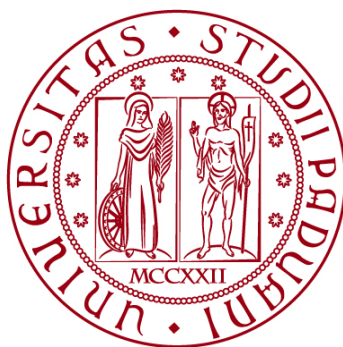


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E
AMBIENTALE

Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile



TESI DI LAUREA

EFFETTI DELL'ASCOLTO DELLA MUSICA
SULLA FATICA PASSIVA LEGATA AL COMPITO
DI GUIDA

Relatore:

Chiar.mo Prof. Riccardo Rossi

Correlatore:

Chiar.mo Prof. Massimo Grassi

Laureando:

Pietro Vascon

1242184

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

Indice

INDICE	3
ABSTRACT	5
INDICE TABELLE	7
INDICE FIGURE	9
CAPITOLO 1 – INTRODUZIONE	13
CAPITOLO 2 – SVILUPPO DELL’ESPERIMENTO.....	19
2.1 Obiettivi dell’esperimento	19
2.2 Struttura dell’esperimento	20
2.2.1 Partecipanti	20
2.2.2 Disegno sperimentale	22
2.2.3 Materiali utilizzati	24
2.2.4 Strumenti	28
2.2.4.1 Simulatore di guida	28
2.2.4.2 Fonometro	32
2.2.4.3 Eyetracker	33
2.2.5 Procedura sperimentale	34
CAPITOLO 3 – ANALISI E RISULTATI	41
3.1 Programmi utilizzati	41
3.2 Analisi relative al gruppo di controllo	41
3.3 Deviazione Standard della Posizione Laterale	43
3.3.1 Confronto gruppo di studio vs gruppo di controllo	43
3.3.2 Confronto con riferimento al tempo	46
3.3.3 Covariate	47
3.3.3.1 Intensità del suono	48
3.3.3.2 BPM medi	51
3.3.3.3 Genere	53

3.3.3.4 Ore di sonno	54
3.4 Autovalutazioni dei soggetti	57
3.4.1 Pre-Post esperimento	57
3.4.1.1 Samn-Perelli	57
3.4.1.2 Stanford Sleepiness Scale	59
3.4.2 Autovalutazioni durante la guida	60
CAPITOLO 4 – CONCLUSIONE	65
APPENDICE	69
BIBLIOGRAFIA	79
RINGRAZIAMENTI	85

Abstract

In questa ricerca sono stati studiati gli effetti dell'ascolto della musica sulla fatica passiva legata al compito di guida analizzando il comportamento di conducenti durante esperimenti al simulatore di guida; in particolare si è trattato di guida prolungata in ambito autostradale in condizioni di monotonia di tracciato/ambiente. Sono stati reclutati trenta soggetti (volontari) ed a questi è stato assegnato il compito di guidare per complessivi 50 minuti, dove i primi 20 erano in assenza di musica, mentre nei restanti 30 venivano riprodotte delle tracce musicali scelte precedentemente dai soggetti stessi; come variabile di risposta principale è stata indagata la deviazione standard della posizione laterale (SDLP), calcolata in sotto-intervalli di 5 minuti. I dati sono stati analizzati e confrontati con quelli di un gruppo di controllo costituito da 27 soggetti ai quali era stato assegnato il medesimo compito di guida ma in assenza di musica per l'intera durata della prova. L'analisi condotta ha evidenziato l'effetto negativo del compito analizzato (guida prolungata in ambiente monotono) sul controllo laterale del veicolo come pure un effetto positivo della musica in termini di miglioramento del controllo laterale, seppur a breve termine.

Indice tabelle

Tabella 1: Dati anagrafici di interesse ricavati dai questionari somministrati prima dell'esperimento	20
Tabella 2: Items per la valutazione dello stile di guida "ansioso"	24
Tabella 3: Risultati MDSI con lo stile di guida dei soggetti	25
Tabella 4: Confronto tra i due gruppi considerando gli stessi intervalli. Risultati ottenuti con il software R	46
Tabella 5: Risultati del test post hoc di Conover sulle autovalutazioni alla guida	63
Tabella A.1: Autovalutazioni alla guida di ogni singolo soggetto. Medie ottenute considerando le celle vuote come dato mancante	69
Tabella A.2: Autovalutazioni pre e post esperimento riguardo allo stato di stanchezza e al livello di stress	71
Tabella A.3: Autovalutazioni pre e post esperimento riguardo allo sonnolenza e ore di sonno per ogni soggetto	72
Tabella A.4: Variazione di dB tra assenza e presenza di musica con il valore medio di BPM della musica riprodotta	73
Tabella A.5: Confronto fra tutti gli intervalli possibili di ogni gruppo	74
Tabella A.6: Valori dei BPM medi e della VMR per ogni soggetto	77

Indice figure

Figura 1: Andamento della prestazione in funzione della stimolazione secondo la legge di Yerkes-Dosdon. Source: (Yerkes and Dodson, 1908).....	15
Figura 2: R-value per le 4 condizioni nell'intervallo temporale compreso da 75 e 140 minuti. Viene usato l'ECG per la misurazione della fatica passiva (Li, 2019).....	16
Figura 3: Velocità media della saccade per le 4 condizioni nell'intervallo temporale compreso da 75 e 140 minuti. Viene usato l'eyetracker per misurare la qualità dell'attenzione (Li, 2019).....	16
Figura 4: Modello della fatica secondo May & Baldwin, 2009. Source: (May & Baldwin, 2009).....	17
Figura 5: Ritmo tipico del sonno-veglia. La curva azzurra corrisponde alla necessità di dormire mentre quella in rosso all'urgenza di dormire. Source: (Rossi R., Slide del corso di Fattori Umani nella Sicurezza dei Sistemi di Trasporto, Università degli Studi di Padova, 2020).....	18
Figura 6: Esempio di rappresentazione grafica di modalità di misura della SDLP. Source: (Verster, 2011).....	23
Figura 7: Posizione del segnale di autovalutazione nello schermo del simulatore.....	27
Figura 8: Distribuzione delle autovalutazioni all'interno della generica prova.....	27
Figura 9: Simulatore di guida del laboratorio di Trasporti del DICEA di Padova.....	30
Figura 10: Dettaglio dell'abitacolo del simulatore di guida.....	30
Figura 11: Dettagli della composizione del cockpit.....	31
Figura 12: Interfaccia grafica del software stControl (STSoftware 2007).....	31
Figura 13: Misure e caratteristiche tecniche del Castle® GA208 Sound Level Meter....	32
Figura 14: Modello di eyetracker usato per l'esperimento e la relativa scheda tecnica....	33
Figura 15: Questionario SAMN pre-esperimento che il soggetto doveva compilare.....	35
Figura 16: Questionario SSS pre-esperimento che il soggetto doveva compilare.....	35

Figura 17: Fase del Training dove il soggetto sta prendendo confidenza con il mezzo....	36
Figura 18: Posizione del fonometro utilizzato per registrare l'intensità del volume.....	37
Figura 19: Diagramma dell'intera procedura sperimentale.....	39
Figura 20: Gruppo di controllo. Variazione della SDLP (intervalli di 5 minuti) all'aumentare del tempo.....	42
Figura 21: Gruppo di controllo. Comparazione del primo intervallo (0-5 minuti) con tutti gli altri. Si nota una differenza statisticamente significativa dal quarto intervallo (15-20 minuti) in poi.....	43
Figura 22: Gruppo di studio (sample). Valori della SDLP dell'intero campione. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari a 5 minuti.....	44
Figura 23: Confronto della SDLP tra i due gruppi. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari a 5 minuti.....	44
Figura 24: Risultati dell'analisi statistica del confronto fra i due gruppi utilizzando il software JASP.....	45
Figura 25: Risultati dell'analisi della varianza e dell'interazione fra musica e SDLP utilizzando il software JASP.....	48
Figura 26: Risultati dell'analisi della varianza e dell'interazione fra l'intensità del suono normalizzata e SDLP.....	49
Figura 27: Grafico che mette in relazione la SDLP con la dB-MUSICA NORMALIZZATA.....	50
Figura 28: Grafico che mette in relazione la SDLP con l'intensità normalizzata suddivisa per intervalli di ampiezza 5 minuti.....	50
Figura 29: Risultati dell'analisi della varianza e dell'interazione fra BPM medi e SDLP utilizzando il software JASP.....	52
Figura 30: Risultati dell'analisi della varianza utilizzando il software JASP e come fattore "Between" il genere.....	54
Figura 31: Risultati dell'analisi della varianza e dell'interazione fra ore di sonno e SDLP negli intervalli 1-4 utilizzando il software JASP.....	55

Figura 32: Risultati dell'analisi della varianza e dell'interazione fra ore di sonno e SDLP negli intervalli 5-10 utilizzando il software JASP.....	55
Figura 33: Grafico che mette in relazione la SDLP con le ore di sonno per gli intervalli di tempo 1-4. Per ogni soggetto si hanno 4 valori di SDLP; quindi, se più soggetti hanno le stesse ore di sonno dormite, ci saranno più di 4 valori per quel valore di ore nell'asse delle ascisse.....	56
Figura 34: Grafico che mette in relazione la SDLP con le ore di sonno per gli intervalli di tempo 5-10. Per ogni soggetto si hanno 6 valori di SDLP; quindi, se più soggetti hanno le stesse ore di sonno dormite, ci saranno più di 6 valori per quel valore di ore nell'asse delle a scisse.....	56
Figura 35: Risultati dell'analisi descrittiva, del test di Wilcoxon e grafico sull'affaticamento percepito pre-post esperimento.....	58
Figura 36: Risultati dell'analisi descrittiva, del test di Wilcoxon e grafico sul livello di stress percepito pre-post esperimento.....	58
Figura 37: Risultati dell'analisi descrittiva, del test di Wilcoxon e grafico sul livello di sonnolenza pre-post esperimento.....	60
Figura 38: Risultati dell'analisi della varianza fra le 5 autovalutazioni fornite durante la guida.....	61
Figura 39: Grafico che descrive l'andamento dei valori medi delle autovalutazioni fornite dai conducenti durante la guida in funzione del tempo (5 istanti di valutazione).....	62

Capitolo 1

Introduzione

Tra i vari compiti secondari che i conducenti svolgono durante la guida, l'ascolto di musica è quello più comune (Dibben, 2007); con il progresso tecnologico e con la connessione sempre più semplificata tra smartphone e autovettura, l'attività dell'ascolto della musica è sempre più personalizzabile, assecondando così il gusto personale del conducente.

È utile capire prima di tutto il motivo dell'ascolto della musica durante la guida. Secondo uno studio (North, 2004) i conducenti tendono ad ascoltare abitualmente musica semplicemente allo scopo di distrarsi dal compito di guida, il quale può risultare monotono e noioso. In effetti, tale compito può essere pesante specialmente in ambienti altamente prevedibili e di bassa complessità, come, ad esempio, un tratto stradale caratterizzato da assenza di curve, bassa intensità di traffico e monotono per quanto riguarda lo scenario circostante. Pertanto, tali condizioni di guida possono essere piuttosto difficili da gestire, poiché i conducenti potrebbero avere difficoltà a focalizzarsi sull'attività di guida a causa della mancanza di stimolazioni esterne. Il presente studio vuole analizzare i possibili stimoli che la musica potrebbe fornire per contrastare gli effetti negativi della monotonia ed in particolare della fatica passiva legata al compito.

Tuttavia, vari studi hanno dimostrato che l'ascolto della musica è un'attività secondaria che potrebbe distrarre il conducente in base all'intensità del suono e ai battiti per minuto (BPM) della musica riprodotta; infatti, ascoltare musica ad elevato volume porta i conducenti a ridurre il distanziamento interveicolare rispetto all'utilizzo di musica ad un volume moderato (Unal, 2013); un altro esempio è rappresentato dall'analisi del comportamento di soggetti a cui è stato richiesto di utilizzare un videogioco riprodotto gare automobilistiche in cui, simulando dei giri su pista, si è visto come ascoltare musica ad elevati BPM porta ad un maggior numero di incidenti e ad una maggiore velocità media rispetto all'ascolto di canzoni con BPM moderati (Cassidy, 2009).

È necessario, perciò, capire sotto quali condizioni le attività secondarie migliorano le prestazioni di guida del conducente. Ad esempio, studi con condizioni di guida prolungate e monotone in presenza di altri tipi di attività secondarie, come parlare al telefono cellulare, indicano che tali attività non necessariamente modificano negativamente le prestazioni di guida. Sebbene alcune ricerche abbiano mostrato un'influenza negativa dell'uso del cellulare durante la guida e più precisamente dei ritardi nelle risposte del conducente del veicolo che segue (*follower*) ai cambiamenti di velocità del veicolo principale (*leader*) (Lamble, 1999), questa tendenza è assente durante la guida con traffico a bassa intensità; dei conducenti, addirittura, hanno mostrato meno correzioni della traiettoria (rispetto a quella presunta corretta) in confronto agli altri che non lo usavano (Brookhuis, 1991). Questi risultati indicano che, a differenza di quelli osservati in condizioni di guida più complesse, le attività secondarie potrebbero non necessariamente avere conseguenze negative sulle prestazioni di guida in condizioni monotone di bassa complessità. La guida monotona, in situazioni caratterizzate da bassa complessità, è associata a stati di guida a bassa eccitazione come sonnolenza o affaticamento, i quali portano i conducenti a disattenzioni (Thiffault, 2003); come detto in precedenza non sempre questo accade, infatti, qualche conducente dà risposte positive in presenza di compiti secondari in condizioni monotone, infatti, hanno mostrato un miglior controllo del veicolo rispetto ai soggetti senza alcun compito secondario. Questo è in linea con la teoria sviluppata da Yerkes e Dodson nel 1908, secondo i quali quando il livello di eccitazione è troppo alto o troppo basso, si prevede che le prestazioni siano basse, mentre un livello di eccitazione moderato dovrebbe giustificare prestazioni più elevate (Fig. 1).



Figura 1: Andamento della prestazione in funzione della stimolazione secondo la legge di Yerkes-Dodson. Source: (Yerkes and Dodson, 1908)

Secondo quanto precedentemente affermato, assumiamo che in situazioni di guida monotona e di bassa complessità, i conducenti provino un'eccitazione insufficiente a causa dell'assenza di stimolazione esterna, che comprometterebbe la loro attenzione, in queste situazioni, la prestazione potrebbe beneficiare di una fonte di stimolazione esterna, come la musica, la quale porterebbe la stimolazione verso il suo punto ottimale e cioè, secondo la Fig. 1, quello che porta al livello di prestazione più alto.

