

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
CAMPUS DI CESENA

DIPARTIMENTO DI INFORMATICA - SCIENZA E INGEGNERIA
Corso di Laurea in Ingegneria e Scienze Informatiche

**VALUTAZIONE DELLA DISTRAZIONE
VISIVA NELL'ELABORAZIONE
DELL'INDICE DI FITNESS TO DRIVE**

Elaborato in
PROGRAMMAZIONE

Relatore:
Dott. Ing. Roberto Girau

Correlatore:
Dott. Ing. Manuel Andruccioli

Presentata da:
Lucrezia Rettori

**IV Sessione di Laurea
Anno Accademico 2023-2024**

Introduzione

Negli ultimi anni si è registrata una maggiore presenza di incidenti stradali dovuti alla distrazione del guidatore, legata a vari fattori e attività alla guida, come ad esempio l'utilizzo del cellulare, l'intrattenere conversazioni con gli altri passeggeri, mangiare, bere, gestire la radio o altre tecnologie in dotazione all'autoveicolo, guardarsi allo specchio e molte altre.

Per ridurre il più possibile questa tipologia di incidenti, che possono anche portare a lesioni importanti o alla morte degli utenti della strada, le automobili sono sempre più spesso dotate di vari sensori e attuatori per riconoscere le situazioni di pericolo e agire di conseguenza, come ad esempio il rilevamento di ostacoli e altri utenti stradali o il sistema di frenata automatica. Questo ha portato a una maggiore sicurezza stradale e a una riduzione degli incidenti, ma come effetto collaterale ha dato un senso di sicurezza maggiore ai guidatori e una disattenzione sempre crescente alla guida.

Si è reso quindi necessario monitorare anche lo stato del guidatore internamente all'autoveicolo, attraverso sensori per l'analisi biometrica e telecamere per il riconoscimento delle emozioni del guidatore e del suo livello di distrazione.

Questa tesi si basa sul progetto *DistriMuSe*, il quale ha come obiettivo quello di supportare la salute e la sicurezza umana attraverso un miglioramento della rilevazione della presenza, del comportamento e dei segni vitali delle persone in un ambiente comune, utilizzando sistemi multi-sensore, elaborazione distribuita e machine learning.

L'interesse del progetto *DistriMuSe* è quello di salvaguardare la sicurezza e la salute degli utenti vulnerabili della strada, quali pedoni e ciclisti, i quali attualmente sono sprovvisti di sensori e sistemi come quelli sviluppati per gli autoveicoli. Fintanto che viene sviluppata una tecnologia in grado di perseguire questo obiettivo, però, è necessario continuare a monitorare i conducenti per garantire la sicurezza generale del traffico, e ciò viene gestito attraverso sensori, guida automatica, avvisi e controlli della condizione di guida dei guidatori.

Per raccogliere le informazioni necessarie dei guidatori e calcolare per ognuno di essi un indice personalizzato di idoneità alla guida, *DistriMuSe* si serve di HDT (*Human Digital Twin*), cioè di una tecnologia che replica il corpo umano, interamente o in parte, in uno spazio virtuale, riflettendo il suo stato fisico, psicologico e fisiologico in tempo reale.

I Digital Twin sono caratterizzati da aggiornamenti continui, garantendo la sincroniz-

zazione con la realtà fisica e la sua evoluzione. Essi forniscono un supporto decisionale basato sui dati, permettendo di eseguire simulazioni per prevedere e studiare il comportamento di un sistema in situazioni o ambienti specifici, consentendo così decisioni informate e tempestive per migliorare le prestazioni del sistema.

Per creare un Digital Twin sono necessari tre componenti: la realtà fisica, la rappresentazione virtuale e le interconnessioni che consentono lo scambio di informazioni tra la realtà fisica e quella virtuale.

Un progetto dell'Università di Bologna [45] si è occupato di realizzare una valutazione di idoneità alla guida attraverso il calcolo del Fitness to Drive, ossia di un indice che valuta lo stato psicologico e fisico della persona durante la guida. Attualmente nel progetto sono presenti dei moduli per la rilevazione delle emozioni del guidatore e il suo livello di arousal, analizzato attraverso la frequenza cardiaca.

Questa tesi si pone come obiettivo quello di analizzare la distrazione visiva dell'utente alla guida e di integrare questa analisi nella formula per il calcolo dell'indice di Fitness to Drive. Successivamente, tale analisi sarà poi verificata attraverso una serie di test effettuati in un ambiente di simulazione in laboratorio e atti a valutare il comportamento della formula di Fitness to Drive aggiornata, al fine di ottenere una prima definizione dei pesi dei valori di distrazione visiva, arousal ed emozioni nella formula del calcolo dell'indice.

Il volume di tesi è diviso in:

- **Capitolo 1:** Introduzione all'indice di Fitness to Drive, alla sua attuale formula e ai sistemi di analisi biometrica ed emotiva.
- **Capitolo 2:** Introduzione del lavoro di ricerca effettuato sulla distrazione visiva degli utenti alla guida.
- **Capitolo 3:** Esposizione del progetto del lavoro di ricerca e successiva analisi della modifica della formula basata sull'analisi della distrazione del guidatore.
- **Capitolo 4:** Descrizione dell'ambiente di simulazione e di test e analisi dei dati raccolti durante le prove.

Indice

Introduzione	2
1 La sicurezza alla guida	7
1.1 La psicologia alla guida	8
1.2 Le emozioni	9
1.3 La distrazione	12
1.4 L'indice di Fitness to Drive	14
2 La distrazione visiva	18
2.1 Studi sulle distrazioni visive	19
2.2 Le distrazioni visive e la tecnologia	21
2.3 Tipologie di distrazione visiva ed effetti	23
3 Il progetto	26
3.1 Requisiti e sistema proposto	26
3.2 Integrazione dei moduli di monitoraggio del guidatore	27
3.3 Modulo per il rilevamento delle emozioni	28
3.4 Modulo per il rilevamento della distrazione visiva	29
4 Simulazioni e prove	34
4.1 Rete e Broker MQTT	34
4.2 Modulo per il calcolo dell'arousal	34
4.3 Simulatore di guida	37
4.4 Ambiente di simulazione	41
4.5 Testing	42
4.5.1 I partecipanti	42
4.5.2 La prova	42
4.5.3 Considerazioni sulla prova	44
4.6 Analisi dei dati raccolti	45
Conclusioni	51

Capitolo 1

La sicurezza alla guida

Da una ricerca Istat riguardante il 2023 [46] si è registrata una crescita del tasso di mobilità complessivo della popolazione italiana fino all'80,8%.

Le statistiche sul tasso di mortalità stradale mostrano una sua diminuzione per 16 Paesi della Ue27, compresa l'Italia, mentre è aumentato per i restanti 11 Paesi. Il grafico riportante la graduatoria europea è visibile in Figura 1.1.

Entro il 2030 gli obiettivi europei sulla sicurezza stradale prevedono il dimezzamento del numero di vittime e feriti gravi rispetto al 2019 e il monitoraggio di specifici indicatori di prestazione, denominati *Key Performance Indicators*, forniti alla Commissione Europea, fra cui: velocità, uso dei sistemi di protezione, uso di alcool e droghe, livello di sicurezza del parco veicolare e della rete stradale nazionale, distrazione alla guida ed efficienza dei sistemi di soccorso in caso di incidente [46].

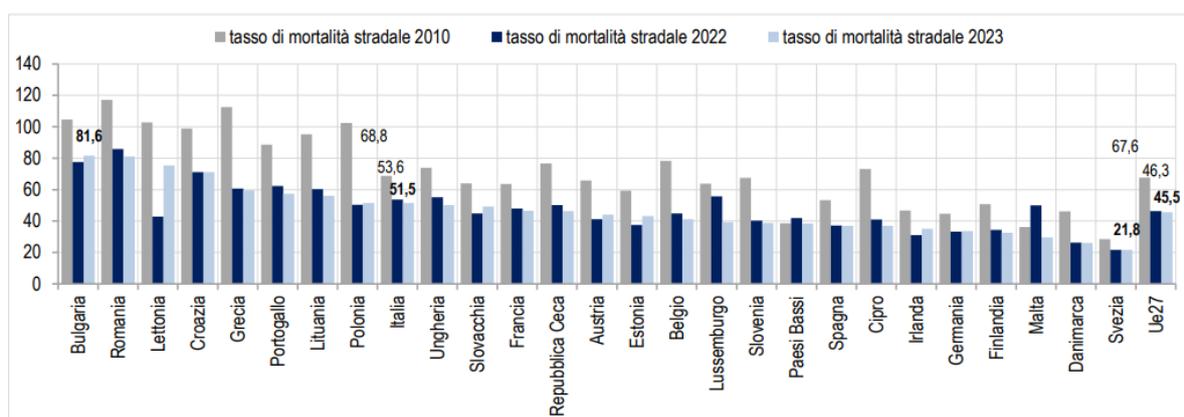


Figura 1.1: Tasso di mortalità stradale nei Paesi europei (Ue27) [46]. I dati sono intesi come numero di morti per milione di abitanti

È stato inoltre registrato che la guida distratta è la prima causa di incidente su strade

extraurbane (22,0%) e la seconda causa su strade urbane (12,5%), come riportato nella tabella in Figura 1.2.

DESCRIZIONE CAUSE	Strade urbane		Strade extraurbane		Totale	
	V.A.	%	V.A.	%	V.A.	%
Procedeva con guida distratta o andamento indeciso	20.093	12,5	13.051	22,0	33.144	15,1
Procedeva senza rispettare la precedenza o il semaforo	24.686	15,4	3.703	6,2	28.389	12,9
- procedeva senza rispettare lo stop	8.612	5,4	1.595	2,7	10.207	4,6
- procedeva senza dare la precedenza al veicolo proveniente da destra	6.441	4,0	837	1,4	7.278	3,3
- procedeva senza rispettare il segnale di dare precedenza	8.174	5,1	1.164	2,0	9.338	4,3
- procedeva senza rispettare le segnalazioni semaforiche o dell'agente	1.459	0,9	107	0,2	1.566	0,7
Procedeva con velocità troppo elevata	11.966	7,5	6.558	11,1	18.524	8,4
- procedeva con eccesso di velocità	11.675	7,3	6.260	10,6	17.935	8,2
- procedeva senza rispettare i limiti di velocità	291	0,2	298	0,5	589	0,3
Procedeva senza mantenere la distanza di sicurezza	8.674	5,4	6.498	11,0	15.172	6,9
Manovrava irregolarmente	12.583	7,8	4.245	7,2	16.828	7,7
Svoltava irregolarmente	4.066	2,5	524	0,9	4.590	2,1
Procedeva contromano	2.965	1,8	1.751	3,0	4.716	2,1
Sorpassava irregolarmente	3.084	1,9	1.441	2,4	4.525	2,1
Ostacolo accidentale	2.466	1,5	2.173	3,7	4.639	2,1
Animale domestico o selvatico urtato o evitato	199	0,1	304	0,5	503	0,2
Veicolo fermo evitato	535	0,3	508	0,9	1043	0,5
Non dava la precedenza al pedone sugli appositi attraversamenti	7.261	4,5	193	0,3	7.454	3,4
Buche, ecc. evitato o urtato	448	0,3	535	0,9	983	0,4
Circostanza imprecisata	39.228	24,5	7.756	13,1	46.984	21,4
Veicolo fermo in posizione irregolare urtato	1.808	1,1	492	0,8	2.300	1,0
Altre cause relative al comportamento nella circolazione	5.834	3,6	2.225	3,8	8.059	3,7
Comportamento scorretto del pedone	5.537	3,5	704	1,2	6.241	2,8
Totale comportamento scorretto del conducente e del pedone	151.433	94,4	52.661	88,8	204.094	92,9
Altre cause	8.912	5,6	6.610	11,2	15.522	7,1
Totale cause (b)	160.345	100,0	59.271	100,0	219.616	100,0

Figura 1.2: Cause accertate o presunte di incidente per categoria della strada nell'anno 2023, con valori assoluti (V.A.) e composizione percentuale [46]

1.1 La psicologia alla guida

Secondo la definizione dell'APA (American Psychological Association), la psicologia è lo studio della mente e del comportamento, che ha come obiettivo quello di comprendere la mente, il suo funzionamento e il modo in cui influenza il comportamento delle persone. È stato infatti mostrato che la sicurezza stradale dipende da vari fattori, fra cui anche la psicologia del guidatore, oltre allo stato del traffico, il veicolo utilizzato, l'ambiente circostante e lo stato dell'infrastruttura stradale. Quindi si ha una diretta correlazione fra il livello di sicurezza stradale e lo stato psicologico dei guidatori. [4]

Il comportamento emotivo coinvolge l'intero cervello, ma in particolare l'emisfero destro,

ovvero la parte dedicata alla fantasia, all'immaginazione e alla creatività. Le funzioni cognitive sviluppano le emozioni attraverso i processi di interpretazione, valutazione e concettualizzazione. Gli aspetti ambientali e culturali dell'emozione consentono di valutare l'influenza dell'appartenenza sociale sulle esperienze emotive dell'individuo.

Le ricerche sulla motivazione hanno dimostrato che, all'interno dell'individuo, esiste una stretta relazione tra emotività e struttura fisiologica. La motivazione è infatti costituita da fattori cognitivi, affettivi, sociali e fisiologici che, in un processo di interazione, condizionano il comportamento. Pertanto, la motivazione può essere definita come un processo che, generando nell'individuo l'energia psichica necessaria in relazione all'ambiente, gli permette di sviluppare comportamenti con risultati osservabili e variabili. Tuttavia, l'energia psichica e l'azione non sono sempre attivate dalla motivazione. Le azioni ripetitive e riflesse, ad esempio, non sono motivate.

La teoria che offre la maggiore garanzia nell'interpretazione delle emozioni è la teoria comportamentale. Partendo dall'elemento bisogno-impulso, essa ha dimostrato che la motivazione è il risultato dell'apprendimento. Il nostro comportamento è costituito da diversi sistemi comportamentali, ognuno dei quali è un insieme di abitudini basate su fattori innati e/o acquisiti. Alcuni sistemi hanno una base fisiologica e sono determinati da fattori innati, mentre altri derivano da motivazioni comunemente acquisite nel corso della vita.

L'aggressività, che purtroppo è una caratteristica frequentemente riscontrata nei conducenti, è uno di questi fattori innati. L'individuo scarica ogni forma di aggressività attraverso manifestazioni nascoste e indirette, come imprecazioni, insulti o commenti ironici. L'aggressività è solitamente una risposta che serve a liberarsi dalla frustrazione. Effettuando un'analisi della relazione tra emozione e comportamento nel guidatore è possibile ottenere una stima sulla sua propensione all'aggressività, che in alcuni casi si manifesta in maniera incontrollata durante la guida (i.e. *road rage*), mettendo a rischio la sua sicurezza e quella delle altre persone presenti sulla strada. [24]

1.2 Le emozioni

Le emozioni sono definite come *“pattern organizzati e complessi di risposte fisiologiche, espressività facciale, elaborazione cognitiva e vissuto soggettivo emotivo”*. [42]

Come mostrato di seguito in figura Figura 1.3, l'esperienza emotiva può essere rappresentata da una combinazione lineare di Arousal e Valenza [9]:

- **Arousal:** definito come *“l'intensità di un'emozione provocata da uno stimolo”* [25]. Attraverso la legge di Yerkes-Dodson, è stato mostrato che l'arousal è direttamente correlato al rendimento e che alti livelli di eccitazione possano arrivare a migliorare il rendimento [44], se però rimangono entro un certo limite che, se superato, si può notare invece un calo di prestazioni, come evidenziato nell'immagine in Figura 1.4.

