veicoli connessi possono essere rapidamente sviluppati e testati in una comunità aperta.

GENIVI ha lanciato il suo progetto pubblico open source [54] dove ospitano i repository di oltre 80 componenti software.

5.1.1 GENIVI Vehicle Simulator



Figura 5.1 - GENIVI Vehicle Simulator in funzione

Tra i progetti Open Source che GENIVI Alliance mette a disposizione di tutti, il più interessante, dal nostro punto di vista, è il progetto GENIVI Vehicle Simulator. Si tratta di un progetto Open Source per Unity. Il progetto è stato creato con Unity 5.3.4.

Il progetto e il codice software iniziale sono stati sviluppati da Elements Design Group di San Francisco e dal Jaguar Land Rover Open Software Technology Center di Portland, Oregon.

Lo scopo era fornire un simulatore di guida open source estensibile per la comunità di sviluppo. L'obbiettivo principale era creare un'applicazione per assistere nello sviluppo e nella verifica dei sistemi IVI, ma i potenziali usi sono molteplici. Il simulatore prevede tre diverse scene di guida: Yosemite, Pacific Coast Highway e San Francisco.

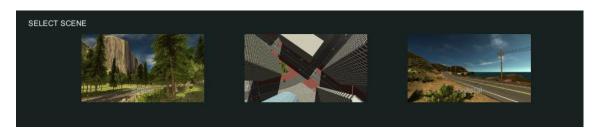


Figura 5.2 - Schermata di scelta dello scenario

È presente un controller di veicolo personalizzato per simulare la gestione del veicolo. Un'interfaccia grafica ad hoc, attivabile in fase di runtime, espone molti dei parametri fisici del veicolo, consentendo la calibrazione del veicolo.

È possibile ad esempio modificare la trazione del veicolo, passando da una trazione anteriore ad una posteriore, modificare la massa del veicolo, l'indice di aderenza con l'asfalto, la forza

frenante ed altri parametri, in modo da rendere la guidabilità dell'auto il più possibile piacevole in corrispondenza con le proprie necessità.

Dal controller è possibile attivare degli ostacoli durante la guida.

Gli attuali tipi di ostacoli sono pedoni, animali, massi, veicoli in stallo, ecc.

In generale il sistema è pensato in modo tale che il controller sia utilizzato da un amministratore, che, durante la guida del conducente, possa variare i parametri fisici del veicolo o attivare ostacoli.

È possibile infatti visualizzare questa schermata di amministrazione in remoto, ad esempio su un tablet. Il sistema e il tablet comunicheranno via rete.

Questo controller permetterà, oltre ad effettuare le operazioni appena descritte, di selezionare la scena e l'auto da utilizzare durante una sessione di guida, e di riposizionare il veicolo in strada, per ogni evenienza. Da questo pannello è possibile anche visualizzare la mappa dell'ambientazione.

Un flusso di dati CSV (su IP) aziona l'applicazione del quadro strumenti, che riceve i dati provenienti dall'applicazione.

Oltre a visualizzare informazioni specifiche sul veicolo (ad esempio velocità corrente, infrazioni ecc.), agisce da Controller Area Network, una sorta di computer di bordo con lo scopo di confrontare, in tempo reale, i dati di guida con i dati IVI UI.

Il sistema tiene inoltre conto delle infrazioni commesse durante la fase di guida. Esse vengono salvate e registrate dal sistema in formato xml, insieme ad uno screenshot dell'infrazione.

Le infrazioni riguardano i semafori (viene registrata un'infrazione quando si passa con il rosso), i segnali di stop (viene registrata un'infrazione quando non ci si ferma allo stop), il superamento della linea di mezzeria, e le collisioni, sia con gli elementi dell'ambiente, sia con gli ostacoli o con le altre macchine.

Al termine di una sessione di guida, l'amministratore e il conducente possono esaminare le infrazioni della sessione più recente. Vengono visualizzati gli screenshot dell'infrazione insieme ai dati del veicolo (velocità, ecc.).

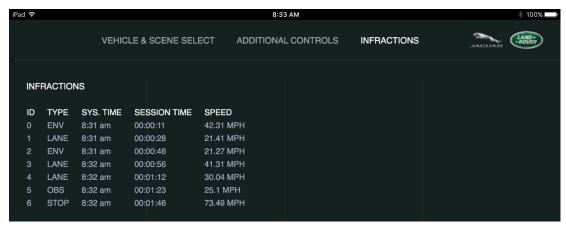


Figura 5.3 - Esempio di riepilogo delle infrazioni commesse durante una sessione di guida

È presente, inoltre, un sistema di traffico "non giocante" (NPC), che simula il traffico in un ambiente urbano. La rete stradale urbana, che consiste in una versione ridotta di San Francisco, contiene intersezioni complesse che si trovano spesso in contesti urbani (ad esempio strade unidirezionali che si incrociano con strade a doppio senso, ecc.).

I veicoli del traffico seguono il flusso del traffico, valutano i semafori e gli stop.

Nella scena di guida di Yosemite, il sistema può funzionare in modalità *autodrive*. Attivata tale modalità l'auto inizierà a guidare da sola seguendo un percorso predefinito.

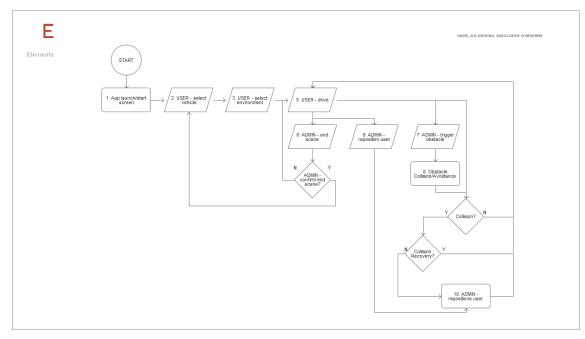


Figura 5.4 - Diagramma rappresentante il flusso di esecuzione del sistema

Nella scena di guida di San Francisco, è possibile abilitare una serie di percorsi predefiniti (un sistema di waypoint con frecce che evidenziano un percorso specifico da seguire), consentendo percorsi di guida riproducibili, ecc.

Per quanto riguarda i metodi di input, il simulatore può funzionare semplicemente con la tastiera del pe oppure con un volante. Il simulatore è infatti compatibile con i volanti Thrustmaster T300RS, Leo Bodnar SimSteering systems, ma soprattutto con il Logitech G27.

Per quanto riguarda invece l'output, il sistema da la possibilità di creare build custom a seconda del dispositivo di visualizzazione utilizzabile.

Permette infatti oltre alla visualizzazione in un monitor singolo, di utilizzare tre monitor diversi oppure di utilizzare un proiettore.

Per quanto riguarda, infine, l'audio, il sistema può essere configurato per funzionare con diversi sistemi audio, dai sistemi stereo, a quelli 5.1 fino a quelli 7.1.

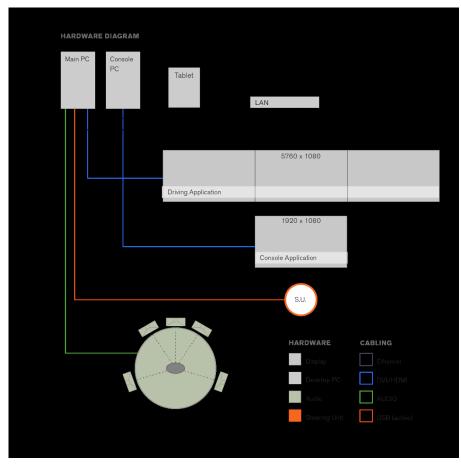


Figura 5.5 - Diagramma dell'hardware in GENIVI Vehicle Simulator

5.1.2 La scelta di GENIVI

Partendo dalle informazioni appena riportate, GENIVI Vehicle Simulator è sembrato in linea con tutte le idee progettuali.

Durante la fase di progettazione era emersa, infatti, la necessità di avere a disposizione due ambientazioni, un'ambientazione extraurbana, riconducibile allo scenario costale di GENIVI, e un'altra in uno scenario urbano, riconducibile allo scenario urbano di GENIVI, che, come riportato in precedenza, corrisponde ad una parte della città di San Francisco.

Dai primi video, visualizzati in rete, la grafica sembrava sufficientemente buona e qualità della simulazione di guida sembrava adeguata.

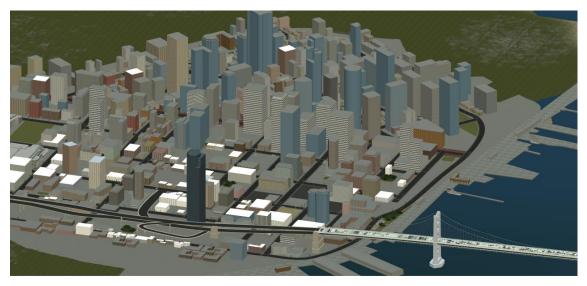


Figura 5.6 - Visualizzazione dello scenario urbano (San Francisco) all'interno di Unity



Figura 5.7 - Visualizzazione dello scenario extraurbano all'interno di Unity

Una volta scaricato il progetto, e provato di persona le potenzialità del sistema, si è appurato come la qualità della simulazione fosse abbastanza accurata.

Il sottosterzo, il sovrasterzo, la perdita di aderenza e la perdita di controllo del veicolo vengono simulati abbastanza bene.

Il comportamento dell'auto risulta molto veritiero in situazioni limite di aderenza, soprattutto quando, per via di sterzate troppo brusche o a velocità troppo elevate oppure frenate forti a ruote non dritte, va facilmente in sottosterzo; anche la ripresa di aderenza è simulata in maniera accurata, così come le situazioni di perdita di controllo, testacoda, sovrasterzo.

L'impressione è quella di utilizzare un simulatore ben fatto e non un gioco arcade.

Le varie possibilità di modifica della fisica del veicolo agiscono in maniera corretta. Il passaggio, ad esempio, da trazione anteriore a trazione posteriore, si sente bene e il comportamento della macchina, com'è giusto che sia, cambia radicalmente, con rischio di sovrasterzo molto più elevato.

Gli ambienti sono ben fatti ed in linea con le nostre necessità; l'ambiente costale rappresenta la Pacific Coast Highway, un percorso da sogno lungo l'oceano, caratterizzato da montagne, ponti e cambi di pendenza.

L'ambiente urbano è molto grande e rappresenta una parte della città di San Francisco. L'ambientazione è ben fatta; sono presenti molti palazzi, grattacieli e vari tipi di edifici, strade, incroci, segnali, semafori, il famoso ponte Golden Gate Bridge, caratteristico della città, e in generale tutti gli oggetti che ci si aspetterebbe di trovare in città.

La presenza del sistema di guida automatica nell'ambiente di Yosemite e la presenza delle macchine del traffico, che, in autonomia, guidano negli scenari, faceva inoltre presupporre che inserire la guida automatica in tutti gli scenari, ponendo l'attenzione, da una parte, gli algoritmi di AI (Artificial Intelligence) della macchine del traffico, dall'altra l'algoritmo di guida automatica in Yosemite, non sarebbe stato troppo difficile.

La presenza di un AI per quanto riguarda le macchine del traffico, faceva comunque presuppore la presenza di un'architettura già creata, che poteva essere sfruttata per creare la guida automatica sulla macchina che corrisponde al player.

In sostanza, il lavoro di implementazione della guida automatica, in ogni caso, non sarebbe partito da zero.

Tutti questi elementi, ci hanno convinto a utilizzare GENIVI Vehicle Simulator come punto di partenza per realizzare gli scopi della nostra tesi.

5.2 Prima fase di studio

GENIVI Vechicle Simulator è un progetto molto ampio. Una volta scaricato il progetto ci ritroveremo una cartella che occupa circa 3.3GB di spazio, con circa 27400 file e 1200 cartelle. L'unica documentazione presente spiega i tasti rapidi utilizzabili nel simulatore e, in generale, una guida all'utilizzo del gioco.

Tutti i file in cui è presente del codice, invece, non sono spiegati, ne documentati.

Mettere le mani su un progetto non documentato, in cui il codice è scritto da altri, è già di per se qualcosa di non semplice, quando poi il progetto è così ampio, il tutto diventa molto più difficile.

La prima fase è stata dunque un'attenta fase di studio di GENIVI.

Questa fase è stata necessaria per capire come funzionava effettivamente il sistema, quando venivano attivati determinati script, in che ordine, cosa facessero gli script, a cosa facessero riferimento.

È risultato necessario debuggare l'esecuzione del codice per capire come avveniva il passaggio tra vari script, come venivano usate determinate variabili e per capire, in generale, com'era stato pensato il codice e cosa faceva.

La prima fase di studio non ha riguardato solo GENIVI, ma anche Unity, lo studio del software e dei meccanismi utilizzati durante la realizzazione dei giochi.

5.3 Collegamento dell'hardware

Utilizzare un software di simulazione di guida, senza un hardware adeguato, non permette una simulazione accurata e veritiera. È stato quindi necessario collegare e rendere funzionante tutto l'hardware per la simulazione di guida descritto nel Capitolo 3 (Tecnologie impiegate), ovvero tutto ciò che concerne il volante e la piattaforma inerziale.

5.3.1 Collegamento del volante

Come detto in precedenza, GENIVI supporta tre volanti, il Thrustmaster T300RS, il Leo Bodnar SimSteering systems, ma soprattutto il Logitech G27.

Il codice inerente il funzionamento del volante fa riferimento al Logitech, segno che gli sviluppatori hanno utilizzato il G27 per i loro test.

Una volta collegato un volante qualsiasi, GENIVI lo riconosce come un joystick. Anche il volante utilizzato, il Fanatec ClubSport, veniva correttamente riconosciuto, però non funzionava.

Dopo una attenta fase di prova e di debug del codice relativo al controllo del volante, presente in GENIVI, si è appurato come l'input, atteso in un determinato asse di riferimento del joystick, veniva in realtà mappato su un altro asse. Ciò significa che il volante Logitech G27 mappa su assi diversi l'input relativo al volante e alla pedaliera rispetto al Fanatec.

Appresa questa differenza, è risultato abbastanza facile modificare il codice affinché potesse estrarre i giusti input dal volante.

L'input stesso, data la differenza dei volanti, veniva mappato su un range di valori diverso, dunque è risultato necessario modificare tutto il codice relativo al volante, presente in GENIVI, e renderlo funzionante con il volante che si stava per utilizzare.

GENIVI prevede già nativamente il controllo del force feedback. Controllare il force feedback significa "comandare" i motori presenti all'interno del volante affinché generino una forza.

All'intero del progetto è infatti presente una libreria che contiene i seguenti metodi:

- int DevicesCount();
- IntPtr GetProductName(int device);
- bool HasForceFeedback(int device);
- IntPtr GetState(int device);
- int GetNumEffects(int device);
- IntPtr GetEffectName(int device, int index);
- long PlaySpringForce(int device, int offset, int saturation, int coefficient);
- bool StopSpringForce(int device);
- long PlayDamperForce(int device, int damperAmount);
- bool StopDamperForce(int device);
- PlayConstantForce(int device, int force);
- UpdateConstantForce(int device, int force);
- bool StopConstantForce(int device);

Tutti questi metodi consentono di comunicare con il volante. È grazie alla funzione GetState, ad esempio, che è possibile accedere agli input del volante.

Tra questi metodi, ce ne sono vari che consentono di controllare il force feedback, tra cui i principali sono PlayConstantForce, PlayDamperForce, PlaySpringForce.

All'interno degli script questi tre metodi vengono utilizzati per ricreare il force feedback. I parametri passati a tali funzioni vengono calcolati tramite valutazioni circa il contatto tra le ruote e il suolo.

Da varie prove effettuate, il force feedback così fatto risultava già sufficientemente realistico, con un buon peso del volante e un buon feedback in caso di cambio di fondo stradale.

Nessun ulteriore intervento è stato dunque apportato, con l'unica eccezione di attivare il force feedback anche nello scenario urbano, dove, nativamente, era disattivato.

5.3.2 Collegamento della piattaforma inerziale

Il collegamento della piattaforma inerziale è risultato un processo più complicato.

Atomic, fornisce a chi acquista la piattaforma, il software proprietario AMS Simphynity [55]. Il software si avvia solo se viene rilevato il collegamento della piattaforma Atomic e prevede un'interfaccia grafica in grado di impostare alcuni parametri di funzionamento della stessa, come, ad esempio, l'intensità dei movimenti o la centratura degli assi.

Dopo alcune prove, con vari giochi, si è concluso che SIMPHYNITY non garantisse una buona dose di affidabilità oltre che di prestazioni.

I primi test della piattaforma rilevavano un comportamento troppo aggressivo nei movimenti, sia laterali che longitudinali.

La sensazione era di percorrere un tratto di strada sterrato, anche in situazioni di aderenza massima e velocità bassa. Un comportamento inaccettabile e per niente realistico.

Dopo un'analisi dei parametri di configurazione, presenti in SIMPHYNITY, con impostazioni molto conservativi dal punto di vista della simulazione, la situazione era migliorata abbastanza, con la peculiarità di avere movimenti sia di roll che di pitch poco ampi e troppo leggeri.

SIMPHYNITY garantisce compatibilità con Unity e questo, dal nostro punto di vista era un grosso vantaggio. Ci è stato fornito, infatti, uno script, da collegare al GameObject di interesse, nel nostro caso, la macchina usata nel simulatore, che ha lo scopo di calcolare dei dati di telemetria e inviarli tramite rete.

SIMPHYNITY, ricevendo questi dati, calcola i valori di pitch e roll da adottare e li tramuta in movimenti della piattaforma.

Un primo test, in Unity, utilizzando SYMPHINITY e la piattaforma Atomic, non ha dato buoni risultati. I problemi, evidenziati durante i primi test sui giochi, erano presenti anche nel nostro progetto in Unity; in aggiunta, durante la fase di frenata o rallentamento, nel momento in cui l'auto si fermava completamente (nel passaggio da velocità 1km/h a 0km/h), la piattaforma dava un brutto e brusco scatto in avanti, assolutamente fastidioso e da evitare.

Dopo varie ricerche, abbiamo deciso di utilizzare un altro software in alternativa a SIMPHYNITY. Molti dei giochi compatibili con SIMPHYNITY, necessitano, in aggiunta, il software SimTools [56] oppure X-Sim [57].

Questi due software sono software dedicati alle piattaforme inerziali. Essendo i due software standard per tale utilizzo sono più professionali e più supportati e seguiti.

Grazie all'utilizzo di plugin dedicati ai giochi, reperibili in rete, è possibile attivare il collegamento tra il gioco e il software. Il software, come nel caso, di SIMPHYNITY, riceve dei dati di telemetria. Elaborando questi dati è in grado di generare gli output opportuni.

Da un primo sguardo alle interfacce grafiche, X-Sim ci è sembrato più intuitivo, dunque la scelta è ricaduta su questo software.

X-Sim si compone di due software: X-Sim Extractor e X-Sim Converter.

X-Sim Extractor ha lo scopo di configurare i giochi con gli opportuni plugin.

È in grado di effettuare una ricerca automatica di tutti i giochi presenti nel pc e effettuare automaticamente la configurazione con il giusto plugin. È ovviamente possibile anche effettuare manualmente questa configurazione.

Una volta configurati i giochi è possibile salvare dei profili, in modo da evitare di ripetere ogni volta le stesse operazioni.

Bisogna però segnalare che, nel caricamento dei profili precedentemente creati, spesso il software non si avvia andando in errore. L'unica soluzione funzionante è quella di eliminare, nei registri del software, i dati relativi ai profili precedentemente creati.

Il software si avvierà, con l'ovvia conseguenza di dover rifare le configurazioni dei giochi.

Una volta ultimata la configurazione del gioco, bisogna avviare il gioco da X-Sim Extractor. Questa operazione serve permetterà ad X-Sim Converter di ricevere i dati di telemetria.

X-Sim Converter è il software che si occupa della logica di conversione degli input di telemetria in output opportuni.

Come per SIMPHYNITY, X-Sim Converter riceve i dati di telemetria tramite la rete, dunque, nel momento in cui un gioco viene avviato da X-Sim Extractor, X-Sim Converter inizierà a mettersi in ascolto su un certo indirizzo IP e su una certa porta di rete, in modo da ricevere i dati di telemetria.

Parlando degli output, X-Sim Converter è in grado, di default, di riconoscere vari tipi di piattaforme collegate al PC e di accedere e comandare tutti i motori presenti nella piattaforma. Tramite la sezione apposita nel software, riguardante il setup matematico, è possibile configurare, in maniera dettagliata e personalizzata, il comportamento di tutti gli assi, intesi come hardware, presenti nella piattaforma.

È possibile, ad esempio, associare ad uno specifico asse un solo tipo di accelerazione (ad esempio quella longitudinale), oppure più accelerazioni.

È possibile inoltre utilizzare plugin matematici che permettono di regolare a proprio piacimento il comportamento della piattaforma.

La piattaforma Atomic non è direttamente riconosciuta in X-Sim Converter, ma, come già detto, SIMPHYNITY supporta molti giochi grazie all'ausilio di X-Sim.

Tra le varie modalità di funzionamento di SIMPHYNITY troviamo, infatti, la X-Sim Mode. In questa modalità SIMPHYNITY si mette in ascolto di input provenienti, non dal gioco, ma da X-Sim Converter. Tramite gli input ricevuti da X-Sim, controllerà poi effettivamente l'hardware ovvero la piattaforma inerziale Atomic.