È stato documentato precedentemente che la musica, in particolare quella ad alto volume e ad alti BPM, aumenta l'eccitazione (Unal, 2013); tuttavia, si sa poco sulla relazione tra musica e fatica in condizioni di guida monotona. Nel presente studio miriamo ad indagare i possibili effetti della musica sulla fatica passiva, ossia la fatica legata al compito di guida.

Una recente ricerca effettuata non al simulatore ma su autostrada (Li, 2019), simile per impostazione generale al nostro studio ma con l'intento di studiare gli effetti sulla fatica passiva utilizzando la stessa canzone arrangiata a diversi BPM, divideva l'esperimento in due parti; nella prima parte il soggetto doveva guidare in silenzio per 80 minuti, mentre nella seconda parte lo stesso soggetto doveva guidare per 60 minuti secondo una delle seguenti quattro condizioni: assenza di musica, tempo lento, medio e veloce. Si è

dimostrato che musica con BPM medi (91,7 BPM) è la scelta migliore poiché quella a tempo lento (46,2 BPM) aumenta temporaneamente la qualità dell'attenzione ma dopo un lungo periodo peggiora sia l'attenzione che lo stato di affaticamento; inoltre, il tempo veloce (122,1 BPM) allevia solo temporaneamente l'affaticamento.

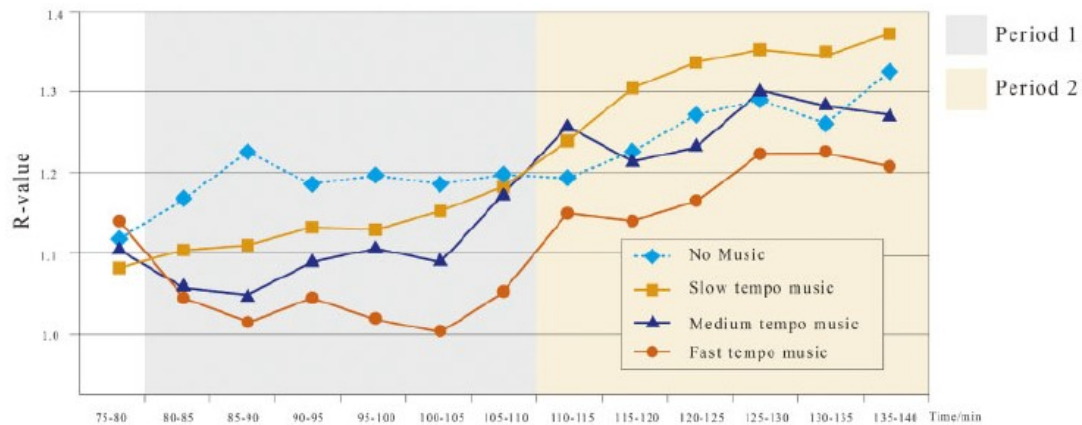


Figura 2: R-value per le 4 condizioni nell'intervallo temporale compreso da 75 e 140 minuti. Viene usato l'ECG per la misurazione della fatica passiva (Li, 2019).

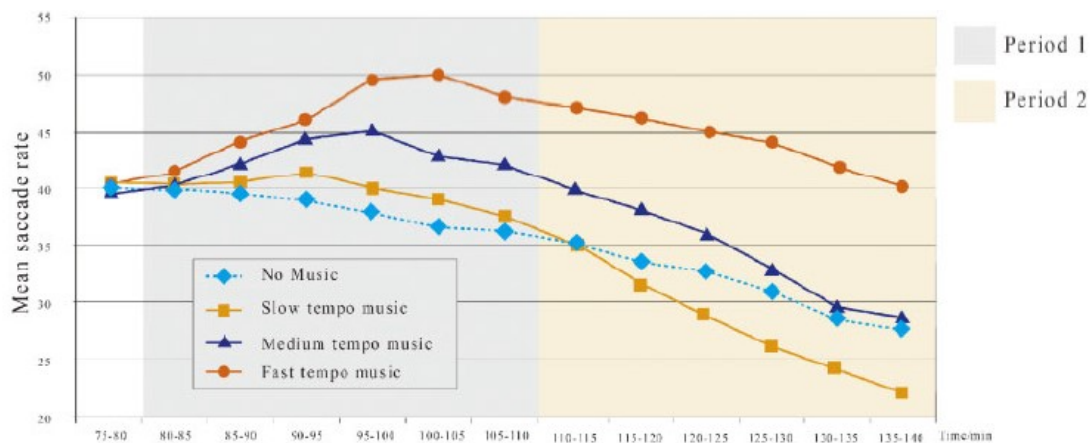


Figura 3: Velocità media della saccade per le 4 condizioni nell'intervallo temporale compreso da 75 e 140 minuti. Viene usato l'eyetracker per misurare la qualità dell'attenzione (Li, 2019).

I limiti di tale studio si legano al fatto che ogni soggetto ha svolto tutti e quattro i compiti di guida, la musica era riprodotta a 65 dB costanti e la canzone utilizzate in realtà era sempre la stessa ma arrangiata in maniera tale da cambiare i BPM e farla durare per tutto il tempo della seconda parte dell'esperimento ossia 60 minuti; queste condizioni non

appaiono realistiche rispetto alle modalità comuni di ascolto durante la guida: effettuare 4 prove per le 4 condizioni può causare nel soggetto delle alterazioni sulla percezione dello scenario in quanto è lo stesso per le 4 condizioni e la musica generalmente viene ascoltata a volume diverso a seconda del soggetto in base ai suoi gusti come anche le canzoni che non sono uguali e non è sempre la stessa che si ripete per 60 minuti. Da sottolineare il fatto che i dati, utilizzati nella ricerca sopra descritta, sono stati registrati mediante l'utilizzo di un eyetracker e di un encefalogramma, dato che l'esperimento era stato svolto su strada e non al simulatore.

Lo scopo della presente ricerca è lo studio di possibili contromisure alla fatica passiva del guidatore; ma cos'è la fatica passiva? Nella letteratura spesso il termine "fatica" viene usato erroneamente come sinonimo tra "sonnolenza" e "dormiveglia" (Johns, 1998) ma in realtà è opportuno fare una distinzione (Fig. 4) tra fatica legata al compito (*Task Related*) e la fatica legata al sonno (*Sleep Related*).

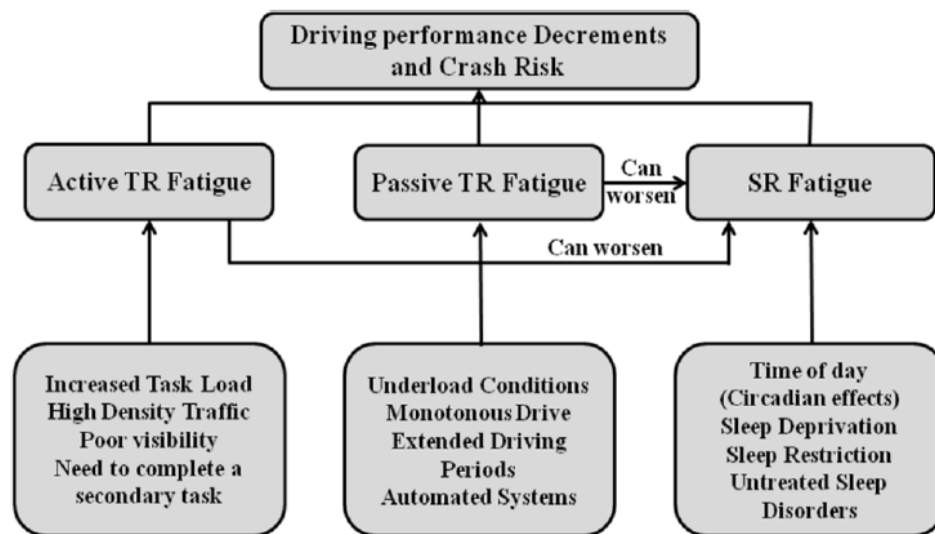


Figura 4: Modello della fatica secondo May & Baldwin, 2009. Source: (May & Baldwin, 2009)

Per quanto riguarda la prima, è dipendente dall'attività di guida e dall'ambiente circostante. Un altro studio (Gimeno, 2006) ha ulteriormente suddiviso la fatica legata al compito in *fatica attiva* ossia derivata da un carico di lavoro elevato, come elevata densità di traffico o scarsa visibilità, e in *fatica passiva* attribuita ad un carico di lavoro limitato come guida monotona, per lungo tempo o in presenza di sistemi autonomi. La fatica passiva è molto più pericolosa in quanto è molto più immediata rispetto alla fatica attiva.

Ad esempio, la riduzione del carico di lavoro mentale tramite l'automazione può aggravare la fatica passiva e compromettere le capacità di vigilanza critiche in termini di sicurezza e la capacità di rispondere prontamente a situazioni critiche.

La fatica legata al sonno, invece, è legata al ritmo circadiano (ossia all'ora del giorno), ai disturbi del sonno e alla privazione/limitazione del sonno. Il ritmo circadiano naturale del corpo umano (Fig. 5) controlla l'alternanza sonno/veglia durante il giorno, compresa una perdita di attenzione nel primo pomeriggio, quando le persone sono più assonnate (*post lunch deep*). Nella Figura 5 è evidenziata la differenza tra la necessità di dormire (*Sleep Need* in azzurro), che indica la necessità del corpo umano di dover dormire, e tra l'urgenza di dormire (*Sleep Urge* in rosso), cioè la richiesta del corpo umano di dover dormire.

I decrementi nelle prestazioni di guida dovuti all'effetto del ritmo circadiano sono stati esaminati in diversi studi al simulatore di guida (Lenne, 1997) e si presume possano anche essere correlati all'aumento del numero di incidenti automobilistici osservato nei picchi dei bisogni del sonno (Pack, 1995) nelle prime ore della mattina (02:00 - 06:00) e nel primo pomeriggio (14:00 - 16:00). Le prestazioni sono tanto peggiori quanto più una persona rimane sveglia, infatti, la diminuzione del sonno o il non raggiungimento di un adeguato riposo, si traducono in un aumento della sonnolenza e un calo delle prestazioni.

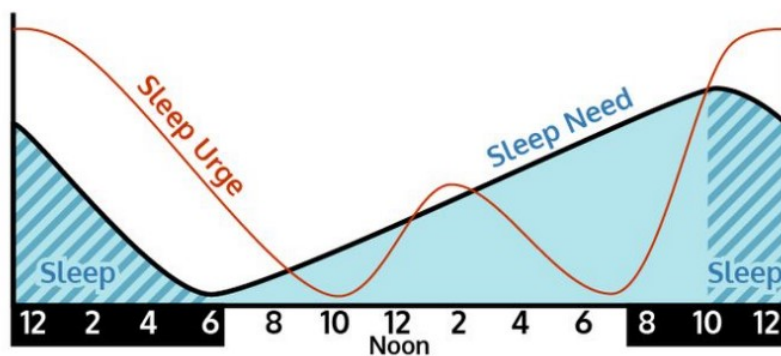


Figura 5: Ritmo tipico del sonno-veglia. La curva azzurra corrisponde alla necessità di dormire mentre quella in rosso all'urgenza di dormire. Source: (Rossi R., Slide del corso di Fattori Umani nella Sicurezza dei Sistemi di Trasporto, Università degli Studi di Padova, 2020).

Capitolo 2

Sviluppo dell'esperimento

Nel presente capitolo vengono presentati gli obiettivi dell'esperimento, l'ambiente virtuale, le peculiarità dei soggetti utili ai fini dell'esperimento, e la struttura dell'esperimento, ossia i questionari utilizzati, gli strumenti utilizzati e la procedura sperimentale.

2.1 Obiettivi dell'esperimento

Lo scopo dell'esperimento era quello di valutare l'effetto della musica sulla fatica passiva legata al compito del guidatore. Per fare ciò sono stati registrati i dati ricavati da:

- Simulatore di guida: in particolare la deviazione standard della posizione laterale (SDLP= *Standard Deviation of Later Position*) calcolata con riferimento ad intervalli temporali di ampiezza costante. Da precedenti studi fatti al simulatore (Louwerens, 1987; Green, 2013; Helland, 2013; Van der Sluiszen, 2016) una $SDLP > 0,27$ è considerata la soglia per comportamenti rischiosi dovuti a stanchezza e sonnolenza;
- Eyetracker: si tratta di uno strumento utile per analizzare la saccade (rapidi movimenti dell'occhio eseguiti per portare la zona di interesse a coincidere con la fovea, ossia la zona dell'occhio con massima acutezza visiva) e la percentuale del tempo in cui gli occhi del soggetto sono chiusi (*PERCLOS*), in quanto sono fattori correlabili alla fatica passiva del guidatore (Di Stasi, 2015; Suhandi, 2018);
- Autovalutazioni dei soggetti, attraverso dei questionari pre, durante e post esperimento per misurare il loro livello di stanchezza e sonnolenza.

Si è ipotizzato che la “somministrazione” della musica, dopo un certo intervallo temporale durante il quale il soggetto procedeva con il compito di guida, (si trattava di tracce precedentemente scelte dal soggetto in base a quello che è solito ascoltare durante i suoi spostamenti), induca una riduzione della SDLP (o, al più, resti invariata) rispetto al valore della SDLP misurato antecedentemente ossia in assenza di musica. Inoltre, utilizzando i questionari somministrati durante l'esperimento, ci è stato possibile

effettuare un confronto tra autovalutazioni dei soggetti (questionari durante l'esperimento) e i dati ricavati dal simulatore di guida, per appurare se le autovalutazioni sono in linea con i dati elaborati a valle degli esperimenti.

2.2 Struttura dell'esperimento

La ricerca è stata condotta tra il 6 dicembre 2021 e il 13 maggio 2022. Gli esperimenti sono stati svolti presso il laboratorio del dipartimento ICEA nella fascia pomeridiana tra le ore 14:00 e le 18:00. La durata complessiva di ciascuna prova è stata di circa un'ora nel suo complesso.

Nei paragrafi che seguono saranno riportate informazioni riguardanti:

- Partecipanti;
- Disegno sperimentale;
- Materiali utilizzati;
- Strumenti utilizzati;
- Procedura.