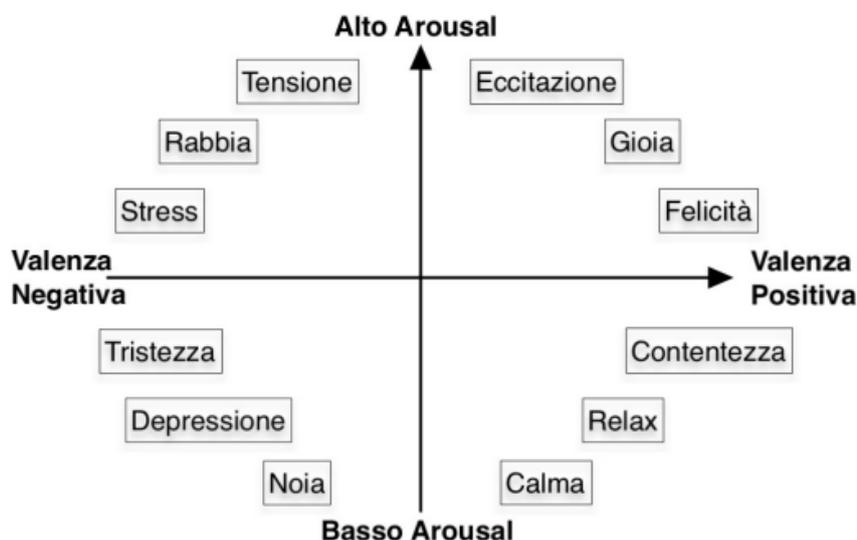


Figura 1.3: Combinazione lineare di Arousal e Valenza [45]

Si può notare infatti come nel grafico siano presenti due fasi distinte: una fase iniziale, nella parte ascendente della curva, associabile a un effetto energizzante e positivo per l'attività da svolgere, e una seconda fase, nella parte discendente della curva, in cui si evidenzia un calo dell'eccitazione con conseguente effetto negativo sull'attività da svolgere (e.g. a causa di ansia, stress e simili).

Ad esempio, è stata evidenziata una correlazione tra l'ansia e la performance sportiva di vari atleti in gara. Lo psicologo Yuri Hanin ha proposto una teoria denominata *Zone of Optimal Function (ZOF)*, la quale espone come i singoli atleti tendono a performare al meglio quando il loro livello di ansia è entro un certo range (specifico e personale per ogni persona esaminata). Quando il livello di ansia è minore o maggiore di questo range, la performance dell'atleta diminuisce [1].

- **Valenza:** definita come *una variabile secondo un asse dicotomico positivo e negativo, per cui ad esempio la gioia si configura come risposta con valore positivo, rispetto alla rabbia che ha un valore negativo.*

Osservando l'immagine in Figura 1.3 si possono dividere le emozioni in due categorie: quelle a valenza positiva (eccitazione, gioia, felicità, contentezza, relax e calma) e quelle a valenza negativa (tensione, rabbia, stress, tristezza, depressione, noia). Durante la guida si è influenzati dalle emozioni e i nostri comportamenti dipendono da esse. Ad esempio, la rabbia aumenta i rischi che si corrono alla guida [19], perché si tende ad aumentare la velocità e a ignorare di più la segnaletica stradale, mentre il sentirsi calmi aiuta a procedere in maniera più tranquilla e a mantenere maggiormente il controllo del veicolo.

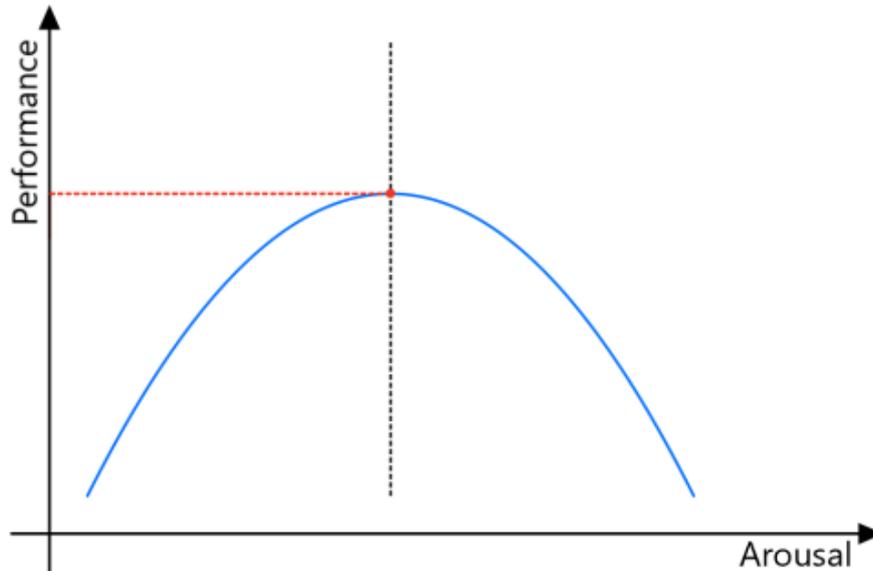


Figura 1.4: Grafico della relazione tra arousal e performance [45]

È quindi importante riuscire a misurare i valori di arousal e valenza per capire in che modo e intensità influenzano le emozioni del guidatore.

Per riuscire a misurare questi valori sono possibili diversi metodi, fra cui:

- misurazione della variazione della frequenza cardiaca, partendo da un valore di base misurato in uno stato di tranquillità e inattività del soggetto [34].
- esami quali elettroencefalogramma ed elettromiografia per misurare la valenza [37, 15].
- utilizzo del metodo del Self-Assessment Manikin [2] per misurare arousal e valenza attraverso un feedback diretto fornito dal soggetto in esame in una scala di possibili scelte (visibile in Figura 1.5) a seguito di alcune prove specifiche. Il risultato è ovviamente soggettivo ma degli studi hanno dimostrato la validità dei risultati e dei dati raccolti [40].
- analisi del diametro e della dilatazione della pupilla del soggetto in esame per la valutazione dei valori di arousal e valenza [35]. È stata infatti dimostrata una correlazione tra la variazione della dimensione della pupilla e gli stimoli emotivi, a seguito di alcuni test effettuati mostrando a soggetti diversi varie immagini emotivamente significative [16].

- analisi della conduttanza cutanea per misurare il valore di arousal [35]. Uno studio [18] ha infatti mostrato come la stimolazione simpatica è una tecnica efficace per la misura di questo valore.
- analisi della variazione della temperatura facciale per misurare il valore di arousal. Uno studio [32] ha mostrato come è possibile utilizzare l'imaging termico a infrarossi (sfruttando magari un metodo non invasivo quale l'utilizzo di una termocamera) per il calcolo del valore.

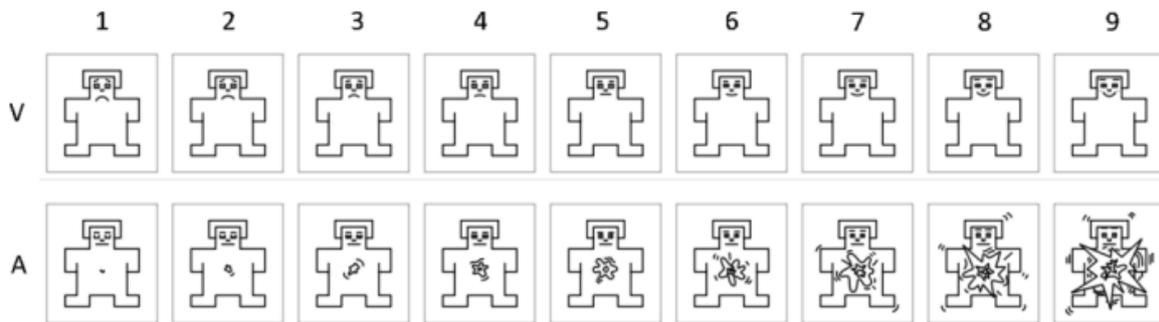


Figura 1.5: Scala di possibili valori per il metodo Manikin [45]

Il numero di opzioni diverse per la misura di queste due grandezze ci consente di scegliere il metodo più adatto per ogni caso specifico, cercando di utilizzare metodi non invasivi e che riescano a ottenere una misura il quanto più valida possibile, non influenzata da bias di strumentazione ed eventuale disagio del soggetto sottoposto alle varie prove (e.g. il posizionamento di dispositivi sul corpo del soggetto potrebbe creare disagio e alterare le misure effettuate).

In generale, è osservabile come ogni stato emotivo sia deleterio per la concentrazione, in quanto aggiunge un filtro soggettivo che influenza la visione della realtà. Lo stato ideale quindi è lo stato di *neutralità*, in cui non si evidenziano particolari alterazioni di attenzione durante lo svolgimento di varie attività.

1.3 La distrazione

La distrazione viene definita come “*il principio della deformazione e disintegrazione delle cose che implica una tendenza al non-pensare e un distacco dall’essere*” [23].

È stato dimostrato che le distrazioni impattino negativamente la performance, soprattutto in compiti che richiedono la memoria di lavoro [39] (riferita alle strutture e ai processi centrali che mantengono, immagazzinano e manipolano temporaneamente le informazioni rilevanti per il compito da svolgere durante l’esecuzione di attività cognitive complesse

che richiedono volontà, consapevolezza e attenzione, come ad esempio il ragionamento e la pianificazione [14]).

Per quanto riguarda il caso specifico di distrazione alla guida, essa è stata definita come *“una deviazione dell’attenzione dalle attività fondamentali per una guida sicura verso un’attività concorrente”* [27]. La distrazione alla guida viene considerata come un carico di lavoro eccessivo che sovraccarica le limitate risorse attentive del conducente. È stato infatti svolto uno studio in cui veniva confrontata la guida in condizioni normali e la guida effettuata in concomitanza all’esecuzione di uno o due compiti secondari [7]. I risultati di questo studio hanno mostrato che lo svolgimento di compiti secondari, soprattutto se multipli, ha avuto un impatto negativo sulle prestazioni del soggetto alla guida, con una diminuzione significativa della distanza di sicurezza e un aumento della pressione sul freno. I soggetti esaminati hanno riferito che l’interazione con lo svolgimento di compiti secondari multipli ha comportato un carico mentale significativamente maggiore (in una scala soggettiva per ciascun partecipante all’esperimento) rispetto allo svolgimento di un singolo compito secondario o alla guida in condizioni normali. Inoltre, sono state registrate significative riduzioni compensative della velocità in relazione allo svolgimento di uno o più compiti secondari.

Un altro studio ha raccolto dati riguardanti 856 incidenti avvenuti tra il 2000 e il 2011, in cui almeno una persona è stata ricoverata in ospedale a causa delle ferite riportate nell’incidente [26]. Dai dati raccolti è possibile notare che in più della metà degli incidenti (57.6%) sono presenti evidenze di disattenzione del conducente. Le forme di disattenzione più frequenti sono risultate essere disattenzioni volontarie legate ad attività non connesse alla guida e provenienti dall’interno del veicolo (e.g. interazioni con i passeggeri o con il telefono). Lo studio quindi mostra che la maggior parte degli incidenti con lesioni gravi coinvolge la disattenzione del conducente e che nella maggior parte dei casi analizzati le forme di disattenzione riscontrate sono prevenibili.

Esistono quattro tipologie di distrazione alla guida [28]:

- **Distrazione biomeccanica:** si ha con lo svolgimento di un’attività manuale durante l’attività di guida, come ad esempio la regolazione del volume della radio o il prendere un oggetto.
- **Distrazione uditiva:** avviene quando l’attenzione del conducente viene attirata dalla fonte di un suono, come ad esempio un brano musicale, la suoneria del telefono o una conversazione con uno o più passeggeri.
- **Distrazione cognitiva:** avviene quando la concentrazione del guidatore viene distolta dal compito di guida e posta su qualcos’altro, come ad esempio pensieri personali.
- **Distrazione visiva:** si ha quando un oggetto o un evento distolgono l’attenzione del guidatore dalla strada, come ad esempio guardare il telefono, girarsi per

parlare con un passeggero o anche osservare qualcosa esterno all'autoveicolo non direttamente sulla strada (e.g. un negozio).

Questa tesi ha il suo focus principalmente sulla distrazione visiva, ponendosi come obiettivo quello di riuscire a riconoscere la presenza di uno stato di distrazione e utilizzare i dati raccolti per influenzare l'indice di Fitness to Drive, dando un contributo sul valore di idoneità alla guida del conducente.

1.4 L'indice di Fitness to Drive

Il Fitness to Drive è definito come la capacità di guidare in sicurezza senza problemi causati da incapacità fisiche, lesioni, salute medica o mentale [20].

L'idoneità alla guida è un parametro preso in considerazione nel momento della richiesta dell'abilitazione alla guida da parte dell'aspirante guidatore, attraverso test e visite che possono variare in base al Paese in cui viene richiesta l'abilitazione. Prendendo in considerazione l'Italia, per esempio, il Codice della Strada prevede:

“Articolo 119, comma 1: Non può ottenere la patente di guida o l'autorizzazione ad esercitarsi alla guida di cui all'art. 122, comma 2, chi sia affetto da malattia fisica o psichica, deficienza organica o minorazione psichica, anatomica o funzionale tale da impedire di condurre con sicurezza veicoli a motore.”

“Articolo 126, comma 1: [...] La conferma della validità delle patenti di guida e dei certificati di abilitazione professionale [...] è subordinata alla permanenza dei requisiti fisici e psichici di idoneità alla guida.”

“Articolo 126, comma 2: Le patenti di guida [...] sono valide per dieci anni; qualora siano rilasciate o confermate a chi ha superato il cinquantesimo anno di età sono valide per cinque anni ed a chi ha superato il settantesimo anno di età sono valide per tre anni.”

L'indice di Fitness to Drive invece ha come obiettivo quello di valutare l'idoneità alla guida del guidatore in maniera costante durante tutto il periodo di marcia del veicolo, analizzando lo stato fisico, psicologico ed emotivo.