Per effettuare questo collegamento SIMPHYNITY – X-Sim è necessario importare una specifica interfaccia in X-Sim che permetterà di settare come output, anziché un hardware reale, l'interfaccia di SIMPHYNITY.

Questa interfaccia prevede tre output:

- 'SIMPHYNITY Long. Force'
- 'SIMPHYNITY Lat. Force'
- 'SIMPHYNITY Vert. Force'

Tramite il setup matematico bisogna mappare agli output di interfaccia i corretti valori, rispettivamente la forza longitudinale, quella laterale e quella verticale.

La forza verticale ha poco senso considerando che la piattaforma Atomic è una 2DOF, ma potrebbe risultare utile mapparla ugualmente perché sotto al sedile sono presenti dei motori vibranti utili a simulare, se pur in maniera poco realistica, le forze verticali subite durante la guida.

Dunque il funzionamento è questo:



- tramite X-Sim Extractor, bisogna configurare il gioco ed avviarlo direttamente all'interno del software;
- una volta avviato il gioco, si attiverà l'interfaccia di rete di X-Sim Converter. Il gioco invia sulla rete i dati di telemetria;
- X-Sim Converter, correttamente configurato con l'interfaccia output di SIMPHIYNITY, riceve i dati di telemetria e li converte in output da inviare a SIMPHYNITY;
- SIMPHYNITY riceve gli input da X-Sim e li converte in movimenti da effettuare sulla piattaforma;
- la piattaforma Atomic, riceve gli input da SIMPHYNITY ed effettua i movimenti opportuni.

Un'interessante caratteristica di X-Sim Converter è che è possibile impostare come output un simulatore virtuale, una sorta di disegno 3D di una piattaforma, che ci mostra, a seconda degli input di telemetria ricevuti, che tipi di movimenti dovrebbe fare la piattaforma dopo i calcoli effettuati.

Questa caratteristica si è rilevata molto utile per fare delle prove e vedere se gli output fossero corretti senza utilizzare effettivamente l'hardware.

Tramite i plugin matematici di X-Sim Converter è possibile personalizzare il comportamento della piattaforma ed in particolare si può agire sulla velocità e sull'intensità dei movimenti. Per una guida sportiva sarebbe utile avere movimenti più rapidi e aggressivi per avere una simulazioni più veritiera, mentre, in una guida stradale, avere valori troppo aggressivi non sarebbe probabilmente veritiero.

Dopo le prime prove con vari giochi, il comportamento della piattaforma, affiancando X-Sim a SIMPHYNITY, era abbastanza migliorato. Ciò ci ha convinto a utilizzare questa soluzione anche nel nostro progetto.

Purtroppo X-Sim non è pensato per gli sviluppatori. Non da supporto per Unity, non esistono guide a riguardo, ma soprattutto non esistono documentazioni che permettessero di capire cosa bisognasse fare per far arrivare ad X-Sim Converter gli input di telemetria.

Sul sito ufficiale di X-Sim, i post della community, riguardanti lo sviluppo con Unity, erano pochissimi e poco comprensibili.

Una volta capito l'indirizzo IP e la porta usati da X-Sim Converter per ricevere i dati di telemetria, studiando i plugin per altri giochi, si è capito quali dati si aspettasse X-Sim. In particolare, grazie al plugin del gioco "Live for speed" [58], è possibile visualizzare graficamente in output i dati che X-Sim Converter riceve dalla rete.

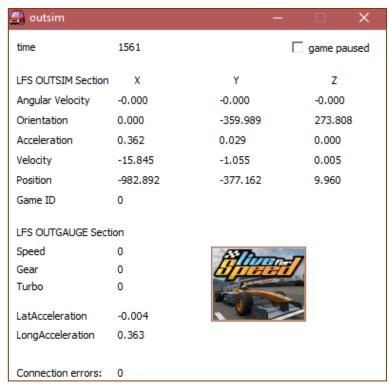


Figura 5.8 - Interfaccia grafica degli input di telemetria di Live for Speed

I dati necessari sono dunque:

- tempo (inteso come tempo di gioco, un semplice valore intero)
- velocità angolare,
- orientazione,
- accelerazione,
- velocità,
- posizione,
- game id.

A parte il tempo e il game id, tutti gli altri dati sono dei vettori a tre dimensioni, come si può vedere dalla Figura 5.8.

I dati della sezione OUTGAUGE sono stati semplicemente ignorati. Quei dati servono per visualizzare informazioni relative a velocità, cambio e turbo, tramite monitor aggiuntivi. X-Sim prevede infatti questa ulteriore possibilità, che, nel nostro caso, non era però utile. Infine, i valori di accelerazione longitudinali e laterali, visibili in Figura 5.8, vengono calcolati automaticamente da X-Sim.

Una volta appreso quali dati di telemetria servissero ad X-Sim Converter, è risultato necessario creare uno script ad hoc, da attaccare al GameObject corrispondente al veicolo, che calcolasse questi dati e li inviasse tramite la rete, sfruttando il plugin per X-Sim del gioco Live for Speed.

Il funzionamento dello script di SIMPHYNITY, citato in precedenza, è praticamente identico. Una volta calcolati questi dati, li invia sulla rete.

C'è una differenza nell'ordine di invio dei dati.

Si è verificato inoltre un problema derivante da un sistema di coordinate errato. Unity utilizza infatti un sistema di coordinate diverso da quello utilizzato da X-Sim; è stato dunque necessario convertire i vettori da right handed a left handed

Figura 5.9 - Codice di programmazione: conversione quaternione e vettore da sistema Right handed a Left handed

Con molta probabilità anche SIMPHYNITY usa un sistema di coordinate diverso da quello di Unity, ma la conversione viene fatta automaticamente dal software, e non all'interno dello script fornito agli utenti.

Una volta inviati i dati, nel giusto ordine, col giusto sistema di coordinate, X-Sim ha cominciato ad elaborare correttamente i dati, e la piattaforma ha cominciato a fare i movimenti corretti.

Dopo aver complicato notevolmente la gestione della piattaforma, considerando l'utilizzo di due ulteriori software (X-Sim Extractor e X-Sim Converter), aver creato uno script apposito per l'invio dei dati di telemetria, risolti i problemi legati ai sistemi di coordinate diversi, è risultato abbastanza deludente appurare come il problema iniziale, riscontrato già nei primi test con SIMPHYNITY, ovvero quello relativo al colpo che la piattaforma dava durante la fase di fermata della macchina, non si era risolto.

In generale, il comportamento della piattaforma era migliorato. Tramite i plugin matematici di X-Sim Converter è stato possibile settare l'aggressività dei movimenti, il range massimo di movimento con molta accuratezza, ma quel problema andava risolto perché davvero fastidioso.

Nello script di SIMPHYNITY, per il calcolo dell'accelerazione, era stata usata una funzione apposita, di copyright di Bit Barrel Media [59], presente in tutta una serie di funzioni matematiche.

La funzione del calcolo dell'accelerazione faceva un livellamento dei valori, sulla base di un numero di campioni, intesi come gli ultimi valori precedenti. Un più alto numero di campioni significa adoperare un livellamento migliore, ma con una latenza maggiore.

Questo livellamento è necessario per via di problemi di approssimazione presenti in Unity. Dopo una fase di debug, si è subito notato come i valori di accelerazione non fossero abbastanza livellati. Erano presenti nei picchi nei valori improvvisi, che, dati in pasto ad X-Sim, erano la conseguenza dei bruschi movimenti della piattaforma durante la fase di frenata.

La funzione utilizzata da SIMPHYNITY, da sola, non risolveva il problema legato ai picchi nei valori di accelerazione, dunque, andando ad operare ulteriormente su tali valori, in modo da evitare i picchi e creare un flusso di dati livellato, la situazione si è risolta.

La piattaforma, dopo questi accorgimenti, ha cominciato a funzionare molto bene. Tramite X-Sim è possibile configurarla a proprio piacimento, in modo che agisca in modo aggressivo o meno a seconda delle nostre personali preferenze.

5.4 Simulatore immersivo

Come già discusso nel capitolo di Progettazione, l'idea di base, nell'ottica di realizzare un simulatore quanto più realistico possibile, era quella di realizzare un simulatore immersivo, in realtà virtuale.

Dunque, l'utente, una volta indossato il visore, dovrebbe trovarsi in macchina, vedere davanti a se un volante e, tramite, il parabrezza e i finestrini dell'auto, ambientazione circostante.

Mettere in realtà virtuale il simulatore è risultato abbastanza semplice. L'unica questione che è stata valutata è stata quella della posizione del componente, rappresentante il visore, rispetto alla macchina.

Spostandoci, nell'area di gioco, nella nostra stanza reale, potremmo trovarci, in realtà virtuale, in una posizione diversa da quella ideale, ovvero su un sedile dell'auto. Per risolvere questa problematica, è stato creato uno script che permette di aggiornare a runtime la posizione del visore.

Questo farà sì che, aggiornando la posizione, ci ritroveremo su un sedile. È possibile scegliere su quale sedile spostare la posizione, tra i quattro a disposizione (anteriore sinistro, anteriore destro, posteriore sinistro, posteriore destro).

L'utente potrà quindi aggiornare la posizione in qualsiasi momento, ad esempio, se non ritenga di trovarsi in una posizione o in una rotazione ottimale.

Questo tipo di tecnica viene usata anche nei giochi di corsa in realtà virtuale, ad esempio, in Assetto Corsa [60].

5.3.1 Leap Motion e tracciamento delle mani

Per rendere il simulatore più realistico e immersivo, come già discusso nel capitolo di Progettazione, si è rilevato necessario inserire la visualizzazione delle proprie mani all'interno dell'ambiente virtuale.

A questo scopo è stato utilizzato un Leap Motion Controller. Il dispositivo, attaccato direttamente sul visore, è in grado di tracciare i movimenti delle mani e visualizzarle nell'ambientazione virtuale.



Figura 5.10 - Tracciamento delle mani con Leap Motion Controller in realtà virtuale

Il componente utilizzato nel progetto prevede vari tipi di modelli di mani. Si è deciso, però, di utilizzare un altro modello, non presente nel componente standard; si tratta di un modello di mani umane, molto veritiero.

Come si diceva pocanzi, è possibile aggiornare la posizione del visore su uno dei sedili dell'auto. Aggiornando la posizione del visore sul sedile anteriore sinistro, quindi in posizione di guidatore, potrebbe accadere che, mettendo le mani sul volante reale, nell'ambientazione virtuale esse non risultino nella stessa posizione. È risultato dunque necessario creare una funzione di aggiornamento della posizione del visore più precisa, che si basasse proprio sulle mani virtuali visualizzate nell'ambiente virtuale mediante l'utilizzo del Leap Motion Controller.

La funzione calcola il punto equidistante nello spazio tra la mano destra e quella sinistra (dell'ambiente virtuale) e fa lo stesso per l'estremità destra e sinistra del volante (dell'ambiente virtuale). Aggiornando, mentre le mani sono appoggiate sul volante reale, la posizione del visore viene spostata in modo tale che i due punti, appena individuati si trovino nella stessa posizione nello spazio.

In questo modo, al termine dell'operazione, l'utente si vedrà in posizione di guidatore e le mani si ritroveranno esattamente sul volante, come si può vedere in Figura 5.11.



Figura 5.11 - Utente impegnato in quida manuale

5.4 Veicolo

Le auto presenti in GENIVI, ovvero una Land Rover L405 e una Jaguar XJ, sono pensate per una simulazione non immersiva. Durante una sessione di guida, in GENIVI, la telecamera riprende quello che si vedrebbe davanti la macchina.

Per questo motivo, gli interni delle macchine, che non vengono mai visualizzati, sono stati omessi, per una questione di carico di lavoro, oltre che di prestazioni.

Per i nostri scopi, invece, gli interni dell'auto giocano un fattore molto importante. L'utente si vedrà all'interno dell'auto e gli interni sono la prima cosa che andrà a guardare.

Piuttosto che inserire gli interni nelle auto presenti di default in GENIVI, si è deciso di utilizzare un'altra macchina, ricreandola da zero [52].

L'auto in questione è una Tesla Model S [61]. La si può vedere in Figura 5.12.

Ovviamente il veicolo gioca un ruolo solamente estetico e non è così rilevante per i nostri scopi, ma si è deciso di utilizzare una Tesla perché, ad oggi, è uno dei marchi considerato più tecnologico. Tesla, alla data odierna, ha un sistema di autopilot che è probabilmente il migliore in circolazione. L'altra motivazione che ci ha spinto a optare per la Tesla Model S è la presenza, all'interno, di un grande display da 17", una sorta di tablet, che avremmo potuto utilizzare, se ne avessimo avuto bisogno, per visualizzare le informazioni rilevanti durante una sessione di guida autonoma.

Giocando un ruolo puramente estetico, non sono stati modificati i parametri fisici del veicolo rispetto ai veicoli di default in GENIVI, ne considerata l'alimentazione differente dell'auto. Tesla Model S è infatti un'auto elettrica, dunque, nella realtà non produce rumore, o comunque produce un rumore molto basso e totalmente differente dalle auto alimentate da un motore termico.

Per via del motore elettrico non sarebbe giusto considerare i giri motore, ma si dovrebbe invece considerare l'energia attualmente utilizzata in kWh.

Queste caratteristiche, non essendo rilevanti per gli scopi della nostra tesi, non sono state considerati.

Per quanto riguarda il volante visualizzato nell'ambientazione virtuale, dovrebbe essere uguale in forma e dimensioni al volante reale, questo perché l'utente, agendo sul volante virtuale, nella realtà agirà sul volante Fanatec, ed è importante preservare la sensazione di intervenire sul volante virtuale.

Se il feedback tattile risultasse diverso da ciò che vede nell'ambientazione virtuale si perderebbe immersione.

Con un volante (virtuale) che abbia stessa forma e dimensione (di quello reale), invece, l'utente avrà la sensazione di utilizzare il volante virtuale avendo però un feedback tattile perfetto.

Dunque è stato disegnato un volante con una forma il più possibile confrontabile a quella del volante Fanatec, con la stessa dimensione.

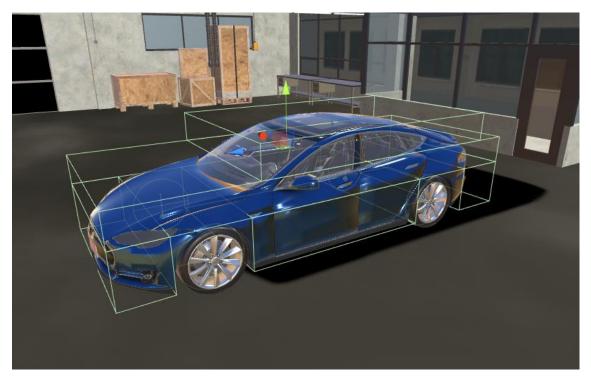


Figura 5.12 - Tesla Model S, configurata in Unity3D

5.5 Guida automatica

Uno dei motivi per cui si è scelto GENIVI è perché, nell'ambiente Yosemite, è già presente la modalità autodrive.

Inoltre, la presenza delle macchine del traffico è indice di una guida automatica già sviluppata. Le macchine del traffico vanno infatti intese come auto che guidano da sole nelle varie ambientazioni.

Implementare la guida automatica sul nostro veicolo non sembrava perciò troppo difficile. Un aspetto molto importante, da tenere in considerazione, è però la qualità della guida automatica.

Si vorrebbe aumentare la fiducia degli utenti nei confronti dell'auto autonoma. Principalmente, come emerso dai ragionamenti presenti nel Capitolo 2 (Stato dell'arte), la fiducia si acquisisce innanzitutto testando il sistema; nulla è in grado di indurci fiducia o meno se non l'esperienza diretta con il sistema di cui fidarsi.

Nel nostro specifico caso, il primo elemento che l'utente andrà a valutare è proprio la qualità della guida automatica.

Nelle prime fasi di guida autonoma, l'utente, valutando positivamente la guida del veicolo autonomo, ragionevolmente si ritroverà in uno stato più rilassato che gli permetterà di concentrarsi su tutti gli altri aspetti.

Al contrario, una guida automatica poco veritiera e di bassa qualità rappresenta sicuramente un elemento negativo.

Facciamo un'ipotesi: siamo difronte ad un semaforo rosso e ipotizziamo due scenari; in entrambi gli scenari la macchina vede il semaforo e lo interpreta con largo anticipo.

- Nel primo scenario, l'auto comincia a frenare ad una buona distanza, frenando gradualmente e fermandosi sulla linea del semaforo.
- Nel secondo scenario, l'auto comincia a frenare a 5 metri dalla linea del semaforo. Per fermarsi sulla linea, la frenata è ovviamente brusca, un'inchiodata.

In entrambi gli scenari il risultato è il medesimo; l'auto valuta il semaforo e si ferma sulla linea. Il comportamento dell'auto, nei due scenari, è, però, completamente diverso.

Nel primo scenario, la frenata che inizia ad una buona distanza ci fa subito percepire che l'auto stia per fermarsi perché ha correttamente valutato il semaforo. Inoltre, la decelerazione leggera subita, aiuta ad evitare sensazioni di stress nell'utente, che invece, di fronte ad una frenata leggera, rimarrà rilassato.

Al contrario, nel secondo scenario, trovarsi in una situazione in cui siamo sempre più vicini alla linea del semaforo e la macchina non comincia la frenata alimenta stress e paura. La frenata brusca, poi, alimenta questa sensazione.

Questo semplice esempio serve a dimostrare come, due comportamenti diversi dell'auto, con il medesimo risultato, possono far percepire sensazioni completamente diverse all'utente. Sicuramente, nel primo scenario, la fiducia nei confronti del mezzo non potrà altro che

aumentare; nel secondo scenario, invece, la fiducia tenderà a calare.

Di fronte ad un tale comportamento si potrebbe pensare che la macchina non abbia visto e considerato il semaforo prima di 5 metri. Questa valutazione porterebbe a pensare che l'auto sia in un certo senso limitata, che non sia in grado di valutare e reagire ad un semaforo se non a una distanza molto ravvicinata.

Dunque è necessario implementare una guida automatica di qualità, che aiuti l'utente a stare in stato di rilassatezza e a fidarsi del veicolo.

5.5.1 AI nativa nelle macchine del traffico

Prima di parlare dell'AI nativa delle macchine del traffico, è giusto parlare della modalità autodrive, presente in GENIVI nella scena di Yosemite.

La scena di Yosemite presenta una strada, poco tortuosa, e un unico incrocio con uno stop. Non è possibile attivare le auto del traffico in questo scenario perchè la modalità autodrive non è completa e l'auto non sarebbe in grado di gestire l'interazione con le auto del traffico. In generale la modalità autodrive non è pensata per poter simulare auto a guida autonoma.

Tenendo una velocità costante, l'auto segue la strada, ignorando il segnale di stop, senza mai frenare. La sterzata, poi, non è lineare ma molto spigolosa e innaturale.

Per questi motivi utilizzare ed implementare gli algoritmi di guida automatica, presenti in Yosemite, anche negli altri scenari, non sarebbe stato utile, soprattutto considerando come nella scena urbana, oltre agli stop, entrano in gioco molte variabili.

Si è rivelato di aiuto, invece, studiare gli algoritmi di AI della macchine del traffico, proprio nella scena urbana, allo scopo di capire l'architettura sottostante e la logica utilizzata dagli sviluppatori.

Come per la maggior parte dei giochi, che prevedono il traffico e quindi macchine che guidino da sole, l'architettura utilizzata da GENIVI è quella di una complessa rete di Waypoint.

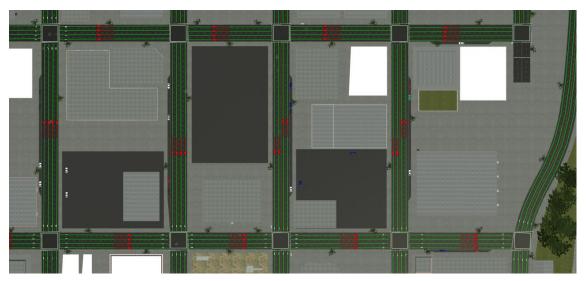


Figura 5.13 - Visualizzazione grafica dei percorsi lungo le strade della scena urbana

I waypoint non sono altro che punti piazzati lungo tutte le strade della scena. I waypoint sono collegati tra di loro, seconda una complessa logica.

Parleremo di tratti di strada per identificare i pezzi di strada che vanno da un incrocio ad un altro, e di intersezione per riferirci agli incroci.

Nella maggior parte dei casi, come si può vedere dalla Figura 5.13, i tratti di strada sono dei rettilinei, ma ci sono anche dei tratti di strada che presentano delle curve.

Ogni tratto di strada, prevede a seconda della tipologia di strada, una o due carreggiate, ognuna delle quali presenta due o più corsie.

Nel caso di una sola carreggiata, ovvero nel caso del senso unico di marcia, le corsie sono sempre quattro, mentre nel caso di due carreggiate (doppio senso di marcia), le corsie sono 2 per carreggiata.

Ogni corsia di un tratto di strada contiene un numero variabile di waypoint, a seconda della tipologia di strada. Un tratto di strada con delle curve avrà più waypoint rispetto ad un tratto rettilineo.