2.2.1 Partecipanti

Per lo svolgimento di questo esperimento sono stati reclutati 30 soggetti volontari suddivisi in 16 femmine (53%) e 17 maschi (47%) con un'età compresa tra i 19 e 29 anni compiuti (media di 23,53 con deviazione standard pari a 2,43). Inizialmente, i soggetti erano 33 ma, a causa di problemi tecnici con l'eyetracker e a causa di soggetti che non hanno rispettato le istruzioni fornite loro, è stato necessario escluderne 3. A ciascun soggetto sono stati chiesti i dati anagrafici a fini statistici e alcuni dati sulla loro storia di guida attraverso dei questionari compilati virtualmente qualche giorno prima della prova; nella Tabella 1 vengono riassunti i dati ricavati da questi questionari.

Tabella 1: Dati anagrafici di interesse ricavati dai questionari somministrati prima dell'esperimento.

Numero di partecipanti	30
Genere	16 femmine (53%) e 14 maschi (47%)
Età	1: 19 anni 1: 20 anni

	6: 21 anni 3: 22 anni 4: 23 anni 4: 24 anni 6: 25 anni 4: 27 anni 1: 29 anni
Professione	6: lavoratori dipendenti 24: studenti
Livello di istruzione	13: diploma scuola superiore 9: laurea 1° livello 7: laurea 2° livello 1: master
Anni dal conseguimento patente	3: 1 anno 5: 3 anni 4: 4 anni 3: 5 anni 4: 6 anni 3: 7 anni 3: 8 anni 4: 9 anni 1: 11 anni
Tipo di patente	30: tipo B
Utilizzo mezzo	14: quotidiano 10: frequente (1-2 volte a settimana) 4: saltuario (1-2 volte al mese) 2: raro
Km/anno percorsi	6: < 2500 km/anno 11: tra i 2500 e i 5000 km/anno 4: tra i 5000 e i 7500 km/anno 6: tra i 7500 e i 10000 km/anno 3: >10000 km/anno

2.2.2 Disegno Sperimentale

Prima di iniziare con l'esperimento, c'è bisogno di creare un ambiente virtuale che sia congruo con gli obiettivi della ricerca; per il presente studio, è stato utilizzato un ambiente virtuale usato in passato per fare degli studi sempre sulla fatica passiva, infatti si tratta di un'autostrada italiana, caratterizzata dall'assenza di curve, con impossibilità di sorpasso in quanto il veicolo che precede quello del simulatore prosegue alla stessa velocità del veicolo guidato dal soggetto e con una leggera foschia per rispecchiare il meteo locale e per dare un senso di monotonia. I risultati ottenuti dai soggetti che hanno fatto l'esperimento in passato vengono usati come gruppo di controllo e li confronteremo con i soggetti del presente esperimento.

Il soggetto, dopo aver effettuato una prova (*Training*) al simulatore per familiarizzare con lo strumento e dopo aver reso disponibile qualche giorno prima una sua playlist che di solito ascolta alla guida (la playlist preferita alla guida), doveva effettuare una simulazione per un totale di 50 minuti dove i primi 20 minuti erano in assenza di musica e nei restanti 30 minuti il soggetto doveva guidare nello stesso scenario ma in presenza della sua playlist preferita. Per tutta la prova i rumori del traffico e del veicolo non sono stati esclusi.

Per quanto riguarda la musica, questa veniva riprodotta usando l'applicazione *Spotify*® (senza interruzioni pubblicitarie) e il volume era scelto dal soggetto durante il suo training prima dell'esperimento vero e proprio. Per la misurazione dell'intensità del volume è stata utilizzata l'applicazione, scaricabile da smartphone, chiamata *Decibel X – Pro Fonometro*®, la quale è stata precedentemente calibrata con un fonometro professionale fornitoci dal Dipartimento di Psicologia Generale dell'Università di Padova. La misurazione dell'intensità del volume è stata effettuata prima dell'inizio della musica e successivamente dopo l'inizio della musica, in modo tale da avere un valore che valuta l'incremento di tale intensità misurata come differenza tra i due valori; questo è importante sottolinearlo perché i rumori del veicolo e del traffico variano con la velocità e quindi, in genere, non sono uguali a tutti i soggetti.

Durante la prova, per tutta la sua durata di 50 minuti, appariva, nello schermo centrale (più precisamente in basso a destra), un punto di domanda ogni 9 minuti, al quale ogni soggetto, come gli era stato spiegato prima della prova, doveva indicare qual era il suo grado di stanchezza attuale secondo una scala che andava da 1 a 10 dove 1 indicava

“totalmente sveglio” e 10 indicava “addormentato”. Così facendo, durante la prova, siamo riusciti a ricavare i dati relativi a delle autovalutazioni soggettive della stanchezza.

Facendo una comparazione con la ricerca svolta da Li nel 2019, il presente studio è più congruo alla realtà e ha lo scopo principale di misurare l’effetto della musica sulla fatica passiva legata al compito di guida, in quanto si vuole capire non come varia la fatica durante le varie tipologie di musica ma come varia la fatica nel passaggio tra assenza e presenza della musica che di solito ascolta alla guida il soggetto.

Altra differenza, in riferimento sempre all’esperimento svolto da Li (2019), sta negli strumenti utilizzati per indagare la qualità dell’attenzione; nella ricerca svolta da Li nel 2019 vengono indagate variabili registrate mediante un encefalogramma e un eyetracker mentre nel presente studio vengono utilizzate sia misure registrate con delle autovalutazioni, sia misure di performance di guida registrate dal simulatore di guida, come la deviazione standard della posizione laterale (SDLP= *Standard Deviation of Lateral Position*). Numerosi studi affermano che questa può essere utilizzata come misurazione diretta della fatica passiva (Rossi, 2001; Alm, 1996); La Figura 6 mostra che, se il controllo del veicolo diminuisce, i valori dell’SDLP aumentano; è quindi considerato come un indicatore di capacità di controllo del veicolo da parte del conducente e quindi della fatica passiva.

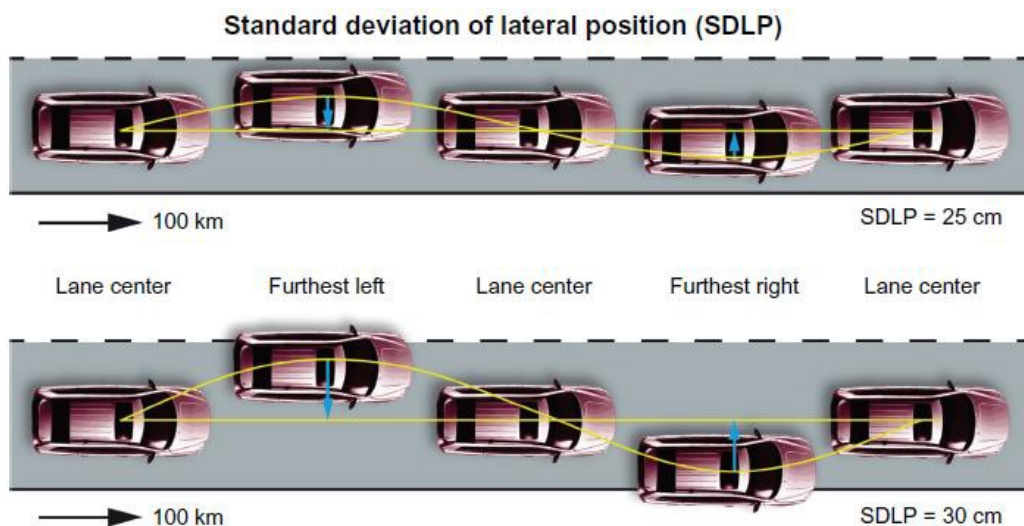


Figura 6: Esempio di rappresentazione grafica di modalità di misura della SDLP. Source: (Verster, 2011)

2.2.3 Materiali utilizzati

Prima e durante la prova, i soggetti vengono sottoposti a dei questionari e vengono date loro le istruzioni per lo svolgimento dell'esperimento poco prima dell'inizio. Più precisamente, i materiali utilizzati durante lo svolgimento della prova sono i seguenti:

- MDSI → *Multidimensional Driving Style Inventory*. Questionario che serve ad individuare lo stile di guida del conducente, validato inizialmente per la popolazione israeliana (Taubman, 2014) e successivamente validato per la popolazione italiana (Freuli et al., 2020) traducendolo ed omettendo degli items ritenuti specifici per altre realtà, come appunto quella israeliana. Come output si ha lo stile di guida del conducente che può essere “distratto”, “ansioso”, “impaziente”, “arrabbiato”, “aggressivo”, “attento”, “paziente”, “rischioso” e “finalizzato alla riduzione dello stress”. Ogni *items*, che in totale sono 44, aiuta a identificare lo stile di guida; ad esempio, facendo riferimento alla Tabella 2 che riporta gli items da valutare per lo stile di guida “ansioso”, ce ne sono 6 in totale a cui si deve attribuire un punteggio (espresso secondo una scala semantica che va da “per nulla” a “decisamente”, la quale verrà poi trasformata con una scala da 1 a 6); successivamente viene calcolata la media per trovare un unico valore per lo stile di guida, “ansioso” in questo caso; una volta fatto per tutti gli altri 5 stili di guida, il valore maggiore corrisponderà allo stile di guida del conducente in esame. I risultati di quest'ultima analisi è riassunta nella Tabella 3.

Tabella 2: Items per la valutazione dello stile di guida “ansioso”.

31	Mi sento nervoso mentre guido
33	Mi sento sotto stress mentre guido
10	Di solito guidare mi fa sentire frustrato
25	Mi spaventa il pensiero di guidare con cattivo tempo
4	Sento di avere il controllo sulla guida
40	Mi sento a mio agio mentre guido

Tabella 3: Risultati MDSI con lo stile di guida dei soggetti.

1: Aggressivo	11: Aggressivo	23: Finalizzato alla riduzione dello stress
2: Paziente	13: Paziente	24: Paziente
3: Paziente	14: Paziente	25: Finalizzato alla riduzione dello stress
4: Paziente	15: Paziente	27: Paziente
5: Paziente	16: Paziente	28: Paziente
6: Paziente	17: Paziente	29: Paziente
7: Paziente	19: Paziente	30: Paziente
8: Paziente	20: Paziente	31: Paziente
9: Paziente	21: Paziente	32: Finalizzato alla riduzione dello stress
10: Paziente	22: Paziente	33: Paziente

- Questionari sull'ansia, sonnolenza e sulla depressione. Ai partecipanti all'esperimento è stato somministrato on-line qualche giorno prima della prova una batteria questionari per valutare se il soggetto aveva o meno disturbi del sonno e/o altre problematiche legate a sonnolenza diurna, ansia o depressione:
 - a) MCTQ→ *Munich Chronotype Questionnaire*. Questionario per indagare il cronotipo del soggetto, ossia la caratteristica degli esseri umani che indica se sono maggiormente attivi in un particolare periodo della giornata (Roenneberg, 2003; Ghotbi, 2020).
 - b) MEQ-r→ *Morning-Eveningness Questionnaire Reduced version*. È uno strumento utile per misurare la tipologia circadiana, cioè se una persona è più mattutina, pomeridiana o notturna (Adan, 1991).
 - c) HADS→ *Hospital Anxiety and Depression Scale*. È una scala che ha come doppio obiettivo quello di individuare la presenza di disturbi ansiosi e depressivi e di valutarne la gravità. È costituita da 14 domande avendo come doppio obiettivo quello di valutare lo stato ansioso (7 domande) e lo stato depressivo (7 domande). Per ogni scala del questionario si può ottenere un punteggio massimo di 21, ogni domanda dà un punteggio da 0

a 3 a seconda dell'opzione scelta. I soggetti che ottengono un punteggio da 0 a 7 sono indicati come nella norma, quelli con un punteggio da 7 a 11 sono indicati come pazienti a rischio, che potrebbero trasformarsi in casi psicopatologici (*borderlines*), mentre i pazienti con punteggio superiore a 11 vengono indicati come casi conclamati (Zigmond, 1983).

- d) PSQI→ *Pittsburgh Sleep Quality Index*. È uno degli strumenti più utilizzati per la valutazione della qualità del sonno (Buysse, 1989) fornitoci dal Dipartimento di Psicologia dell'Università degli Studi di Padova. Nel dettaglio, il punteggio totale varia da 0 a 21; con valori minori o uguali a 5 si ha una buona qualità del sonno, invece, con valori superiori a 5 si ha una scarsa qualità del sonno.
- e) ESS→ *Epworth Sleepiness Scale*. È utilizzato per misurare la sonnolenza diurna, fornitoci anch'esso dal Dipartimento di Psicologia dell'Università degli Studi di Padova. Nel dettaglio, il punteggio globale varia da 0 a 24; il punteggio di 11 corrisponde al valore di cut-off clinico, al di sopra di tale numero il soggetto tende ad addormentarsi durante il giorno (Johns, 1991).

- Autovalutazioni intermedie: per avere anche una misura soggettiva della stanchezza, è stato deciso di inserire delle autovalutazioni del soggetto durante lo sviluppo della prova. Ogni 9 minuti appariva un punto di domanda nella parte destra dello schermo centrale (Fig. 7), in risposta il soggetto doveva indicare a voce la propria percezione del suo livello di stanchezza e questo utilizzando una scala da 1 a 10 dove 1 indicava “totalmente sveglio” e 10 indicava “addormentato”.



Figura 7: Posizione del segnale di autovalutazione nello schermo centrale del simulatore.

Questo accadeva per tutti i 50 minuti della prova quindi ci sono state 5 autovalutazioni e più precisamente al 9°, 18°, 27°, 36° e 45° minuto quindi 2 in assenza di musica e 3 in presenza di musica (Fig. 8).



Figura 8: Distribuzione delle autovalutazioni all'interno della generica prova.

Nella Tabella A.1 vengono riportati i risultati delle autovalutazioni alla guida per ogni soggetto. Da sottolineare il fatto che non tutti hanno risposto a tutte le autovalutazioni; in questo caso veniva lasciata la casella vuota.

- SAMN → *Samn-Perelli Questionnaire*. Questionario che permette di valutare lo stato di affaticamento, fornitoci dal Dipartimento di Psicologia dell'Università degli Studi di Padova. Nel dettaglio, il punteggio totale varia da 1 a 7 dove 1 corrisponde a "Carichissimo" e 7 a "Molto affaticato" (Samn, 1982). Inoltre, nel presente questionario è necessario indicare il livello di stress secondo una scala

che va da 0 a 10 dove 0 corrisponde a “Teso” mentre 10 a “Rilassato”. Il SAMN veniva compilato dal soggetto appena prima dell’inizio dell’esperimento e subito dopo la conclusione (quando il soggetto è ancora seduto nel simulatore) per valutare gli effetti della prova sul soggetto. Nella Tabella A.2 vengono riportati i risultati.