L'attuale formula per il calcolo di questo indice tiene conto di vari parametri, quali la distrazione visiva, la distrazione cognitiva e lo stato emotivo del guidatore, oltre alla velocità del veicolo. È stata proposta nel 2021 dal lavoro di tesi di Maria Mengozzi [43] e successivamente ampliata nel 2022 dal lavoro di tesi di Manuel Andruccioli [45], ed è riportata di seguito:

$$FtD = \begin{cases} 1 - (DC_i + DV_i + EA_i) & \text{se } (DC_i + DV_i + EA_i) < 1 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases} \quad (1.1)$$

L'indice di Fitness to Drive è un valore decimale compreso tra 0 e 1, basato sui seguenti valori:

- DC_i : indica il valore della distrazione cognitiva all'istante i -esimo, calcolato come:

$$DC_i = DC * \frac{v}{threshold_v} * 1,01^{IDC - threshold_{ci}} \quad (1.2)$$

dove:

- DC : valore booleano che indica la presenza di una distrazione cognitiva (vale 1 se presente, 0 se assente)
 - v : velocità del veicolo
 - $threshold_v$: parametro per normalizzare la velocità
 - IDC : numero di istanti consecutivi di presenza di distrazione cognitiva
 - $threshold_{ci}$: numero di istanti in cui è ammissibile la presenza di distrazione cognitiva nel soggetto analizzato
- DV_i : indica il valore della distrazione visiva all'istante i -esimo, calcolato come:

$$DV_i = DV * \frac{v}{threshold_v} * 1,01^{IDV - threshold_{vi}} \quad (1.3)$$

dove:

- DV : valore booleano che indica la presenza di una distrazione visiva (vale 1 se presente, 0 se assente)
 - v : velocità del veicolo
 - $threshold_v$: parametro per normalizzare la velocità
 - IDV : numero di istanti consecutivi di presenza di distrazione visiva
 - $threshold_{vi}$: numero di istanti in cui è ammissibile la presenza di distrazione visiva nel soggetto analizzato
- EA_i : indica il valore delle emozioni all'istante i -esimo tenendo conto del parametro di arousal, calcolato come:

$$EA_i = A * \frac{\sum_e p_e * e}{\sum_e p_e} \quad (1.4)$$

dove:

Emozione	Peso
Rabbia	25%
Felicità	25%
Paura	16,7%
Tristezza	16,7%
Disgusto	8,3%
Sorpresa	8,3%
Neutra	0%

Tabella 1.1: Pesi riferiti a ogni emozione analizzata

- e : emozione (e.g. felicità, tristezza, ...)
- p_e : peso dell’emozione secondo la tabella 1.1
- A : valore decimale di arousal compreso tra 0 (valore ottimale) e 1 (valore basso o alto)

L’utilizzo del valore di arousal permette di ridurre l’incidenza delle emozioni durante il calcolo del Fitness to Drive, a indicare la possibilità da parte del soggetto analizzato di essere in grado di gestire l’emozione provata, così da ridurre la sua influenza sull’attività di guida.

Se il valore di arousal dovesse essere 0 (suo stato ottimale) esso porterebbe il risultato dell’intera equazione del calcolo dell’incidenza delle emozioni a 0, in modo che non possano influenzare il calcolo del Fitness to Drive. Al contrario, se il valore di arousal dovesse essere 1, si riscontrerà la massima incidenza negativa dell’emozione provata sul calcolo dell’indice. L’immagine in Figura 1.6 mostra la variazione dell’indice di Fitness to Drive nel caso fosse influenzato unicamente dalle emozioni, con una transizione del valore di arousal da stato ottimale a stato peggiore.

Il modulo per calcolare il valore dell’arousal era già presente nel progetto, quindi si è deciso di mantenere la gestione nello stesso modo. In particolare, l’arousal viene misurato come scostamento della frequenza del battito cardiaco da un valore base, calcolato ad hoc per ogni individuo.

È stata quindi applicata la seguente formula:

$$A = \begin{cases} \frac{(V_{hr} - B_{hr})^2}{D_{hr}^2} & \text{se } |V_{hr} - B_{hr}| > D_{hr} \\ 1 & \text{altrimenti} \end{cases} \quad (1.5)$$

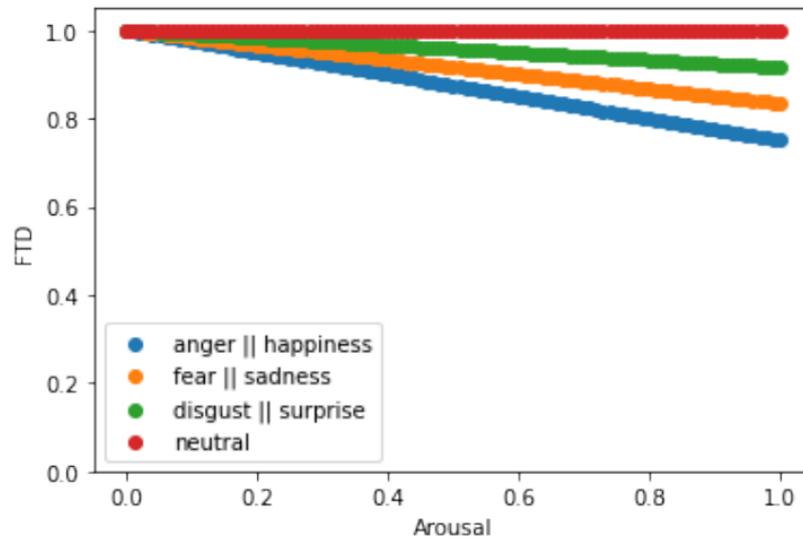


Figura 1.6: Incidenza del valore di arousal sull'indice di Fitness to Drive [45]

dove:

- V_{hr} : valore della frequenza cardiaca del soggetto analizzato, misurato periodicamente durante la simulazione
- B_{hr} : valore della frequenza cardiaca del soggetto analizzato in stato di riposo, calcolato prima di iniziare la simulazione
- D_{hr} : valore usato per normalizzare la frequenza del battito cardiaco

Questa formula consente di ottenere una curva rovesciata, visibile in Figura 1.7, con cui è possibile osservare che più la frequenza cardiaca del soggetto analizzato è vicina al suo valore base, più il valore di arousal è considerevole ottimale.

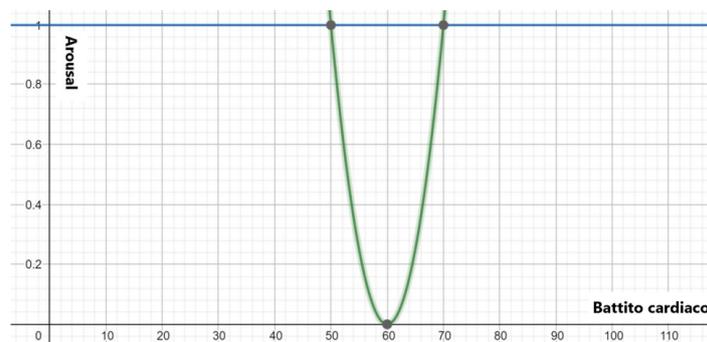


Figura 1.7: Esempio di curva del valore di arousal con $B_{hr} = 60$ e $D_{hr} = 10$ [45]

Capitolo 2

La distrazione visiva

La distrazione visiva avviene quando un oggetto o un evento distolgono l'attenzione del guidatore dalla strada.

La guida è un compito principalmente visivo, per cui le distrazioni visive si sono dimostrate essere quelle più pericolose [28]. Questa tipologia di distrazione distoglie l'attenzione del guidatore dalla strada per un tempo variabile, ed è stato riscontrato che ciò comporta una frequenza maggiore di deviazioni di corsia, movimenti bruschi dello sterzo e risposte più lente di frenata [28]. Inoltre, la distrazione visiva dalla carreggiata può portare a errori nel rilevamento di eventi pericolosi e aumentare il tempo di reazione agli stessi [22].

Per garantire la sicurezza alla guida, è necessario che il guidatore scansioni visivamente l'ambiente di guida, riconoscendo sia lo stato dell'autoveicolo che dell'ambiente esterno, per poi elaborare mentalmente i dati raccolti, al fine di riconoscere eventuali situazioni problematiche, pianificare una soluzione e metterla in atto. Questo processo è mostrato nello schema in Figura 2.1.

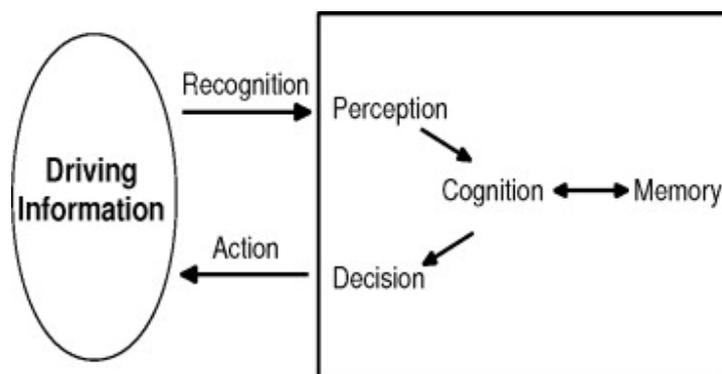


Figura 2.1: Processo cognitivo del guidatore [5]

La distrazione visiva può interferire con il riconoscimento, la percezione e altri com-

portamenti cognitivi [5], aumentando i tempi di reazione nel caso in cui insorgesse una situazione problematica e pericolosa.

Esistono diversi tipi di distrazione visiva [5]:

- **Ostruzione del campo visivo:** si verifica quando la visuale del guidatore è bloccata nelle aree critiche per la guida sicura, come la parte frontale, i lati o il retro del veicolo.
- **Mancata osservazione volontaria di alcune aree:** si verifica quando il guidatore trascura volontariamente le aree critiche, concentrandosi invece su un altro obiettivo visivo per un certo periodo di tempo.
- **Disattenzione visiva generale:** si verifica quando il guidatore è distratto e la sua attenzione si allontana dalla guida.

Ognuno di questi tre problemi può compromettere la sicurezza stradale.

2.1 Studi sulle distrazioni visive

Nonostante possano esserci diverse tipologie di distrazione visiva (e.g. cambiare stazione radio, messaggiare al telefono, guardare la strada sul navigatore), la pericolosità dipende soprattutto dalle tempistiche della distrazione, i.e. quanto tempo il conducente non guarda la strada perché la sua attenzione è posta su qualcos'altro.

Un'analisi [11] effettuata utilizzando i dati raccolti dallo studio denominato *100-Car Naturalistic Driving Study Data* [10] ha mostrato che distogliere lo sguardo dalla strada per più di 2 secondi in un intervallo di 6 secondi, se in prossimità di eventi critici, aumenta il rischio di incidente o quasi-incidente di due volte rispetto alla guida in condizioni normali. In Figura 2.2 è possibile visualizzare una tabella che riporta i rapporti di probabilità riscontrati durante lo studio.

Inoltre, questo studio è riuscito a dimostrare una differenza moderatamente elevata sulle percentuali di incidenti o quasi-incidenti tra le varie tipologie di distrazione visiva. Infatti, attività che richiedono una minore necessità visiva (e.g. cambiare il volume della radio) hanno una percentuale di probabilità di incidente molto minore rispetto ad attività che richiedono un apporto visivo maggiore (e.g. leggere un messaggio sul telefono). Una tabella riportante questi dati è visualizzabile in Figura 2.3.

Uno studio del ricercatore Walter W. Wierwille [8] ha analizzato i movimenti oculari dei conducenti durante la guida e ha riscontrato che in generale ci sono delle soglie specifiche per la durata massima di uno sguardo lontano dalla strada:

- 1.8 secondi su strada dritta,
- 1.2 secondi in caso di curve.

Total Time of Eyes Off the Forward Roadway	Population Attributable Risk Percentage	Lower CL	Upper CL
Less than or equal to 0.5 seconds	0.74	0.41	1.06
Greater than 0.5 seconds but less than or equal to 1.0 second	1.53	1.04	2.02
Greater than 1.0 second but less than 1.5 seconds.	1.56	1.10	2.03
Greater than 1.5 seconds but less than or equal to 2.0 seconds	3.81	3.35	4.26
Greater than 2.0 seconds	18.88	18.27	19.49
OR for Eye Glance Away From the Forward Roadway	18.25	17.49	19.01

Figura 2.2: Rapporti di probabilità e intervalli di confidenza al 95% per gli sguardi lontano dalla strada [11]

Type of Secondary Task	Odds Ratio	Lower CL	Upper CL
Reaching for a moving object	8.82	2.50	31.16
Insect in Vehicle	6.37	0.76	53.13
Looking at external object	3.70	1.13	12.18
Reading	3.38	1.74	6.54
Applying makeup	3.13	1.25	7.87
Dialing hand-held device	2.79	1.60	4.87
Inserting/retrieving CD	2.25	0.30	16.97
Eating	1.57	0.92	2.67
Reaching for non-moving object	1.38	0.75	2.56
Talking/listening to a hand-held device	1.29	0.93	1.80
Drinking from open container	1.03	0.33	3.28
Other personal hygiene	0.70	0.33	1.50
Adjusting radio	0.55	0.13	2.22
Passenger in adjacent seat	0.50	0.35	0.70
Passenger in rear seat	0.39	0.10	1.60
Combing hair	0.37	0.05	2.65
Child in rear seat	0.33	0.04	2.40

Figura 2.3: Stime dei rapporti di probabilità e intervalli di confidenza al 95% per valutare la probabilità di coinvolgimento in un incidente o quasi-incidente durante l'esecuzione di compiti secondari [11]

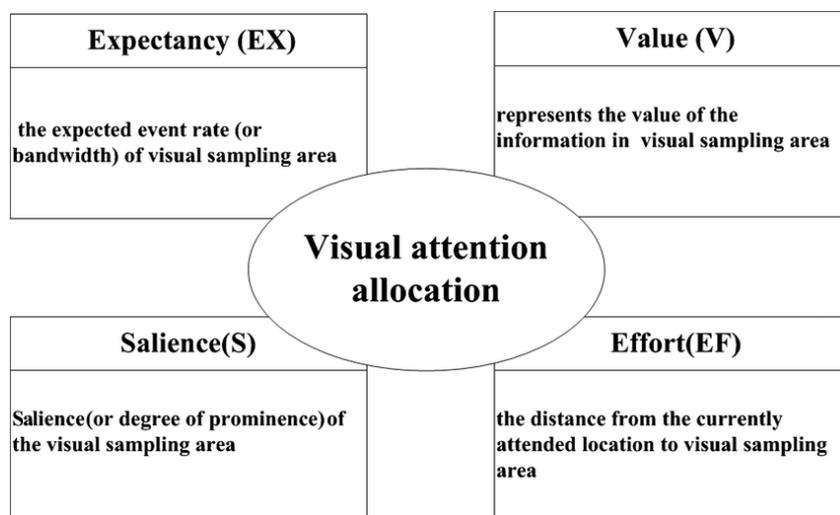


Figura 2.4: Schema del modello SEEV [30]

Con l'introduzione del modello **SEEV** (Saliency Effort Expectancy Value) è stato possibile analizzare i criteri di alternanza visiva e l'allocazione dell'attenzione nei conducenti. Il modello SEEV prevede come il processo di scansione visiva sia guidato da quattro componenti fondamentali nella supervisione e nel controllo di ambienti complessi (appunto: salienza, impegno, aspettativa e valore) e distingue tra *scansione ideale*, determinata da aspettativa e valore, e *scansione reale*, che è influenzata anche dall'impegno richiesto per spostare lo sguardo e la cattura dell'attenzione da parte di stimoli salienti [30]. Uno schema del modello è visualizzabile in Figura 2.4.

In particolare, la distrazione visiva ha effetti negativi sulla sicurezza stradale perché aumenta i tempi di reazione in caso di problematica e diminuisce la consapevolezza dell'ambiente circostante, influenzando la capacità di monitorare la posizione degli altri veicoli, la segnaletica stradale, la presenza di persone in strada e la presenza di curve o cambiamenti nel percorso.

2.2 Le distrazioni visive e la tecnologia

La guida è un'attività multidimensionale che coinvolge una complessa interazione tra abilità cognitive, percettive e motorie, richiedendo un'attenzione continua sulla strada. Negli ultimi anni, l'integrazione crescente delle tecnologie di automazione e digitalizzazione nei veicoli ha migliorato la comodità e la sicurezza per i conducenti. Tuttavia, la capacità attentiva residua disponibile durante la guida automatizzata e la diffusione di sistemi di infotainment (sistemi che racchiudono le informazioni necessarie al conducente in una modalità "intrattenente") nei veicoli permettono ai conducenti di eseguire compiti secondari non correlati alla guida, distogliendo l'attenzione dalla strada e aumentando il

rischio di incidenti [47].