Immaginiamo i waypoint come dei punti rilevanti nei tratti di strada per avere un'idea del percorso da seguire.

In altre parole, tracciando delle linee tra i waypoint, dovremmo ricostruire, anche se non in maniera accuratissima, la topologia della strada.

Ogni tratto di strada è caratterizzato da un ID, un semplice numero intero. Ogni corsia è identificata da un subID, anch'esso un numero intero.

Dunque, se parliamo, ad esempio, del tratto di strada con ID 18 e subID 0, starò facendo riferimento al tratto di strada con questo ID e alla corsia laterale.

Grazie all'architettura, già creata, in GENIVI, è possibile, a partire da un ID e un subID, accedere ai waypoint presenti in quel tratto di strada, nella specifica corsia di interesse.

Nel caso delle intersezioni il discorso è leggermente più complesso. Un'intersezione è collegata a più tratti di strada. Ciò significa che i possibili percorsi all'interno delle

intersezione sono molteplici; un'auto che arriva da un certo tratto di strada, percorrerà l'intersezione, per poi immettersi in un altro tratto di strada.

A seconda delle strade, dell'incrocio stesso, l'auto che arriva da un tratto di strada potrebbe avere la possibilità di immettersi in più di un tratto di strada.

Non dimentichiamoci inoltre che un tratto di strada è fatto da più carreggiate e più corsie.

Ragionando in questi termini, dunque, un'auto che arriva da un tratto di strada, in una determinata corsia, potrebbe avere la possibilità di immettersi in più di un tratto di strada, e, per ogni tratto di strada, in una delle possibili corsie.

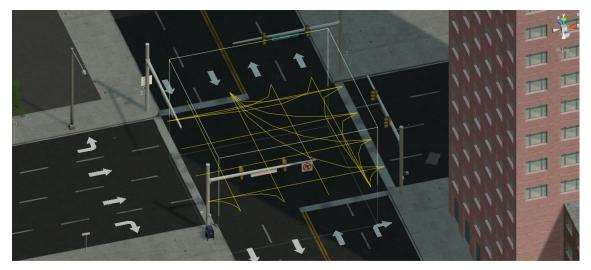


Figura 5.14 - Rappresentazione grafica di un'intersezione

Dunque ogni intersezione avrà un numero variabile di punti di ingresso e di punti di uscita. Tutte le possibilità di collegamento tra punti di ingresso e di uscita, che, dipendono dal tipo di strada e dall'incrocio stesso, rappresentano i possibili percorsi all'interno dell'intersezione.

Come possiamo vedere, ad esempio, nella 5.14, i percorsi, ovvero i collegamenti tra i punti di entrata e di uscita, dipendono dai tipi di strade, che possono essere a doppio senso o a senso unico, dalle frecce a terra, dalle indicazioni visibili nei cartelli.

Ogni intersezione ha un ID, un numero intero maggiore di 1000.

L'intersezione con ID 1073 fa ad esempio riferimento all'intersezione 73 presente nello scenario urbano, visibile all'interno di Unity.

Ogni intersezione ha una lista di coppie punto di entrata – punto di uscita, che, come detto, rappresentano i possibili percorsi all'interno dell'intersezione.

Ogni coppia della lista è identificata da un subID, un numero intero.

Dunque, utilizzando ID e subID possiamo accedere ai waypoint di una determinata intersezione e di un determinato percorso, all'interno dell'intersezione, che lega un punto di ingresso e un punto di uscita.

Quel percorso, ovviamente, collega un tratto di strada ad un altro tratto di strada.

L'intersezione contiene anche altre informazioni. È infatti possibile accedere a tutti i semafori presenti nell'intersezione ed è possibile reperire informazioni circa la presenza o meno di un segnale di stop all'interno della stessa.

Questa complessa rete di waypoint, tratti di strada e intersezioni vengono utilizzati dalle auto del traffico per comprendere il percorso da seguire.

L'auto del traffico, creata in un certo tratto di strada, accede tramite ID e subID ai waypoint presenti in quel tratto e li usa come target da raggiungere.

Una volta raggiunto il waypoint target, l'auto imposta, come target, il prossimo waypoint del tratto di strada.

Raggiungere l'ultimo waypoint del tratto di strada significa arrivare ad un'intersezione.

In maniera casuale, l'AI dell'auto sceglie il prossimo tratto di strada, tra quelli possibili per via della tipologia delle strade e dell'intersezione.

Una volta scelto il prossimo tratto di strada e la corsia del tratto di strada in cui andare, calcola, tra tutti i possibili percorsi all'interno dell'intersezione quale sia quello che lega la corsia del tratto di strada appena percorso (punto di ingresso) con la corsia del tratto di strada scelto in maniera random (punto di ingresso).

Calcolato il percorso, tramite ID e subID, potrà accedere ai waypoint di quel determinato percorso e usarli come riferimento per guidare all'interno dell'intersezione.

Una volta completato il percorso all'interno dell'intersezione potrà accedere, tramite l'ID e il subID del tratto di strada, precedentemente scelto in maniera random, ai waypoint di quel tratto di strada e utilizzarli come target da raggiungere.

Il processo si ripete all'infinito, fin quando non si decide di disattivare le auto del traffico. In quel caso tutti i GameObject, corrispondenti alle macchine del traffico, verranno distrutti.

Facciamo un esempio pratico.

Con riferimento alla Figura 5.15, ipotizziamo che l'auto arrivi dal tratto di strada con ID 39 e subID 3. Dal punto di ingresso all'intersezione, relativo a quella corsia, l'auto può scegliere, come prossimo tratto di strada, quello con ID 38 (e subID 3) oppure quello con ID 45, con la possibilità di scegliere due corsie di quel tratto di strada (subID 2 e 3).



Figura 5.15 - Esempio di intersezione

L'intersezione dell'esempio è la numero 82; oltre ad avere informazioni circa i semafori e la presenza di un segnale di stop, come per tutte le intersezioni, contiene la lista delle possibili coppie punto di ingresso – punto di uscita:

```
subID 0: punto di ingresso 39 – 3; punto di uscita 38 – 3;
subID 1: punto di ingresso 39 – 2; punto di uscita 38 – 2;
subID 2: punto di ingresso 39 – 1; punto di uscita 38 – 1;
subID 3: punto di ingresso 39 – 0; punto di uscita 38 – 0;
subID 4: punto di ingresso 39 – 3; punto di uscita 45 – 3;
subID 5: punto di ingresso 39 – 3; punto di uscita 45 – 2;
subID 6: punto di ingresso 45 – 0; punto di uscita 38 – 3;
subID 7: punto di ingresso 45 – 0; punto di uscita 38 – 2;
subID 8: punto di ingresso 45 – 1; punto di uscita 38 – 1;
subID 9: punto di ingresso 45 – 1; punto di uscita 38 – 0;
```

Ipotizzando che l'auto scelga, in maniera casuale, come prossimo tratto di strada, quello con ID 38 e subID 3, calcolerà quale sia il percorso che lega il punto di ingresso, corrispondente al tratto di strada da cui arriva, al punto di uscita, corrispondente al tratto di strada scelto, ovvero il percorso dell'intersezione 82 con subID 0.

Tramite ID e subID dell'intersezione potrà accedere ai waypoint del percorso corrispondente e, in seguito, accedere ai waypoint del prossimo tratto di strada, scelto precedentemente in maniera casuale.

Anche per le intersezioni, una volta raggiunto un waypoint, verrà impsotato come target il prossimo e così via.

Accedendo, dunque, ai waypoint, sia dei tratti di strada che a quelli dell'intersezione, la macchina è in grado di seguire un percorso.

Arrivate ad un'intersezione, le auto del traffico fanno inoltre delle valutazioni che riguardano i semafori, se presenti, o un segnale di stop, se presente.

Nel caso dello stop, l'auto si ferma allo stop, attende per un numero di secondi e poi riparte. L'ordine di ripartenza delle auto ferme agli stop è definito tramite informazioni circa la precedenza. Questo fa sì che non succeda che più auto, nel ripartire dallo stop, ripartano insieme, col rischio di tamponarsi.

Per quanto riguarda invece i semafori, i casi sono tre:

- 1. Nel caso del semaforo verde, l'auto non si ferma e prosegue; dunque attraversa l'intersezione per immettersi successivamente nel prossimo tratto di strada.
- 2. Nel caso del semaforo rosso, l'auto si ferma sulla linea del semaforo, in attesa che il semaforo diventi verde; una volta diventato verde ripartirà.
- 3. Nel caso del semaforo arancione, l'auto potrebbe sia passare che fermarsi; questa decisione dipende dalla distanza. Se la distanza dal semaforo è abbastanza ampia, allora il semaforo arancione viene considerato esattamente come quello rosso; se, invece, la distanza è più ravvicinata, l'auto passa se non fosse in grado di fermarsi sulla linea del semaforo o se la frenata dovesse risultare troppo brusca.

Le auto del traffico gestiscono nativamente l'interazione tra gli stessi veicoli. Questa funzionalità serve sostanzialmente a gestire l'accodamento dietro un'altra macchina ferma al semaforo. Se ne parlerà meglio in seguito.

Anche se le funzionalità descritte non erano perfette, rappresentavano un ottimo punto di partenza. L'idea iniziale era di far diventare, a tutti gli effetti, la macchina Player una macchina del traffico. Applicando gli stessi algoritmi utilizzati sulle macchine del traffico al nostro veicolo, si sarebbe potuto ottenere lo stesso comportamento delle auto del traffico, implementando quindi la guida automatica.

Questo approccio, però, non era corretto. Le macchine del traffico, infatti, non sono soggette a forze, sono infatti Kinematics. Il movimento della macchina avviene tramite il movimento del suo RigidBody nello spazio tridimensionale rappresentato dalla scena, ad una velocità stabilita. Possiamo immaginare le macchine del traffico come veicoli che fluttuano nell'aria, ma si muovono lungo le strade della scena, all'altezza dell'asfalto.

In ogni momento viene infatti calcolata l'altezza della macchina rispetto all'asfalto e riposizionata lungo l'asse dell'altezza (asse Y).

Ad ogni instante, viene calcolata la velocità a cui la macchina deve essere mossa. In caso di tratti di strada la velocità è impostata a quella che viene definita maxSpeed, ovvero la velocità massima, che nello scenario urbano, è settata a 13.8m/s, ovvero circa 50km/h, sostanzialmente il limite di velocità.

Quando l'auto deve fermarsi al semaforo, la velocità scende a 0, e, quando deve ripartire viene impostata nuovamente a maxSpeed. Il passaggio da maxSpeed a 0 e da 0 a maxSpeed dovrebbe essere graduale.

Per simulare la sterzata, il RigidBody viene ruotato secondo l'angolo tra la macchina e il prossimo target (il prossimo waypoint da percorrere). Anche le ruote, per un migliore effetto grafico, ruotano secondo lo stesso angolo.

Questo approccio, buono dal punto di vista delle prestazioni, non va assolutamente bene per il nostro veicolo.

Il nostro veicolo non viene infatti spostato nello spazio, ma è un oggetto che è soggetto alla gravità e a tutte le forze. Uno degli elementi più importanti del veicolo è il VehicleController, il controllore del mezzo. Per mezzo di questo componente è possibile guidare la macchina, applicare un'accelerazione, una frenata, una sterzata.

A partire dall'input ricevuto, il controller si occupa di far reagire l'auto secondo le leggi della fisica. Tutte le modifiche alla fisica del veicolo, di cui si parlava precedentemente, sono modifiche che hanno effetto sul comportamento del VehicleController.

Siccome uno dei motivi per cui si è scelto GENIVI è la qualità di simulazione, rinunciare al VehicleController e stravolgere questa filosofia a favore di un metodo di guida automatica che preveda un movimento del RigidBody nello spazio, non sembrava una buona idea.

Cambiare la logica di movimento del veicolo, eliminando il VechicleController, significava anche dover modificare la guida manuale, con la consapevolezza di ottenere un risultato peggiore.

In un tale scenario, l'auto non sarebbe più soggetta a sottosterzo o sovrasterzo; non ci sarebbe alcun tipo di differenza tra un tipo di fondo stradale e un altro, dunque l'indice di aderenza sarebbe sempre lo stesso.

Tutte queste peculiarità, tra le altre cose, si traducono in perdita di Force Feedback sul volante.

È risultato necessario, dunque, utilizzare il VechicleController per muovere la macchina, in modo che continuasse a reagire alle leggi della fisica, ricreando in maniera accurata gli input da passare al controller.

In altre parole, se per la macchina del traffico basta impostare la velocità a cui andare e l'auto verrà spostata nella giusta direzione a quella velocità, per il nostro veicolo bisogna calcolare quanto accelerare per far sì che l'auto raggiunga una determinata velocità; nel caso in cui la velocità target sia più bassa, dovremmo calcolare quanto frenare e così via. Oltre a questo, bisogna calcolare quanto sterzare per seguire il percorso ottimale.

Il sistema di waypoint e la logica utilizzata dalle auto del traffico si è rivelata, come già preventivato, un ottimo punto di partenza.

La rete di waypoint, già creata e presente nelle scene, ha evitato di dover creare da zero un'architettura adeguata.

5.5.2 Algoritmi di guida autonoma

Usando come punto di partenza gli algoritmi di AI utilizzati dalle macchine del traffico, è risultato abbastanza veloce creare una prima versione di guida automatica sul nostro veicolo. Il lavoro di miglioramento degli algoritmi si è però rivelato un processo molto lungo.

Nel corso dei mesi, migliorare gli algoritmi è risultato un processo continuo. Situazioni gestite bene si contrapponevano a situazioni gestite meno bene e tentativi di risolvere determinati comportamenti ne compromettevano altri.

Le variabili in gioco, infatti, sono molteplici, dunque, molte soluzioni si basano su compromessi da considerare accettabili in tutte le situazioni.

In primo luogo, nell'ottica di creare una guida automatica di qualità, le interazioni della macchina con gli oggetti presenti nelle intersezioni andavano rivisti.

Non basta, come dicevo nell'introduzione al paragrafo, che l'auto si fermi al semaforo, ma è necessario che l'auto si fermi in un certo modo al semaforo.

Nell'ottica di GENIVI, creare comportamenti ottimali per le macchine del traffico, non era prioritario. Le auto del traffico sono auto non giocabili, e che la loro guida non risultasse perfetta non rappresentava un grosso problema. L'attenzione dell'utente sarebbe infatti concentrata sulla guida.

Quando, però, la guida automatica riguarda il nostro veicolo, e l'attenzione dell'utente è completamente rivolta a valutare i suoi comportamenti, come reagisce agli eventi che gli capitano attorno, allora la qualità della guida automatica diventa un fattore di grande rilevanza.

Usando gli algoritmi di AI delle macchine del traffico come punto di partenza, l'obbiettivo, cercando di migliorare la guida automatica del nostro veicolo, era quello di migliorare la guida automatica anche delle auto del traffico, con le dovute differenze, relative al fatto che tali macchine non dispongono di un Vehicle Controller, e che vengono traslate e ruotate nello spazio, come se stessero fluttuando.

Si potrebbe dotare anche le auto del traffico di un Vehicle Controller con la conseguenza di un peggioramento delle prestazioni a fronte di un miglioramento, a livello di qualità, non utile. Non è infatti utile che le auto del traffico reagiscono agli eventi della fisica, che guidino come le auto reali tramite un input di acceleratore o freno, in quanto si tratta di auto non giocabili.

Partendo dalla valutazione delle intersezioni, è stato necessario modificare quando valutare i semafori o il segnale di stop presente nell'intersezione.

Nativamente, questi elementi venivano valutati troppo tardi, con il rischio di ritrovarci nella situazione già descritta, in cui, con il semaforo rosso, la macchina inizi a frenare troppo tardi e troppo bruscamente.

Lo stesso discorso vale per i semafori arancioni e per i segnali di stop.

Un'attenzione particolare è stata posta nei confronti del semaforo arancione, in modo tale che l'auto si comportasse nella maniera corretta, secondo le modalità descritte in precedenza.

Nel caso del nostro veicolo, non possiamo stabilire una velocità target e usarla come input in qualche modo; gli input necessari per il nostro veicolo riguardano la quantità di accelerazione o frenata, il cosiddetto *throttle*, in una scala da -1 a 1, e l'input di sterzata in una scala da -1 a 1. Un input di throttle maggiore di 0 implica un'accelerazione, mentre un input di throttle minore di 0 una frenata.

Un discorso simile vale per l'input di sterzata: un input minore di 0 implica una sterzata a sinistra, mentre un input maggiore di 0 implica una sterzata a destra.

Nello stabilire la quantità di throttle da applicare è comunque necessario avere informazioni circa la velocità target, dunque l'approccio utilizzato per le macchine del traffico, che in ogni istante calcolano la propria velocità target, rimane valida.

L'idea alla base è di avere informazioni circa la velocità target da raggiungere, in ogni istante, e calcolare la quantità di throttle necessaria per raggiungere quella velocità.

Nella realtà questo approccio è riconducibile al *Cruise Control*; ne parleremo in seguito.

5.5.2.1 Gestione delle frenate e delle accelerazioni

Come già accennato, il passaggio da una velocità pari a maxSpeed a una velocità pari a zero, avrebbe dovuto essere graduale. Tramite le funzioni utilizzate nel codice, da GENIVI, però, questo passaggio era sempre abbastanza repentino.

Il comportamento ideale sarebbe quello di fermarsi, raggiungendo velocità 0 km/h, a partire da una velocità x, in maniera graduale.

Dunque la soluzione, ritenuta più semplice ed immediata, è stata quella di ridurre proporzionalmente la velocità target in funzione della distanza che separa l'auto dallo stopTarget, ovvero il punto in cui vorremmo fermarci.

Nelle macchine del traffico si è subito visto un miglioramento netto nelle fermate.

Questo approccio è stato applicato ogni qualvolta la macchina deve fermarsi; calcolato il punto di stop, la velocità target viene fuori da una semplice proporzione:

velocità iniziale : distanza iniziale = x : distanza corrente

- La velocità iniziale è la velocità a cui il veicolo si trova quando sta per iniziare la fase di frenata.
- La distanza iniziale è la distanza, rispetto al punto di stop, a cui si trova quando sta per iniziale la fase di frenata.
- La distanza corrente è la distanza, rispetto al punto di stop, a cui si trova nel momento di valutazione.
- x rappresenta la velocità target a cui il veicolo dovrebbe trovarsi nel momento di valutazione.

Dunque, se ad esempio, l'auto inizia la procedura di frenata a 10 metri rispetto al punto di stop ad una velocità iniziale di 40 km/h:

- a 7.5 metri dal punto di stop, dopo aver quindi percorso 2.5 metri, la velocità target sarà settata a 30 km/h;
- a 5 metri dal punto di stop, dopo aver quindi percorso 5 metri, la velocità target sarà settata a 20 km/h;
- a 2.5 metri dal punto di stop, dopo aver quindi percorso 7.5 metri, la velocità target sarà settata a 10 km/h;
- a 0 metri dal punto di stop, dopo aver quindi percorso 10 metri, la velocità target sarà settata a 0 km/h.

Allo stesso modo, quando l'auto deve ripartire, impostare immediatamente la velocità target a maxSpeed comporterebbe una accelerazione molto brusca. Dunque, anche in questo caso, è risultato necessario aumentare gradualmente la velocità target fino ad arrivare a maxSpeed.

Nelle intersezioni, però, questo approccio non va bene. Quando l'auto sta percorrendo un incrocio potrebbe dover effettuare una sterzata ampia verso destra o sinistra, nel caso, ad esempio, di un incrocio a T. In queste circostanze, avere maxSpeed come target finale, nonostante l'aumento di velocità graduale, significherebbe accelerare bruscamente. Dunque ogni intersezione contiene un'informazione detta intersectionCornerSpeed, che rappresenta la percentuale, rispetto a maxSpeed, a cui la velocità target dovrebbe essere settata.

Ad esempio, un'auto che percorre una coppia 'punto di ingresso – punto di uscita' di un'intersezione, nella quale intersectionCornerSpeed è settato a 0.5, deve settare come target di velocità finale il 50% di maxSpeed, dunque 25km/h.

Anche in questo caso, il passaggio dalla velocità iniziale, alla quale l'auto si sta approcciando all'intersezione, alla velocità target finale, deve avvenire in maniera graduale.

Facendo esempi pratici, se l'auto è ferma al semaforo e all'incrocio deve svoltare a destra (intersectionCornerSpeed = 0.4), quando riparte passerà gradualmente da una velocità di 0km/h (ripartenza da fermo) ad una velocità di 20km/h; uscita dall'intersezione, nel nuovo tratto di strada, l'auto passerà gradualmente da una velocità di 20km/h alla velocità di 50km/h (maxSpeed).

Al contrario se l'auto sta percorrendo un tratto di strada alla velocità di 50km/h (maxSpeed) e sta per approcciare un incrocio in cui dovrà svoltare a destra (intersectionCornerSpeed = 0.4), ridurrà la velocità gradualmente da 50km/h a 20km/h, percorrerà l'intersezione a 20km/h, dopodiché, uscita dall'intersezione, nel nuovo tratto di strada, aumenterà gradualmente la velocita da 20km/h a 50km/h.