- SSS→ *Stanford Sleepiness Scale*. È uno strumento che misura lo stato di sonnolenza, fornitoci anch’esso dal Dipartimento di Psicologia dell’Università degli Studi di Padova. Nel dettaglio, il punteggio totale varia da 1 a 8 dove 1 corrisponde a “vigile” e 8 a “quasi addormentato” (Hoddes, 1973). Inoltre, nel presente questionario, veniva chiesto a che ora il soggetto fosse andato a letto e a che ora si fosse svegliato in modo tale da avere una misura delle ore di sonno di ogni soggetto nella notte precedente la prova. Anche in questo caso, il questionario viene ripetuto prima dell’inizio dell’esperimento e subito dopo la conclusione per valutare gli effetti della prova sulla sonnolenza del soggetto. Nella Tabella A.3 vengono riportati i risultati.

Da sottolineare il fatto che non sono stati usati dei questionari per il malessere dovuto all’uso del simulatore, come ad esempio il SSQ, *Simulator Sickness Questionnaire* (Kennedy, 2009), in quanto, per favorire l’insorgere della stanchezza, è stato deciso di usare un simulatore statico e non dinamico, non utilizzando di fatto la pedana dinamica del simulatore di guida, la quale avrebbe potuto causare dei malesseri nei soggetti e indurre al soggetto uno stato di monotonia più intenso; infatti, durante l’esperimento nessun soggetto si è sentito male.

2.2.4 Strumenti

Durante la prova al simulatore sono stati usati i seguenti strumenti per la raccolta dati: simulatore di guida, eyetracker e fonometro.

2.2.4.1 Simulatore di guida

Il simulatore di guida che è stato utilizzato in questa ricerca è situato presso il Laboratorio di Trasporti del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (DICEA) dell’Università degli Studi di Padova, prodotto dalla casa produttrice olandese STSoftware® e attivo al DICEA dal 2014. L’intero apparato hardware del simulatore di guida dinamico, usato in modalità statica, si compone, nello specifico, di:

- Cockpit (cabina di guida), che a sua volta è composto dallo sterzo, cambio manuale a 5 rapporti, pedaliera, freno di stazionamento, leva di azionamento degli indicatori di direzione, sedile regolabile e cintura di sicurezza;
- Sistema audio composto da 6 altoparlanti (3 frontali, 2 in posizione laterale posteriore, all'altezza della testa del conducente, ed uno collocato a lato della pedaliera);
- Cinque display al plasma da 60 pollici con risoluzione in pixel di 1920×1080;
- Tre PC (collegati in rete) con processore Intel Core2Duo, frequenza 3.16 GHz, 2 moduli RAM DDR3 da 2GB ciascuno, scheda video Nvidia GeForce GTx260 e sistema operativo MS Windows XP (Service Pack 3). Questi PC hanno il compito di controllare il movimento del veicolo simulato, controllare gli altri elementi che interagiscono con esso e la riproduzione dei suoni e della grafica 3D dell'ambiente virtuale.

Il simulatore funziona mediante un pacchetto software diviso in tre categorie:

- Software adibiti alla progettazione della simulazione:
 - *stRoadDesign* per la realizzazione degli ambienti stradali mediante interfaccia grafica GUI (*Graphical User Interface*);
 - *stScenario* per la creazione degli scenari di simulazione con apposito linguaggio di script;
- Software utilizzati durante la fase di simulazione:
 - *stControl* per il controllo della simulazione da parte dell'operatore mediante GUI;
 - *stTraffic* per la computazione degli scenari di simulazione;
 - *stRender* per il rendering grafico 3D;
 - *stSoundEngine* per la generazione degli effetti sonori;
- Software dedicati alla raccolta e all'analisi dei dati risultanti output dalla simulazione:
 - *stTraffic/stScenario* per l'elaborazione dei dati real time;
 - *stDataproc* per l'elaborazione dei dati off-line mediante GUI.

Di seguito vengono riportate delle immagini relative al simulatore di guida e al relativo software utilizzato.



Figura 9: Simulatore di guida statico del laboratorio di Trasporti del DICEA di Padova.



Figura 10: Dettaglio dell'abitacolo del simulatore di guida.



Figura 11: Dettagli della composizione del cockpit.

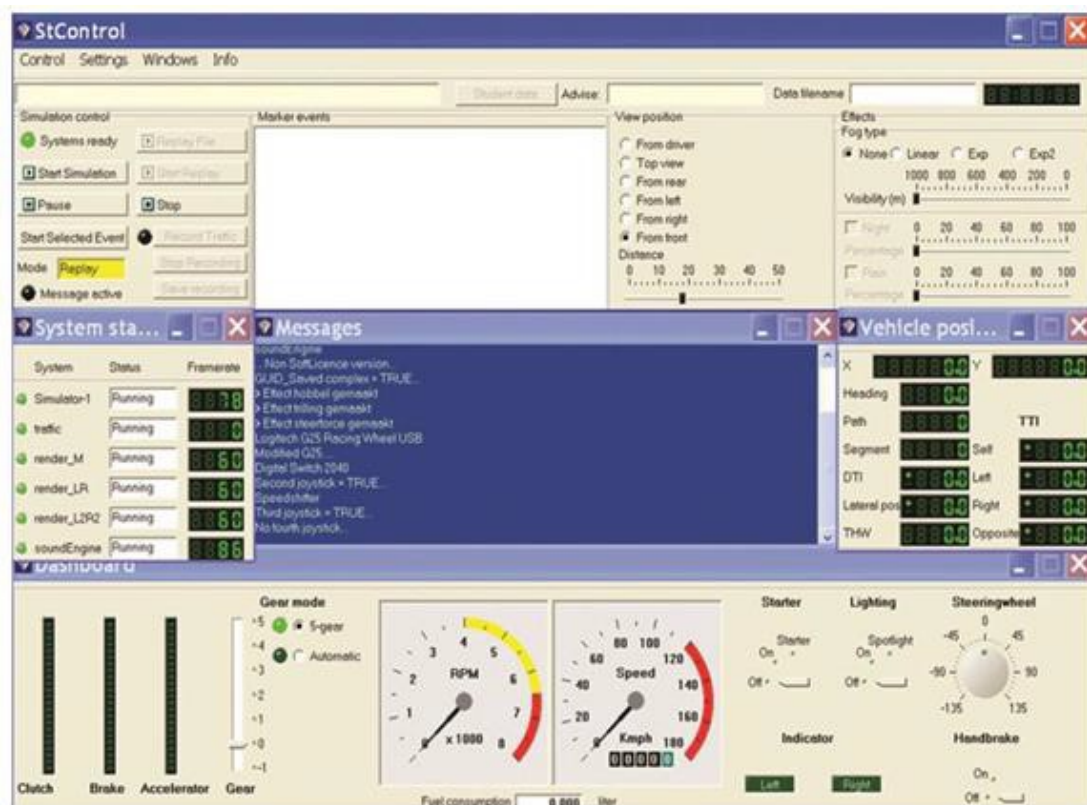


Figura 12: Interfaccia grafica del software stControl (STSoftware 2007).

2.2.4.2 Fonometro

Per misurare l'intensità del suono è stata utilizzata l'applicazione scaricata in uno smartphone *Decibel X – Pro Fonometro®*, la quale è stata precedentemente calibrata con un fonometro professionale fornitoci dal Dipartimento di Psicologia dell'Università di Padova, modello *Castle® GA208 Sound Level Meter*.

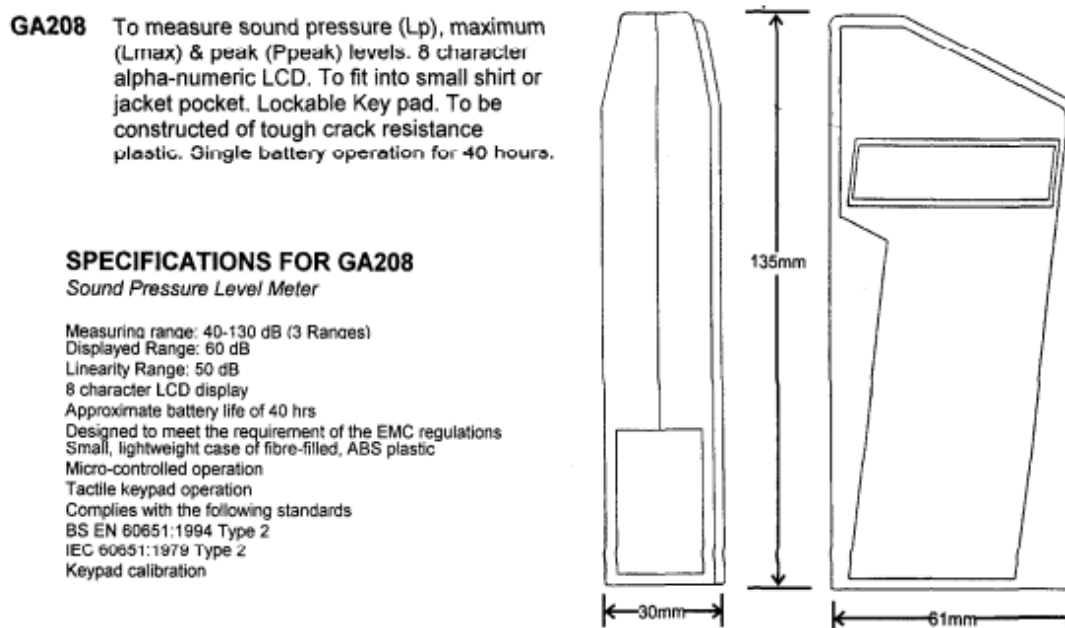


Figura 13: Misure e caratteristiche tecniche del Castle® GA208 Sound Level Meter.

Lo smartphone, posizionato a circa 15 cm dietro la testa del soggetto, ha registrato i dati di intensità del suono sia nei primi 20 minuti senza musica, sia nei restanti 30 minuti in cui il soggetto doveva guidare con la propria musica. Ai fini dell'esperimento sono stati registrati i valori medi dei due intervalli che vengono riportati nella Tabella A.4. Da sottolineare il fatto che durante i primi 20 minuti, ossia nel periodo nel quale non veniva riprodotta la musica, i valori sono diversi tra loro perché i soggetti tenevano velocità differenti tra loro e così facendo variava anche il numero di giri del motore (virtuale); come è noto, infatti, più i giri del motore del veicolo sono alti, più questo produce rumore. Sempre nella Tabella A.4, sono riportati i BPM per ogni soggetto; detto valore, unico per ogni partecipante, è ottenuto attraverso una media pesata relativa ai BPM delle canzoni della playlist riprodotte nei 30 minuti di guida.

2.2.4.3 Eyetracker

Per tutta la durata dell'intera prova (50 minuti), il soggetto doveva indossare un eyetracker, ossia un dispositivo con lo scopo di misurare la posizione e il movimento degli occhi; questo ha la forma di un semplice paio di occhiali ma, grazie a 3 telecamere (una frontale e due che sono puntate sulla pupille) e ad un microfono interno, riesce a registrare più dati contemporaneamente utili per cercare di confermare l'ipotesi dell'effetto positivo della musica partendo dal presupposto che la fatica sia rilevabile dal PERCLOS, ossia un indicatore della chiusura delle palpebre e serve come un affidabile indicatore di fatica, come dimostrato da molti studi (Hayami, 2002; Devi, 2008).



Eye Tracking Glasses	
Model	SMI Eye Tracking Glasses
Sample rate	60 Hz / 120 Hz
Accuracy	0.5°
Eye tracking technique	Dark pupil
Binocular eye tracking	Yes
Parallax compensation	Yes
Calibration procedure	0-point, 1-point and 3-point
Dimensions	173 x 58 x 156 mm; 138 to 180 mm (head width ear to ear)
Scene camera, video resolution	1280x960p @ 24FPS, 960x720p @ 30 FPS;
Scene camera, video format	H.264
Scene camera, field of view	60° horizontal, 46° vertical
Audio	Integrated microphone

Figura 14: Modello di eyetracker usato per l'esperimento e la relativa scheda tecnica.

2.2.5 Procedura sperimentale

La procedura dell'esperimento è, ovviamente, uguale per tutti i soggetti partecipanti. In primo luogo, veniva controllata la temperatura dell'ambiente in quanto l'intero esperimento si è svolto con una temperatura controllata tra i 22 °C e i 24 °C. Dopo aver acceso il simulatore e i 5 monitor (impostati ad una luminosità costante pari a 4 lux), si faceva in modo di creare un ambiente poco illuminato con un'unica luce soffusa accesa dietro al monitor centrale. Inoltre, prima dell'inizio dell'esperimento si controllava se il successivo soggetto avesse compilato i questionari e fornito la sua playlist. Nel dettaglio, l'intera procedura era così articolata:

1. In ottemperanza con le normative per la prevenzione della diffusione del virus Covid-19, al generico soggetto reclutato, appena entrato nel laboratorio, gli veniva fornita una mascherina monouso di tipo FFP2 (nel caso ne fosse sprovvisto) e gli veniva dato del gel disinfettante da mettersi nelle mani. Inoltre, gli veniva chiesto di lasciare tutti gli oggetti personali all'entrata, tra cui zaino, orologio, telefono e giacca;
2. Successivamente, gli veniva presentato il “*Modulo informativo e di consenso alla partecipazione e al trattamento dei dati*” il quale deve essere firmato dal soggetto. Insieme al consenso, doveva compilare anche i primi due questionari ossia il SAMN (pre-esperimento) e il SSS (pre-esperimento).

THE SAMN-PERELLI SCALE (PRE)

ISTRUZIONI

Valuta il tuo stato di stanchezza in questo momento.

Grado di stanchezza	Scala
Pienamente vigile, mi sento totalmente sveglio	1
Molto attivo e responsivo, anche se non al massimo.	2
Sto bene, mi sento abbastanza fresco	3
Un po' stanco, non proprio fresco	4
Abbastanza stanco, le mie energie stanno calando	5
Estremamente stanco, trovo molto difficile concentrarmi	6
Completamente esausto, non riesco a funzionare adeguatamente	7

Come definiresti il tuo stato attuale?

Teso										Rilassato
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Figura 15: Questionario SAMN pre-esperimento che il soggetto doveva compilare.

STANFORD SLEEPINESS SCALE (PRE)

ISTRUZIONI

Valuta il tuo stato di vigilanza in questo momento.

Grado di sonnolenza	Scala
Mi sento attivo e vitale, vigile, ben sveglio	1
Funziono ad un livello elevato, ma non al massimo; riesco a concentrarmi	2
Rilassato, sveglio, non pienamente vigile, responsivo	3
Un po' confuso, non al massimo, giù	4
Confuso, comincio a perdere interesse nel rimanere sveglio, rallentato	5
Sonnolento, preferisco stare sdraiato, combatto con il sonno, ubriaco (dal sonno)	6
Quasi in stato sognante, il sonno incomincia subito, ho perso la battaglia per rimanere sveglio	7
Addormentato	8

A che ora sei andato a letto ieri sera?