I display presenti negli autoveicoli hanno un duplice effetto: da una parte forniscono in un unico posto tutte le informazioni necessarie per il guidatore, riducendo la necessità di spostare lo sguardo in parti diverse del mezzo, dall'altra invece rischiano di distrarre maggiormente l'attenzione del guidatore, in quanto, come mostrato in uno studio di Kraft et al. [33], esso sarà portato a spostare il suo sguardo sul dispositivo molto spesso. È stato quindi studiato che riducendo la quantità di informazioni presenti sullo schermo, il numero di sguardi del guidatore si riduceva da 10,49 sguardi al minuto a 7,69 sguardi al minuto.

Hallihan et al. [21] hanno osservato che i conducenti guardavano la strada per il 62% del tempo mentre utilizzavano un sistema di eco-driving a bordo del veicolo, rispetto al 74% del tempo quando non lo utilizzavano. Questo indica che l'interfaccia di eco-driving ha ridotto il tempo dedicato all'osservazione della strada. Tuttavia, l'effetto non è risultato critico, poiché nessuno sguardo verso l'interfaccia ha superato 1.4 secondi di durata. Un grafico riportante i dati di questo studio è visualizzabile in Figura 2.5.

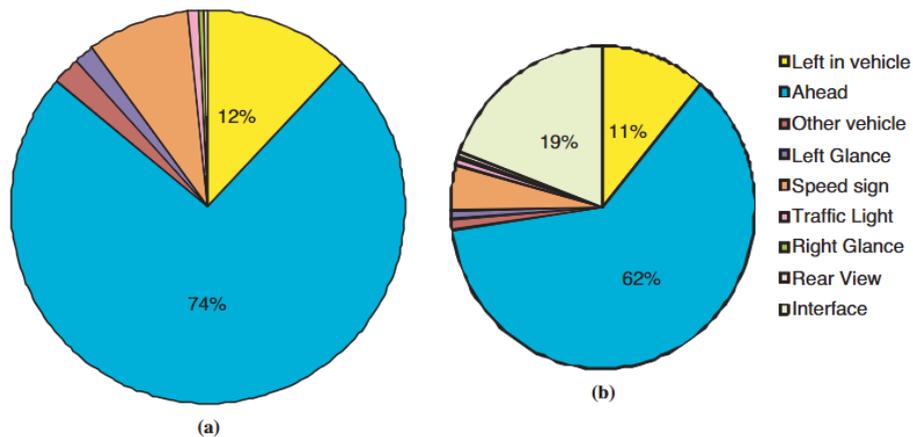


Figura 2.5: Proporzione dei movimenti oculari rispetto alla carreggiata con (a) e senza (b) interfaccia ibrida [21]

Li et al. [38] e Peng e Boyle [31] hanno evidenziato il comportamento adattivo dei conducenti, dimostrato dalla minore attenzione ai display di eco-driving e infotainment quando la situazione del traffico era complessa. Questi studi hanno quindi dimostrato che i conducenti riconoscono il rischio di guardare i display quando il traffico è più impegnativo e compensano prestando maggiore attenzione alla strada.

Un recente studio [47] ha mostrato che il numero e la durata degli sguardi lontano dalla strada risultano più elevati negli esperimenti su simulatori di guida e durante la guida su autostrada, cioè nelle situazioni in cui il guidatore si sente più tranquillo alla guida. In generale, la distrazione in situazioni di basso carico di lavoro rispetto a quelle di alto carico di lavoro potrebbe diventare molto più comune con l'automazione dei veicoli, che

allevia i conducenti da molte delle richieste momentanee della guida. L'automazione può semplificare notevolmente gli aspetti più facili della guida, ma sarà comunque fallibile e richiederà l'intervento del conducente in situazioni particolarmente complesse, il quale potrebbe non risultare attento nel momento di necessità.

L'esposizione prolungata alla guida automatizzata potrebbe compromettere ulteriormente le prestazioni dei conducenti, incoraggiando lo svolgimento di attività secondarie alla guida e riducendo la capacità attentiva.

Uno studio su simulatore [6] ha analizzato l'effetto di diversi livelli di automazione sulle risorse attentive dei conducenti, dimostrando che la capacità di queste risorse può ridursi proporzionalmente alla diminuzione del carico mentale di lavoro richiesto dall'attività da eseguire (i.e. la guida). Dato che la presenza dell'automazione nei veicoli può ridurre significativamente il carico mentale di lavoro richiesto dai conducenti, è chiaro come la loro introduzione influenzi la capacità delle risorse attentive.

Questo si applica soprattutto a sistemi automatici come ad esempio display, sistemi di navigazione e guida automatica. Invece, per sistemi automatici come i sistemi di avviso di collisione, possono avere un effetto di riduzione della distrazione nei conducenti, accorciando così i tempi di reazione in caso di collisione imminente [12].

2.3 Tipologie di distrazione visiva ed effetti

Le distrazioni alla guida possono essere molteplici e di varia natura, e in questa tesi sono state analizzate le seguenti:

- **Parlare al telefono**
- **Messaggiare col telefono**
- **Bere**
- **Pettinarsi guardandosi allo specchietto retrovisore**

Si è studiato come le varie distrazioni alla guida hanno effetti simili in termini di conseguenze ma con intensità differenti. In particolare, è stato dimostrato come il parlare al telefono o conversare con un altro passeggero dell'autoveicolo hanno effetti considerabili uguali sulla distrazione alla guida [36].

Inoltre, risulta che l'utilizzo di dispositivi vivavoce non ha offerto vantaggi di sicurezza rispetto all'utilizzo del telefono utilizzando auricolari o portando il dispositivo all'orecchio con una mano, a seguito di uno studio effettuato su 699 conducenti coinvolti in incidenti stradali [3].

Uno studio incentrato sull'analisi degli effetti nel messaggiare al telefono durante la guida [17] ha riportato che:

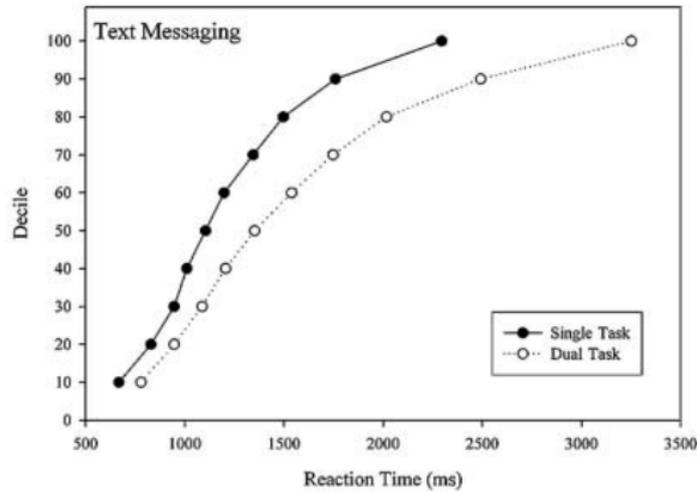


Figura 2.6: Tempi di reazione durante una guida normale (*Single Task*) e durante una guida con l'utilizzo del telefono per messaggiare (*Dual Task*) [17]

- messaggiare durante la guida comporta un ritardo di 0,2 secondi nel reagire alla frenata del veicolo che precede. Un grafico riportante i dati del test è visibile in Figura 2.6;
- i conducenti che messaggiano durante la guida tendono ad alternare momenti di distanza maggiore a momenti di distanza minore rispetto al veicolo che li precede, rendendo il comportamento di car-following meno stabile, e a tratti riducono pericolosamente la distanza;
- i conducenti che messaggiano durante la guida hanno un maggior numero di uscite involontarie di corsia rispetto ai conducenti in guida sicura e tendono a oscillare maggiormente all'interno della corsia, aumentando il rischio di perdita di controllo del veicolo;
- il rischio di incidente è sei volte maggiore quando il conducente sta inviando dei messaggi rispetto alla guida senza distrazioni.

L'attività di bere o mangiare alla guida non comporta differenze percepibili rispetto alla guida normale, in condizioni non critiche. In situazioni critiche, invece, si è registrato un aumento del rischio di incidente durante queste attività, associato a un aumento del carico di lavoro percepito dal conducente rispetto alla guida normale. Quindi, nonostante a livello di cambi di corsia, distanza di sicurezza e altre variabili durante la marcia del veicolo non siano presenti differenze elevate rispetto alla guida normale, l'attività di bere o mangiare alla guida comporta un rischio nel momento in cui si presenta una situazione

critica [13].

Sulla tipologia di distrazione propria dello specchiarsi alla guida, che sia per pettinarsi, per truccarsi o per qualche altra attività, non ci sono attualmente studi specifici in merito; ma, essendo un tipo di attività che prevede il distogliere lo sguardo dalla carreggiata per effettuare un compito secondario, fa parte della categoria delle distrazioni visive e ne condivide l'aumento dei rischi di incidente.

Capitolo 3

Il progetto

Il calcolo dell'indice di Fitness to Drive è realizzato con l'utilizzo di vari moduli sviluppati da tesisti e ricercatori dell'Università di Bologna, ognuno dei quali si occupa del calcolo di un dato specifico e della comunicazione dello stesso verso il client di elaborazione dell'indice. I dati gestiti dai moduli sono la rilevazione dell'arousal, la rilevazione delle emozioni e la gestione del simulatore per il testing del progetto. Ognuno di questi moduli trasmette i dati elaborati verso il client che si occupa del calcolo dell'indice di Fitness to Drive.

La realizzazione del modulo relativo alla rilevazione della distrazione visiva, invece, è obiettivo proprio di questa tesi, così come la sua trasmissione e integrazione al calcolo dell'indice di Fitness to Drive.

3.1 Requisiti e sistema proposto

Per poter rilevare i dati relativi al calcolo dell'indice di Fitness to Drive si è reso necessario disporre di alcune tecnologie in grado di raccogliere i vari dati e di trasmetterli.

Per poter calcolare il valore di arousal era necessario valutare i dati biometrici della persona alla guida. Si è cercato di farlo in modo discreto e non invasivo, optando quindi per uno smartwatch in grado di rilevare la frequenza cardiaca della persona.

Per quanto riguarda i moduli del rilevamento delle emozioni e delle distrazioni visive, invece, era necessario utilizzare un sistema in grado di registrare l'immagine della persona alla guida e di trasmettere il frame rilevato ai due moduli. È stata quindi utilizzata una webcam collegata al computer su cui sono stati eseguiti i due moduli. In particolare, dato che non era possibile fare in modo che entrambi i moduli accedessero in contemporanea alla webcam, l'immagine viene trasmessa al modulo delle emozioni che si occupa di inviarla al modulo della distrazione visiva.

Per poter acquisire i dati relativi alla distrazione visiva è stata implementata una gestione

simile a quella dei dati relativi alle emozioni del guidatore, realizzandola come sottoparte autonoma dell'infrastruttura 3.1.

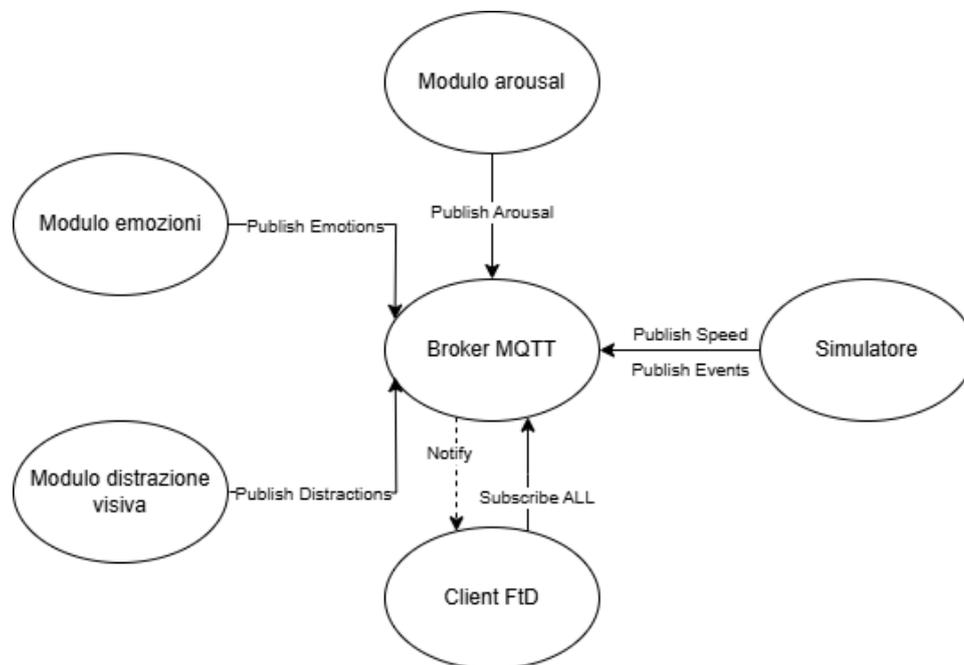


Figura 3.1: Architettura per simulazione interna

Avendo realizzato un'architettura basata sul protocollo MQTT, è stato possibile realizzare i vari elementi in maniera autonoma e indipendente fra loro.

I componenti possono essere distinti in due categorie principali: le sorgenti di dati (e.g. il modulo emozioni o il modulo arousal) e il consumatore di dati (in questo caso specifico, il client per il calcolo dell'indice di Fitness to Drive). Ogni sorgente genera i propri dati e li pubblica sul proprio topic MQTT, mentre il client si occupa di elaborare i dati che riceve e di utilizzarli per il calcolo dell'indice di Fitness to Drive.

3.2 Integrazione dei moduli di monitoraggio del guidatore

Lo scambio dei messaggi avviene tramite MQTT, un protocollo di messaggistica standard OASIS per l'Internet of Things (IoT). Il protocollo MQTT è basato su un'architettura per il trasporto di messaggi di tipo *publish/subscribe*. È estremamente leggero, ideale per la connessione di dispositivi remoti con un footprint di codice ridotto e una larghezza di banda minima.

Per essere conformi al protocollo MQTT, sono stati adottati i topic elencati sotto, dove

vengono pubblicati i relativi dati. Per il corpo dei messaggi è stato utilizzato JSON, un semplice formato per lo scambio di dati.

- **Emotions:** topic riguardante i dati relativi alle emozioni del guidatore. I messaggi provenienti da questo topic risultano avere una frequenza maggiore rispetto agli altri, per tale motivo, al fine di ricondurre tra loro i dati prodotti, è stato implementato un buffer scorrevole di cui viene considerata la media;
- **Distractions:** topic riguardante i dati relativi alla distrazione visiva;
- **Arousal:** topic riguardante i dati relativi all'arousal, che vengono associati ai dati delle emozioni del guidatore;
- **VD:** topic riguardante i dati relativi al simulatore, utilizzato per ricevere la velocità del veicolo usata come peso per le distrazioni nel calcolo dell'indice di Fitness to Drive.

3.3 Modulo per il rilevamento delle emozioni

Come modulo per il rilevamento delle emozioni del guidatore è stato utilizzato quello realizzato da Manuel Andruccioli nel suo progetto di tesi [45]. Questo modulo si occupa di classificare le emozioni sul viso di una persona in 7 categorie, sfruttando l'utilizzo di una *convolutional neural network (CNN)*¹. È stato sufficiente quindi creare un modello uguale a quello precedentemente utilizzato per l'addestramento e caricare i valori presenti nel file *emotion-weights.h5*.