GENIVI, in questo aspetto, si è rivelato d'aiuto, in quanto le informazioni di intersectionCornerSpeed erano già presenti per ogni intersezione.

5.5.2.2 Cruise control

Non considerando la gestione delle altre auto o di casi particolari, le considerazioni fatte fino ad ora basterebbero a produrre una guida automatica di buona qualità.

L'unico tema che resta da affrontare è quello relativo alla quantità di throttle da applicare.

Avendo l'informazione, ad ogni istante, della velocità che dovrebbe tenere l'auto, in caso di rallentamenti, in caso di accelerazioni e, ovviamente, in casi di tenuta costante dell'accelerazione, bisogna realizzare un cruise control.

Nelle auto reali, questo sistema elettronico permette la regolazione automatica della velocità; selezionata la velocità desiderata, fa sì che tale velocità venga mantenuta, compatibilmente con le condizioni di assetto dell'auto stessa, andando ad intervenire sulla quantità di accelerazione da applicare.

Il cruise control, delle auto reali, non agisce sul freno; se, ad esempio, settiamo una velocità minore di quella attuale, l'auto non agirà sul freno, bensì, non applicherà alcun input, sfruttando il freno motore per raggiungere la velocità impostata; una volta raggiunta la velocità impostata, applicherà la giusta dose di acceleratore per far sì che la velocità rimanga costante.

Una versione avanzata del cruise control è il cruise control adattivo. Questo sistema elettronico è in grado di modificare dinamicamente la velocità target a seconda di ciò che viene rilevato davanti l'auto. Quando un'altra auto viene rilevata, la velocità target viene impostata uguale a quella dell'auto che ci precede, mantenendo una distanza, anch'essa impostabile tramite il sistema stesso.

Il cruise control adattivo è dunque in grado non solo di tenere una velocità costante, ma di rallentare se ce ne fosse bisogno, o, addirittura di fermare l'auto se chi ci precede si sia fermato.

Dunque, a differenza del cruise control tradizionale, interviene anche sul freno, non solo sull'acceleratore.

In un contesto virtuale realizzare un cruise control adattivo che agisca anche sul freno non comporta difficoltà. Bisogna precisare che il cruise control adattivo è in grado di controllare il comportamento dell'auto quando si è preceduti da un altro veicolo, ma gli algoritmi di guida autonoma, nelle auto reali, vanno ben oltre. Quello appena descritto, infatti, è solo uno dei possibili scenari che si verificano durante la guida.

Dunque, considerando che nel nostro progetto, come già spiegato, ad ogni istante viene definita la velocità target, siamo interessati solo a emulare un cruise control adattivo nel calcolo della quantità di freno/acceleratore necessario. Modificare dinamicamente la velocità target, come farebbe un cruise control adattivo, in caso di altre auto davanti, dovrebbe essere fatto separatamente, mantenendo la coerenza con le altre operazioni.

5.5.2.3 PID Controller

Il modo più semplice per realizzare un cruise control, utile alle nostre intenzioni, è tramite un *PID Controller* [62]. Un PID (Proporzionale-Integrale-Derivativo) è un sistema molto utilizzato nei sistemi di controllo. Grazie ad un input che determina il valore attuale, è in grado di reagire ad un eventuale errore (positivo o negativo). È un sistema molto versatile perché è possibile regolare la reazione all'errore. Il controller confronta un valore di riferimento con il valore acquisito in ingresso. Il segnale di errore, ovvero la differenza tra i

due segnali, viene usato per determinare il valore dell'uscita del controller. L'uscita è regolata dal PID in base a:

- il valore del segnale di errore (costituisce l'azione proporzionale);
- i valori passati del segnale di errore (costituisce l'azione integrale);
- quanto velocemente il segnale di errore varia (costituisce l'azione derivativa).

Dunque, utilizzando come parametri dell'algoritmo del PID velocità attuale, velocità target e differenza di tempo, dopo un'attenta fase di *PID Tuning*, è stato possibile calcolare la quantità di throttle necessaria, in una scala da -1 a 1. Ciò significa che, durante le fasi di riduzione della velocità, la quantità di throttle necessaria risultava minore di zero, dunque l'auto iniziava a frenare.

5.5.2.4 Gestione delle sterzate

Utilizzando la rete di waypoint come target di spostamento per l'auto, la gestione della sterzata, intesa come calcolo dell'input da applicare al Vehicle Controller per quanto riguarda l'input di sterzata (in una scala da -1 a 1), è fortemente correlato allo stesso waypoint.

In termini più semplici, decidere quanto l'auto dovrebbe sterzare dipende dall'angolo a cui si trova il prossimo waypoint da raggiungere. Se il prossimo waypoint da raggiungere è esattamente davanti all'auto, non c'è bisogno di sterzare; se, invece, il waypoint è davanti all'auto, ma leggermente più a destra, formando un angolo, ad esempio di 10°, bisognerà applicare una sterzata verso destra tale da far ruotare le ruote di 10°, in modo che l'auto punti esattamente verso il waypoint.

Un input di valore 1 del Vehicle Controller equivale ad una sterzata verso destra di 45°; allo stesso modo un input di valore -1 equivale ad una sterzata verso sinistra di 45°.

Dunque, nell'esempio precedente, basterebbe applicare un input per il Vehicle Controller di 10/45 (0.22) per ottenere una sterzata di 10°.

Questo approccio funziona, ma con un risultato molto poco soddisfacente. L'auto infatti curverebbe "a scatti", in una maniera del tutto innaturale.

Anche in questo caso ci viene in aiuto il PID [63].

Come per il calcolo della quantità di throttle necessaria, dopo un'attenta fase di tuning, usando come parametri la sterzata attuale, la sterzata desiderata (ovvero l'angolo tra l'auto e il waypoint) e la differenza di tempo, l'auto ha iniziato a sterzare in maniera naturale.

Ulteriori soluzioni sono state adottate per rendere la sterzata più graduale ed evitare gli "scatti" di cui si parlava, che, nonostante l'utilizzo del PID, in strade in cui i waypoint sono molto distanti, si presentavano. Oltretutto risultava necessario rallentare il movimento del volante, soprattutto in casi in cui c'era bisogno di passare da una sterzata a destra a una a sinistra o viceversa, per rendere il movimento più naturale.

5.5.2.5 Interazione con il traffico

L'interazione tra le stesse macchine del traffico è gestito in GENIVI in maniera molto semplice e basilare. Quello ricostruito in GENIVI era un mondo che si potrebbe definire come "perfetto": tutte le auto si comportano allo stesso modo e in maniera schematica e questo esclude qualsiasi possibilità che si verifichi un caso particolare che richieda una gestione particolare o comunque più complicata da quella proposta nativamente.

In sostanza le auto del traffico vanno tutte alla stessa velocità, passano da 0 a maxSpeed abbastanza bruscamente e frenano abbastanza bruscamente, dunque l'unica possibilità che si possa verificare è che ci sia un'auto davanti che è già ferma al semaforo, o sta per fermarsi. Una volta fatto sì che l'auto setti come target di stop, invece che il semaforo, la macchina che ci precede, l'auto si fermerà dietro di essa, sempre in maniera brusca. Una volta che l'auto davanti esce dal raggio di rilevazione (settato abbastanza basso nativamente), l'auto riprende a guidare con la logica generale e tutta l'interazione tra le auto del traffico è semplicemente gestita.

La più classica delle ipotesi, ovvero quella di avere un'auto davanti e dover adeguare la velocità, non può proprio accadere perché le auto vanno sempre alla stessa velocità. Essendo il raggio di rilevazione basso, in questa specifica circostanza, l'auto davanti non viene nemmeno rilevata; verrà rilevata solo durante la fase di fermata, per via di uno stop o di un semaforo, quando entrerà nel raggio di rilevazione.

Questo tipo di approccio, che per i fini di GENIVI, può andar benissimo, in questo progetto non risulta accettabile. Si vuole mettere in mostra le capacità di un'auto a guida autonoma, dunque quest'ultima dovrebbe confrontarsi con un mondo "imperfetto", simile a quello reale, in cui le auto vanno a velocità diverse e i comportamenti dei guidatori non sono sempre legittimi e rispettosi delle regole stradali.

L'algoritmo sviluppato prevede una gestione dell'interazione con il traffico più intelligente rispetto a quelli proposti da GENIVI.

Utilizzando la stessa logica proposta finora, in cui si vuole impostare una velocità target, a cui l'auto dovrebbe adeguarsi, ad ogni istante, l'algoritmo sviluppato si occupa di adeguare la velocità target, lasciando poi, il compito di frenare o rallentare, al PID Controller, che, a seconda della nuova velocità target, calcolerà la nuova quantità di throttle necessaria.

Quando viene rilevata un'altra auto davanti, l'algoritmo si occupa, in primo luogo, di ricavare la velocità dell'auto che precede. La logica degli algoritmi è basata sulla formula matematica della distanza di sicurezza:

$$distanza di sicurezza = (velocità / 10)^2$$

Il comportamento ricercato è che l'auto inizi a rallentare pian piano fino a che non si ritrovi ad una distanza dall'auto davanti adeguata ed alla sua stessa velocità.

Ricavata, dunque, la distanza di sicurezza, l'algoritmo calcola, ad ogni istante, la velocità target, sulla base della distanza attuale dall'auto davanti, in modo da trovarsi alla sua stessa velocità quando la distanza da essa è pari alla distanza di sicurezza.

Chiamando V_f la velocità finale (quella dell'auto davanti), V_i la velocità iniziale (quando l'auto davanti è stata rilevata), D_i la distanza iniziale (quando l'auto davanti è stata rilevata), D_c la distanza corrente dall'auto davanti allora la velocità target è:

$$velocità target = \frac{V_f + V_i}{(D_f + D_i)/D_c}$$

Da lì in avanti, mantenendo la stessa velocità dell'auto davanti e la giusta distanza di sicurezza, è possibile impostare come velocità target la velocità dell'auto davanti.

Facciamo un esempio. L'auto davanti viaggia ad una velocità di 50km/h. La distanza di sicurezza è dunque $(50/10)^2 = 25m$.

Se la velocità iniziale, quando l'auto davanti viene rilevata, è 100km/h, ipotizzando di essere ad una distanza iniziale di 50m, l'algoritmo calcola ad ogni istante, sulla base della distanza attuale dall'auto davanti, la velocità target fino a che, alla distanza di 25m, la velocità target venga impostata a 50km/h. Dunque se a 50m la velocità target è 100km/h ovvero 27.7m/s:

- a 40m la velocità target risulterà 22.16m/s ovvero 79.77km/h,
- a 30m la velocità target risulterà 16.62m/s ovvero 59.83km/h,
- a 25m la velocità target risulterà 13.8m/s ovvero 50km/h.

Ogni qualvolta la distanza dall'auto davanti scende al di sotto della distanza di sicurezza, questa verrà ricalcolata e nuovi calcoli verranno effettuati.

L'algoritmo gestisce inoltre la fermata dietro ad un veicolo, in modo molto simile alla fermata ad un'intersezione e le situazioni in cui l'auto davanti rallenti, acceleri o stia per fermarsi.

La rilevazione di un'auto davanti è stata effettuata mediante l'utilizzo della tecnica in Unity3D chiamata Raycast; questa tecnica consiste nello "sparare" dei raggi invisibili nell'ambiente, in una certa direzione, e controllare le collisioni risultanti.

Dunque l'auto spara dei raggi davanti a se, e nel momento in cui viene rilevata una collisione, vuole dire che qualcosa si trova davanti l'auto. Se si tratta di un'auto del traffico, allora deve essere gestita.

In alcuni casi, però, auto rilevate davanti l'auto vanno semplicemente ignorate. Quando, ad esempio, l'auto si trova nel mezzo di un incrocio, dunque stia sterzando, potrebbe capitare che, sparando un raggio, venga rilevata una collisione con un'auto in un'altra corsia, che quindi non va considerata.

5.5.2.6 Gestione degli ostacoli

La gestione degli ostacoli è stata gestita in modo diverso rispetto alla gestione dell'interazione con il traffico. Utilizzare la tecnica del Raycast significava dover sparare dei raggi, non solo davanti all'auto, ma anche lateralmente.

Un ostacolo, come ad esempio un pedone che corre verso l'auto, arriverebbe dal marciapiede e quindi partirebbe da una posizione laterale rispetto alla posizione dell'auto.

Sparando il Raycast, solo davanti all'auto, il pedone verrebbe rilevato solo quando si trova esattamente davanti all'auto; con una tale gestione, probabilmente il tempo di reazione dell'auto risulterebbe tardivo, ma, soprattutto, il rischio di non riuscire ad evitare l'ostacolo risulterebbe abbastanza elevato.

La soluzione, ritenuta migliore, consiste nel valutare un'area intorno all'auto. Una tale strategia va a simulare l'effetto dei sensori presenti nelle auto reali.

Quando un oggetto viene rilevato in quest'area, l'algoritmo di gestione valuta se sia da considerare pericoloso. Un qualsiasi elemento dell'ambiente virtuale, come ad esempio, un segnale stradale, piuttosto che una bici sul ciglio della strada, verrà rilevato, ma non è da ritenere pericoloso.

Quando, invece, l'oggetto viene ritenuto pericoloso, viene calcolata la riduzione di velocità necessaria, sulla base della velocità attuale dell'auto e dalla distanza con esso, e, bypassando, l'azione del PID Controller, viene immediatamente impostata, come input di accelerazione, la quantità di throttle necessaria per ottenere la riduzione di velocità necessaria a evitare l'ostacolo.

Quando un ostacolo entra nell'area di rilevazione, nella maggior parte dei casi, si tratta di una situazione estremamente pericolosa, in cui l'azione richiesta all'auto è quella di inchiodare.

Se così non fosse, ad esempio nel caso di un'auto che taglia la strada e prosegue, in cui potrebbe non essere necessario inchiodare, la quantità di throttle applicata non sarà pari a -1, che, come si diceva, rappresenta il massimo della frenata.

Un ostacolo improvviso, a prescindere dai tempi di reazione dell'auto, potrebbe comunque non essere evitato. Questo può accadere anche nel mondo reale, quando le auto autonome entreranno nella nostra quotidianità. I tempi di reazione, più veloci di quelli umani, possono, però, contribuire ad evitare impatti violenti e, quindi, incidenti troppo pericolosi.

In quest'ottica, durante la gestione dell'ostacolo, l'auto non dovrebbe solo inchiodare, ma dovrebbe, in tutti i modi cercare di evitare l'ostacolo, quindi cambiare traiettoria per evitare l'impatto.

Dunque, quando l'algoritmo di gestione degli ostacoli si accorge che, con la sola inchiodata, l'impatto non potrà essere evitato, osserva la traiettoria che sta seguendo l'ostacolo, se in movimento, ed inizia una sterzata nella direzione opposta ad essa.

E' utile far notare come una tale situazione non possa avvenire se l'ostacolo non fosse in movimento. Se questo fosse fermo, infatti, per essere ritenuto pericoloso dovrebbe trovarsi davanti all'auto, ma, in questo caso, verrebbe rilevato con largo anticipo e non risulterebbe necessario inchiodare.

5.5.2.7 Rivalutazione dei waypoint

Quando, per un motivo qualsiasi, l'auto non attraversa o salta un waypoint, lo stesso rimane impostato come target. Una tale situazione potrebbe capitare, ad esempio, per una sterzata effettuata in modo non corretto. Quando l'auto non attraversa il waypoint ma, al tempo stesso, lo oltrepassa, il comportamento dell'auto, per via del fatto che il suo target si trova dietro di essa, diventa imprevedibile.

A questo scopo è risultato necessario gestire queste situazioni. Quando la distanza dal waypoint target continua ad aumentare significa che è stato saltato dunque viene impostato, come target, il prossimo. Nel caso limite, in cui, si continua ad impostare nuovi waypoint come target, ma la distanza da esso continua ad aumentare, significa che l'auto si sta allontanando sempre più dal percorso desiderato e dunque la guida automatica viene disabilitata.

Questo caso limite può venir fuori se l'utente prende il controllo dell'auto e si allontana troppo dal percorso desiderato.

Anche se si sta simulando un'auto di livello 5, in cui l'intervento umano non è possibile, la possibilità di intervento alla guida è stata comunque implementata a scopo di test.

Controllando gli input di pedaliera e volante è possibile verificare se ci sia stato un intervento. In tal caso l'input di sterzata e/o accelerazione dipende dall'hardware e non dalla guida autonoma. È contemplato l'intervento solo sui pedali, solo sullo sterzo o contemporaneamente su pedali e sterzo.

5.5.3 Naturalizzare la guida autonoma

L'utilizzo di un PID Controller, sia per la gestione delle sterzate, sia per la gestione dell'accelerazione e della frenata dell'auto, è risultato in generale adeguato allo scopo di creare un buon sistema di guida.

Il comportamento dell'auto, però, non risultava molto naturale, soprattutto nella gestione del throttle. Per quanto riguarda la sterzata, per naturalizzare il movimento del volante, ed evitare aggiustamenti improvvisi dello stesso, si è fatto utilizzo dell'interpolazione lineare. Usando

come parametri l'input di sterzata attuale e quello desiderato, l'interpolazione lineare permettere di passare in maniera graduale all'input desiderato; in questo modo il movimento del volante risulta, a sua volta, graduale e naturale.

Si è stabilito, inoltre, un punto morto, ovvero una soglia sotto la quale l'input di sterzata non viene eseguito. La soglia, molto bassa, fa sì che, se la differenza tra l'input attuale e quello desiderato sia molto ridotto, lo sterzo rimane nella stessa posizione.

Per quanto riguarda la gestione del throttle, lo stesso approccio, sia per quanto riguarda l'interpolazione lineare, sia per quanto riguarda il punto morto, è stato seguito, con l'obbiettivo di frenare e accelerare più gradualmente.

Nella gestione del throttle, però, intervengono altri fattori da tenere in considerazione. Quando la velocità target scende leggermente, ad esempio durante una curva, il PID Controller potrebbe calcolare un valore di throttle negativo, ad indicare la necessità di frenare, seppur leggermente.

Questo però non avviene durante la guida manuale, dove il guidatore rallenterebbe semplicemente non accelerando. In più, se poco dopo, la velocità target risale al valore precedente, il PID Controller calcolerebbe un valore di throttle positivo.

Ciò significa che l'auto frenerà per un attimo per poi riaccelerare.

Un comportamento simile si otterrebbe quando l'auto segue un altro veicolo. Se le velocità delle due auto sono simili la distanza tra di essi scende sotto la distanza di sicurezza, per riportare l'auto alla distanza giusta, l'algoritmo di gestione dell'interazione con il traffico, riduce leggermente la velocità target. Una volta riacquisita la distanza di sicurezza, la velocità target torna al valore precedente. Anche in questo caso ci sarebbe un attimo in cui l'auto frena per poi riaccelerare. Questo comportamento non è tipico di un guidatore umano e dunque andrebbe quanto più possibile ridotto.

Nelle situazioni appena descritte il valore di input calcolato dal PID Controller viene ignorato a favore di un valore di input pari a 0, che corrisponde a non accelerare e non frenare. Come si può intuire, nei casi di interazione con le auto, questa strategia potrebbe portare a non rispettare a pieno la distanza di sicurezza; non frenando, l'auto impiegherà un tempo maggiore per riacquisire la distanza di sicurezza.

La percezione dell'utente, circa il comportamento dell'auto, risulta, però più naturale ed apprezzabile.

Un discorso analogo andrebbe fatto durante le frenate. Anche in quel caso potrebbe capitare un valore di velocità target leggermente più alto rispetto ai precedenti e che, quindi, il PID Controller calcoli un valore di input di throttle positivo, che comporterebbe, per un attimo, una rapida accelerazione durante la fase di fermata.

L'approccio utilizzato è il medesimo rispetto a quanto descritto precedentemente.

Infine, è risultato necessario adeguare la velocità di percorrenza delle curve in caso di sterzate ampie. Quando l'auto è in curva è infatti necessario ridurre la velocità, onde evitare la perdita di aderenza. A questo scopo, la velocità target viene ridotta, in tali casi, secondo la formula:

$$velocità target = velocità target * (1 - \frac{angolo di sterzata attuale}{angolo di sterzata massimo})$$

5.6 Il volante in guida autonoma

A prescindere dal fatto che la possibilità di intervento alla guida sia attiva oppure no, il volante (reale), durante una sessione di guida autonoma, dovrebbe ruotare e muoversi come avviene nell'ambientazione virtuale.

Se l'utente si trovasse infatti in posizione di guidatore, quindi nel sedile anteriore a sinistra, nell'ambientazione virtuale, toccando il volante virtuale, toccherà anche il volante reale.

L'aspettativa, per migliorare il senso di presenza, è che il volante non sia fermo, ma si muovi, come si diceva, nello stesso modo in cui si muove quello virtuale.

Utilizzando le funzioni della libreria di gestione del force feedback è risultato possibile far ruotare il volante reale. Risulta interessante notare come il force feedback e, quindi, il controllo dei motori all'interno del volante, sia stato utilizzato, in questo contesto, per uno scopo totalmente diverso da quello nativo.