A che ora ti sei alzato questa mattina?

Figura 16: Questionario SSS pre-esperimento che il soggetto doveva compilare.

3. Poi si passava al *Training*, dove il soggetto, dopo essersi accomodato nel *cockpit*, regolato i vari aspetti del mezzo quali inclinazione dello schienale e posizione del sedile e indossato l'eyetracker, veniva sottoposto ad un training di guida per prendere confidenza con lo strumento. In questa fase, inoltre, gli venivano dettate le istruzioni per svolgere l'esperimento e nel dettaglio:
- a) Gli veniva detto di trovarsi in una semplice autostrada italiana;
 - b) Di dirci a voce il suo grado di stanchezza attuale all'apparire dei punti di domanda sul display, utilizzando una scala da 1 a 10 dove 1 indicava "totalmente sveglio" e 10 indicava "addormentato";
 - c) Di mantenersi nella corsia libera più a destra;
 - d) Di non parlare durante l'esperimento, a meno che non si sentisse male per qualsiasi motivo e per dirci il livello di stanchezza all'apparire del punto di domanda.

Mentre il soggetto si ambienta con il simulatore, viene anche regolata l'intensità del volume; questa operazione viene svolta dallo sperimentatore dal computer di controllo e quando il soggetto raggiunge una velocità costante, in modo tale da regolare il volume con i giri motore all'incirca uguali a quelli che avrà anche all'inizio della fase di somministrazione della playlist musicale.



Figura 17: Fase del Training dove il soggetto sta prendendo confidenza con il mezzo.

4. Una volta finito il Training, si passava alla calibrazione dell'eyetracker con una calibrazione a 3 punti. La calibrazione di un sistema di eye tracking è importantissima, in quanto permette di calcolare i coefficienti da utilizzare nella mappatura della posizione della pupilla sullo spazio dello schermo; senza calibrazione il sistema potrebbe comunque funzionare, ma il comportamento varierebbe moltissimo da utente ad utente. Al termine di questa fase viene posizionato lo smartphone (con l'applicazione del fonometro precedentemente calibrata) sulla struttura del cockpit (Fig. 18).



Figura 18: Posizione del fonometro utilizzato per registrare l'intensità del volume.

5. Conclusa la procedura iniziale, è possibile iniziare con la prova vera e propria. Il soggetto guidava sul tratto autostradale costantemente rettilineo per 50 minuti totali divisi in 20 minuti senza musica e i restanti 30 con la sua playlist musicale che di solito ascolta alla guida. Nella prima fase, ossia quella con l'assenza di musica, il fonometro registra l'intensità del volume, il quale dipende dalla velocità a cui viaggia il soggetto; quindi, abbiamo iniziato a registrare solo quando questo inserisce la 5° marcia in modo tale da non registrare dei valori iniziali molto diversi da quelli che si terranno per tutto il resto della prova. Poco prima della fine dei 20 minuti, viene salvato il dato medio del fonometro come l'intensità del volume in assenza di musica per quel soggetto e successivamente viene azzerato e fatto ripartire con l'attivazione della playlist per ottenere un nuovo valore che sarà la media dell'intensità del volume in presenza di musica. Negli ultimi 30

minuti dell'esperimento, le tracce musicali (riprodotte in maniera casuale e quindi non seguendo l'ordine di inserimento nella playlist) vengono salvate in un file e successivamente viene fatta un'analisi dei BPM; ogni canzone riprodotta ha un preciso valore di BPM, perciò, per ottenere un unico valore per ogni soggetto, viene riportata la media pesata dei BPM per l'effettivo tempo di riproduzione della canzone. Durante tutto l'esperimento viene preso nota di tutto quello che succede; oltre alle autovalutazioni sulla stanchezza, vengono segnalati anche comportamenti anomali, quali i tentati sorpassi e cambi di corsia. I soggetti che hanno tenuto questi comportamenti sono stati esclusi in quanto non hanno rispettato le istruzioni che erano state date loro (veniva esplicitamente detto loro di stare sempre nella corsia libera più a destra); questo perché, in questi casi anomali, i valori della SDLP sono soggetti a distorsioni.

6. Una volta finito l'esperimento, viene proiettata sullo schermo centrale l'istruzione di accostare e spegnere il mezzo. Successivamente, quando il soggetto è ancora seduto sul sedile, gli viene detto di compilare gli ultimi due questionari ossia il SAMN (post-esperimento) e il SSS (post-esperimento). In questa fase è importante non dare il tempo al soggetto di alzarsi o di fare azioni che potrebbero produrre degli effetti sulla sua percezione di fatica; infatti, si ritiene plausibile che, se il soggetto compilasse i questionari post-esperimento dopo essersi alzato dal simulatore, questo potrebbe percepire in maniera diversa la fatica.
7. Infine, sempre in ottemperanza con le normative per la prevenzione della diffusione del virus Covid-19, viene fatta aerare la stanza utilizzando un potente ventilatore estrattore ad alta efficienza, e vengono disinfettati con un gel disinfettante tutti gli strumenti utilizzati per l'esperimento.

Nella Fig. 19 viene mostrata tutta la procedura sperimentale con l'utilizzo di un diagramma.

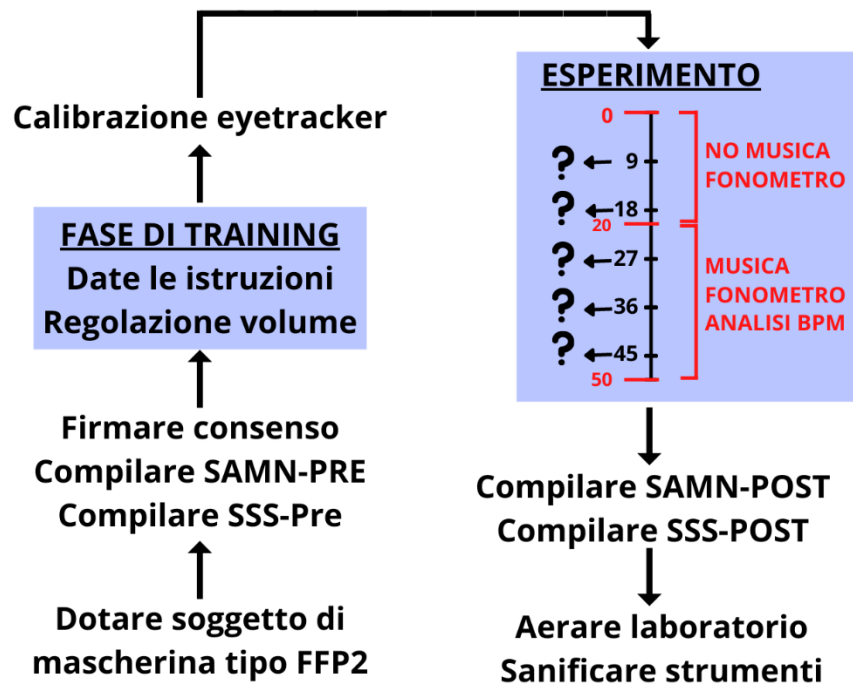


Figura 19: Diagramma dell'intera procedura sperimentale.

Capitolo 3

Analisi e risultati

Nel presente capitolo è riportata una descrizione delle differenti analisi statistiche e dei programmi utilizzati. Le variabili analizzate sono la deviazione standard della posizione laterale (SDLP) sia del gruppo di studio (*Sample*) che quello di controllo (*Controllo*), le autovalutazioni pre, post e durante l'esperimento, il volume della musica, i BPM medi, il genere dei soggetti e le ore di sonno nella notte precedente la prova.

3.1 Programmi utilizzati

Per tutte le analisi statistiche svolte è stata utilizzato *JASP*, ossia un pacchetto *open-source* multiplatforma, sviluppato e continuamente aggiornato da un gruppo di ricercatori presso l'Università di Amsterdam. Il loro obiettivo era quello di sviluppare un programma libero, *open-source* che includa sia tecniche statistiche standard che più avanzate. A differenza di molti pacchetti statistici, JASP fornisce una semplice interfaccia *drag and drop*, facile accesso via menu, analisi intuitiva con calcolo in tempo reale e visualizzazione di tutti i risultati. Tutte le tabelle e i grafici sono presentati in formato APA e possono essere copiati direttamente e/o salvati indipendentemente.

Oltre al programma *JASP*, è stato utilizzato anche *Rstudio*, ossia un linguaggio di programmazione (*R*) e un ambiente software non commerciale per il calcolo statistico e la grafica supportato dalla *R Foundation for Statistical Computing*. Il linguaggio *R* è ampiamente utilizzato dagli statistici e dai responsabili dei dati per lo sviluppo di software statistici e l'analisi dei dati.

Per tutte le analisi del presente lavoro di tesi viene utilizzato un intervallo di confidenza pari al 95 % ($\alpha = 0.05$).

3.2 Analisi relative al gruppo di controllo

Precedentemente allo svolgimento del presente studio, sono stati analizzati i dati relativi al gruppo di 27 persone con l'obiettivo di usarlo come gruppo di controllo. Da numerosi studi precedentemente condotti al simulatore (Rossi, 2001; Alm, 1996), la SDLP può

essere usata per valutare la fatica passiva del guidatore; dalla Fig. 20 è possibile notare come, nel gruppo di controllo, la SDLP varia con il tempo e più precisamente all'aumentare del tempo trascorso alla guida la SDLP aumenta, sintomo di fatica passiva nel soggetto che sta utilizzando il simulatore.

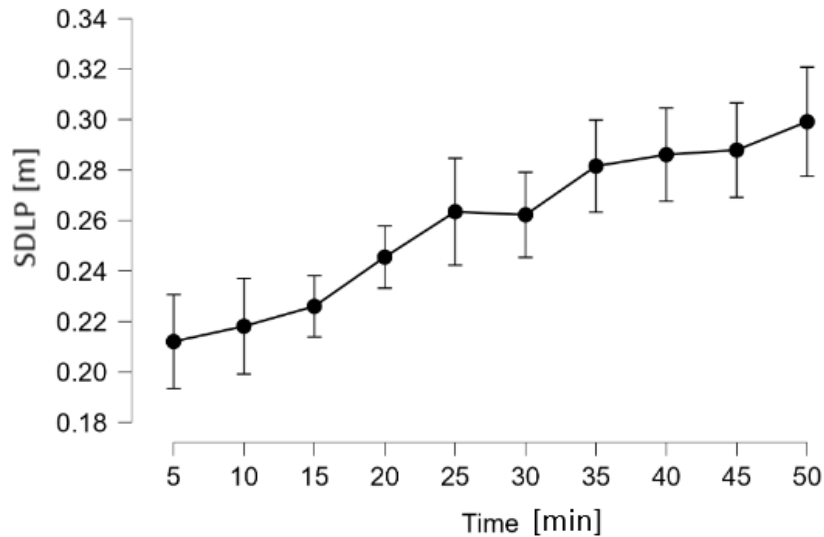


Figura 20: Gruppo di controllo. Variazione della SDLP (intervalli di 5 minuti) all'aumentare del tempo.

Inoltre, è possibile fare una comparazione tra le varie SDLP (calcolate su intervalli di 5 minuti); il risultato è che notiamo delle differenze statisticamente significative ($p\text{-value}=0.007$) tra il primo intervallo, ossia 0-5 minuti, e il quarto, ossia 15-20 minuti, e ciò significa che dopo 20 minuti il valore della SDLP è significativamente cambiato rispetto al primo (Fig. 21). Questo è il motivo per cui, nel disegno sperimentale (vedi Sezione 2.2) è stato scelto che la musica venga attivata dopo 20 minuti: infatti, la SDLP dal minuto 20 è significativamente differente rispetto a quella dell'intervallo di partenza 0-5.

Comparison	Estimate	SE	df	t	p
10 - 5	0.006	0.012	234	0.492	0.623
15 - 5	0.014	0.012	234	1.130	0.260
20 - 5	0.033	0.012	234	2.706	0.007
25 - 5	0.051	0.012	234	4.160	< .001
30 - 5	0.050	0.012	234	4.060	< .001
35 - 5	0.069	0.012	234	5.621	< .001
40 - 5	0.074	0.012	234	5.988	< .001
45 - 5	0.076	0.012	234	6.134	< .001
50 - 5	0.087	0.012	234	7.044	< .001

Figura 21: Gruppo di controllo. Comparazione del primo intervallo (0-5 minuti) con tutti gli altri. Si nota una differenza statisticamente significativa dal quarto intervallo (15-20 minuti) in poi.

3.3 Deviazione Standard della Posizione Laterale

La prima variabile che si andrà ad analizzare è la Deviazione Standard della Posizione Laterale (SDLP), che risulta essere la principale misura da associare al controllo laterale del veicolo da parte del conducente. Come detto in precedenza e sostenuto da numerosi studi (Rossi, 2001; Alm, 1996), se il controllo del veicolo diminuisce, i valori dell'SDLP aumentano; è quindi considerato come un indicatore del livello di fatica passiva da parte del conducente e quindi di sicurezza.

3.3.1 Confronto gruppo di studio vs gruppo di controllo

I dati relativi alla cinematica del veicolo ottenuti dal simulatore con un campionamento di 10 Hz vengono elaborati con uno script MATLAB per ottenere i valori della SDLP; questa può essere valutata su un intervallo qualsiasi (espresso in secondi).

Viene prima di tutto fatta un'analisi con gli intervalli pari a 60 secondi per cercare dei valori anomali della SDLP e, in particolare, un valore pari o superiore a 0.70 m; i soggetti con tali valori verranno esclusi al fine di rendere il campione il più omogeneo possibile (Gastaldi, 2016). Da sottolineare il fatto che nessun soggetto è stato escluso in questa situazione, mentre alcuni soggetti con valori anomali di SDLP erano stati esclusi in precedenza poiché non hanno rispettato l'istruzione assegnata loro di occupare la corsia libera a destra della carreggiata (vedi Sezione 2.2.1).

Una volta effettuato questo controllo, si può passare all'analisi con gli intervalli pari a 5 minuti (300 secondi). Nella Fig. 22 è possibile vedere i risultati ottenuti; da una prima analisi descrittiva si può notare come ci sia una notevole diminuzione della SDLP tra il

minuto 20 e il minuto 25, ossia nel passaggio tra la guida senza musica e quella con le tracce musicali. Nella Fig. 23, invece, viene rappresentato l'andamento della SDLP per i due gruppi, ossia quello del gruppo di studio (*Sample*) che quello di controllo (*Controllo*).