Attraverso l'utilizzo di una webcam USB e della libreria *OpenCV*, è stato possibile acquisire le immagini del soggetto alla guida del simulatore in tempo reale, che sono state poi processate e usate dal modello per riconoscere l'emozione del guidatore.

Successivamente è stato possibile utilizzare la classe *wrapper 3.2* (la quale sfrutta una *Static Factory* da un file di configurazione), la libreria *Paho-MQTT* e un client che implementasse il protocollo MQTT, al fine di trasmettere i risultati delle predizioni del modello.

Il processo di rilevamento delle emozioni è basato su un'architettura super loop che iterativamente calcola lo stato emotivo del guidatore e lo comunica tramite il protocollo MQTT.

¹Tipo di rete neurale feed-forward che apprende dai dati. È molto utilizzata quando i dati sono delle immagini.

```

1  import paho.mqtt.client as mqtt
2  import json
3
4  class MQTTWrapper:
5      def __init__(self, host, port, topic):
6          self.host = host
7          self.port = port
8          self.topic = topic
9          self.client = mqtt.Client()
10         self.client.connect(self.host, self.port)
11
12         @staticmethod
13         def fromJsonConfig(filename):
14             with open(filename) as file:
15                 config = json.load(file)
16                 return MQTTWrapper(config["host"], config["port"], config["topic"])
17
18         def publish(self, message):
19             self.client.publish(self.topic, message)

```

Figura 3.2: Codice del Wrapper MQTT per il client

3.4 Modulo per il rilevamento della distrazione visiva

L'obiettivo del modulo per il rilevamento della distrazione visiva è quello di classificare alcune possibili azioni svolte dal guidatore durante la marcia del veicolo in 5 categorie, utilizzando un'altra CNN, come nel caso del modulo del rilevamento delle emozioni.

La realizzazione di questo modulo si è svolta in tre fasi:

- Preparazione dei dati
- Creazione del modello di CNN
- Testing del modello

Preparazione dei dati

La parte principale e fondamentale della creazione degli algoritmi e dei modelli di predizione è la preparazione dei dati. È fondamentale, per poter creare e allenare una rete neurale convoluzionale, avere un dataset adeguatamente grande e con determinate specifiche. È quindi il primo obiettivo di ogni programmatore quello di trovare o creare un

dataset che rispetti le caratteristiche del modello che si vuole sviluppare: alcuni modelli si aspettano che i dati siano etichettati, altri che non lo siano, il dataset deve essere di una determinata dimensione, e così via.

Il dataset utilizzato è stato fornito dal Centro Tecnologico Vicomtech [41] attraverso una serie di video in formato mp4 di vari soggetti alla guida di un autoveicolo o di un simulatore. In particolare, è stato scelto questo dataset perché era necessario trovarne uno che fosse stato realizzato con una fotocamera posta frontalmente ai soggetti alla guida, in quanto il modulo di rilevamento delle emozioni del guidatore era basato su un ampio dataset di immagini frontali e quindi la fotocamera utilizzata per il progetto avrebbe dovuto avere la stessa impostazione.

I video in formato mp4 sono stati convertiti in varie immagini in formato jpg attraverso il lettore software multimediale PotPlayer, impostando l'acquisizione delle immagini ogni 0,5 secondi.

Le immagini così generate sono state poi manualmente suddivise in 5 cartelle differenti, ognuna denominata in base alla classe rappresentata: *safe driving*, *brushing hair*, *drinking*, *talking phone*, *texting*. In totale le immagini raccolte sono 15678. Sono poi state suddivise nelle due categorie di *train* e *test*, optando per un rapporto 80-20. Le immagini sono così state processate riducendole a una dimensione di 48x48 pixel e impostando un capovolgimento casuale rispetto all'asse verticale (con una probabilità base del 50% di agire sull'immagine).

Creazione del modello di CNN

Il software è stato scritto utilizzando il linguaggio di programmazione *Python 3* e sfruttando la libreria *TensorFlow* per la creazione e l'addestramento del modello.

Nella definizione della struttura del modello è stato impostato un modello sequenziale con 4 livelli convoluzionali ² alternati con 3 livelli di pooling ³.

È stata poi impostata la *categorical_crossentropy* come loss function ⁴, comunemente utilizzata per i compiti di classificazione che prevedono l'utilizzo di più di due classi. Questa funzione produce un array contenente il match più probabile fra le varie classi.

Fra i vari optimizer ⁵ è stato scelto *Adam*, in quanto è una versione migliorata del classico Stochastic Gradient Descent (SGD) optimizer e velocizza l'addestramento del modello, fornendo performance migliori. È stato lasciato il learning rate ⁶ di default del modello, che è di 0,001.

²Livelli che applicano dei filtri per estrarre le caratteristiche dall'input.

³Livelli che riducono la dimensione dell'input.

⁴Funzione utilizzata per misurare la performance del modello attraverso il calcolo della deviazione delle sue predizioni rispetto alla realtà.

⁵Algoritmo che ha come compito quello di aggiornare i parametri della rete neurale durante il processo di addestramento al fine di ridurre al minimo la loss function.

⁶Iperparametro che determina di quanto cambiano i pesi della rete neurale nel contesto dell'ottimizzazione.

Il modello ha registrato i nomi delle classi acquisendo i nomi assegnati alle varie cartelle in cui è stato suddiviso il dataset. Successivamente è stato eseguito l'addestramento del modello per un numero di epoche pari a 20 in batch ⁷ da 32 elementi. Per ogni epoca dell'addestramento il modello è stato testato sulle immagini di testing del dataset, valutando via via i risultati ottenuti.

Infine, i risultati dell'addestramento sono stati salvati in un file in formato .h5, così da poterli richiamare all'occorrenza senza dover eseguire l'addestramento ogni volta.

I risultati dell'addestramento effettuato sono visibili in Figura3.3 e in Figura3.4.

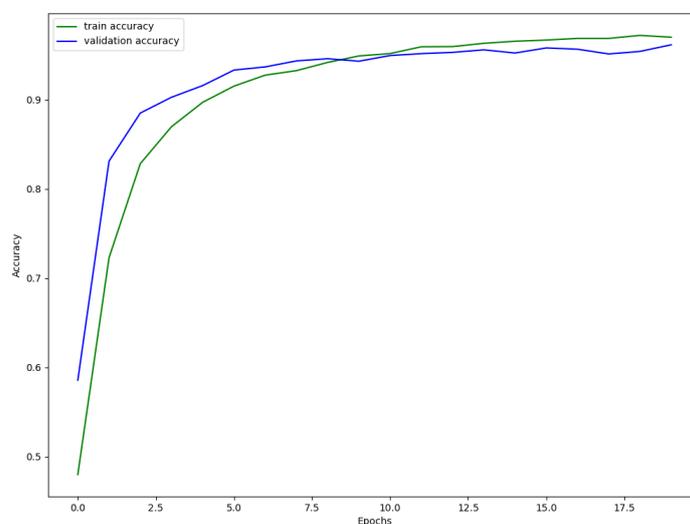


Figura 3.3: Grafico riportante l'accuratezza del modello durante le varie epoche di allenamento

Testing del modello

Il modello è stato testato acquisendo le immagini da una webcam USB attraverso l'utilizzo della libreria *OpenCV*, le quali sono state via via trasmesse al metodo *.predict()* del modello.

Dato che è stato dimostrato che la distrazione visiva diventa pericolosa se protratta per più di 2 secondi [11], le immagini della webcam vengono analizzate se l'azione rilevata perdura per almeno 2 secondi, come mostrato in Figura3.5.

⁷Iperparametro che definisce il numero di campioni su cui il modello viene addestrato prima di aggiornare i parametri interni.

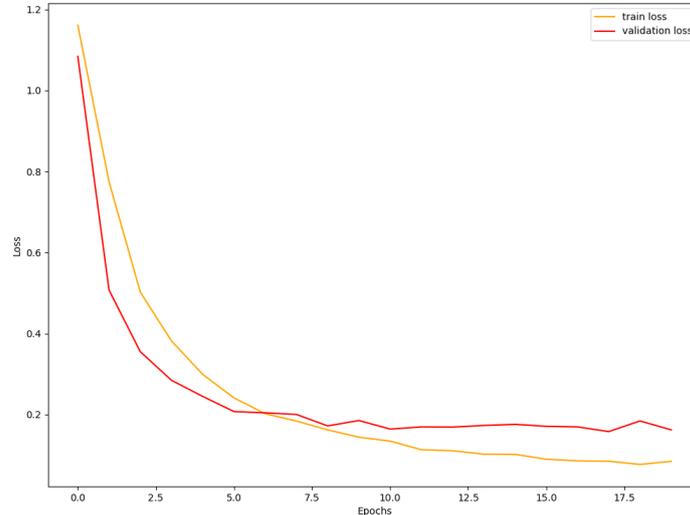


Figura 3.4: Grafico riportante la loss function del modello durante le varie epoche di allenamento

```

38     def predictionSetup(image):
39         global end_time, saved_prediction
40         end_time = datetime.datetime.now() + datetime.timedelta(seconds=2)
41         saved_prediction = model.predict(image)
42     def getDistraction():
43         prediction = 0
44         predictionSetup(resizedImg)
45
46     while datetime.datetime.now() < end_time:
47         if model.predict(resizedImg).all != saved_prediction.all:
48             predictionSetup(resizedImg)
49             break
50         else:
51             frame = emotions.frame
52             gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
53             resizedImg = np.expand_dims(np.expand_dims(cv2.resize(gray, (54, 128)), -1), 0)

```

Figura 3.5: Codice per la gestione del delay nella predizione dell'immagine

Il modello è riuscito a predire accuratamente le varie tipologie di distrazione visiva analizzate, tranne il caso “texting”, il quale, a causa dell'impostazione della posizione della fotocamera, si è rivelato essere di difficile individuazione. Un'impostazione della fotocamera a 45° rispetto alla posizione del sedile dell'automobile o del simulatore avreb-

be sicuramente facilitato questo compito, se associato anche all'utilizzo di un dataset differente basato su quel tipo di posizionamento.

Per la trasmissione dei risultati, è stata sfruttata la stessa architettura del modulo di rilevamento delle emozioni del guidatore, modificando però il super loop in modo che comprendesse anche una funzione che restituisse i valori delle varie tipologie di distrazione visiva. In questo modo, iterativamente vengono calcolati entrambi i valori, che vengono poi trasmessi tramite il protocollo MQTT su due topic distinti (*Emotions* e *Distractions*) 3.6.

```
12 client = mqtt.Client()
13 client.connect("192.168.1.105", 1883)
14 user = loadUserConfig()
18 while True:
19     try:
20         emotionsMap = emotions.getEmotions()
21         dataToTransmit = {
22             "user": {
23                 "neutral": emotionsMap["Neutral"],
24                 "happiness": emotionsMap["Happy"],
25                 "surprise": emotionsMap["Surprised"],
26                 "sadness": emotionsMap["Sad"],
27                 "anger": emotionsMap["Angry"],
28                 "disgust": emotionsMap["Disgusted"],
29                 "fear": emotionsMap["Fearful"]
30             }
31         }
32         client.publish("Emotions", json.dumps(dataToTransmit))
33         print(dataToTransmit)
34         time.sleep(1)
35     except emotions.NoFaceDetectedException:
36         print("No face found!")
38     try:
39         distractionMap = distractions.getDistraction()
40         dataToTransmit2 = {
41             "user": {
42                 "drinking": distractionMap["Drinking"],
43                 "brushing_hair": distractionMap["Brushing hair"],
44                 "safe_driving": distractionMap["Safe driving"],
45                 "talking_phone": distractionMap["Talking phone"],
46                 "texting_phone": distractionMap["Texting phone"]
47             }
48         }
49         client.publish("Distractions", json.dumps(dataToTransmit2))
50         print(dataToTransmit2)
51         time.sleep(1)
52     except distractions.NoDriverDetectedException:
53         print("No driver found!")
```

Figura 3.6: Codice dell'architettura super loop per il calcolo e la comunicazione dei valori rilevati

Capitolo 4

Simulazioni e prove

L'ultimo obiettivo di questa tesi era quello di raccogliere i dati necessari per analizzare l'effetto della distrazione visiva sull'indice di Fitness to Drive e per valutare l'assegnazione dei pesi ai vari moduli utilizzati per il calcolo dell'indice. È stato quindi impostato un ambiente di simulazione in laboratorio in cui vari soggetti hanno effettuato una prova di guida mentre con alcuni strumenti venivano registrati i dati della persona e le condizioni di guida.

Per la realizzazione dei vari moduli sono state utilizzate diverse tecnologie. Ognuna di queste verrà esposta di seguito.

4.1 Rete e Broker MQTT

È stata realizzata una rete LAN privata per ospitare solamente i dispositivi necessari, attraverso l'utilizzo di un router Wi-Fi.

Questa rete ha il compito di trasportare i vari messaggi scambiati fra i moduli attraverso il protocollo MQTT. Per rendere possibile questa comunicazione è stato necessario utilizzare un Broker e si è deciso di utilizzare *Eclipse Mosquitto*, in quanto già implementato nel progetto a seguito dell'introduzione del modulo delle emozioni del guidatore.

Sfruttando l'isolamento della rete, il Broker è stato impostato per accettare qualsiasi tipo di connessione, evitando richieste di autenticazione che avrebbero potuto bloccare la trasmissione dei vari dati.

4.2 Modulo per il calcolo dell'arousal

Per rilevare i valori necessari per il calcolo dell'arousal sono state utilizzate varie tecnologie e quindi si è reso necessario fare in modo che anche il Fitbit Sense usato riuscisse a comunicare in MQTT. Per riuscire a realizzare questa comunicazione sono state sfruttate

delle applicazioni già realizzate e utilizzate nella precedente gestione del Fitness to Drive. Le tecnologie utilizzate sono esposte di seguito.

Fitbit

Per la misura dei valori della frequenza cardiaca dei soggetti in esame è stato utilizzato uno smartwatch con la possibilità di realizzare ECG, il Fitbit Sense.

La scelta è ricaduta su questo dispositivo al fine di ridurre al minimo il rischio di alterare i risultati dei test a causa del possibile disagio percepito dai partecipanti nei confronti della tecnologia utilizzata. Essendo uno smartwatch, infatti, è stato considerato un dispositivo poco invasivo e adatto allo scopo.

Architettura del Fitbit

Il Software Development Kit di Fitbit mette a disposizione API per lo sviluppo di applicazioni rivolte agli smartwatch della casa produttrice stessa. Il linguaggio di programmazione utilizzato è JavaScript (o TypeScript) per lo scripting, mentre la grafica viene definita in SVG6. Sono presenti due componenti distinte nell'architettura di Fitbit:

- **Smartwatch App:** applicazione in esecuzione sullo smartwatch;
- **Companion App:** applicazione in esecuzione sullo smartphone associato al Fitbit.

Per poter realizzare una comunicazione tra lo smartwatch e l'esterno è necessario passare attraverso lo smartphone associato al Fitbit. Questo passaggio intermedio è dovuto al fatto che questo modello di Fitbit ha una connettività limitata.

È stata quindi sfruttata una delle due API messe a disposizione dal Software Development Kit, la Messaging API 2.9, scelta perché in grado di inviare i dati appena sono disponibili, così da poter calcolare il valore di arousal in tempo reale.