5.7 Informazioni di contesto e sviluppo dell'HUD

Nel Capitolo 4 (Progettazione) sono stati individuate le informazioni di contesto che si è scelto di visualizzare tramite HUD, che vengono riportate qui per convenienza:

- informazioni relative a elementi statici e dinamici rilevati nell'ambientazione;
- informazioni circa la velocità dell'oggetto rilevato, distanza dall'auto e relativa pericolosità;
- informazioni relative a semafori e segnali stradali;
- linea di pianificazione del percorso dell'auto autonoma e delle altre auto del traffico;
- linea di mezzeria.

In questo paragrafo si andrà a spiegare brevemente come queste informazioni siano state effettivamente visualizzate sul display. Maggiori dettagli e spiegazioni sono illustrati nella tesi di Dario Doronzo [52].

Per quanto riguarda la visualizzazione di elementi nell'ambiente, statici, come, ad esempio, alberi, pali di illuminazione, auto parcheggiate ecc., e dinamici, quali pedoni, altri veicoli, animali, si è scelto di utilizzare una visualizzazione di tipo *bounding box*, un parallelepipedo di delimitazione, che contenesse l'oggetto rilevato.

Al bounding box è associata un'etichetta informativa che contiene un'icona identificativa dell'oggetto di riferimento, la velocità dell'oggetto e la misura della distanza dall'auto.

Legato all'etichetta vi è un problema di dimensionamento. Oggi più lontani dal veicolo dovrebbero avere un'etichetta più piccola, mentre oggetti più vicini dovrebbero avere un'etichetta più grande. A questo scopo è stato adottato un ridimensionamento dinamico delle etichette che si basa proprio sulla distanza dall'auto.

Oltre ai problemi di ridimensionamento, sono stati risolti i problemi di sovrapposizione di più etichette. Quando due targhette sono molto vicine tra di loro, una delle due viene traslata verso l'alto.



Figura 5.16 - Visualizzazione di oggetti rilevati tramite bounding box ed etichette

Le etichette, per quanto riguarda i segnali stradali e i semafori, prevedono inoltre un lampeggio, volto a richiamare l'attenzione. Sui semafori, il lampeggio viene azionato quando viene preso in considerazione e ad ogni cambio di stato. Il lampeggio sui segnali stradali è invece previsto solo per segnali più rilevanti durante la guida, come, ad esempio, un segnale di cambio limite di velocità, uno stop ecc. Al lampeggio dell'etichetta del segnale stradale è associato un segnale acustico.

L'indicazione del grado di pericolosità dell'oggetto rilevato viene fornita tramite il bounding box stesso. Quando l'oggetto non è ritenuto pericoloso il colore del bounding box rimane sul blu. Quando, invece, l'oggetto viene ritenuto pericoloso, il colore del bounding box cambia secondo una gradazione dal blu al rosso. Quando il bounding box è rosso vuol dire che l'oggetto è molto pericoloso; un bounding box giallo indica che l'oggetto è abbastanza pericoloso.

Nei casi di emergenza e di estremo pericolo, quando l'auto è costretta ad inchiodare, viene emesso un avviso sonoro nella direzione dell'oggetto, ad indicare l'alta pericolosità della situazione.

Grazie al sistema di waypoint, è possibile ricavare il percorso che seguirà l'auto autonoma. Risulta dunque possibile creare dinamicamente una linea di navigazione, che mostri una pianificazione del percorso sul display. Con la stessa logica è possibile, inoltre, creare dinamicamente linee di pianificazione del percorso, anche per le altre auto del traffico.

L'ultima informazione visualizzata è quella della linea di mezzeria. Nelle strade a due carreggiate di marcia questa viene creata in corrispondenza della linea reale. Il colore fornisce un'informazione aggiuntiva. Quando l'auto si trova nelle vicinanze della linea, il colore cambia secondo una gradazione che va dal verde al giallo, per poi arrivare al rosso quando viene oltrepassata.

5.7.1 HUD omnicomprensivo e HUD selettivo

Nella versione omnicomprensiva dell'HUD, tutte le informazioni di contesto indicate nel paragrafo precedente, vengono mostrate sul display. Dunque ogni macchina presente nel raggio di rilevazione verrà delimitata da un bounding box, per ognuna di esse verranno visualizzate le linee di pianificazione del percorso, oltre che le relative etichette.

Tutti gli oggetti dinamici, quali, ad esempio, pedoni, animali, vengono delimitati dal bounding box e, per ognuno di essi, viene mostrata la relativa etichetta.

Per quanto riguarda, invece, gli oggetti statici, vengono delimitati dal bounding box solo se diventano pericolosi, ad esempio, perché l'auto è nella traiettoria dell'oggetto e la velocità attuale dell'auto non permetterebbe di evitare l'oggetto con una frenata leggera.

Questa versione di HUD, mostra, quindi, all'utente tutto ciò che l'auto rileva davanti a se, fornendo una visione omnicomprensiva dell'ambiente circostante.

La versione selettiva, al contrario, mostra solo una selezione delle informazioni, ovvero le informazioni di contesto rilevanti per l'auto, perché riguardanti oggetti che influenzano la sua guida. Le auto del traffico che verranno delimitate dal bounding box, e dalla relativa targhetta, sono solo quelle che precedono l'auto autonoma o che, anche non trovandosi, esattamente davanti sono nel percorso che l'auto deve seguire.

Per quanto riguarda invece gli oggetti, sia statici che dinamici, essi verranno delimitati dal bounding box solo quando diventano pericolosi. In tutti gli altri casi non vengono visualizzati sul display, perché non influenzano in alcun modo la guida autonoma.

Le linee di pianificazione del percorso delle auto del traffico verranno visualizzate sul display solo quando necessario, ovvero nelle situazioni in cui, agli incroci, ci sono da applicare regole di precedenza. In tal caso, quando dunque la traiettoria dell'auto del traffico incrocia la traiettoria della nostra auto, e una delle due deve dare precedenza, le linee di pianificazione del percorso vengono mostrate.

I bounding box per quanto riguarda i segnali stradali, e le relative etichette, verranno visualizzati in numero molto ridotto. Solo i segnali stradali più rilevanti per la guida autonoma, per i quali è già previsto un lampeggio e il segnale acustico, vengono visualizzati sul display.

Rimangono invariate le informazioni relative ai semafori, al segnale acustico per quanto riguarda i pericoli e al grado di pericolosità degli oggetti dell'ambiente. Quando un oggetto diventa pericoloso viene infatti delimitato dal bounding box, che cambia colore in baso al grado di pericolosità. Se l'oggetto in questione è un'auto del traffico, verrà mostrata anche la linea di pianificazione del percorso, per mostrare con più chiarezza perché sia stata considerata pericolosa.



Figura 5.17 - Confronto tra HUD omnicomprensivo e HUD selettivo

5.8 Scenari di test

Nel Capitolo 4 (Progettazione) si è parlato della necessità di mostrare l'auto gestire varie situazioni di guida. Con l'obbiettivo di effettuare dei test, con utenti qualunque, è necessario creare degli scenari, con delle situazioni, ben definite, che mostrino le capacità dell'auto autonoma.

Per ottenere dei risultati confrontabili è, però, necessario che l'esperienza vissuta da ogni utente sia simile, se non uguale, a quella vissuta da tutti gli altri utenti.

È necessario creare delle *esperienze cablate*. L'auto dovrebbe seguire sempre lo stesso percorso e, le situazioni inserite, dovrebbe accadere negli stessi momenti e negli stessi modi. A questo scopo, sia nello scenario urbano, che nello scenario extraurbano, ancora una volta si è fatto utilizzo del sistema di waypoint. La nostra auto, durante la guida autonoma in urbano, mantiene riferimenti circa la strada che sta percorrendo, il prossimo incrocio, oltre a mantenere una struttura dati con tutto il percorso da seguire, mentre, nello scenario extraurbano, il riferimento al waypoint corrente, oltre che al prossimo.

Quando l'auto cambia tratto di strada (o incrocio), nel primo caso, o quando l'auto cambia waypoint, nel secondo caso, è stato inserito un meccanismo ad eventi che permette di ricreare le situazioni di test in punti strategici.

Ad esempio, al waypoint 150 dello scenario extraurbano, verrà richiamato l'evento 150 che ricreerà una certa situazione quando l'auto si troverà in corrispondenza di quel determinato waypoint.

5.8.1 Scenario di test in ambientazione urbana

L'ambientazione urbana è, in generale, quella considerata più "difficile". Da una parte gli elementi della strada, che l'auto dovrebbe tenere sotto controllo, sono numerosi, dall'altra la presenza di persone ed elementi dinamici, amplifica le preoccupazioni degli utenti.

Le auto semiautonome del presente non sono ancora in grado di percorre in autonomia e piena sicurezza percorsi stradali cittadini e la sfida più grande, nello sviluppo di auto di livello 4/5, è rappresentata proprio dalla gestione di percorsi in ambito urbano, dove le variabili in gioco crescono, rispetto ad un percorso autostradale o extraurbano.

Nel Capitolo 4 (Progettazione) si è manifestato il bisogno di ricreare uno scenario di test abbastanza lungo, in modo da mostrare il sistema gestire varie situazioni di guida, da quelle più classiche a quelle più pericolose.

Il percorso identificato prevede che l'auto inizi a guidare nelle vicinanze del mare, in una zona poco trafficata, per poi addentrarsi nel centro cittadino, dove la quantità di pedoni e auto del traffico inseriti risulta più elevata.

Tramite il sistema ad eventi, basato sui waypoint, è possibile far accadere delle situazioni ben definite sempre negli stessi punti del percorso. Oltre a poter ricreare delle situazioni, questo sistema ad eventi permette la creazione di macchine del traffico in punti strategici.

Quando, ad esempio, l'auto entra in un certo tratto di strada, si andranno a creare le macchine del traffico che percorreranno strade vicine. In questo modo anche l'interazione del traffico può essere controllata e, in generale, è possibile creare altre auto solo quando necessario, con l'obbiettivo di migliorare le prestazioni generali dell'applicazione.

Nella prima fase dello scenario, l'auto gestisce la guida in una strada non rettilinea e vari semafori. Anche i semafori vengono controllati tramite il sistema ad eventi. Lasciare che lo

stato dei semafori sia controllato in maniera casuale andrebbe contro il principio dell'esperienza cablata.

Già nelle prime fasi, viene mostrata la gestione di un semaforo che all'improvviso diventa arancione e costringe l'auto a frenare in maniera leggermente brusca, oltre ad un pedone che, attraversa la strada nel pieno rispetto delle regole.

Nelle prime fasi viene inoltre mostrata la segnalazione e la presa in carico dei segnali stradali di cambio limite. Partendo da un limite di 60km/h, lasciando la strada nelle vicinanze del mare, più ampia e meno trafficata, il limite di velocità viene impostato a 50km/h.

La prima situazione pericolosa ricreata è relativa all'attraversamento improvviso di un cane, che corre da una parte all'altra della strada. Trattandosi di una situazione di estrema pericolosità, l'auto è costretta non solo ad inchiodare, ma, anche a sterzare nella direzione opposta per evitare il tamponamento.

Per migliorare la verosimiglianza della situazione è stato inserito un adulto e una bambina, i proprietari del cane, che camminano, anch'essi verso la strada, senza entrare nella corsia di marcia, a mostrare l'intenzione di cercare di fermare il cane durante la sua corsa. Si sente, inoltre, che il cane abbaia quando inizia la sua corsa.

Dopo ogni situazione pericolosa, come quella appena citata, l'auto effettua una sosta di qualche secondo, per far sì che l'utente abbia tempo capire cosa sia successo e riflettere su come l'auto abbia gestito tale situazione.



Figura 5.18 - Situazione di test: attraversamento di un cane

Proseguendo, vengono mostrate delle applicazioni di regole di precedenza, sia quando la nostra auto deve darla ad altre macchine, sia quando altre auto devono darla alla nostra auto, oltre alla solita gestione di semafori e un'interazione minima con le auto del traffico.

In generale, durante tutto il percorso, la gestione dei semafori, l'interazione con le auto del traffico e l'applicazione delle regole di precedenza, vengono mostrate all'utente.

Dopo un semaforo arancione improvviso, che non consente all'auto di fermarsi in tempo, e che, quindi viene trattato come un semaforo verde, avviene la seconda situazione definita, ovvero una palla, lanciata da un bambino, che attraversa la strada e costringe l'auto, anche qui, ad inchiodare e controsterzare.

Per migliorare la verosimiglianza, in questa situazione sono stati inseriti altri bambini e degli adulti che li sorvegliano, oltre a due fonti sonore: un brusio di sottofondo di ragazzini che giocano al parco, ed un urlo di un uomo nel momento in cui viene lanciata la palla. In quel momento, infatti, anche il bambino si dirige verso il pallone e attraversa la strada di qualche metro.

L'auto, dunque, oltre ad evitare il pallone, considerando il movimento del bambino, prosegue, a velocità bassa, in modo da riposizionarsi in strada correttamente ed uscire completamente dalla sua traiettoria di camminata.

Questa situazione è spesso citata in letteratura, in relazione alla questione morale sollevata dalle auto autonome. In una situazione in cui un bambino lancia una palla e attraversa la strada, le possibilità, nella vita reali, sono molteplici. Per evitare il bambino si potrebbe impattare con un altro elemento, un palo, un albero, una casa, o altri pedoni. I ragionamenti mentali dell'uomo, oltre ad una buona dose d'istinto, stabiliscono cosa bisogna fare, se salvare la vita al bambino, mettendo in pericolo la propria o quella di altri. Nel caso dell'auto autonoma, anche queste situazioni vanno programmate, dando un "peso" alle vite [64].

La situazione create non vuole affrontare la questione morale. Il vero ostacolo è rappresentato dalla palla, e, il bambino che attraversa un pezzo di strada è stato inserito solo per migliorare la verosimiglianza della situazione.



Figura 5.19 – Un tester affronta la situazione di test in cui un bambino lancia un pallone in strada

Dopo aver affrontato questa situazione, lo scenario mostra le capacità dell'auto di interazione con i veicoli del traffico, in più situazioni. Un'auto del traffico, che prosegue a velocità più bassa, costringe la nostra ad accodarsi. Dopo aver ripreso velocità, la stessa auto del traffico è costretta ad inchiodare, in quanto un'altra auto del traffico taglia improvvisamente la strada. Anche la nostra auto è costretta a frenare bruscamente.

Grazie a questa auto, è stato possibile mostrare come l'auto è in grado, in generale, di interagire in maniera adeguata con le auto del traffico, adeguando la propria velocità in modo corretto, sia in fase di percorrenza, che di frenata o di accelerazione.

Ad un certo punto del percorso è presente un cantiere, per dei lavori in corso riguardanti una tubatura al di sotto dell'asfalto. Il cantiere, delimitato da barriere ostacola un'intera corsia. La segnaletica mostra, come, chi si trovi in quella corsia, quella più laterale, sulla destra, debba immettersi in quella immediatamente sulla sinistra. La presenza del cantiere, inoltre, impone un cambio di limite di velocità, che passa da 50km/h a 40km/h.

La situazione creata, in questo punto del percorso, è quello di un taglio strada da parte di un'auto del traffico, che, trovandosi nella corsia del cantiere, e, dovendo immettersi nella corsia dove la nostra auto sta proseguendo, taglia la strada senza fermarsi.

Per realizzare questa situazione è risultato necessario intervenire sulla velocità dell'auto del traffico, andando a modificarla dinamicamente fino a farle mantenere una distanza dalla nostra auto (anche se in due corsie differenti) utile a far sì che, quando, l'input di tagliare la strada venisse azionato, ci fosse lo spazio necessario, per la nostra auto, di frenare in

sicurezza, ma al tempo stesso uno spazio non troppo elevato in modo da rendere la situazione volutamente pericolosa.



Figura 5.20 - Situazione di test: un'auto del traffico taglia la strada nella zona di lavori in corso

Oltrepassata la zona dei lavori in corsi, il limite di velocità torna ad essere impostato a 50km/h e il percorso prosegue lungo la zona dell'ambientazione virtuale che contiene lo stadio. L'auto del traffico che ci precede è ancora quella individuata prima della situazione del cantiere. Ancora una volta frena e rallenta; la nostra auto, dovendo, ad ogni modo, cambiare corsia per effettuare la svolta a sinistra al prossimo incrocio, decide di sorpassare il veicolo e mettersi nella corsia di sinistra prima del dovuto.

Questa situazione, seppur non troppo pericolosa, è in grado di mostrare un'adeguata capacità decisionale dell'auto, che, in tutta sicurezza, decide di sorpassare l'auto del traffico la cui guida, in più occasioni non si è mostrata troppo convincente.

Per mostrare più intelligenza da parte dell'auto, sono state inserite delle auto del traffico che transitano sulla corsia nella quale la nostra auto dovrebbe immettersi durante la fase di sorpasso. Dunque, prima di sorpassare, l'auto aspetta il transito di tutte le auto, che, all'utente non risultano visibili se non tramite l'utilizzo degli specchietti retrovisori.

Nel frattempo lo scenario diventa sempre più trafficato. Il percorso che segue non presenta situazioni troppo rilevanti, per permettere all'utente di concentrarsi anche sul resto, sull'ambientazione, sul display ecc., quando, si presuppone, abbia ormai preso già abbastanza confidenza con il sistema di guida.

Durante questa fase, la situazione più interessante è rappresentata da un'auto del traffico che precede la nostra auto. Dovendo svoltare a destra al prossimo incrocio, rallenta e costringe la nostra auto a rallentare; durante la frenata, è possibile avvertire il rumore di uno scooter sulla sinistra dell'auto, che, taglia la strada e si immette nella corsia dove la nostra auto stava proseguendo.

Questa situazione non è particolarmente pericolosa, infatti il colore del bounding box dello scooter, ad indicare il suo grado di pericolosità, è giallo/arancione. Durante il taglio strada, infatti, la nostra auto era in fase di frenata, dunque la velocità era ridotta. Ciò nonostante, vedere, da una parte, l'auto del traffico immediatamente davanti rallentare, e, dall'altra uno scooter tagliare la strada, genera confusione.



Figura 5.21 - Situazione di test: uno scooter taglia la strada

Nell'ultima parte del percorso sono state ricreate tre situazioni. Nella prima la nostra auto si trova ad un incrocio in cui dovrebbe effettuare una svolta a sinistra abbastanza stretta. Un'auto del traffico deve darci precedenza, ma ciò non risulta troppo rilevante.

Nel momento in cui la nostra auto sta per approcciare l'incrocio, rallentando in vista della curvatura da affrontare, un'altra auto del traffico, a tutta velocità, non rispetta il semaforo e taglia improvvisamente la strada, costringendo la nostra auto ad una frenata molto brusca e a sterzare per evitare l'impatto.

Questa situazione dovrebbe venire percepita come molto pericolosa in quanto l'auto, irrispettosa del semaforo, appare nel campo di vista dell'utente in modo improvviso e inaspettato.



Figura 5.22 - Situazione di test: un'auto del traffico non rispetta il semaforo e taglia la strada

La seconda situazione riguarda un semplice attraversamento di un pedone. L'auto sta per fermarsi ad uno stop e il pedone, prima ancora che l'auto si fermi, inizia ad attraversare. Questa situazione, come altre, non risulta pericolosa, in quanto l'auto è già in fase di frenata e il pedone attraversa oltre la linea dello stop.

Per mostrare, però, che l'auto tiene conto dell'attraversamento pedonale e pone un'attenzione maggiore nei confronti delle persone, quando il pedone si trova davanti l'auto, quest'ultima frena più forte del dovuto per fermarsi qualche metro prima e mantenere una buona distanza dal pedone stesso.



Figura 5.23- Situazione di test: un pedone attraversa la strada in corrispondenza di uno stop

Infine, l'ultima situazione prevede la situazione, che, come riportato nel Capitolo 2 (Stato dell'Arte), genera più preoccupazione in generale, ovvero quella di un attraversamento di un pedone in una zona dove non potrebbe.

Dunque è stato ricreato l'attraversamento di un pedone in strada, dove non potrebbe, quando l'auto si trova in piena velocità. L'auto è costretta ad una frenata molto brusca e a sterzare verso il marciapiede per evitare l'impatto.



Figura 5.24 - Situazione di test: un pedone attraversa la strada improvvisamente in una zona non autorizzata

Dopo questa situazione l'auto prosegue per un ulteriore incrocio, dopodiché si ferma e lo scenario di test si interrompe, sospendendo, a sua volta, l'azione della piattaforma inerziale, per permettere all'utente di rialzarsi in tutta sicurezza.

5.8.2 Scenario di test in ambientazione extraurbana

Nello scenario extraurbano, in generale, è possibile mostrare capacità diverse dell'auto. In una tale ambientazione, infatti, il comportamento di guida dell'auto è diverso. La tortuosità del percorso ed il fatto che la velocità possa essere più elevata, fanno sì che l'auto debba adeguare più accuratamente la velocità nelle curve, in modo da evitare perdite di aderenze. La discussione relativa all'adeguamento della velocità in curva, riportata nel Paragrafo 5.5.3, ha molto più senso nello scenario extraurbano.