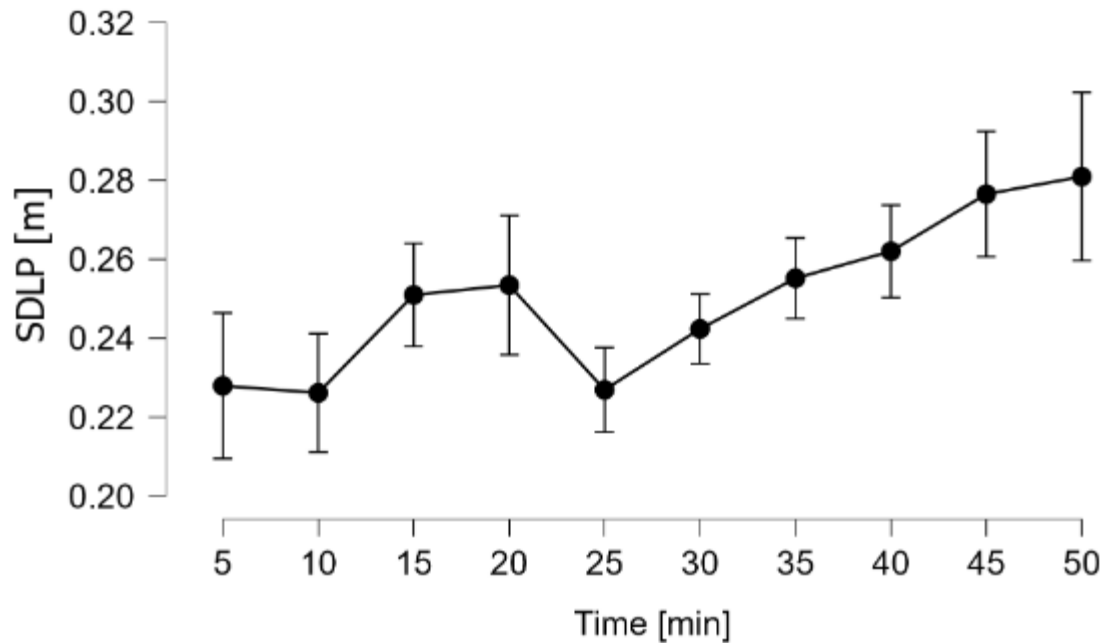


Figura 22: Gruppo di studio (*sample*). Valori della SDLP dell'intero campione. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari a 5 minuti.

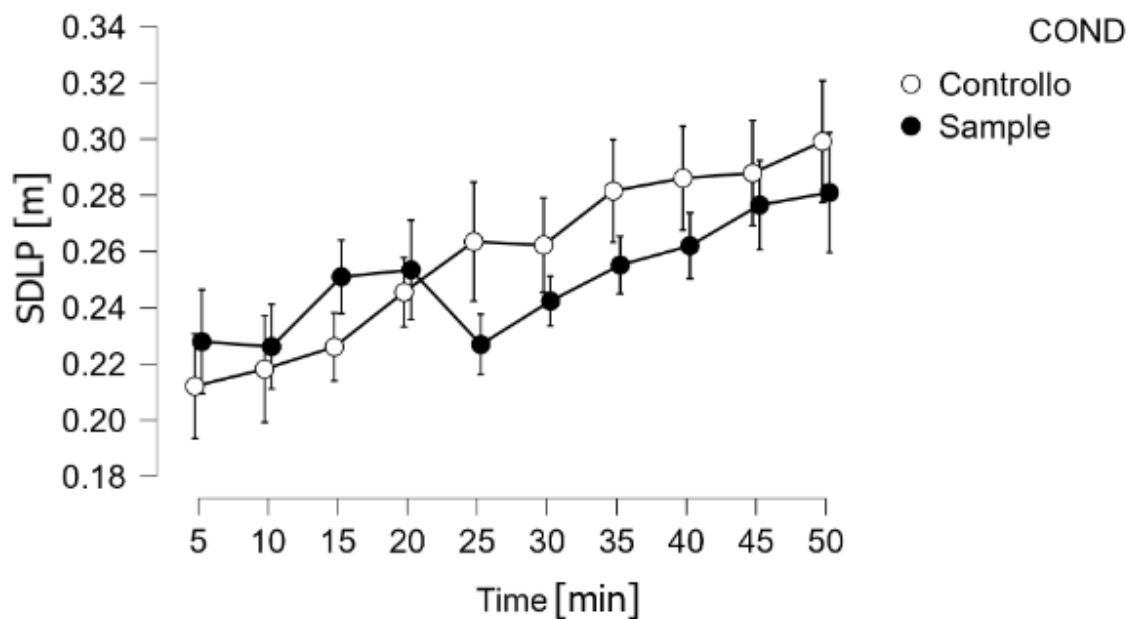


Figura 23: Confronto della SDLP tra i due gruppi. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari a 5 minuti.

Within Subjects Effects

Cases	Sphericity Correction	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Time	None	0.297 ^a	9.000 ^a	0.033 ^a	18.257 ^a	< .001 ^a
	Greenhouse-Geisser	0.297	5.128	0.058	18.257	< .001
	Huynh-Feldt	0.297	5.718	0.052	18.257	< .001
Time * COND	None	0.054 ^a	9.000 ^a	0.006 ^a	3.352 ^a	< .001 ^a
	Greenhouse-Geisser	0.054	5.128	0.011	3.352	0.005
	Huynh-Feldt	0.054	5.718	0.010	3.352	0.004
Residuals	None	0.894	495.000	0.002		
	Greenhouse-Geisser	0.894	282.025	0.003		
	Huynh-Feldt	0.894	314.471	0.003		

Note. Type III Sum of Squares

^a Mauchly's test of sphericity indicates that the assumption of sphericity is violated ($p < .05$).

Between Subjects Effects

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
COND	0.009	1	0.009	0.269	0.606
Residuals	1.848	55	0.034		

Note. Type III Sum of Squares

Figura 24: Risultati dell'analisi statistica del confronto fra i due gruppi utilizzando il software JASP.

Dall'analisi statistica (Fig. 24), effettuata utilizzando l'ANOVA a misure ripetute, è possibile affermare che:

- La variabile *TIME* influisce sulla SDLP poiché otteniamo un p-value < 0.001 ;
- *TIME X COND* è significativo poiché, anche in questo caso, otteniamo un p-value pari a 0.005 (dove *COND* è la "Condizione" ossia gruppo di controllo o quello dello studio).

Da sottolineare il fatto che i p-value a cui si fa riferimento, sono corretti in quanto la sfericità è violata e ciò sta a significare che $p\text{-value} < 0.05$ (Mauchly, 1940); per questo è necessario utilizzare il p-value modificato con la correzione di Greenhouse-Geisser, un metodo statistico per correggere la mancanza di sfericità in un'ANOVA a misure ripetute (Greenhouse, 1959). Una correzione alternativa che si ritiene sia meno restrittiva è la correzione di Huynh-Feldt (1976); per questo motivo nelle successive analisi viene usato il p-value modificato con la sola correzione di Greenhouse-Geisser.

Traducendo i risultati precedentemente ottenuti, si può affermare che la variabile tempo (*TIME*) influisce la SDLP ($p\text{-value} < 0.001$) ossia che, in accordo con altri studi presenti

nella letteratura, quest'ultima aumenta con lo scorrere del tempo, sintomo che la fatica passiva aumenta nel guidatore; inoltre, *TIME X COND* è significativo ($p\text{-value} = 0.005$), quindi è lecito dire che la condizione (gruppo di controllo e quello di studio) influisce sull'andamento nel tempo della SDLP. In altre parole, l'andamento della SDLP del gruppo di studio (*Sample*) è diverso dal gruppo di controllo (*Controllo*) e questo si può ritenere che sia dovuto alla presenza della musica.

3.3.2 Confronto con riferimento al tempo

Per ottenere un confronto più dettagliato fra il gruppo di studio e quello di controllo, è opportuno verificare se ci siano differenze statisticamente significative tra i vari intervalli di 5 minuti dei due gruppi (10 intervalli in totale da 5 minuti ciascuno per ogni gruppo). Attraverso un'analisi post-hoc, ossia un'analisi statistica effettuata dopo la conclusione della raccolta dei dati, è possibile effettuare un confronto tra i gruppi in riferimento a qualsiasi intervallo.

Nella Tabella 4 vengono riportati i risultati del confronto intervallo per intervallo tra i due gruppi; in particolare si cercano delle differenze statisticamente significative tra i due gruppi su ogni intervallo.

Tabella 4: Confronto tra i due gruppi considerando gli stessi intervalli. Risultati ottenuti con il software R.

Intervallo	group1	group2	n1	n2	p-value
1	Controllo	Sample	27	30	0.233
2	Controllo	Sample	27	30	0.608
3	Controllo	Sample	27	30	0.166
4	Controllo	Sample	27	30	0.694
5	Controllo	Sample	27	30	0.066
6	Controllo	Sample	27	30	0.233
7	Controllo	Sample	27	30	0.180
8	Controllo	Sample	27	30	0.192
9	Controllo	Sample	27	30	0.580
10	Controllo	Sample	27	30	0.461

Analizzando nel dettaglio la Tabella 4 e osservando la Fig. 23, grazie ai valori del p-value, è lecito dire che non ci sono differenze statisticamente significative tra i vari intervalli tranne nel 5° intervallo (ossia nel periodo 20-25) dove risulta esserci una differenza ai limiti della significatività con un $p\text{-value}=0.066$, mentre nei successivi intervalli il p-value

aumenta sempre di più. Considerando che al 20° minuto il guidatore comincia ad ascoltare la musica, si può affermare che la musica influisce marginalmente in maniera positiva sulla SDLP e con il passare del tempo questo effetto marginale sparisce, segno che la musica fa effetti positivi sulla fatica passiva solo nei primi minuti.

Passando ad un confronto fra tutti gli intervalli di entrambi i gruppi, facendo riferimento sempre alla Fig. 23 e alla Tabella A.5, si è in grado di affermare che:

- Nel gruppo di *Controllo*, considerando il 1° intervallo, notiamo delle differenze significative con il 4° e successivi. Ciò sta a significare che la SDLP è cambiata in maniera significativa già dopo 20 minuti di guida, sintomo di fatica nel guidatore.
- Nel gruppo *Sample*, è interessante notare che tra il 1° intervallo (0-5 minuti) e il 5° intervallo (20-25 minuti) non sono state evidenziate delle differenze statisticamente significative, segno che la musica ha riportato il livello della SDLP simile a quello iniziale. Inoltre, considerando gli stessi intervalli ma del gruppo di *Controllo*, si segnalano delle differenze significative, sottolineando il beneficio della musica sulla SDLP e, di conseguenza, sulla fatica passiva legata al compito di guida.
- Infine, si segnalano delle differenze significative nel gruppo *Sample* tra il 4° intervallo (15-20 minuti) e il 5° intervallo (20-25 minuti). Ciò sta a significare che la musica, per quanto riguarda questo gruppo, ha abbassato in maniera significativa la SDLP, mentre nel gruppo di *Controllo* non sono state rilevate differenze statisticamente significative.

Nella Tabella A.5 vengono riportati tutti i dettagli delle analisi post-hoc.

3.3.3 Covariate

Dopo aver studiato la SDLP all'interno dei due gruppi e confrontati fra di loro, è necessario capire se ci sono dei fattori o delle variabili che hanno una variabilità congiunta con la SDLP stessa. Per fare questo viene studiata la varianza con covariata, ossia, riferendosi a due variabili statistiche o variabili aleatorie, un valore numerico che fornisce una misura di quanto le due varino assieme, ovvero della loro dipendenza. L'analisi delle varianze con covariata viene effettuata conducendo una nuova ANOVA a misure ripetute, considerando come variabile dipendente la SDLP e inserendo come covariate i fattori di

nostro interesse. Di seguito vengono studiati il volume della musica, i BPM medi, il genere dei partecipanti e le ore di sonno relative alla notte antecedente all'esperimento.

3.3.3.1 Intensità del suono

Come prima covariata si vuole studiare l'intensità del suono (misurata in decibel, dB) e se ci sono delle dipendenze tra essa e la SDLP misurata durante le prove. Vengono ora riportati i dati dello studio della varianza dove viene studiata l'interazione tra SDLP e la variabile "dB-MUSICA" che è il valore medio dell'intensità sonora ambientale (riferita alla riproduzione dei brani musicali ed al rumore di fondo ambientale riprodotta dal sistema di simulazione) durante i 30 minuti della riproduzione musicale.

Within Subjects Effects						
Cases	Sphericity Correction	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
SDLP	None	0.009 ^a	5.000 ^a	0.002 ^a	1.704 ^a	0.138 ^a
	Greenhouse-Geisser	0.009	2.975	0.003	1.704	0.173
SDLP * dB-MUSICA	None	0.009 ^a	5.000 ^a	0.002 ^a	1.548 ^a	0.179 ^a
	Greenhouse-Geisser	0.009	2.975	0.003	1.548	0.208
Residuals	None	0.154	140.000	0.001		
	Greenhouse-Geisser	0.154	83.311	0.002		

Note. Type III Sum of Squares

^a Mauchly's test of sphericity indicates that the assumption of sphericity is violated ($p < .05$).

Between Subjects Effects					
Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
dB-MUSICA	0.006	1	0.006	0.242	0.627
Residuals	0.703	28	0.025		

Note. Type III Sum of Squares

Figura 25: Risultati dell'analisi della varianza e dell'interazione fra musica e SDLP utilizzando il software JASP.

Come si può notare dalla Fig. 25 si è ottenuto un p-value=0.627 che non è significativo. Questo risultato sembrerebbe indicare che non ci sono interazioni significative tra SDLP e l'intensità sonora ambientale, ma l'uso di questa variabile non è del tutto corretto; infatti, questo valore corrisponde al volume medio del suono durante i 30 minuti della riproduzione e non tiene conto di quello che è successo nei primi 20 minuti. Nei 20 minuti iniziali ogni soggetto guida il simulatore ad una velocità che può essere diversa rispetto agli altri e ciò influisce sul numero di giri motore e quindi sull'intensità del suono ambientale (maggiore è la velocità, maggiore è il numero dei giri motore, maggiore sarà l'intensità del suono riprodotto). Per questo motivo, di seguito vengono riportati i dati della stessa analisi ma, al posto della variabile "dB-MUSICA" viene utilizzata la variabile

“dB-MUSICA NORMALIZZATA” che corrisponde alla differenza tra la media dell’intensità sonora rilevata negli ultimi 30 minuti e quella rilevata nei primi 20 per ciascun soggetto.