L'opzione del File-transfer consente inoltre di raccogliere il file di log con tutte le frequenze del battito cardiaco una volta terminata la simulazione.

Smartwatch App

È stato possibile sfruttare la smartwatch app utilizzata per il progetto precedente del calcolo dell'indice di Fitness to Drive.

Essa si occupa di leggere il valore della frequenza cardiaca e di inviarlo, se la socket fornita dall'API risulta disponibile.

Companion App

È stato possibile sfruttare la companion app utilizzata per il progetto precedente del calcolo dell'indice di Fitness to Drive.

Essa si occupa di ricevere i dati relativi alla frequenza cardiaca e di inviarli verso la rete. Per la comunicazione è stata utilizzata una WebSocket, dato che le API del Fitbit non disponevano di un'implementazione di client MQTT.

Per come è stata realizzata la companion app, durante la fase di runtime risulta possibile scegliere se inviare i dati o meno e cambiare l'indirizzo del server di destinazione.

MQTT arousal forwarder

Dato che la companion app trasmette la frequenza cardiaca mediante una WebSocket, è stato utilizzato uno script 4.1 che si pone in ascolto sulla WebSocket e, all'arrivo del nuovo valore, lo trasforma in arousal e lo pubblica sull'apposito topic MQTT.

In Figura4.2 è possibile visualizzare uno schema generale dell'architettura appena descritta.

App per provisioning

Nel precedente progetto è stata realizzata un'applicazione (utilizzando lo stack di sviluppo di Fitbit) in grado di calcolare il parametro base della frequenza cardiaca del soggetto analizzato. Essa registra il valore di frequenza cardiaca per un determinato tempo (in questo caso, per un minuto) e fornisce una media. Questo valore viene poi utilizzato nella formula descritta in precedenza come valore della frequenza cardiaca a riposo, da cui poi viene calcolato il valore di arousal.

Utilizzo dei container

Per l'esecuzione dello script relativo al rilevamento dell'arousal sono stati realizzati dei container ¹, sfruttando *Docker Compose* ².

Si è deciso di utilizzare un container per astrarre dall'ambiente di esecuzione l'intera gestione di rilevamento della frequenza cardiaca, conversione del valore in arousal e trasmissione dello stesso con protocollo MQTT.

Lo script di creazione dei container, visibile in Figura4.3, è stato realizzato in modo che i valori della frequenza cardiaca base del soggetto analizzato e quello di normalizzazione (rispettivamente B_{hr} e D_{hr} nella formula esposta precedentemente), fossero modificabili prima dell'esecuzione dei container, così da personalizzare l'impostazione dell'ambiente di simulazione in base a ogni partecipante.

¹Pacchetti di software utilizzati per raggruppare un'applicazione con tutti i file necessari in un unico ambiente di runtime.

²Strumento che consente di definire e gestire più container come se fossero un unico servizio.

```

1  import asyncio
2  import json
3  import websockets
4  from mqtt_wrapper import MQTTWrapper
5  import sys
6
7  baseHeartRate = int(sys.argv[1])
8  maxArousalDeviation = 10
9  def heartRateToArousal(heartRate):
10     arousal = (1/maxArousalDeviation**2) * (heartRate - baseHeartRate)**2
11     return arousal if arousal <= 1 else 1
12
13  client = MQTTWrapper.fromJsonConfig(sys.path[0] + "/mqttConfig.json")
14
15  async def main():
16     async with websockets.serve(handleMessage, '0.0.0.0', 7890):
17         await asyncio.Future()
18
19  ✓ async def handleMessage(websocket):
20     async for message in websocket:
21         message = json.loads(message)
22         arousal = heartRateToArousal(int(message["heartRate"]))
23         print(f"HR {message['heartRate']} -> arousal {arousal}")
24         client.publish(json.dumps({ "arousal": arousal }))
25
26
27  asyncio.run(main())

```

Figura 4.1: Codice del forwarder dei messaggi da WebSocket a MQTT

4.3 Simulatore di guida

Per effettuare le prove in laboratorio del calcolo dell'indice di Fitness to Drive è stato utilizzato un simulatore di guida. Presso il laboratorio dove si sono svolti gli studi per questo progetto era presente il simulatore *Carla*: un simulatore di guida open-source finalizzato allo sviluppo, alla formazione e alla convalida di sistemi di guida autonoma nei centri urbani.

Carla fornisce codice e protocolli open-source e asset digitali aperti (e.g. veicoli, edifici o altro) utilizzabili e personalizzabili.

Inoltre, è possibile sfruttare le sue API per controllare alcuni aspetti della simulazione, come la quantità di traffico presente, l'ambientazione e i sensori.

È il sistema di simulazione usato nel precedente progetto e si è deciso di utilizzarlo anche

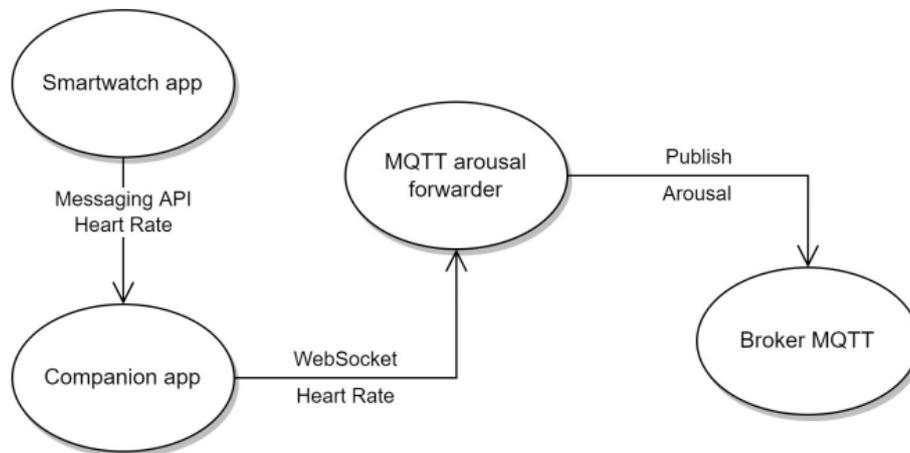


Figura 4.2: Architettura della trasmissione dei dati dal Fitbit al Broker MQTT

```

1  services:
2  mqtt-broker:
3    image: emqx/nanomq:latest
4    container_name: mqtt-broker
5    ports:
6      - "1883:1883"
7
8  mqtt-message-forwarder:
9    build:
10     context: ./mqttMessageForwarder
11     dockerfile: Dockerfile
12    container_name: mqtt-message-forwarder
13    ports:
14     - "7890:7890"
15    environment:
16     - MQTT_BROKER=mqtt-broker
17     - MQTT_PORT=1883
18     - MQTT_TOPIC=NP_UNIPR_AROUSAL
19     - MAX_AROUSAL_DEVIATION=10
20     - BASE_HEART_RATE=60
21    depends_on:
22     - mqtt-broker
  
```

Figura 4.3: Codice del file yaml di gestione dei container

per questo. È stato quindi possibile utilizzare il codice già creato per la trasmissione periodica del valore della velocità del veicolo su topic MQTT specifico, così come i dati

```

851  ▾ class MQTTClient:
852  >   def __init__(self, host, port, topicSpeed, topicEvents): ...
860         self.t0events = time.time() * 1000
861
862  ▾   def publishSpeed(self, message):
863         if time.time() - self.t0speed > 1:
864             print(message)
865             self.t0speed = time.time()
866             self.client.publish(self.topicSpeed, message)
867
868  ...   def publishEvent(self, message):
869         if time.time() * 1000 - self.t0events > 300 and "'Broken'" not in message:
870             dataToSend = {
871                 "event": message,
872                 "timestamp": time.time()
873             }
874             self.t0events = time.time() * 1000
875             self.client.publish(self.topicEvents, json.dumps(dataToSend))

```

Figura 4.4: Codice della definizione della classe per la comunicazione MQTT dal simulatore

relativi ai vari errori commessi durante la guida, come eventuali collisioni o sbandamenti del veicolo nella corsia.

In Figura 4.4 viene mostrata la parte di codice dello script del simulatore in cui viene definita la classe *MQTTClient*, la quale si occupa della gestione dei dati da trasmettere dal simulatore al client che gestisce il calcolo dell'indice di Fitness to Drive.

Le funzioni *publishSpeed* e *publishEvent* qui definite vengono utilizzate in un super-loop, così da trasmettere periodicamente i valori di velocità ed errori alla guida su protocollo MQTT, come mostrato ad esempio per la velocità in Figura 4.5.

L'impostazione dell'ambiente di simulazione è visibile in Figura 4.6.

Per poter realizzare lo schema proposto in teoria, era inoltre necessario che tutti i processi in esecuzione lato PC risiedessero in un unico computer. Si è quindi deciso di utilizzare lo stesso computer su cui è stato eseguito il simulatore anche per l'esecuzione dei client di rilevamento dei valori di arousal, delle emozioni e della distrazione visiva, oltre al client per il calcolo dell'indice di Fitness to Drive, il quale è in ascolto di tutti i messaggi provenienti dal Broker MQTT.

Sempre sullo stesso computer è stato eseguito lo script per la ricezione dei dati da WebSocket e pubblicazione sul topic MQTT. Il dispositivo utilizzato per rilevare la frequenza cardiaca è il *Fitbit Sense*, associato a uno smartphone connesso sulla stessa rete Wi-Fi del computer, così da poter interagire con il sistema.

L'architettura appena esposta è visibile nel grafico in Figura 4.7.

```

814     while True:
815         clock.tick_busy_loop(60)
816         if controller.parse_events(world, clock):
817             return
818         world.tick(clock)
819         world.render(display)
820         pygame.display.flip()
821
822         speedToSend = vectorToSpeed(world.player.get_velocity())
823         dataToSend = {
824             "VehicleDynamics": {
825                 "speed": {
826                     "x": speedToSend if speedToSend >= 1 else 0
827                 },
828                 "timestamp": time.time()
829             }
830         }
831         clientMQTT.publishSpeed(json.dumps(dataToSend))

```

Figura 4.5: Codice per la pubblicazione del valore di velocità su topic MQTT apposito



Figura 4.6: Impostazione dell'ambiente di simulazione per le prove in laboratorio

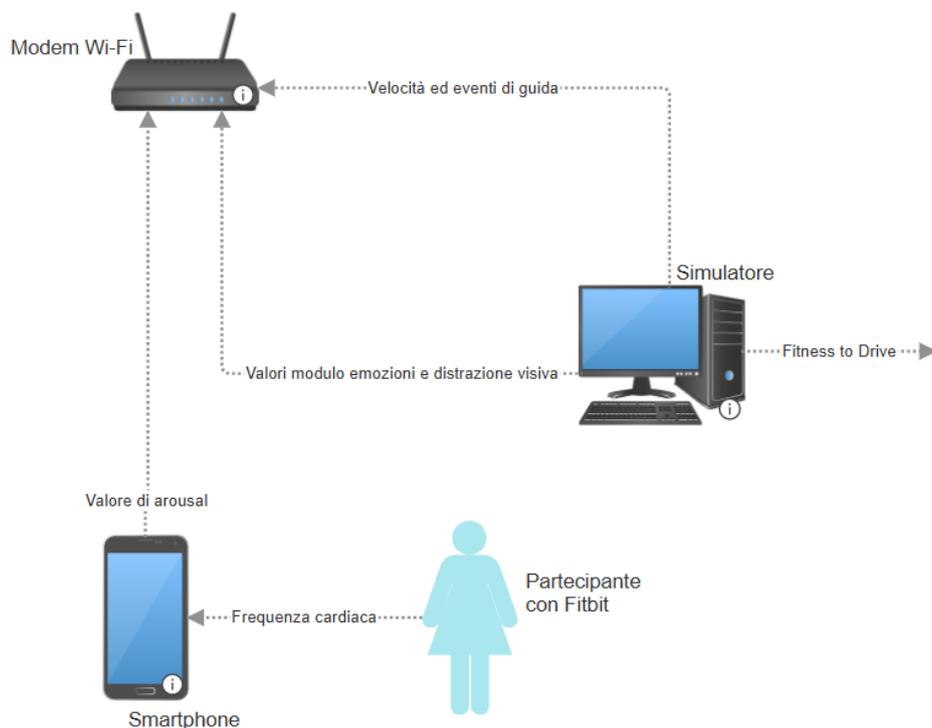


Figura 4.7: Architettura di rete per la simulazione in laboratorio

4.4 Ambiente di simulazione

Le prove si sono svolte presso il laboratorio 3022 del Campus di Cesena dell'Università di Bologna, in via dell'Università 50.

Il simulatore Carla utilizzato è stato eseguito su un computer presente nel laboratorio. I suoi componenti hardware sono visibili nella tabella 4.1.

Per ricreare l'ambiente di guida è stato utilizzato il sistema *Logitech G29*, comprendente volante e pedali. Per il sedile di guida è stato utilizzato il *Playseat Trophy Logitech G Edition*, su cui è stato montato il volante. Per visualizzare il simulatore di guida è

CPU	i7-8700 3.20GHz
GPU	NVIDIA RTX 3080
RAM	16GB
Sistema operativo	Windows 11 64 Bit

Tabella 4.1: Componenti hardware del computer su cui è stato eseguito il simulatore

stato utilizzato un monitor *Samsung Serie G9 - G95T DQHD 49"*. Questa impostazione è visibile in Figura 4.8.



Figura 4.8: Postazione con monitor, volante, pedali e sedile di guida

4.5 Testing

Il processo di testing si è svolto in due giornate presso il laboratorio 3022 in cui è stato impostato l'ambiente di simulazione.

Per la simulazione di guida è stata utilizzata la mappa *Town10* ed è stato impostato un traffico comprendente 5 veicoli e 10 pedoni in movimento. L'automobile selezionata era una BMW.

4.5.1 I partecipanti

Per le prove sono stati coinvolti 15 partecipanti, tutti muniti di patente di guida, con un'età compresa tra i 20 e i 27 anni e una media di 23,3 anni.

4.5.2 La prova

La simulazione di guida è durata circa 25 minuti per partecipante e si è svolta per tutti allo stesso modo:

- È stata misurata la frequenza cardiaca del soggetto per 60 secondi attraverso l'applicazione realizzata per il Fitbit, è stata calcolata poi la media per utilizzarla come valore di base nel calcolo dell'arousal.
- È stato registrato il valore nello script di creazione dei container, per avere il calcolo di arousal specifico per il soggetto esaminato.
- È stata lasciata al partecipante la possibilità di utilizzare il simulatore per abituarsi al sistema di guida. Una volta che il partecipante si è dichiarato pronto, è iniziata la prova.
- Si è svolta la prova assegnando al partecipante alcuni compiti da eseguire alla guida, al fine di simulare le varie situazioni di distrazione visiva analizzate dal progetto. I compiti svolti sono i seguenti:
 - Individuare un'automobile in marcia da seguire per tutta la durata del test.
 - Seguire l'automobile selezionata in guida sicura per un tempo specifico.
 - Simulare una telefonata alla guida utilizzando il braccio destro per portare il telefono all'orecchio per un tempo specifico.
 - Simulare una telefonata alla guida utilizzando il braccio sinistro per portare il telefono all'orecchio per un tempo specifico.
 - Inviare dei messaggi al telefono con la mano destra per un tempo specifico.
 - Inviare dei messaggi al telefono con la mano sinistra per un tempo specifico.
 - Bere da una bottiglia d'acqua utilizzando il braccio destro per portarla alla bocca per un tempo specifico.
 - Bere da una bottiglia d'acqua utilizzando il braccio sinistro per portarla alla bocca per un tempo specifico.
 - Sistemarsi i capelli simulando di specchiarsi nello specchietto retrovisore del veicolo guidato per un tempo specifico.