Il ruolo principale di questo scenario, come si evince dal capitolo di Progettazione, è quello di mostrare il comportamento dell'auto in un contesto di guida differente, in cui, in generale, la gestione delle sterzate e delle accelerazioni/frenate risultava diverso dal contesto urbano. Anche in questo scenario, però, sono state inserite situazioni limite allo scopo di rendere più interessante il test. Per via della strutturazione della scena, però, le situazioni ricreabili non sono molte; in particolare ne sono state ricreate quattro:

• la prima situazione riguarda una frana; il percorso presenta sassi all'estremità della strada e un sasso si trova nella corsia di percorrenza della nostra auto; il sasso diventa visibile solo nelle immediate vicinanze per via di un cambio di pendenza della carreggiata. Nello stesso momento, un'auto del traffico percorre la corsia opposta. La gestione della situazione prevede che l'auto freni e sterzi verso sinistra, allo scopo di evitare il sasso, ma sterzare nuovamente, poco dopo, verso destra, in modo da evitare anche l'auto del traffico;



Figura 5.25 - Prima situazione di test in ambientazione extraurbana

 la seconda situazione riguarda un'auto del traffico, nella corsia opposta a quella della nostra auto, in un comportamento scorretto, ovvero durante un sorpasso in una zona non consentita. Nell'effettuare il sorpasso l'auto occupa la corsia della nostra auto, che si ritrova, quindi, costretta a frenare per evitare l'impatto;



Figura 5.26 - Seconda situazione di test in ambientazione extraurbana

 la terza situazione riguarda un'altra auto del traffico, nell'ottica di mostrare la capacità di interazione della nostra auto con esse; l'auto del traffico frena improvvisamente, nel mezzo di una curva, per poi proseguire a normale velocità poco dopo;



Figura 5.27 - Terza situazione di test in ambientazione extraurbana

• l'ultima situazione riguarda infine un cervo che attraversa improvvisamente la strada e costringe l'auto a frenare bruscamente, oltre che a sterzare per evitare l'impatto.



Figura 5.28 - Quarta situazione di test in ambientazione extraurbana

Durante il percorso, come nel caso dello scenario di test urbano, sono previsti dei cambi di limite di velocità. In questo scenario i cambi limite, intesi come adeguamento della velocità da parte dell'auto, sono molto più visibili in quanto le differenze di velocità possono essere abbastanza significative.

Capitolo 6

Valutazione e risultati

In questo capitolo si andranno a spiegare tutte le fasi relative alla valutazione del lavoro, ai test effettuati e ai risultati ottenuti.

I test sono stati effettuati da trenta persone di età compresa tra i 18 e i 33 anni, per il 73% ragazzi e il 27% ragazze, per la maggior parte studenti del Politecnico di Torino. Considerando la presenza di due versioni di HUD, si è deciso di far testare a quindici persone la versione di HUD omnicomprensivo e, alle altre quindici, la versione selettiva.

6.1 Procedura di test

I test sono stati effettuati nel VRLab situato al Politecnico di Torino. Prima di iniziare il test, ad ogni partecipante è stato spiegato che tipo di esperienza avrebbe vissuto, ovvero una simulazione, in realtà virtuale immersiva, a bordo di un'auto autonoma di livello 5, in cui non vi è possibilità di intervento alla guida. Una piccola descrizione ed una visione di un video, riguardante gli HUD, hanno permesso ai partecipanti di capire quale fosse il nostro contesto di ricerca e, in generale, a cosa servissero e come venissero fornite le informazioni di contesto stradale, visibili durante la simulazione dal sistema HUD.

Prima di iniziare il test vero e proprio, è stato chiesto all'utente di compilare un questionario iniziale che comprendeva domande circa l'esperienza nel campo di simulazioni di guida e della realtà virtuale immersiva, oltre che informazioni circa l'età e il sesso.

Nel questionario iniziale era presente, inoltre, una domanda in cui si chiedeva in che scala fosse disposto a partecipare allo stesso tipo di esperienza nella realtà, e tutta una serie di domande per la valutazione dello stato di salute.

I visori di realtà virtuale, infatti, generano *motion sickness*, una sensazione di nausea e malessere in generale, che è utile valutare.

Dopo aver compilato la prima parte del questionario, ogni partecipante ha iniziato il test in realtà virtuale immersiva; dopo aver vissuto quest'esperienza è stato chiesto loro di compilare un questionario di valutazione.

Da test preliminari, si era già appurato come il solo scenario extraurbano fosse sufficiente a mostrare l'auto autonoma nella gestione di più situazioni di guida e di pericolo. In questo scenario, infatti, l'auto mostra adeguate capacità decisionali per via della completezza dello stesso, da un punto di vista di situazioni inserite.

Lo scenario extraurbano, come spiegato nel Capitolo 4 (Progettazione) sarebbe dovuto servire solo per mostrare all'utente come l'auto sia in grado di guidare anche in strade tortuose, con cambi di pendenza e a velocità più elevate. Il confronto tra le due varianti di visualizzazione di HUD, in questo scenario, infatti, non è significativo, in quanto, considerando il numero ridotto di oggetti presenti nell'ambientazione, le due versioni risultano molto simili.

Considerando il problema relativo al motion sickness e la lunghezza, in termini di tempo, dello scenario di test urbano di circa dodici minuti di sola guida autonoma, è stato preferito non testare lo scenario extraurbano. Testare entrambi gli scenari avrebbe impegnato, in realtà virtuale immersiva, i partecipanti al test per molto tempo, alimentando la sensazione di nausea e malessere.

Si è inoltre deciso di far vivere l'esperienza in posizione di passeggero, ovvero sul sedile anteriore destro. Questa posizione è preferibile, rispetto a quella del guidatore, perché i partecipanti non sono abituati alla guida autonoma da "spettatore alla guida", ed effettuare il test in questa posizione permette di ottenere risultati più verosimili.

In posizione di guidatore, come già spiegato, l'utente vedrebbe il volante virtuale muoversi davanti a se. In qualunque momento potrebbe toccarlo e dovrebbe percepire che anche il volante reale si muova coerentemente con quello virtuale.

In posizione di passeggero, invece, è fondamentale non avere un oggetto fisico, che oltretutto si muova, che non sia presente nell'ambiente virtuale. L'utente potrebbe muovere le mani nello spazio davanti a se, che nell'ambiente virtuale viene percepito come libero, ma, se incontrasse un ostacolo fisico, ovvero il volante, il senso di immersione si ridurrebbe drasticamente.

In conclusione, durante la simulazione, il volante reale è stato rimosso.

6.2 Questionario

Per effettuare la valutazione dell'esperienza di simulazione si è fatto utilizzo di un questionario creato allo scopo, che permettesse di formulare osservazioni di vario genere. L'intero questionario è visionabile in Appendice A.

La prima parte del questionario, che, come si accennava, riguarda la valutazione dello stato di salute, è il SSQ (Simulator Sickness Questionnaire) [65]. Le stesse domande sono state poste sia prima che dopo aver effettuato la simulazione, allo scopo di valutare cosa avesse provocato loro la realtà virtuale immersiva.

Le tre sezioni successive riguardano: il senso di immersione e presenza, la fedeltà della simulazione, la simulazione di guida autonoma. Le prime due sono una versione modificata del VRUSE [66]. Il VRUSE è un questionario progettato per misurare l'usabilità delle applicazioni di realtà virtuale. Gli aspetti chiave, indagati dal questionario, sono: la funzionalità, gli input dell'utente, il sistema di output (display), la guida e l'aiuto forniti all'utente, la consistenza, la flessibilità, la fedeltà della simulazione, la gestione di errori e la robustezza in generale, il senso di immersione e presenza, l'usabilità generale del sistema. Sono state dunque prese in considerazione le sezioni relative al senso di immersione e presenza e fedeltà della simulazione, in cui sono state selezionate solo le domande interessanti e inerenti al contesto.

La sezione riguardante la simulazione di guida autonoma presenta domande standard per la valutazione dell'HRI (Human Robot Interaction), in particolare per la valutazione della fiducia riposta nei sistemi robotici [67]. Come già spiegato, è stata posta un'attenzione particolare nel mostrare l'auto gestire più situazioni di guida; la letteratura afferma, infatti, come questo sia uno degli elementi più importanti per stabilire fiducia nel sistema. Queste domande servono a valutare proprio quanto l'auto abbia mostrato delle buone capacità di guida e di gestione delle situazioni di pericolo e, in generale, quanto la guida autonoma del futuro sia stata ben simulata. Questa sezione rappresenta una sorta di propedeuticità per la

valutazione dell'HMI, nel senso che, risposte poco soddisfacenti a questa sezione, dovrebbero corrispondere a risposte poco soddisfacenti alle sezioni successive.

Le sezioni successive indagano gli aspetti rilevanti nell'ambito dell'HMI. L'idea alla base delle domande proposte era quella di porre domande per ognuno degli aspetti considerato rilevante nella progettazione dell'HMI, con una attenzione particolare all'aspetto della fiducia.

In particolare sono state poste domande relative al modello mentale, alle informazioni di tipo why e alla competenza del sistema, al carico cognitivo e alla consapevolezza della situazione. Come riportato precedentemente, la progettazione dell'HMI è strettamente legata alla fiducia e gli aspetti che influenzano la fiducia sono a, loro volta, collegati agli aspetti dell'HMI, tenendo in considerazione l'importanza del concetto di feedback.

Tutte le domande servono dunque a valutare la fiducia che le informazioni mostrate dal display HUD abbiano trasmesso, oltre che aspetti rilevanti alla base dello studio, come la consapevolezza della situazione. Si è infatti interessati a capire quanta consapevolezza voglia l'utente in un auto di livello 5 e come questa influisca sulla fiducia.

La consapevolezza della situazione è, infatti, un fattore importante per stabilire un buon livello di fiducia.

Bisogna considerare che dare consapevolezza della situazione aiuta l'utente a capire a sua volta le intenzioni dell'auto (modello mentale); è in generale considerato adeguato fornire consapevolezza della situazione tramite informazioni di tipo why, in quanto aiutano a mostrare il sistema competente; dare troppa consapevolezza potrebbe, però, aumentare il carico cognitivo.

Come si può notare, dunque, tutti questi aspetti sono legati tra di loro.

- Le domande relative al modello mentale indagano su quanto le informazioni abbiano reso chiare le intenzioni e le decisioni dell'auto autonoma, in varie situazioni definite, ed in generale.
- La domanda relativa alle informazioni di tipo why è rivolta a capire se le informazioni abbiano aiutato l'utente a capire perché l'auto stesse effettuando una determinata azione.
- La domanda relativa alla competenza del sistema è rivolta a capire se le informazioni mostrate dal sistema HUD abbiano aiutato l'utente a creare la percezione che l'auto avesse tutto sotto controllo.
- Le domande relative al carico cognitivo, ispirate in parte al NASA TLX [68], servono a dare un'idea di quanto impegno mentale causano le informazioni sul display HUD.
- Infine, le domande relative alla consapevolezza della situazione prevedono due sezioni distinte, una per qualità e l'altra per la quantità. Il SART (Situation Awareness Rating Tecnique) [69] definisce dieci "dimensioni" nell'ambito di tre domini. Nel dominio della comprensibilità, la qualità e la quantità delle informazioni rappresentano due delle tre dimensioni (la terza dimensione è la familiarità). Le domande circa queste due dimensioni riguardano elementi specifici del display HUD, allo scopo di effettuare un confronto più dettagliato tra le due versioni di HUD.

Prima di arrivare alla sezione finale, il questionario contiene una domanda generale sulla fiducia in cui viene chiesto in che misura le informazioni siano stato d'aiuto per stabilire la fiducia nell'auto autonoma.

Nell'ultima sezione l'utente può indicare tre fattori positivi e negativi relativi all'esperienza appena vissuta. Inoltre, la stessa domanda posta all'inizio, in cui si chiedeva in che scala fosse disposto a partecipare allo stesso tipo di esperienza, viene posta anche dopo la simulazione.



Figura 6.1 - Un tester durante la simulazione di guida autonoma

6.3 Risultati

In questo paragrafo verranno analizzate le risposte fornite dall'utente al questionario in Appendice A, in modo da trarre delle considerazioni.

Per quanto riguarda le domande iniziali, la maggior parte dei partecipanti al test non aveva mai utilizzato, o comunque utilizzato raramente, né strumenti per la realtà virtuale, come, ad esempio, visori, né simulatori di guida.

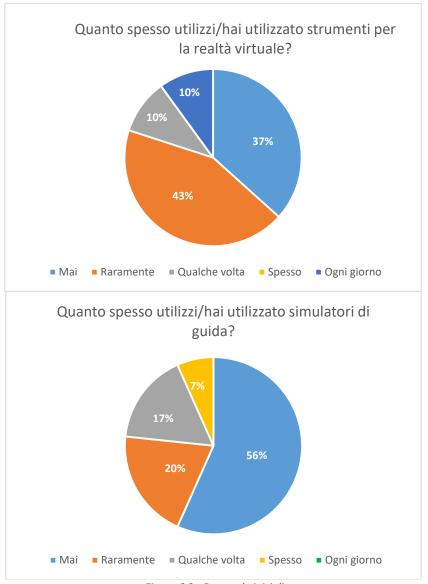


Figura 6.2 - Domande iniziali

I grafici riportati nel paragrafo riportano il valore medio delle risposte date alle varie domande. Per fornire una rappresentazione più immediata, i valori medi delle domande con accezione negativa, sono stati invertiti. È possibile riconoscere tali domande tramite una "(i)" posta alla fine delle stesse.

Per l'analisi di casi in cui era necessario un confronto si è inoltre fatto utilizzo del T test. Si tratta un test statistico di tipo parametrico, che ha lo scopo di verificare se la differenza dei valori medo di due distribuzioni sia significativa statisticamente o se sia dovuta al caso [70].

Assumendo la cosiddetta "ipotesi zero", secondo la quale non esiste differenza tra i due gruppi di dati, ma l'eventuale differenza nei valori medi vada attribuita al caso, lo scopo del test è quello di capire se bisogna accettare o rifiutare l'ipotesi zero. Se il test consiglia di rifiutare l'ipotesi zero allora la differenza osservata viene dichiarata statisticamente significativa; in caso contrario, questa viene indicata statisticamente non significativa.

I risultati di un test statistico non hanno un valore di certezza, ma soltanto di probabilità; una probabilità che si avvicina a 0 testimonia una bassa probabilità che la differenza osservata sia dovuta al caso; al contrario, una probabilità che si avvicina 1 testimonia un'alta probabilità che la differenza osservata sia dovuta al caso.

La decisione di respingere l'ipotesi zero è dettata dal cosiddetto *livello di significatività*, che solitamente viene posto uguale a 0.05 (5%).

Dunque, i risultati presentati nel paragrafo sono stati considerati statisticamente rilevanti qualora i risultato del T test abbiano riportato un valore inferiore a 0.05 e sono stati indicati, nei grafici, tramite un *.

I grafici, inoltre, contengono, per ogni media, una barra di errore che mostra la deviazione standard, ovvero la stima della variabilità della popolazione di dati.

Per quanto riguarda il modulo relativo all'SSQ, sono state riportate in Figura 6.3 solo le risposte risultate statisticamente significative dal T test.

In generale, l'utilizzo degli strumenti di realtà virtuale immersiva, ha causato, nei partecipanti al test, un incremento del livello di nausea in particolare, oltre che malessere in generale, sudorazione e fastidio allo stomaco.

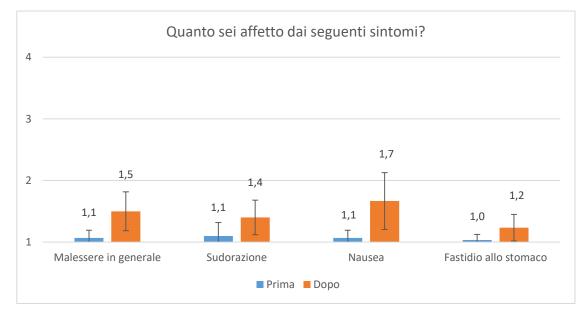


Figura 6.3 - Analisi dell'SSQ

Nella Figura 6.4, è possibile osservare i risultati relativi al senso di immersione e presenza, che, in generale, è risultato soddisfacente. L'unico dato meno soddisfacente è relativo al display del visore, che, a causa della risoluzione non troppo elevata, ha contribuito a ridurre il senso di immersione e presenza.

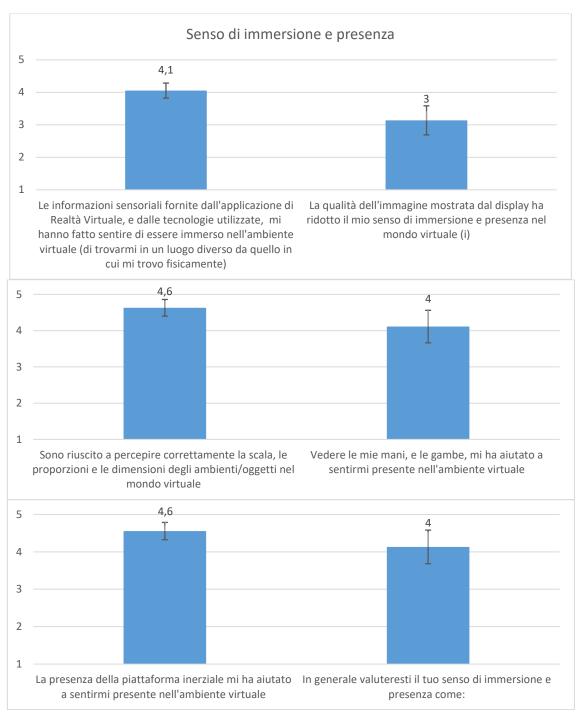


Figura 6.4 - Analisi del senso di immersione e presenza

Sia la fedeltà della simulazione, che la simulazione di guida autonoma (Figura 6.5 e Figura 6.6), sono risultate molto soddisfacenti.

È importante che i risultati di queste sezioni siano risultati positivi ci permettono di poter valutare i fattori dell'HMI partendo dalla consapevolezza di aver simulato fedelmente una sessione di guida autonoma e di aver mostrato l'auto gestire situazioni di vario genere. I partecipanti hanno percepito un'adeguata capacità decisionale del sistema, che si è mostrato intelligente e in grado di gestire situazioni inaspettate e pericolose. Come detto più volte, questo elemento risulta fondamentale per ragionare in termini di fiducia.

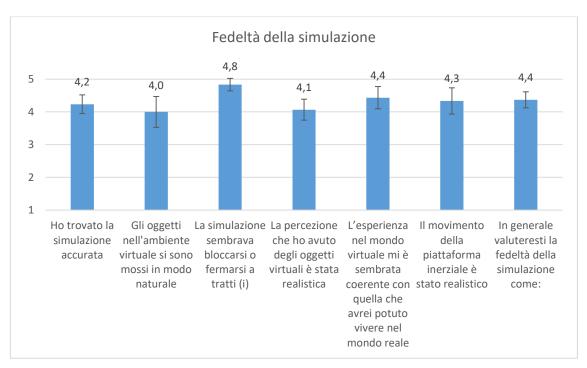


Figura 6.5 - Analisi della fedeltà di simulazione

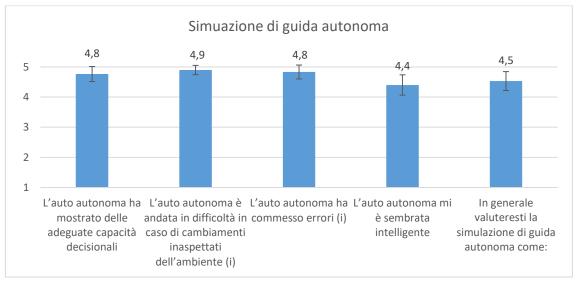


Figura 6.6 - Analisi della simulazione di quida autonoma

I grafici che seguono riguardano le risposte fornite nell'ambito dei fattori rilevanti nella progettazione dell'HMI. Tutti i grafici riportano un confronto diretto tra la versione di HUD omnicomprensivo e la versione di HUD selettivo.

Partendo dalle informazioni sul modello mentale (Figura 6.7), si può vedere come entrambe le versioni presentino risultati soddisfacenti. In particolare, però, l'HUD selettivo, nonostante mostrasse meno informazioni, ha creato un modello mentale migliore nei partecipanti. La domanda generale sulla chiarezza delle intenzioni dell'auto mostra significatività statistica. Il caso specifico che è risultato più chiaro nell'HUD selettivo, piuttosto che in quello omnicomprensivo, è quello relativo all'applicazione delle precedenze, che per via del minor numero delle linee di navigazione delle auto del traffico, chiariva meglio le intenzioni dell'auto nel dare o ricevere precedenza.

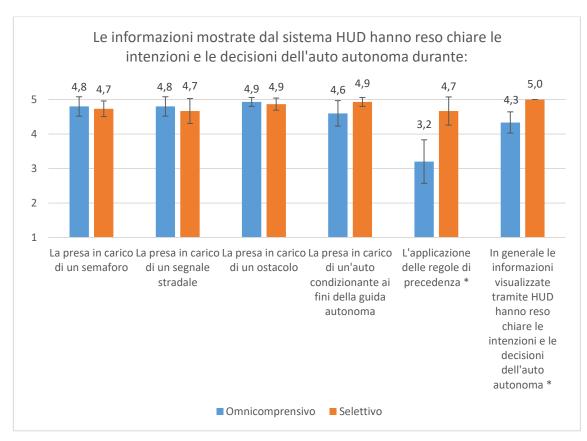


Figura 6.7 - Analisi del modello mentale

In Figura 6.8 possiamo vedere come entrambe le versioni, in ugual misura abbiano mostrato con chiarezza perché l'auto stesse facendo una determinata azione.