Within Subjects Effects ▼

Cases	Sphericity Correction	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
SDLP	None	0.036*	5.000*	0.007*	6.964*	< .001*
	Greenhouse-Geisser	0.036	3.017	0.012	6.964	< .001
SDLP * dB-MUSICA NORMALIZZATA	None	0.017*	5.000*	0.003*	3.218*	0.009*
	Greenhouse-Geisser	0.017	3.017	0.006	3.218	0.027
Residuals	None	0.146	140.000	0.001		
	Greenhouse-Geisser	0.146	84.469	0.002		

Note. Type III Sum of Squares

* Mauchly's test of sphericity indicates that the assumption of sphericity is violated ($p < .05$).

Between Subjects Effects

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
dB-MUSICA NORMALIZZATA	0.133	1	0.133	6.480	0.017
Residuals	0.576	28	0.021		

Note. Type III Sum of Squares

Figura 26: Risultati dell’analisi della varianza e dell’interazione fra l’intensità del suono normalizzata e SDLP.

In questo caso si nota come ci siano delle correlazioni significative tra SDLP e la “dB-MUSICA NORMALIZZATA” dato un p-value dell’analisi between subjects di 0.017 e un p-value dell’interazione con la SDLP nell’analisi within subjects pari a 0.027; con l’utilizzo della Fig. 27 e Fig. 28 è possibile fare delle considerazioni su queste correlazioni.

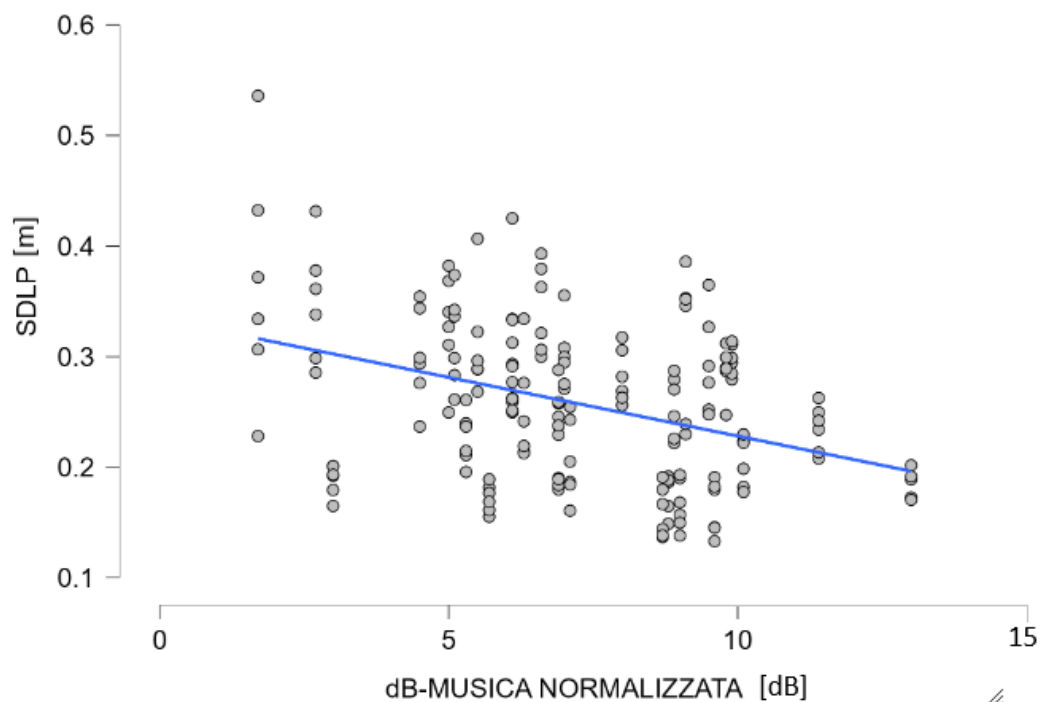


Figura 27: Grafico che mette in relazione la SDLP con la dB-MUSICA NORMALIZZATA.

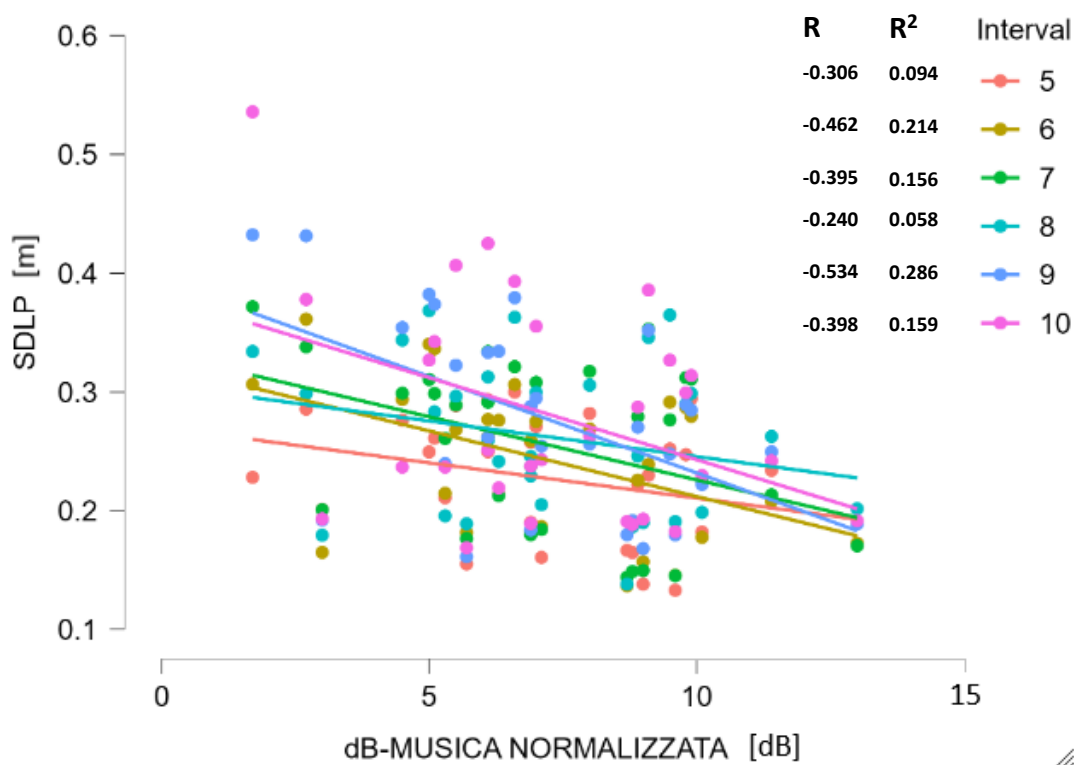


Figura 28: Grafico che mette in relazione la SDLP con l'intensità normalizzata suddivisa per intervalli di ampiezza 5 minuti (es.: intervallo 5 va dal 20-esimo al 25-esimo minuto).

Considerando entrambe le Fig. 27 e 28, per ogni soggetto esiste un unico valore della variabile “dB-MUSICA NORMALIZZATA” (30 valori in totale) e, dato che vengono

considerati gli intervalli dal 5° al 10° (dal minuto 20 al minuto 50), hanno 6 valori di SDLP, uno per ogni intervallo. Nella Fig. 28 i punti sono stati colorati in funzione dell'intervallo temporale di riferimento a cui si riferisce l'intensità sonora media; infatti, per ogni intervallo, è stata tracciata la retta di regressione lineare, in modo tale da avere una tendenza "qualitativa", per ogni intervallo, della SDLP in funzione della differenza dei citati valori normalizzati dell'intensità sonora.

Analizzando dapprima la Fig. 27, la prima informazione che emerge è che la retta di regressione ha un andamento decrescente; si può perciò affermare che più è alta la differenza di dB, più è bassa la SDLP ($p\text{-value}=0.017$), in quanto nella parte destra del grafico sono presenti i soggetti con una differenza maggiore. Inoltre, in accordo con quanto detto finora e con la Fig. 28, si nota come le rette di regressione lineare tendono ad avere un coefficiente angolare negativo (cioè decrescenti) che è inferiore in modulo se confrontato con quello della retta dell'intervallo successivo ($p\text{-value}=0.027$), segno che la SDLP aumenta nel tempo in maniera più marcata per chi ha un basso valore di differenza tra assenza e presenza di musica; ciò significa che, i soggetti più a destra del grafico, ossia quelli con un'alta differenza di dB, tendono ad avere una SDLP pressoché costante nel tempo, segno che la musica, ascoltata ad un volume relativamente più alto rispetto alle condizioni di guida senza riproduzione musicale, tende a non far aumentare la SDLP nel tempo, e quindi ad alleviare (almeno in termini di capacità di controllo laterale) la fatica passiva sul guidatore.

3.3.3.2 *BPM medi*

Nella letteratura sono stati trovati diversi studi sull'influenza dei BPM sulla guida (Li, 2019; Cassidy, 2009). Secondo la maggior parte di questi all'aumentare dei BPM aumenta l'eccitazione del guidatore. Vengono quindi riportati i dati dello studio della varianza dove viene studiata l'interazione tra SDLP e la variabile "BPM medi" che è il valore medio dei BPM pesati sulla durata di ciascun brano (si ricorda che ciascun brano aveva associato un proprio valore di BPM). Nella Fig. 29 vengono riportati i dati ottenuti.

Within Subjects Effects

Cases	Sphericity Correction	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
SDLP	None	0.001 ^a	5.000 ^a	2.270e-4 ^a	0.198 ^a	0.963 ^a
	Greenhouse-Geisser	0.001	3.040	3.734e-4	0.198	0.900
SDLP * BPM medi	None	0.002 ^a	5.000 ^a	4.929e-4 ^a	0.430 ^a	0.827 ^a
	Greenhouse-Geisser	0.002	3.040	8.106e-4	0.430	0.734
Residuals	None	0.160	140.000	0.001		
	Greenhouse-Geisser	0.160	85.124	0.002		

Note. Type III Sum of Squares

^a Mauchly's test of sphericity indicates that the assumption of sphericity is violated ($p < .05$).

Between Subjects Effects

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
BPM medi	0.004	1	0.004	0.164	0.688
Residuals	0.705	28	0.025		

Note. Type III Sum of Squares

Figura 29: Risultati dell'analisi della varianza e dell'interazione fra BPM medi e SDLP utilizzando il software JASP.

Come si può notare dalla figura sopra riportata, il p-value ottenuto pari a 0.688 non è significativo e perciò non sono state riscontrate delle correlazioni tra i BPM e una misurazione della fatica, in modo opposto a quanto trovato in altri studi (Li, 2019). Una possibile motivazione è che il soggetto, essendo libero di creare la propria playlist a suo piacimento in base ai propri gusti musicali, abbia scelto canzoni molto diverse tra di loro: così facendo, i BPM sono molto variabili da canzone a canzone, portando il valore della media pesata dei BPM ad una eccessiva semplificazione che non descrive in maniera esaustiva il reale andamento dei BPM all'interno della riproduzione musicale. È importante far notare che la musica utilizzata negli esperimenti trovati in letteratura (Li, 2019; Cassidy, 2009), in contraddizione col presente studio, ha un valore di BPM costante nel tempo, riproducendo determinate tracce musicali col valore di BPM che si vuole utilizzare (utilizzando dei mixer musicali, ad esempio), e così facendo il valore dei BPM della traccia e "BPM medi" nell'arco di tutta la riproduzione musicale coincidono avendo una deviazione standard nulla. Nell'Appendice II sono riassunti tutti i valori dei BPM medi con la relativa varianza e la VMR (*Variance-to-Mean Ratio*), ossia il rapporto tra la varianza e la media; quest'ultimo valore dà un'indicazione della dispersione della variabile (Cox, 1966; Upton, 2006).

Nella Tabella A.6 vengono riportati, per ogni soggetto, il valore dei BPM medi, della relativa varianza e deviazione standard e della VMR; con riferimento all'interpretazione da dare a quest'ultimo parametro si precisa quanto segue:

- $VMR=0 \rightarrow$ La variabile è una costante e la dispersione è nulla;
- $0 < VMR < 1 \rightarrow$ Distribuzione binomiale caratterizzata da una sotto-dispersione;
- $VMR=1 \rightarrow$ Caratteristica della distribuzione di Poisson
- $VMR > 1 \rightarrow$ distribuzione caratterizzata da una sovra-dispersione, come nella maggior parte dei soggetti del presente studio.

Quasi tutti i soggetti, come si vede sempre dalla stessa tabella, hanno una VMR superiore all'unità, segno di una sovra-dispersione che rende il valore medio troppo riduttivo per descrivere tutte le tracce musicali.

Un'alternativa per analizzare l'effetto dei BPM sulla fatica potrebbe essere quello di studiare, con un'analisi delle serie temporali, l'andamento nel tempo dei BPM e della SDLP (vedi sviluppi futuri nel Capitolo 4).

3.3.3.3 *Genere*

Altra variabile molto importante e studiata nella letteratura è il genere del guidatore; alcuni studi (Farrel, 2020) hanno dimostrato che ci sono differenze significative nel *Reaction Time* tra maschi e femmine durante la guida accompagnata dalla musica. Per quanto riguarda il presente studio è interessante capire se ci sono delle correlazioni tra i valori della SDLP e il genere. Nella Fig. 30 viene riportata l'analisi della varianza dove vengono cercate differenze statisticamente significative tra i due sottogruppi del gruppo studio "GENERE_F" e "GENERE_M".

Within Subjects Effects

Cases	Sphericity Correction	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
SDLP	None	0.103 ^a	9.000 ^a	0.011 ^a	7.185 ^a	< .001 ^a
	Greenhouse-Geisser	0.103	3.747	0.027	7.185	< .001
SDLP * GENERE_F	None	0.009 ^a	9.000 ^a	0.001 ^a	0.659 ^a	0.746 ^a
	Greenhouse-Geisser	0.009	3.747	0.003	0.659	0.612
Residuals	None	0.401	252.000	0.002		
	Greenhouse-Geisser	0.401	104.922	0.004		

Note. Type III Sum of Squares

^a Mauchly's test of sphericity indicates that the assumption of sphericity is violated ($p < .05$).

Between Subjects Effects

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
GENERE_F	0.012	1	0.012	0.327	0.572
Residuals	1.006	28	0.036		

Note. Type III Sum of Squares

Figura 30: Risultati dell'analisi della varianza utilizzando il software JASP e come fattore "Between" il genere.