L'obiettivo di svolgere questi compiti seguendo un'altra automobile era quello di valutare una situazione quanto più possibile vicina a una reale situazione di traffico, forzando i partecipanti a distrarsi visivamente consapevoli del rischio di collisione con la macchina seguita.

Per tutta la durata delle prove è stata utilizzata una *GoPro HERO12* per riprendere i partecipanti durante i test e il software *OBS (Open Broadcaster Software)* per registrare lo schermo del simulatore, al fine di creare un dataset realistico e valido per futuri scopi di ricerca.



Figura 4.9: Esempio di prova in cui il candidato sta messaggiando con la mano sinistra mentre continua a seguire l'automobile che lo precede

4.5.3 Considerazioni sulla prova

I partecipanti sono riusciti a immedesimarsi nella situazione di testing, cercando di simulare il loro normale comportamento in una situazione reale.

È stato possibile notare che i compiti assegnati durante la prova hanno avuto un effetto di agitazione in molti dei partecipanti, che hanno successivamente riferito di non essere abituati a svolgere determinate azioni durante la guida, soprattutto quella di mandare dei messaggi.

Alcuni partecipanti hanno riferito di aver provato un livello elevato di stress e ansia in alcune situazioni della prova, situazione verificata anche dall'aumentare della loro frequenza cardiaca in alcuni momenti.

In generale, è stato possibile notare un aumento degli errori di guida quali collisioni e sbandamenti del mezzo in situazioni di maggiore distrazione visiva, come nei casi di invio di messaggi col telefono e sistemazione dei capelli allo specchietto retrovisore. Queste osservazioni rispecchiano quanto riportato nell'analisi della distrazione visiva nei primi capitoli.

Purtroppo, come anticipato, per via della necessità di impostare la webcam frontalmente alla persona alla guida non è stato possibile registrare i dati relativi ai casi di distrazione visiva per invio di messaggi col telefono. Inoltre, si è notata una maggiore difficoltà di rilevazione della distrazione visiva da parte del modello su soggetti più bassi di una certa soglia, perché fisicamente impossibilitati a mostrare bene il volto e la posizione del corpo senza essere oscurati dalla posizione del volante.

Tutte le altre condizioni di distrazione visiva sono state verificabili e rilevate dal modello.

4.6 Analisi dei dati raccolti

Grazie alle registrazioni effettuate durante le prove, è stato possibile raccogliere un dataset di 15 video con risoluzione 1920x1080 di persone alla guida durante lo svolgimento di varie azioni che comportano distrazione visiva. Le riprese sono state effettuate frontalmente e la videocamera era posta davanti al volante, quindi il dataset comprende varie situazioni in cui il volante interferisce con una corretta ripresa della persona alla guida. Questo risultato ha consentito di creare un dataset comprendente anche situazioni normalmente non considerate, che però sono reali e presenti in base all'altezza e alla posizione della persona alla guida. Quindi disporre di un dataset del genere potrebbe facilitare il rilevamento delle varie situazioni di distrazione da parte di un modello addestrato sullo stesso.

Inoltre, per l'addestramento del modello utilizzato per questo progetto è stato creato un dataset di 15678 immagini di persone alla guida, suddiviso in 5 cartelle che differenziano le varie situazioni, denominate *safe driving*, *brushing hair*, *drinking*, *talking phone*, *texting*. Questo dataset può rivelarsi molto utile anche per delle ricerche future a riguardo, quindi rimane una raccolta di dati molto valida.

Durante le prove sono stati raccolti vari dati, riguardanti sia la persona alla guida che il simulatore.

Il valore del Fitness to Drive ha spaziato da un valore minimo di 0,69 fino al massimo (cioè 1, la condizione ottimale). Un istogramma della variazione di questo valore durante le prove è visibile in Figura 4.10.

In generale, il valore dell'indice di Fitness to Drive si è mantenuto abbastanza alto, il che era atteso come risultato perché una parte delle prove prevedeva il mantenimento di una guida sicura e attenta. Inoltre, non sono stati analizzati approfonditamente gli effetti delle emozioni, non essendo argomento principale di questa tesi, quindi i partecipanti hanno avuto prevalentemente emozioni neutrali o di felicità, come visibile nel grafico in Figura 4.11, e comunque un livello di arousal accettabile (si è sempre mantenuto fra 0 e 0,5).

Si è registrata anche un'eterogeneità nella rilevazione delle tipologie di distrazione visiva, che ha spaziato tra 4 dei 5 casi considerati (perché, come trattato anche precedentemente, la rilevazione dell'azione di inviare messaggi alla guida si è rivelata essere problematica per via dell'impostazione dell'ambiente di simulazione).

In particolare, il modello è riuscito a registrare la presenza delle varie tipologie di distrazione visiva, come visibile in Figura 4.12.

Il simulatore è stato utilizzato anche per registrare eventuali errori commessi alla guida, tenendo in considerazione soprattutto gli errori di collisione dell'automobile guidata. È stato quindi possibile analizzare la correlazione tra eventuali errori commessi e i valori dell'indice di Fitness to Drive e della presenza della distrazione visiva.

Si è quindi evidenziato che le collisioni sono avvenute in presenza dell'abbassamento

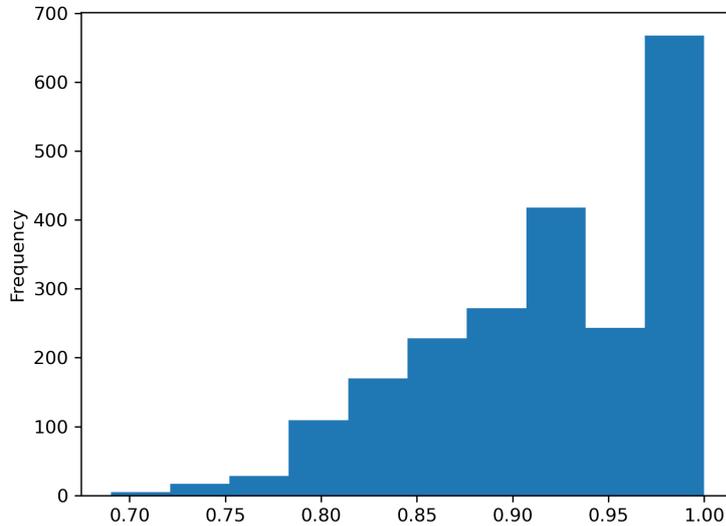


Figura 4.10: Istogramma dei valori del Fitness to Drive rilevati durante le prove

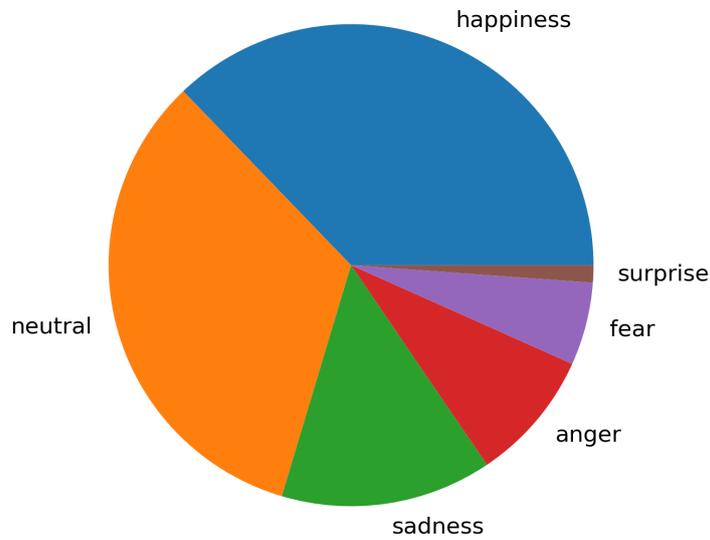


Figura 4.11: Dati delle emozioni ricavati durante la simulazione

dell'indice di Fitness to Drive, come visibile in [Figura 4.13](#).

Anche in relazione alla presenza della distrazione visiva, registrata come tempo in cui risulta presente una distrazione visiva, si è registrato un comportamento analogo. Questa analisi è infatti visibile in [Figura 4.14](#).

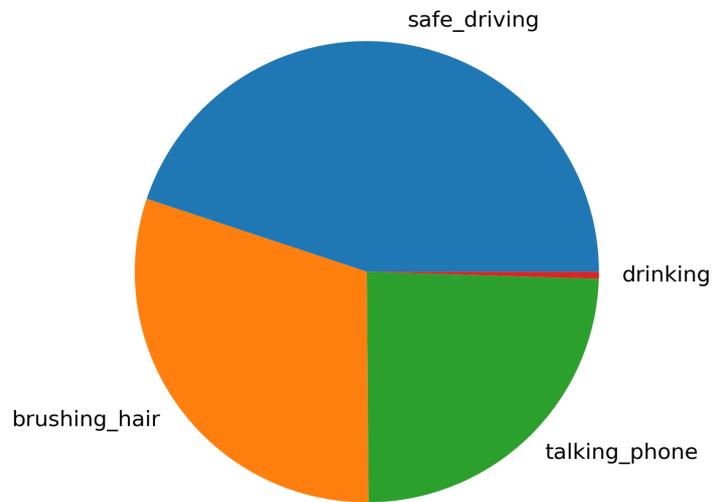


Figura 4.12: Dati delle distrazioni visive ricavati durante la simulazione

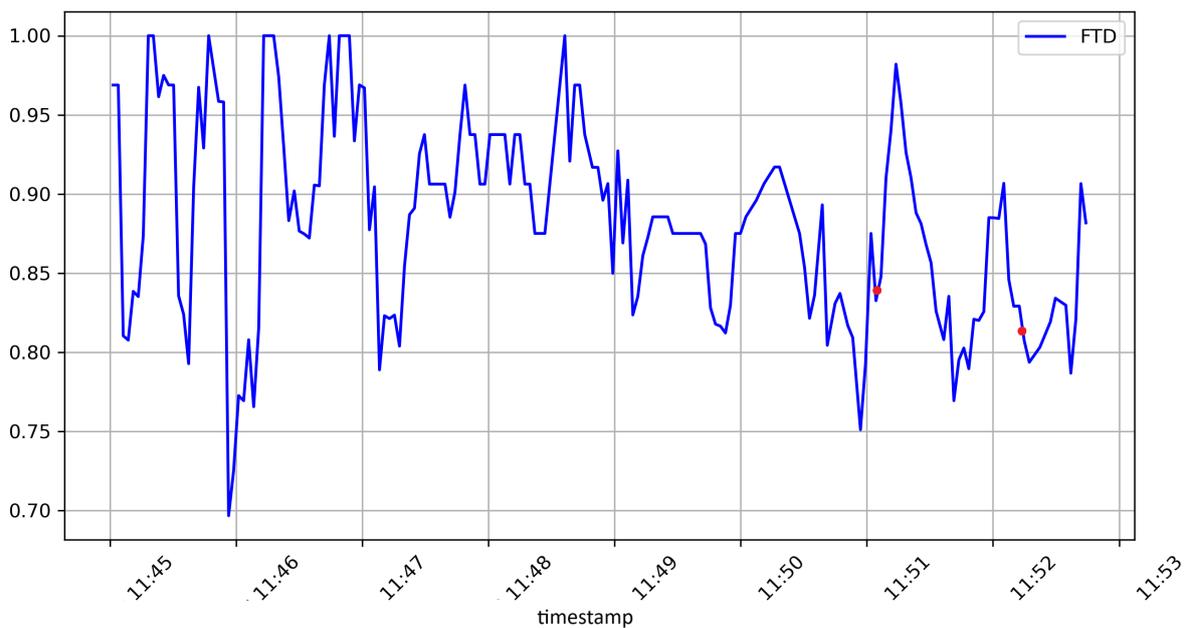


Figura 4.13: Valore dell'indice di Fitness to Drive con rilevazione delle collisioni (evidenziate dai punti rossi nel grafico)

Questo risultato era atteso, avendo anche notato come la distrazione visiva diventa tanto più pericolosa quanto più lunga è la sua durata [29].

È stata poi effettuata un'analisi più approfondita, ricercando una correlazione tra i vari valori analizzati. La Figura 4.15 mostra una correlazione negativa tra Fitness to Drive

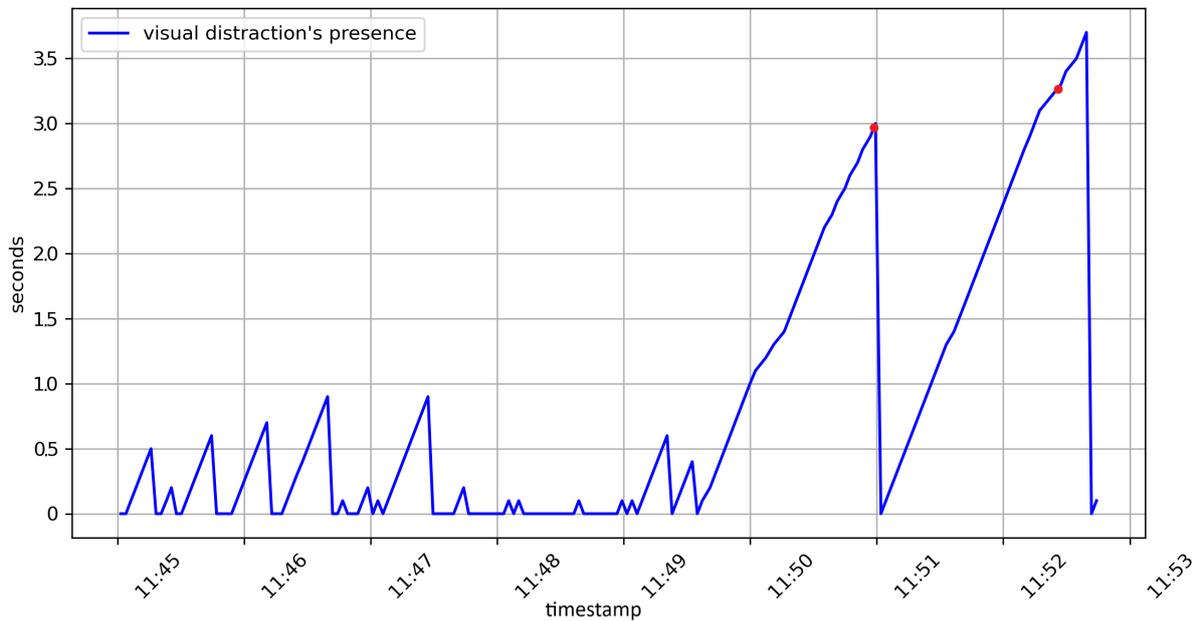


Figura 4.14: Valore della presenza della distrazione visiva con rilevazione delle collisioni (evidenziate dai punti rossi nel grafico)

ed errori alla guida, dimostrando che effettivamente gli errori sono avvenuti in situazioni in cui il valore di Fitness to Drive era minore.

È anche osservabile una correlazione positiva tra errori e velocità, riconfermando che a velocità maggiori è più probabile che si effettuino errori alla guida.