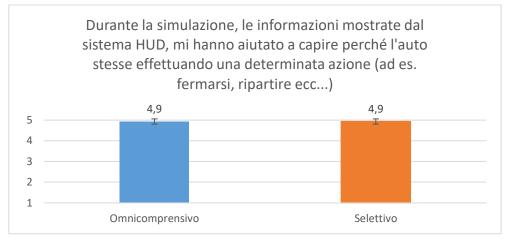


Figura 6.8 - Analisi delle informazioni di tipo Why

Un discorso analogo vale per la competenza del sistema (Figura 6.9). È interessante verificare che, nonostante la versione selettiva non fornisse tutte le informazioni di contesto, riuscisse comunque a dare la percezione all'utente che l'auto avesse tutto sotto controllo.

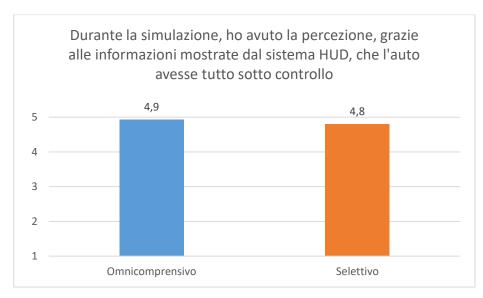


Figura 6.9 - Analisi della competenza del sistema

Passando al carico cognitivo, i risultati in Figura 6.10 mostrano come l'HUD omnicomprensivo comporti un carico cognitivo maggiore. Nel caso omnicomprensivo, da un punto di vista mentale, le informazioni risultavano poco gradevoli, quasi fastidiose, mentre nel caso selettivo tali informazioni risultavano molto gradevoli.

Un'interessante considerazione riguarda il numero di informazioni non notate nelle due versioni. Questa informazione è stata raccolta nel modulo successivo riguardante la consapevolezza della situazione. In generale, chi provava l'omnicomprensivo, era più incline ad non notare tutte le informazioni. In particolare l'avviso sonoro per quanto riguarda i segnali stradali non è stato notato da tredici persone su quindici. Nel caso selettivo, invece, questa informazione non è stata notata solo da cinque persone.

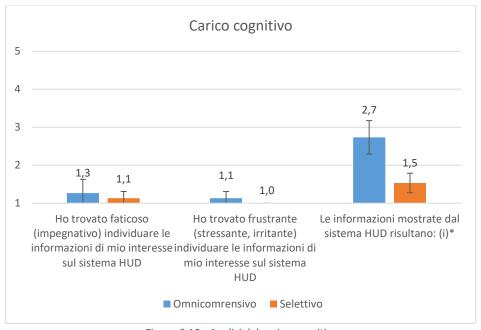


Figura 6.10 - Analisi del carico cognitivo

In Figura 6.11 è possibile vedere i risultati relativi alla qualità delle informazioni, per quanto riguarda la consapevolezza della situazione, che, come si diceva, è uno dei fattori più importanti da valutare, nel contesto di questa tesi.

Le risposte del modulo di qualità delle informazioni riescono a fornire un'idea di quali informazioni siano utili a creare la *giusta* consapevolezza della situazione.

In generale, in entrambe le versioni, si è riusciti a fornire una buona consapevolezza della situazione, con risultati generali leggermente migliori nel caso dell'HUD selettivo.

Un esempio, in negativo, riguarda i bounding box per i semafori e per i segnali stradali; questa informazione, che mostra come l'auto abbia rilevato il segnale o il semaforo non è stata ritenuta utile a creare consapevolezza della situazione. Il motivo principale di questo risultato consiste nel fatto che l'etichetta, associata al bounding box, è risultata più utile. La stessa etichetta infatti, nel dare le informazioni circa gli specifici oggetti, fornisce anche l'idea, all'utente, che l'auto l'abbia rilevato. In questi termine, dunque, il bounding box è risultato un tipo di informazione ridondante. Sia per i segnali stradali, che per i semafori, comunque, i risultati sono leggermente migliori nel caso dell'HUD selettivo.

Per quanto riguarda le etichette c'è una differenza statisticamente rilevante per quanto riguarda quelle dei segnali stradali, dove l'informazione acquisisce, per le due versioni di HUD, un significato diverso. Questa informazione è stata ritenuta più utile nel caso selettivo, dove il significato associato ad essa è la presa in considerazione del segnale, piuttosto che la rilevazione del segnale, come nel caso omnicomprensivo.

Un'altra informazione poco apprezzata, è in generale non ritenuta decisamente utile nel creare consapevolezza della situazione, è la linea di mezzeria; le medie, per le due versioni sono praticamente identiche, ma la deviazione standard è più alta nel caso omnicompensivo.

Altre differenze statisticamente rilevanti riguardano le linee di pianificazione del percorso delle auto del traffico e i bounding box per gli ostacoli ed eventuali ostacoli.

Anche nel caso delle linee di pianificazione, per le due versioni di HUD, l'informazione associata ha un significato differente. Si era già visto come, per l'applicazione delle regole di precedenza, nel caso selettivo, l'informazione risultasse più chiara. Le linee di pianificazione del percorso delle auto del traffico, nel caso selettivo, vengono mostrate proprio in questi casi oppure quando la traiettoria dell'auto del traffico influenza, per qualche motivo, la guida della nostra auto. Nel caso omnicomprensivo l'informazione fornisce molta consapevolezza della situazione; questo risultato mostra come fornire tanta consapevolezza non vuol dire che venga apprezzata. Una consapevolezza minore, come nel caso del selettivo, ma più di qualità, in quanto riesce a rendere più chiare le intenzioni dell'auto, nel contesto del modello mentale, viene comunque apprezzata maggiormente.

Per quanto riguarda, infine, i bounding box per ostacoli e potenziali ostacoli, vale un discorso simile. Nel caso selettivo l'informazione relativa ai potenziali ostacoli non è presente; solo nel momento in cui un oggetto risulta potenzialmente pericoloso, il bounding box viene mostrato sul display. Anche in questo caso, dunque, la consapevolezza della situazione fornita era minore, ma è risultata più di qualità.

Nel caso omnicomprensivo, infatti, avere l'informazione di rilevazione di tutti i pedoni e animali sui marciapiedi non è risultato particolarmente utile.

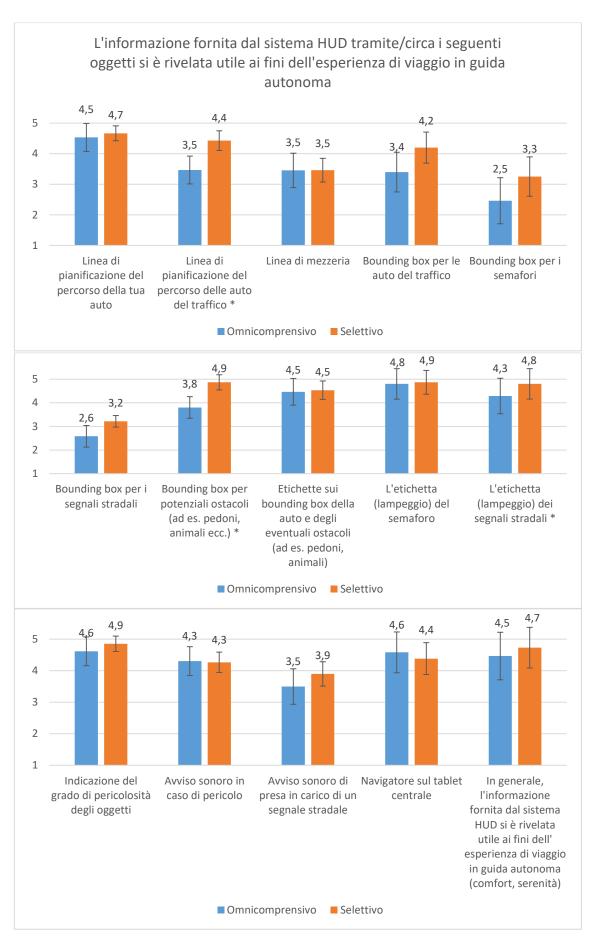


Figura 6.11 - Analisi della consapevolezza della situazione: qualità dell'informazione

In Figura 6.12 è possibile vedere i risultati relativi alla quantità delle informazioni, per quanto riguarda la consapevolezza della situazione. Nel modulo precedente si è visto come, in generale, entrambe le versioni di HUD hanno fornito una buona consapevolezza della situazione, con risultati leggermente migliori per la versione selettiva; in questo modulo vogliamo valutare quanta consapevolezza della situazione è stata percepita dall'utente. Sicuramente la versione omnicomprensiva fornisce più consapevolezza della situazione, mentre la versione selettiva ne fornisce di meno. Quello a cui si è interessati è capire se, in auto di livello 5, sia sufficiente fornire meno consapevolezza.

La scala delle risposte di questo modulo ha un significato diverso rispetto a quello dei moduli precedenti. In questo caso infatti 1 significa che l'informazione è risultata insufficiente, 5 eccessiva, mentre 3 rappresenta che l'informazione sia risultata in numero adeguato/ideale. Come si può vedere dai grafici, c'è una differenza statisticamente rilevante riguardo la domanda generale sul numero di informazioni fornite. Nel caso selettivo tutti i quindici partecipanti hanno ritenuto adeguato il numero di informazioni fornito (media = 3), mentre nel caso omnicomprensivo la media si attesta intorno al 3,8, dunque il numero di informazioni è risultato eccessivo.

Ciò significa che, in generale, l'utente, nel contesto delle auto di livello 5 preferisce avere meno informazioni, dunque meno consapevolezza della situazione.

Analizzando nello specifico tutte le informazioni, si può notare come ci siano molte differenze statisticamente rilevanti, per quanto riguarda le linee di pianificazione del percorso delle auto del traffico, i bounding box per le auto del traffico, le etichette sui bounding box per le auto del traffico, i bounding box per i semafori, i bounding box per i segnali stradali, etichette sui bounding box per i segnali stradali, i bounding box per eventuali ostacoli, le etichette sui bounding box per eventuali ostacoli.

Nel caso selettivo tutte queste informazioni sono risultate in numero adeguato, mentre, nel caso omnicomprensivo, sono risultate in numero eccessivo.

È interessante menzionare che il numero di bounding box per i semafori mostrato dal display è in numero uguale nelle due versioni di HUD, ma nonostante ciò, sia risultato eccesivo nel caso omnicomprensivo e solo leggermente eccessivo nel caso selettivo.

Una possibile considerazione è che la versione omnicomprensiva richieda un carico cognitivo maggiore e, dunque, la stessa quantità di informazione venga percepita come eccessiva rispetto al caso selettivo, che, in generale richiede meno carico cognitivo.

Un'utile considerazione arriva direttamente da un tester che, provando la versione selettiva, ha ragionato sul fatto che, al suo primo viaggio in un'auto autonoma, avrebbe voluto un minimo di informazione in più sui pedoni, ma questo tipo di visualizzazione sarebbe stato perfetto ad un secondo viaggio, quando oramai si sarebbe sentito confidente nei confronti dell'auto autonoma.

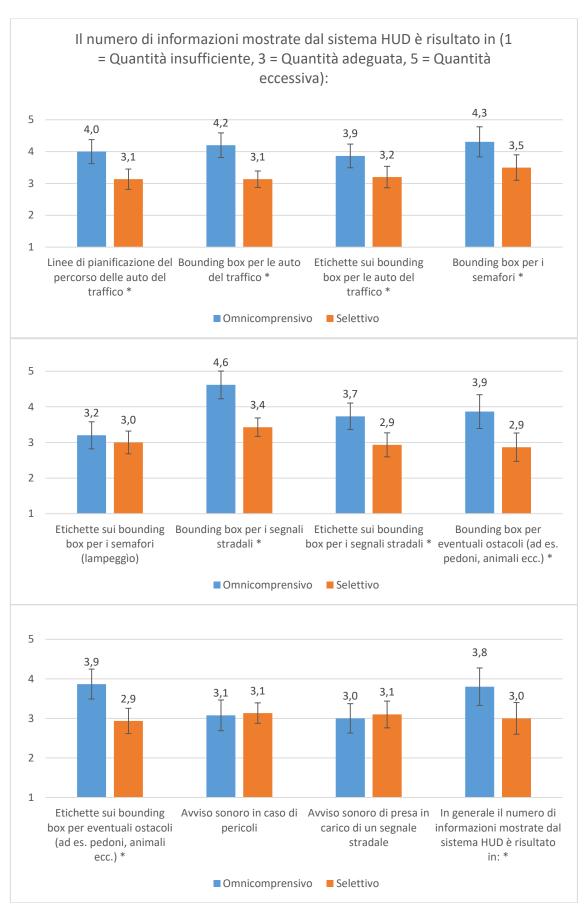


Figura 6.12 - Analisi della consapevolezza della situazione: quantità di informazioni

Dalle risposte dei moduli in cui venivano valutati fattori influenzanti la fiducia è emerso che, in entrambi i casi, le informazioni fornite dal sistema HUD sono d'aiuto nello stabilimento della fiducia. La domanda specifica, presente nel questionario, dimostra questa considerazione (Figura 6.13).

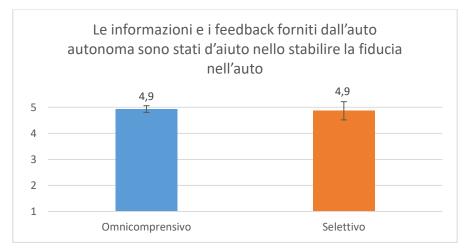


Figura 6.13 - Analisi della fiducia

L'ultima considerazione riguarda l'esperienza vissuta dai partecipanti. La stessa domanda, circa la disponibilità a partecipare ad un'esperienza di viaggio in guida autonoma a bordo di un'auto reale, è stata posta sia prima che dopo aver effettuato il test.

I risultati mostrano come ci sia stata una differenza statisticamente significativa, che dimostra come questo tipo di simulazione abbia aiutato a migliorare la confidenza verso le auto autonome. Scartando i partecipanti che, a tale domanda, hanno risposto "decisamente si", anche prima di effettuare il test, le medie passano ad un valore di 3.3, prima della simulazione e 4.1, dopo la simulazione, con una significatività statistica, per quanto riguarda il T test, di 0.0015.

Questo risultato dimostra come questo tipo di simulazione possa essere utilizzato, con ottimi risultati, dalle aziende produttrici di auto autonome, come mezzo di training, per far apprezzare tale tecnologia a tutte le persone e per aumentare la confidenza e l'accettazione di questa nuova tecnologia.

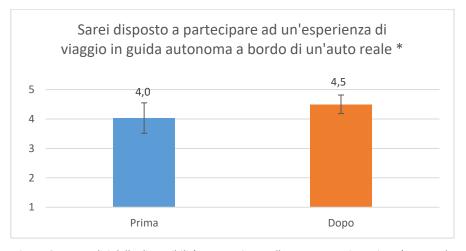


Figura 6.14 - Analisi della disponibilità a partecipare alla stessa esperienza in un'auto reale

Capitolo 7

Conclusioni e sviluppi futuri

7.1 Considerazioni

Il simulatore realizzato ha permesso ai partecipanti al test, di vivere un'esperienza virtuale di guida autonoma. I risultati mostrano, in primo luogo, come questa esperienza abbia incrementato, in essi, la confidenza verso questa tecnologia.

In generale questo tipo di simulazione potrebbe dunque essere utilizzato per superare l'ostacolo principale alla diffusione delle auto autonome, ovvero l'accettazione sociale.

I risultati riportati nel Capitolo 6 mostrano innanzitutto come, in generale, la simulazione sia stata apprezzata e ritenuta accurata, e come il senso di immersione e presenza sia risultato soddisfacente.

La simulazione ha mostrato l'auto valutare e gestire varie situazioni di guida, soprattutto situazioni improvvise, ritenute pericolose. Questo ha incrementato nei partecipanti la percezione di competenza dell'auto autonoma, oltre che di un'adeguata capacità decisionale della stessa.

I risultati confermano che fornire informazioni di contesto, come suggerito dalla letteratura scientifica, sia un modo efficace per incrementare la fiducia dell'utente nei confronti del sistema autonomo. La progettazione dell'HMI si è rivelata efficace nel mostrare le intenzioni dell'auto autonoma e consapevolezza della situazione, tramite informazioni di tipo why, che spiegassero il perché di una determinata azione da parte dell'auto.

Il confronto tra due versioni di visualizzazione di informazione, in un display HUD, ha permesso di poter trarre delle considerazioni e delle conclusioni.

La versione omnicomprensiva ha indotto, nei partecipanti al test, un carico cognitivo maggiore rispetto alla versione selettiva. Mostrare molta consapevolezza della situazione si è mostrato utile per acquisire la fiducia necessaria nel sistema.

La versione selettiva, però, oltre ad essere riuscita nell'intento di aumentare il grado di fiducia nei confronti dell'auto autonoma, è riuscita a creare un modello mentale migliore rispetto alla versione omnicomprensiva, fornendo una consapevolezza della situazione di maggiore qualità.

In particolare la versione omnicomprensiva ha mostrato un numero di informazioni che è stato percepito come eccessivo, a differenza della versione selettiva che, invece, ha mostrato un numero di informazioni percepito come ideale.

La tesi dimostra quindi come, in auto di livello 5, quindi con il massimo grado di autonomia, dove il compito dell'utente è quello di un semplice passeggero, sia più adeguato fornire una consapevolezza della situazione minore.

Bisognerebbe dunque preferire, nella progettazione dell'HMI, una versione di visualizzazione delle informazioni selettiva, che vada a mostrare solo una selezione delle informazioni di contesto, utili, in ogni caso, ad incrementare la fiducia nei confronti dell'auto autonoma.

7.2 Sviluppi futuri

Parlando di possibili sviluppi futuri, in generale, ragionando sullo stato attuale del simulatore, si potrebbe cercare di migliorare il fotorealismo degli oggetti virtuali, soprattutto delle auto del traffico; si potrebbero inserire più modelli di personaggi umani, in modo da incrementare il numero di pedoni durante il tragitto, e migliorare le animazioni per quanto riguarda gli animali.

Allo scopo di valutare che tipo di sensazioni riesce a provocare la simulazione nell'utente, si potrebbero effettuare delle misurazioni oggettive, come quella del battito cardiaco.

Si potrebbe inoltre monitorare dove guarda l'utente, durante il test, tramite un Eye tracker, in modo da creare mappe di calore ed effettuare delle misurazioni più accurate.

Considerata la grandezza della scena urbana è altresì possibile creare nuovi scenari di test e ricreare nuove situazioni.

Lo scenario extraurbano, con le situazioni già individuate e realizzate, potrebbe essere oggetto di ulteriori studi, così come la scena di Yosemite, presente in GENIVI, potrebbe essere utilizzata per creare un nuovo scenario di test.

Rimanendo nel tema delle auto autonome di livello 5, i possibili sviluppi futuri sono tanti. Si potrebbe innanzitutto studiare altri modi di fornire informazioni di contesto, utilizzando comunque HUD. Tutto quello che concerne la progettazione dell'HMI, in generale, potrebbe essere studiata tramite il simulatore sviluppato. Sarebbe interessante, ad esempio, considerare altri sensi, oltre a vista e udito, oppure considerare interfacce vocali.

Sarebbe possibile confrontare display e tecnologie diverse per la visualizzazione di informazioni, oppure studiare il design delle auto del futuro e provare, in realtà virtuale immersiva, nuovi concept di interni.

Nel capitolo introduttivo si accennava alla preoccupazione delle persone sul fatto che l'auto autonoma possa risultare pericolosa anche per chi si trova fuori dall'auto.

A questo scopo, utilizzando gli scenari già creati e le ambientazioni già presenti, si potrebbe far vivere l'esperienza dal punto di vista di un pedone, o comunque, in generale da altri punti di vista.

L'implementazione della guida manuale permette, inoltre, di poter analizzare e studiare tutto quello che riguarda le auto semiautonome, dove viene richiesto l'intervento alla guida, per le quali, però la ricerca è molto attiva.

Appendice A

Questionario di valutazione

A.1 Domande personali

- 1. Età
- 2. Sesso

Quanto spesso utilizzi/hai utilizzato:

- 3. Strumenti per la realta virtuale immersiva(ad es. Oculus Rift, HTC Vive ecc.)? (Mai, raramente, qualche volta, spesso, ogni giorno)
- 4. Simulatori di guida (ad es. Assetto Corsa, rFactor ecc.)? (Mai, raramente, qualche volta, spesso, ogni giorno)
- 5. Sarei disposto a partecipare ad un'esperienza di guida autonoma a bordo di un'auto reale (Decisamente no, no, non saprei, si, decisamente si)

A.2 Autovalutazione dello stato di salute pre-simulazione

Quanto sei affetto dai seguenti sintomi in questo momento? (Per nulla, lievemente, moderatamente, intensamente)

- 6. Malessere in generale
- 7. Affaticamento
- 8. Mal di testa
- 9. Occhi affaticati
- 10. Difficoltà di messa a fuoco
- 11. Salivazione aumentata
- 12. Sudorazione
- 13. Nausea
- 14. Difficoltà di concentrazione
- 15. Visione sfocata
- 16. Capogiro con occhi aperti
- 17. Capogiro con occhi chiusi
- 18. Vertigini
- 19. Fastidio allo stomaco

A.3 Autovalutazione dello stato di salute post-simulazione

Quanto sei affetto dai seguenti sintomi in questo momento? (Per nulla, lievemente, moderatamente, intensamente)

- 20. Malessere in generale
- 21. Affaticamento
- 22. Mal di testa
- 23. Occhi affaticati
- 24. Difficoltà di messa a fuoco
- 25. Salivazione aumentata
- 26. Sudorazione
- 27. Nausea
- 28. Difficoltà di concentrazione
- 29. Visione sfocata
- 30. Capogiro con occhi aperti
- 31. Capogiro con occhi chiusi
- 32. Vertigini
- 33. Fastidio allo stomaco

A.4 Senso di immersione e presenza

(Completamente in disaccordo, in disaccordo, né in disaccordo né in accordo, d'accordo, completamente d'accordo)

- 34. Le informazioni sensoriali fornite dall'applicazione di Realtà Virtuale, e dalle tecnologie utilizzate, mi hanno fatto sentire di essere immerso nell'ambiente virtuale (di trovarmi in un luogo diverso da quello in cui mi trovo fisicamente)
- 35. La qualità dell'immagine mostrata dal display ha ridotto il mio senso di immersione e presenza nel mondo virtuale
- 36. Sono riuscito a percepire correttamente la scala, le proporzioni e le dimensioni degli ambienti/oggetti nel mondo virtuale
- 37. Vedere le mie mani, e le gambe, mi ha aiutato a sentirmi presente nell'ambiente virtuale
- 38. La presenza della piattaforma inerziale mi ha aiutato a sentirmi presente nell'ambiente virtuale
- 39. In generale valuteresti il tuo senso di immersione e presenza come: per nulla soddisfacente, poco soddisfacente, mediamente soddisfacente, soddisfacente, molto soddisfacente?

A.5 Fedeltà della simulazione

(Completamente in disaccordo, in disaccordo, né in disaccordo né in accordo, d'accordo, completamente d'accordo)

- 40. Ho trovato la simulazione accurata
- 41. Gli oggetti nell'ambiente virtuale si sono mossi in modo naturale
- 42. La simulazione sembrava bloccarsi o fermarsi a tratti
- 43. La percezione che ho avuto degli oggetti virtuali è stata realistica
- 44. L'esperienza nel mondo virtuale mi è sembrata coerente con quella che avrei potuto vivere nel mondo reale
- 45. Il movimento della piattaforma inerziale è stato realistico
- 46. In generale valuteresti la fedeltà della simulazione come: per nulla soddisfacente, poco soddisfacente, mediamente soddisfacente, soddisfacente, molto soddisfacente?

A.6 Valutazione della simulazione di guida autonoma

(Completamente in disaccordo, in disaccordo, né in disaccordo né in accordo, d'accordo, completamente d'accordo)

- 47. L'auto autonoma ha mostrato delle adeguate capacita decisionali
- 48. L'auto autonoma è andata in difficolta in caso di cambiamenti inaspettati dell'ambiente
- 49. L'auto autonoma ha commesso errori
- 50. Quali? (Risposta aperta)
- 51. L'auto autonoma mi è sembrata intelligente
- 52. In generale valuteresti la simulazione di guida autonoma come: per nulla soddisfacente, poco soddisfacente, mediamente soddisfacente, soddisfacente, molto soddisfacente?

A.6 Valutazione dell'interfaccia HUD

In questa sezione vogliamo valutare in generale quanto l'interfaccia (display HUD) sia stata efficace dal punto di vista dell'utilità e della fiducia. Le domande riguarderanno fattori rilevanti nello studio dell'HMI (human-machine interface).

53. Quale versione di HUD hai testato? (HUD omnicomprensivo, HUD selettivo)

A.7 Modello mentale

Le informazioni mostrate dal sistema HUD hanno reso chiare le intenzioni e le decisioni dell'auto autonoma durante: (1 = Completamente in disaccordo, 2 = in disaccordo, 3 = né in disaccordo né in accordo, 4 = d'accordo, 5 = completamente d'accordo)

- 54. La presa in carico di un semaforo
- 55. La presa in carico di un segnale stradale
- 56. La presa in carico di un ostacolo
- 57. La presa in carico di un'auto condizionante ai fini della guida autonoma
- 58. L'applicazione delle regole di precedenza
- 59. In circostanze diverse da quelle appena menzionate, pensi che le intenzioni dell'auto autonoma siano state poco chiare?
- 60. In quali circostanze? (Risposta aperta)
- 61. In generale le informazioni visualizzate tramite HUD hanno reso chiare le intenzioni e le decisioni dell'auto autonoma

A.8 Informazioni di tipo Why

62. Durante la simulazione, le informazioni mostrate dal sistema HUD, mi hanno aiutato a capire perché l'auto stesse effettuando una determinata azione (ad es. fermarsi, ripartire ecc.) (Completamente in disaccordo, in disaccordo, né in disaccordo né in accordo, d'accordo, completamente d'accordo)

A.9 Competenza del sistema

63. Durante la simulazione, ho avuto la percezione, grazie alle informazioni mostrate dal sistema HUD, che l'auto avesse tutto sotto controllo (Completamente in disaccordo, in disaccordo, né in disaccordo né in accordo, d'accordo, completamente d'accordo)

A.9 Carico cognitivo

(Completamente in disaccordo, in disaccordo, né in disaccordo né in accordo, d'accordo, completamente d'accordo)

- 64. Ho trovato faticoso (impegnativo) individuare le informazioni di mio interesse sul sistema HUD
- 65. Ho trovato frustrante (stressante, irritante) individuare le informazioni di mio interesse sul sistema HUD
- 66. Le informazioni mostrate dal sistema HUD risultano: (Decisamente fastidiose, fastidiose, né fastidiose né gradevoli, gradevoli, decisamente gradevoli)

A.10 Consapevolezza della situazione

A.10.1 Qualità delle informazioni

L'informazione fornita dal sistema HUD tramite/circa i seguenti oggetti si e rivelata utile ai fini dell'esperienza di viaggio in guida autonoma (Decisamente inutile, inutile, né inutile né utile, utile, decisamente utile)

- 67. Linea di pianificazione del percorso della tua auto
- 68. Linea di pianificazione del percorso delle auto del traffico
- 69. Linea di mezzeria
- 70. Bounding box per le auto del traffico
- 71. Bounding box per i semafori
- 72. Bounding box per i segnali stradali
- 73. Bounding box per potenziali ostacoli (ad es. pedoni, animali ecc.)
- 74. Etichette sui bounding box della auto e degli eventuali ostacoli (ad es. pedoni, animali)
- 75. L'etichetta (lampeggio) del semaforo
- 76. L'etichetta (lampeggio) dei segnali stradali
- 77. Indicazione del grado di pericolosità degli oggetti
- 78. Avviso sonoro in caso di pericolo
- 79. Avviso sonoro di presa in carico di un segnale stradale
- 80. Navigatore sul tablet centrale
- 81. In generale, l'informazione fornita dal sistema HUD si è rivelata utile ai fini dell'esperienza di viaggio in guida autonoma (comfort, serenità)

A.10.2 Quantità di informazioni

II numero di informazioni mostrate dal sistema HUD e risultato in (1 = Quantita insufficiente, 3 = Quantita adeguata, 5 = Quantita eccessiva):

- 82. Linee di pianificazione del percorso delle auto del traffico
- 83. Bounding box per le auto del traffico
- 84. Etichette sui bounding box per le auto del traffico
- 85. Bounding box per i semafori
- 86. Etichette sui bounding box per i semafori (lampeggio)
- 87. Bounding box per i segnali stradali
- 88. Etichette sui bounding box per i segnali stradali
- 89. Bounding box per eventuali ostacoli (ad es. pedoni, animali ecc.)
- 90. Etichette sui bounding box per eventuali ostacoli (ad es. pedoni, animali ecc.)
- 91. Avviso sonoro in caso di pericoli
- 92. Avviso sonoro di presa in carico di un segnale stradale
- 93. In generale il numero di informazioni mostrate dal sistema HUD è risultato in:

A.11 Fiducia

94. Le informazioni e i feedback forniti dall'auto autonoma sono stati d'aiuto nello stabilire la fiducia nell'auto (Decisamente inutile, inutile, né inutile né utile, utile, decisamente utile)

A.12 Domande finali

- 95. Elenca tre aspetti positivi e tre aspetti negativi relativi all'esperienza appena vissuta. (Risposta aperta)
- 96. Dopo questa esperienza, sarei disposto a partecipare ad un'esperienza di viaggio in guida autonoma a bordo di un'auto reale (Decisamente no, no, non saprei, si, decisamente si)

Bibliografia e riferimenti

- [1] L. Baronchelli, «Auto connesse: l'innovazione digitale sale a bordo,» 2018. [Online]. Available: https://fortronic.it/auto-connesse-innovazione-digitale/.
- [2] C. Giacosa, «Auto a guida autonoma: tutti i vantaggi e i rischi,» Marzo 2018. [Online]. Available: http://www.ecoblog.it/post/169191/auto-a-guida-autonoma-pro-contro.
- [3] K. E. Schaefer, The perception and measurement of human-robot trust, Orlando, Florida, 2013.
- [4] G. A. Bekey, «Autonomous Robots: From Biological Inspiration to Implementation and Control (Intelligent Robotics and Autonomous Agents),» MIT Press, 2005.
- [5] R. A. M. M. S. K. S. C. B. C. Zanchin, «On the instrumentation and classification of autonomous cars,» *IEEE Internetional Conference on Systems, Man, and Cybbernetics (SMC),* 2017.
- [6] A. Tosi, «Vi spieghiamo i sei livelli di autonomia dell'auto senza pilota,» Ottobre 2016. [Online].
- [7] R. A. M. M. S. K. S. C. Betina Carol Zanchin, «On the instrumentation and classification of autonomous cars,» 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2017.
- [8] A. D. Signorelli, «I cinque livelli delle auto autonome Dal 2 plus di oggi fino alle vetture senza volante: Danny Shapiro di Nvidia racconta la tabella di marcia delle self driving cars,» Ottobre 2017. [Online]. Available: http://www.lastampa.it/2017/10/26/tecnologia/i-cinque-livelli-delle-auto-autonome-Xhf4tKfUVPJNsHxlQeFxuN/pagina.html.
- [9] «Tecnologia LiDAR: non soltanto per i veicoli autonomi,» [Online]. Available: https://tecnologiawearable.it/tecnologia-lidar/.
- [10] J. Weast, «La fiducia umana nell'auto robot,» [Online]. Available: http://blog.ilgiornale.it/lombardo/2017/08/25/la-fiducia-umana-nella-auto-robot/.
- [11] S. BONAVENTURA, «Intelligenti, connesse e predittive. Ecco le auto del futuro,»
 [Online]. Available:
 http://www.repubblica.it/motori/sezioni/attualita/2017/03/16/news/intelligenti_connesse_e_predittive_ecco_le_auto_del_futuro_di_bosch-160686921/.
- [12] «2017 Connected Cars & Autonomous Vehicles Survey,» 2017. [Online]. Available: https://www.foley.com/files/uploads/2017-Connected-Cars-Survey-Report.pdf.
- [13] S. Bonaventura, «Guida autonoma e intelligenza artificiale, ecco le tappe.,» Maggio 2017. [Online]. Available: https://www.repubblica.it/motori/sezioni/attualita/2017/05/18/news/guida_autonom a_entro_5_anni_con_cloud_cognitivo_e_intelligenza_artificiale-165726657/.
- [14] I. P. a. I. C. M. Karlsson, «Setting the stage for autonomous cars: a pilot study of future autonomous driving experiences,» *IET Intelligent Transport Systems,* 2015.
- [15] S. Cosimi, «Auto a guida autonoma, presente e futuro delle self driving cars,» [Online]. Available: https://www.automobile.it/magazine/mobilita-sostenibile/self-driving-cars-1677.

- [16] A. Dutto, «Auto a guida autonoma: a che punto siamo,» [Online]. Available: http://motori.corriere.it/motori/attualita/cards/auto-guida-autonoma-che-punto-siamo/a-che-punto-siamo.shtml.
- [17] M. C. a. M. Regan, «Autonomous vehicles: human factors issues and future research,» Australasian Road Safety Conference, 1st, 2015, Gold Coast, Queensland, Australia, 2015.
- [18] K. L. a. G. Maráczi, «Dispositional trust Do we trust autonomous cars?,» 2017 IEEE 15th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY), 2017.
- [19] G. Lugano, "Virtual Assistants and Self-Driving Cars: To what extent is Artificial Intelligence needed in Next-Generation Autonomous Vehicles?". ITS Telecommunications (ITST), 2017 15th International Conference on.
- [20] M. v. B. B. P. A. B. Renate Häuslschmid, «Supporting Trust in Autonomous Driving,» Proceedings of the 22nd International Conference on Intelligent User Interfaces, 2017.
- [21] K. A. H. a. M. Bashir, «Trust in Automation: Integrating Empirical Evidence on Factors That Influence Trust. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society 57, 3 (2015), 407--434,» 2015.
- [22] J. H. D. a. F. D. S. R. C. Mayer, «An integrative model of organizational trust». The Academy of Management Review.
- [23] M. J. a. J. S. F. Ekman, «Creating appropriate trust in automated vehicle systems: A framework for hmi design,» *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 2018.
- [24] A. K. G. B. J. M. a. J. E. T. A. Uggirala, «Measurement of trust in complex and dynamic systems using a quantitative approach,» *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2004.
- [25] J. L. Moray Neville, «Trust, control strategies and allocation of function in human-machine systems. Ergonomics 35, 10 (1992), 1243—1270,» 1992.
- [26] M. D. J. L. D. H. K. a. H. A. Y. M. S. Carlson, «Identifying factors that influence trust in automated cars and medical diagnosis systems,» *AAAI Symposium on The Intersection of Robust Intelligence and Trust in Autonomous Systems*, 2014.
- [27] M. T. K. R. M. S. R. B. A. K. G. B. J. M. a. L. G. X. Jiang, «Measurement of human trust in a hybrid inspection system based on signal detection theory measures,» *Int. J of Industrial Ergonomics*, 2004.
- [28] A. R. A.-K. F. Philipp Wintersberger, «Automated Driving System, Male, or Female Driver: Who'd You Prefer? Comparative Analysis of Passengers' Mental Conditions, Emotional States & Qualitative Feedback». Proceedings of the 8th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications.
- [29] V. B. a. P. Ioannou, «Driving autopilot with personalization feature for improved safety and comfort,» 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems, 2015.
- [30] J. K. W. J. M. S. L. L. a. C. N. J. Koo, «Why did my car just do that? explaining semiautonomous driving actions to improve driver understanding, trust, and performance,» International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM, 2015.
- [31] K. T. a. T. B. P. Lungaro, «Human-to-ai interfaces for enabling future onboard experiences». Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications Adjunct.
- [32] C. M. a. A. N. F. Naujoks, «The effect of urgency of take-over requests during higly automated driving under distraction conditions,» 2014.

- [33] E. L. Barry Brown, «The Trouble with Autopilots: Assisted and Autonomous Driving on the Social Road,» *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2017.
- [34] M. v. B. B. P. A. B. Renate Häuslschmid, «Supporting Trust in Autonomous Driving,» Proceedings of the 22nd International Conference on Intelligent User Interfaces, 2017.
- [35] G. A. L. M. B. Richie Jose, «A comparative study of simulated augmented reality displays for vehicle navigation,» *Proceedings of the 28th Australian Conference on Computer-Human Interaction*, 2016.
- [36] L. S. J. W. a. A. B. R. Haeuslschmid, «Contact-analog warnings on windshield displays promote monitoring the road scene,» *Proceedings of the 7th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*, 2015.
- [37] L. A. a. A. Meddeb, «Driver information system: A combination of augmented reality and deep learning,» *Proceedings of the Symposium on Applied Computing*, 2017.
- [38] C. Wiltz, «How Augmented Reality Can Help Us Accept Autonomous Cars,» [Online]. Available: https://www.designnews.com/consumer-electronics/how-augmented-reality-can-help-us-accept-autonomous-cars/28666601947034.
- [39] J. Kite-Powell, «How Artificial Intelligence Can Create A Real World Simulation For Autonomous Driving,» Luglio 2018. [Online]. Available: https://www.forbes.com/sites/jenniferhicks/2018/07/10/how-artificial-intelligence-can-create-a-real-world-simulation-for-autonomous-driving/#5a3154f82884.
- [40] «Driving Simulation for Virtual Testing,» [Online]. Available: http://www.rfpro.com/.
- [41] «NVIDIA DRIVE CONSTELLATION Simulatore di veicoli autonomi in realtà virtuale,» [Online]. Available: https://www.nvidia.com/it-it/self-driving-cars/drive-constellation/.
- [42] «Si chiama 'Carla' simulatore per guida autonoma Toyota,» [Online]. Available: http://www.ansa.it/canale_motori/notizie/componentie_tech/2018/06/22/si-chiama-carla-simulatore-per-guida-autonoma-toyota_c31f3298-4242-4205-8d20-c7368c9c7102.html.
- [43] «CARLA Simulator,» [Online]. Available: http://carla.org/.
- [44] «Idea Bmw: un simulatore per la guida autonoma,» Settembre 2018. [Online]. Available: https://www.repubblica.it/motori/sezioni/attualita/2018/09/07/news/bmw_al_via_la_costruzione_di_un_nuovo_driving_simulation_center-205739721/.
- [45] P. Croce, «Guida autonoma: Microsoft usa AirSim per la ricerca sulle auto driverless,» [Online]. Available: http://www.autoblog.it/post/899142/guida-autonoma-microsoft-usa-airsim-per-la-ricerca-sulle-auto-driverless.
- [46] «GENIVI Vehicle Simulator,» [Online]. Available: https://github.com/GENIVI/vehicle_signal_specification.
- [47] «GENIVI Alliance,» [Online]. Available: https://www.genivi.org.
- [48] P. Bardelli, «NASA allena gli astronauti con realtà virtuale a gravità zero,» [Online]. Available: https://focustech.it/nasa-allena-gli-astronauti-con-realta-virtuale-a-gravita-zero-139694.
- [49] «Vive,» [Online]. Available: https://www.vive.com/us/.
- [50] «Oculus Rift,» [Online]. Available: https://www.oculus.com/.
- [51] «Fanatec,» [Online]. Available: https://www.fanatec.com/.
- [52] D. Doronzo, Interfacce Uomo-macchina per Veicoli a Guida Autonoma: Studio della User Experience in Scenari Virtuali, 2018.

- [53] B. Wuelfing, «CeBIT 2009: BMW and Partners Found GENIVI Open Source Platform,» *Linux Pro Magazine*, 2011.
- [54] «Github GENIVI,» [Online]. Available: (https://github.com/geniv.
- [55] «SIMPHYNITY,» [Online]. Available: https://www.atomicmotionsystems.com/.
- [56] «SimTools,» [Online]. Available: https://www.xsimulator.net/.
- [57] «X-Sim,» [Online]. Available: https://x-sim.de/.
- [58] «Live for speed,» [Online]. Available: https://www.lfs.net/.
- [59] «Bit Barrel Media,» [Online]. Available: https://bitbarrelmedia.wordpress.com/.
- [60] «Assetto Corsa,» [Online]. Available: https://www.assettocorsa.net.
- [61] «Tesla Model S,» [Online]. Available: https://www.tesla.com/it IT/models.
- [62] J. D. J. I. A. Dalyop, «Optimal Design of Pid-Controller for Adaptive Cruise Control using Differencial Evolution,» *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 2017.
- [63] E. Nordeus, «Minimize an error with a PID controller in Unity with C# Improve the steering of a self-driving car,» [Online]. Available: https://www.habrador.com/tutorials/pid-controller/1-car-follow-path/.
- [64] A. Vai, «Guida autonoma, la "questione morale": chi deve salvare l'auto? E chi investire?,» Maggio 2015. [Online]. Available: https://www.ilfattoquotidiano.it/2015/05/18/guida-autonoma-la-questione-morale-chi-deve-salvare-lauto-e-chi-investire/1693602/.
- [65] R. S. K. e. al., «Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness,» *The International Journal of Aviation Psychology*, 1993.
- [66] R. S. Kalawsky, «VRUSE—a computerised diagnostic tool: for usability evaluation of virtual/synthetic environment systems,» *Applied Ergonomics 30*, 1999.
- [67] K. E. S. author, «Measuring Trust in Human Robot Interactions: Development of the "Trust Perception Scale-HRI",» in *Robust Intelligence and Trust in Autonomous Systems*, 2016.
- [68] «NASA Task Load Index,» [Online]. Available: https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/TLX/downloads/TLXScale.pdf.
- [69] «Situation Awareness Rating Technique (SART),» [Online]. Available: https://ext.eurocontrol.int/ehp/?q=node/1608.
- [70] «Confrontare due medie: il test t di Student,» [Online]. Available: http://www.quadernodiepidemiologia.it/epi/assoc/t_stu.htm.
- [71] H. J. A. K. D. B. Hessam Jahan, «User Evaluation of hand gestures for designing an intelligent In-Vehicle Interface». *Designing the Digital Transformation*.