La stessa condizione è analizzabile per la distrazione visiva, anche se il valore atteso aveva un valore più alto. Questo valore di 0,05 fra distrazioni visive ed errori è stato attribuito a una probabile compensazione da parte dei partecipanti ai test in situazioni di distrazione, in cui hanno ridotto la velocità e aumentato la distanza di sicurezza, riducendo così gli errori. Inoltre, dato che una distrazione visiva per essere pericolosa (e quindi portare a un errore di guida) deve durare almeno 2 secondi [11], tutti i campioni di distrazione nell'intervallo precedente al raggiungimento dei 2 secondi di durata non producono un errore diretto e quindi andrebbero trascurati.

L'analisi dei dati è stata effettuata sfruttando il linguaggio di programmazione *Python 3* e la piattaforma *Jupyter Notebook*, applicando le funzionalità delle seguenti librerie:

- **Pandas:** per la creazione dei dataframe e la manipolazione dei dati.
- **Matplotlib:** per la creazione e il salvataggio dei grafici come immagini.
- **Seaborn:** per la realizzazione dei grafici di correlazione (heatmap).

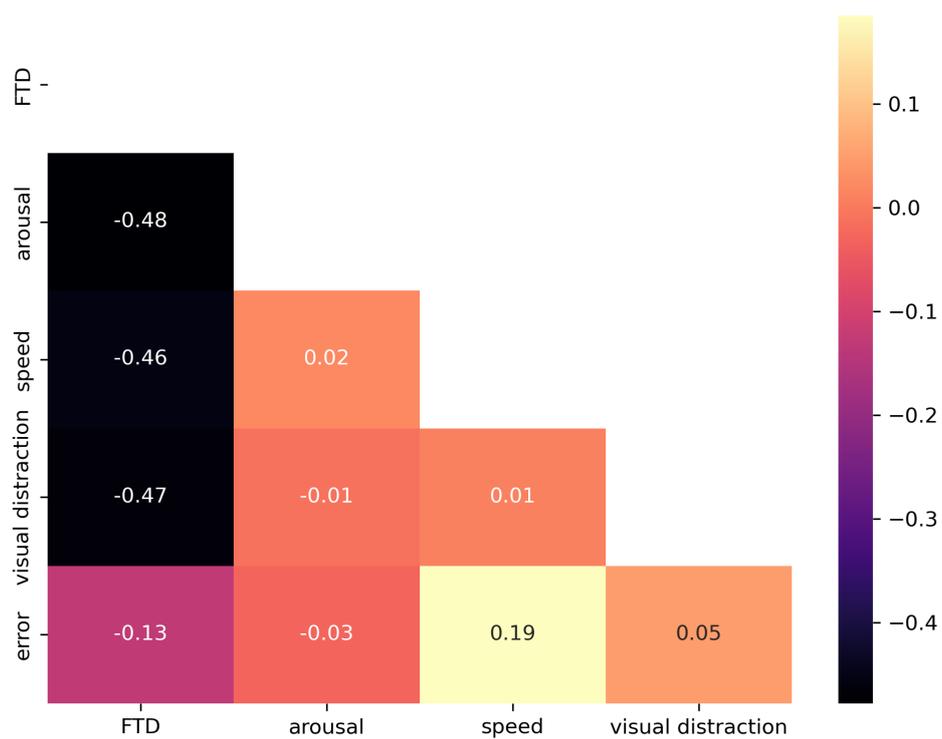


Figura 4.15: Grafico di correlazione dei dati di Fitness to Drive, arousal, velocità e distrazione visiva con errori alla guida

Conclusioni

Questa tesi aveva come obiettivo quello di riuscire a rilevare la distrazione visiva della persona alla guida, di integrare questa valutazione nel calcolo dell'indice di Fitness to Drive e di valutare con le prove in laboratorio i pesi attribuiti a distrazione visiva, emozioni e arousal del guidatore nella formula aggiornata.

Durante lo svolgimento del primo obiettivo sono stati approfonditamente analizzati gli effetti delle distrazioni, soprattutto visive, alla guida, utilizzando diversi trattati e ricerche presenti in letteratura. Grazie a questa analisi è stato possibile creare un valido modello per il rilevamento delle distrazioni visive alla guida, ponendo particolare attenzione agli studi effettuati sulle tempistiche relative alle distrazioni e creando una formula che consentisse di rilevare la distrazione visiva solo se presente per un tempo minimo di 2 secondi.

Avendo appurato la validità del modello creato, è stato integrato il valore della distrazione visiva alla formula per il calcolo dell'indice di Fitness to Drive, mantenendo i pesi presenti nel progetto precedente, con l'obiettivo di analizzarli e valutarne l'accuratezza. Infine è stata realizzata un'architettura di rete interna che consentisse di eseguire delle prove, al fine di valutare il calcolo dell'indice di Fitness to Drive. La gestione del calcolo è divisa in moduli, ognuno dei quali dedicato alla gestione di uno specifico valore presente nella formula. È stato così possibile analizzare singolarmente il valore della distrazione visiva nel calcolo dell'indice e in relazione agli errori commessi alla guida.

Le prove in laboratorio hanno confermato quanto appreso dall'analisi iniziale sugli effetti della distrazione visiva alla guida. In particolare, si è analizzato che le situazioni di collisione registrate si sono verificate all'aumentare del tempo di distrazione visiva e comunque superati i 2 secondi di durata.

Inoltre, avendo notato come la presenza di errori alla guida fosse correlata all'abbassarsi dell'indice di Fitness to Drive, si è confermata l'accuratezza dell'attuale formula comprendente i calcoli dei vari moduli, fra cui emozioni, arousal e distrazione visiva.

Basandosi sui feedback soggettivi dei partecipanti alla prova, è stata confermata anche la compensazione in sicurezza alla guida derivante dalla consapevolezza di stare svolgendo un'azione pericolosa (e.g. inviare un messaggio al telefono), attraverso l'aumento della distanza di sicurezza dal veicolo precedente e la diminuzione della velocità. Quasi tutti i partecipanti alla fine della prova hanno asserito di aver cercato di aumentare la distanza

di sicurezza durante le azioni che ritenevano essere più pericolose, fra cui inviare messaggi e pettinarsi specchiandosi allo specchietto retrovisore.

Un valido sviluppo futuro del progetto potrebbe essere quello di analizzare i tempi di frenata del veicolo in base alla presenza o assenza di una distrazione visiva, in quanto in letteratura si è studiato come i conducenti tendano a inchiodare più spesso se sono visivamente distratti.

Inoltre, si potrebbe studiare il coinvolgimento nella formula dell'indice di Fitness to Drive della distrazione cognitiva e degli effetti della presenza di entrambe le tipologie di distrazione.

Un altro parametro da poter analizzare in futuro potrebbe essere quello di rivalutare i dati esposti in questa tesi in un ambiente di guida reale anziché usando un simulatore, in quanto l'utilizzo del secondo per le prove non è del tutto realistico e i partecipanti potrebbero fornire dati di stress e attenzione differenti se la situazione dovesse essere realmente pericolosa.

Bibliografia

- [1] John S. Raglin. «Anxiety and Sport Performance». In: *Exercise and sports sciences reviews* (1992).
- [2] Margaret M. Bradley e Peter J. Lang. «Measuring emotion: The selfassessment manikin and the semantic differential». In: *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry* (1994).
- [3] Robert J. Tibshirani Donald A. Redelmeier. «Association between Cellular-Telephone Calls and Motor Vehicle Collisions». In: *The New England Journal of Medicine* (1997).
- [4] A. Bucchi A. Simone. «Il fattore umano nell'ingegneria della sicurezza nella circolazione stradale». In: *Strade e Autostrade* (2000).
- [5] Hiroshi Uno Hajime Ito Bunji Atsumi e Motoyuki Akamatsu Dr. «VISUAL DISTRACTION WHILE DRIVING: Trends in Research and Standardization». In: *IATSS Research* (2001).
- [6] Neville A. Stanton Mark S. Young. «Malleable Attentional Resources Theory:A New Explanation for the Effects of Mental Underload on Performance». In: *Human Factors* (2002).
- [7] Kersloot T. Lansdown T. Brook-Carter N. «Distraction from multiple in-vehicle secondary tasks: vehicle performance and mental workload implications.» In: *Ergonomics* (2004).
- [8] Walter W. Wierwille Erik C.B. Olsen Suzanne E. Lee. «Eye Glance Behavior During Lane Changes and Straight-Ahead Driving». In: *Transportation Research Record Journal* (2005).
- [9] Bradley S. Peterson Jonathan Posner James A. Russell. «The circumplex model of affect: An integrative approach to affective neuroscience, cognitive development, and psychopathology». In: *Development and Psychopathology* (2005).
- [10] Neale V. L. Dingus T. A. Klauer S.G. e Petersen A. «The 100-Car Naturalistic Driving Study». In: *Virginia Tech Transportation Institute* (2006).

- [11] Thomas A. Dingus Sheila Klauer. «The Impact of Driver Inattention on Near-Crash/Crash Risk: An Analysis Using the 100-Car Naturalistic Driving Study Data». In: *National Technical Information Service* (2006).
- [12] Jeffrey L. Mayhugh Arthur F. Kramer Nicholas Cassavaugh. «Influence of Age and Proximity Warning Devices on Collision Avoidance in Simulated Driving». In: *Human Factors* (2007).
- [13] Guy H. Walker Mark S. Young Janina M. Mahfoud e Daniel P. Jenkins. «Crash dieting: The effects of eating and drinking on driving performance». In: *Accident Analysis Prevention* (2007).
- [14] Giovanni Pezzulo. «Working Memory». In: *Institute of Cognitive Science and Technology* (2007).
- [15] Joey Benedek Richard L. Hazlett. «Measuring emotional valence to understand the user's experience of software». In: *International Journal of Human-Computer Studies* (2007).
- [16] Miguel A. Escrig Margaret M. Bradley Laura Miccoli e Peter J. Lang. «The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation». In: *Psychophysiology* (2008).
- [17] Celeste N. Godfrey Frank A. Drews Hina Yazdani e Joel M. Cooper. «Text Messaging During Simulated Driving». In: *Human Factors* (2009).
- [18] Raymond J. Dolan Dominik R. Bach Karl J. Friston. «Analytic measures for quantification of arousal from spontaneous skin conductance fluctuations». In: *International Journal of Psychophysiology* (2010).
- [19] Jean-Marie Cellier Christelle P[^]echer C[^]eline Lemerrier. «The influence of emotions on driving behavior». In: *Traffic psychology: An international perspective* (2011).
- [20] Road Safety Canada Consulting. «Road safety in canada - fitness to drive». In: *Transport Canada* (2011).
- [21] Jeff K. Caird Gregory M. Hallihan Andrew K. Mayer e Shaunna L. Milloy. «Effects of Hybrid Interface on Ecodriving and Driver Distraction». In: *Transportation Research Record* (2011).
- [22] Craig P. Gordon Michael A. Regan Charlene Hallett. «Driver distraction and driver inattention: definition, relationship and taxonomy». In: *Accident Analysis Prevention* (2011).
- [23] Paul North. «The problem of distraction». In: *Stanford University Press* (2011).
- [24] Valeria Vignali Alberto Bucchia Cesare Sangiorgi. «Traffic Psychology and Driver Behavior». In: *SIIV - 5th International Congress - Sustainability of Road Infrastructures* (2012).

- [25] Marc Brysbaert Amy Beth Warriner Victor Kuperman. «Norms of valence, arousal, and dominance for 13,915 english lemmas». In: *Behavior Research Methods* (2013).
- [26] Kristie L. Young Vanessa Beanland Michael Fitzharris e Michael G. Lenné. «Driver inattention and driver distraction in serious casualty crashes: Data from the Australian National Crash In-depth Study». In: *Accident Analysis Prevention* (2013).
- [27] John D. Lee. «Dynamics of Driver Distraction: The process of engaging and disengaging». In: *Annals of Advances in Automotive Medicine* (2014).
- [28] European Commission. «Driver Distraction». In: *European Commission, Directorate General for Transport* (2015).
- [29] European Commission. «Driver Distraction 2015». In: *European Commission* (2015).
- [30] Christopher D. Wickens. «Noticing Events in the Visual Workplace: The SEEV and NSEEV Models». In: *Perception and Domains of Work and Professional Practice* (2015).
- [31] Linda Ng Boyle Yiyun Peng. «Driver’s adaptive glance behavior to in-vehicle information systems». In: *Accident Analysis and Prevention* (2015).
- [32] Jacques Honor Vladimir Kosonogov Lucas De Zorzi e Eduardo S. Martinez-Velazquez. «Facial thermal variations: A new marker of emotional arousal». In: *Plos One* (2017).
- [33] Johanna Wörle Ann-Kathrin Kraft Frederik Naujoks e Alexandra Neukum. «The impact of an in-vehicle display on glance distribution in partially automated driving in an on-road experiment». In: *Transportation Research Part F* (2018).
- [34] Jeff Huang Chin-An Wang Talia Baird. «Arousal effects on pupil size, heart rate, and skin conductance in an emotional face task». In: *Frontiers in Neurology* (2018).
- [35] Jeff Huang Chin-An Wang Talia Baird e Jonathan D. Coutinho. «Arousal effects on pupil size, heart rate, and skin conductance in an emotional face task». In: *Frontiers in Neurology* (2018).
- [36] William J. Horrey Jeff K. Caird Sarah M. Simmons. «Does Talking on a Cell Phone, With a Passenger, or Dialing Affect Driving Performance? An Updated Systematic Review and Meta-Analysis of Experimental Studies». In: *Human Factors* (2018).
- [37] Bastian Pfleging Mariam Hassib Michael Braun e Florian Alt. «Detecting and influencing driver emotions using psycho-physiological sensors and ambient light». In: *Interact* (2019).
- [38] Andry Rakotonirainy Xiaomeng Li Atiyeh Vaezipour e Sebastien Demmel. «Effects of an in-vehicle eco-safe driving system on drivers’ glance behaviour». In: *Accident Analysis and Prevention* (2019).

- [39] S. Oliver Kobald Bianca Zickerick Sven Thönes e Edmund Wascher. «Differential Effects of Interruptions and Distractions on Working Memory Processes in an ERP Study». In: *Frontiers in Human Neuroscience* (2020).
- [40] Elizabeth M. Pulver Na Du Feng Zhou e Dawn M. Tilbury. «Examining the effects of emotional valence and arousal on takeover performance in conditionally automated driving». In: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* (2020).
- [41] Cañas P. Ortega J. D. Kose N. e Chao M.-A. «DMD: A Large-Scale Multi-modal Driver Monitoring Dataset for Attention and Alertness Analysis». In: *Computer Vision – ECCV 2020 Workshops* (2020).
- [42] Tessa Marzi Alessandro Attan‘a Stefania Righi. «Capire le emozioni per vivere meglio». In: *Mente e Cervello*, n. 286 (2021).
- [43] Maria Mengozzi. «Studio del fitness-to-drive: sensing delle attività di guida e monitoraggio del driver». In: *Thesis, Università di Bologna* (2021).
- [44] Charlotte Nickerson. «The yerkes-dodson law and performance». In: *Simply Psychology* (2021).
- [45] Manuel Andruccioli. «Effetti dell’arousal sul Fitness to Drive: algoritmi e simulazione». In: *Thesis, Università di Bologna* (2022).
- [46] Istat. «Incidenti stradali». In: *Automobile Club d’Italia* (2024).
- [47] Kamini Gupta Neelima C. Vijay Amit Agarwal. «Do automation and digitalization distract drivers? A systematic review». In: *Accident Analysis Prevention* (2025).