Dalla Fig. 30 è possibile affermare che non esistono differenze statisticamente significative tra i due generi nel gruppo studio ($p\text{-value}=0.572$), poiché la variabilità osservata nella variabile dipendente è riconducibile alla variabile indipendente che ha generato i due gruppi (maschi e femmine). In altre parole, si può dire che il genere non ha nessun effetto significativo sull'andamento della SDLP.

3.3.3.4 Ore di sonno

L'ultima covariata analizzata sono le ore di sonno dei soggetti nella notte antecedente all'esperimento; questo dato veniva richiesto durante la compilazione del questionario sulla sonnolenza pre-esperimento *Stanford Sleepiness Scale* (Fig. 16). È importante vedere se ci sono delle correlazioni tra la SDLP e la stanchezza del soggetto misurata in ore di sonno effettuate durante la notte che precedeva l'esperimento. Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti. Per avere un quadro più completo del fenomeno, l'analisi viene divisa in due parti:

- La prima corrisponde agli intervalli 1-4 (dall'inizio fino al 20° minuto), quindi in assenza di musica;
- La seconda ai restanti 30 minuti quindi agli intervalli 5-10, dove invece è presente la musica.

Within Subjects Effects

Cases	Sphericity Correction	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
SDLP	None	0.007 ^a	3.000 ^a	0.002 ^a	1.839 ^a	0.146 ^a
	Greenhouse-Geisser	0.007	1.720	0.004	1.839	0.174
SDLP * ORE SONNO	None	0.006 ^a	3.000 ^a	0.002 ^a	1.486 ^a	0.224 ^a
	Greenhouse-Geisser	0.006	1.720	0.004	1.486	0.237
Residuals	None	0.114	84.000	0.001		
	Greenhouse-Geisser	0.114	48.164	0.002		

Note. Type III Sum of Squares

^a Mauchly's test of sphericity indicates that the assumption of sphericity is violated ($p < .05$).

Between Subjects Effects

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
ORE SONNO	0.052	1	0.052	3.778	0.062
Residuals	0.385	28	0.014		

Note. Type III Sum of Squares

Figura 31: Risultati dell'analisi della varianza e dell'interazione fra ore di sonno e SDLP negli intervalli 1-4 utilizzando il software JASP.

Within Subjects Effects

Cases	Sphericity Correction	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
SDLP	None	0.004 ^a	5.000 ^a	8.390e-4 ^a	0.756 ^a	0.583 ^a
	Greenhouse-Geisser	0.004	3.105	0.001	0.756	0.526
SDLP * ORE SONNO	None	0.008 ^a	5.000 ^a	0.002 ^a	1.363 ^a	0.242 ^a
	Greenhouse-Geisser	0.008	3.105	0.002	1.363	0.259
Residuals	None	0.155	140.000	0.001		
	Greenhouse-Geisser	0.155	86.936	0.002		

Note. Type III Sum of Squares

^a Mauchly's test of sphericity indicates that the assumption of sphericity is violated ($p < .05$).

Between Subjects Effects

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
ORE SONNO	0.003	1	0.003	0.121	0.730
Residuals	0.706	28	0.025		

Note. Type III Sum of Squares

Figura 32: Risultati dell'analisi della varianza e dell'interazione fra ore di sonno e SDLP negli intervalli 5-10 utilizzando il software JASP.

In questo caso si nota come ci siano delle correlazioni ai margini della significatività tra SDLP nei primi 4 intervalli e le ore di sonno dato un p-value della analisi between subjects pari a 0.062 (Fig. 31) mentre nei restanti intervalli non vi è alcuna correlazione dato un p-value=0.730 (Fig. 32).

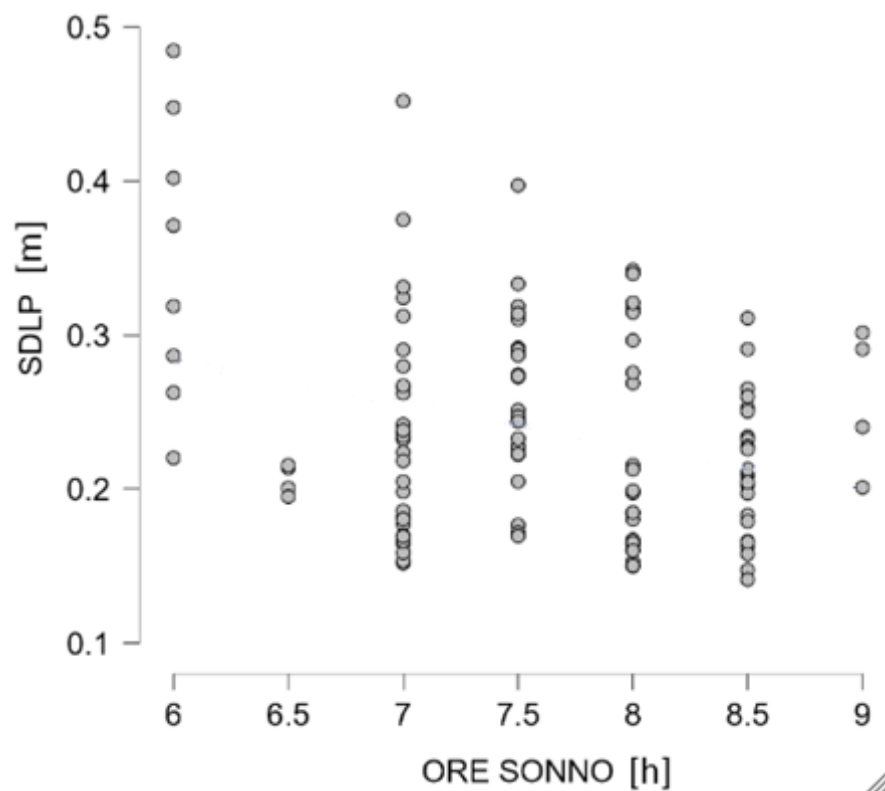


Figura 33: Grafico che mette in relazione la SDLP con le ore di sonno per gli intervalli di tempo 1-4. Per ogni soggetto si hanno 4 valori di SDLP; quindi, se più soggetti hanno le stesse ore di sonno dormite, ci saranno più di 4 valori per quel valore di ore nell'asse delle ascisse.

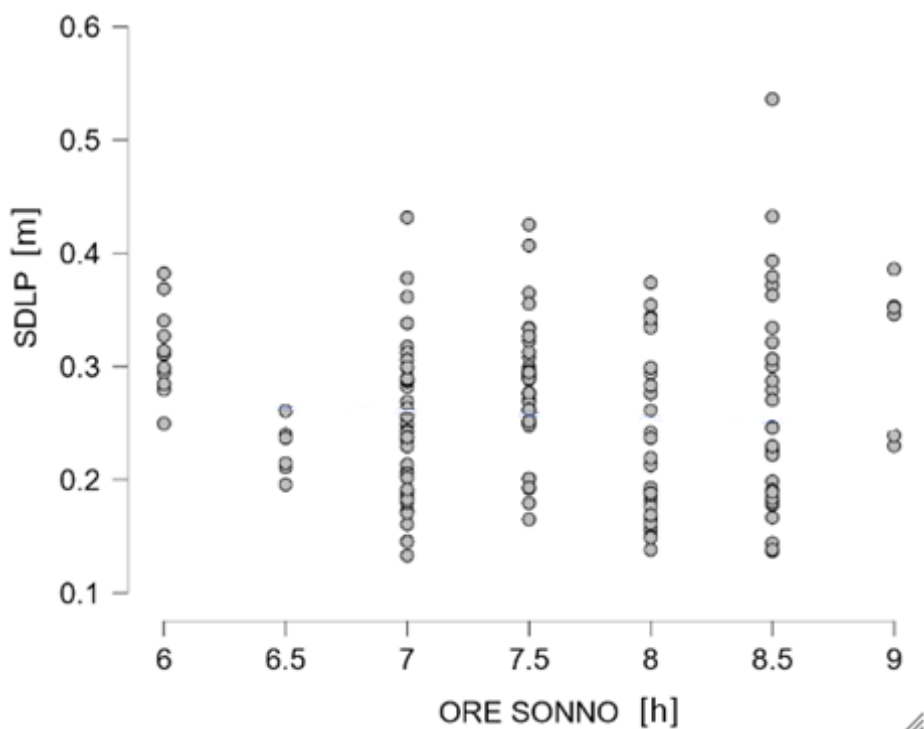


Figura 34: Grafico che mette in relazione la SDLP con le ore di sonno per gli intervalli di tempo 5-10. Per ogni soggetto si hanno 6 valori di SDLP, quindi se più soggetti hanno le stesse ore di sonno dormite, ci saranno più di 6 valori per quel valore di ore nell'asse delle ascisse.

Come si può vedere da Fig. 33 e Fig. 34, ci sono delle differenze indotte dalla musica; negli intervalli senza musica, ossia Fig. 33, la distribuzione dei punti è tale da dare una indicazione sommaria sull'ipotesi che chi ha dormito più ore rispetto agli altri, ossia i soggetti che stanno nella parte destra del grafico, ha un valore più basso della SDLP (la differenza non è significativa anche se ai limiti della significatività). Analizzando ora la Fig. 34 è possibile affermare che non c'è una correlazione tra ore di sonno e la SDLP nel periodo di guida con la musica. Con quanto detto finora è possibile constatare che la musica tende ad annullare l'effetto di possibili differenze tra ore di sonno dei soggetti, le quali porterebbero, in assenza di musica, ad avere valori più alti di SDLP per chi ha dormito poco.

3.4 Autovalutazioni dei soggetti

Le variabili che si andranno ora ad analizzare sono le autovalutazioni espresse dai soggetti pre, post esperimento (*Samn-Perelli* e *Stanford Sleepiness Scale*) e durante l'esperimento. Queste variabili sono molto importanti perché forniscono un'idea sulla percezione soggettiva dei guidatori degli effetti della musica sul proprio stato di affaticamento durante la guida.

3.4.1 Pre-Post esperimento

3.4.1.1 Samn-Perelli

Il *Samn-Perelli Questionnaire* è un questionario che misura lo stato di affaticamento nel soggetto. Nel dettaglio, il punteggio totale varia da 1 a 7 dove 1 corrisponde a "Carichissimo" e 7 a "Molto affaticato". Inoltre, nel presente questionario è necessario indicare il livello di stress secondo una scala che va da 0 a 10 dove 0 corrisponde a "Teso" mentre 10 a "Rilassato". Di seguito vengono effettuate le analisi sui dati raccolti pre e post esperimento ed in particolare il test di Wilcoxon in quanto adatto alle variabili trattate; questo è un test non parametrico per campioni indipendenti per verificare, in presenza di valori ordinali provenienti da una distribuzione continua, se due campioni statistici provengono dalla stessa popolazione (Wilcoxon, 1945).

	N	Mean	SD	SE
PRE	30	2.300	1.208	0.221
POST	30	3.367	1.189	0.217

Paired Samples T-Test

Measure 1	Measure 2	W	df	p
PRE	- POST	22.500		< .001

Note. Wilcoxon signed-rank test.

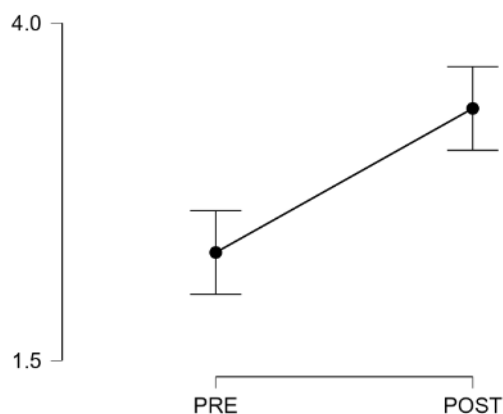


Figura 35: Risultati dell'analisi descrittiva, del test di Wilcoxon e grafico sull'**affaticamento** percepito pre-post esperimento.

	N	Mean	SD	SE
PRE	30	7.200	1.990	0.363
POST	30	7.700	1.685	0.308

Paired Samples T-Test

Measure 1	Measure 2	W	df	p
PRE	- POST	53.500		0.053

Note. Wilcoxon signed-rank test.

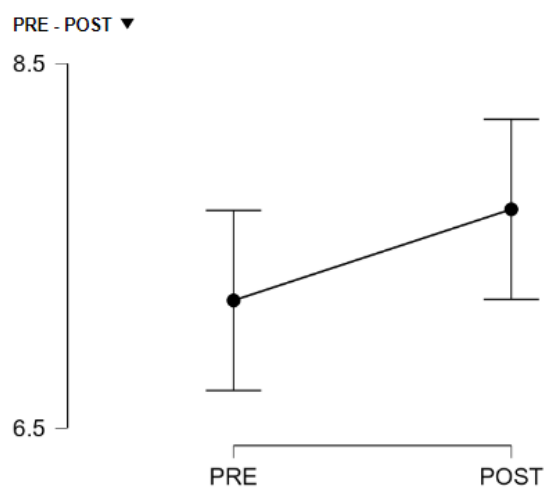


Figura 36: Risultati dell'analisi descrittiva, del test di Wilcoxon e grafico sul livello di **stress** percepito pre-post esperimento.

Analizzando la Fig. 35 è possibile notare che ci sono delle differenze statisticamente significative tra pre e post esperimento sul livello di affaticamento percepito dal soggetto ($p\text{-value}<0.001$). Si passa da una media iniziale di 2.30 ad una media post-esperimento pari a 3.37; in altre parole, il soggetto, dopo l'esperimento, è più stanco rispetto all'inizio; questo permette di confermare la bontà del disegno sperimentale del contesto di guida creato che induce di fatto uno stato di affaticamento sul conducente, peraltro rilevato oggettivamente dalle misure della SDLP. Invece, nella Fig. 36, ossia l'analisi del livello di stress, si evidenzia che tra pre e post esperimento le differenze sono ai limiti della significatività con un $p\text{-value}=0.053$. Si passa da una media iniziale di 7.20 ad una media post-esperimento pari a 7.70; questo vuol dire che il soggetto tende a sentirsi più rilassato finito l'esperimento. Questo sembra dirci che le condizioni di guida non producono carichi sul conducente ed anzi comportano un suo rilassamento, probabile effetto della monotonia del tracciato.

3.4.1.2 Stanford Sleepiness Scale

La *Stanford Sleepiness Scale* è uno strumento che misura la sonnolenza di stato, ossia nel preciso momento della compilazione, dove il punteggio totale varia da 1 a 8 dove 1 corrisponde a "vigile" e 8 a "quasi addormentato". Di seguito vengono fatte le analisi pre e post esperimento utilizzando, anche in questo caso, il test di Wilcoxon.

	N	Mean	SD	SE
PRE	30	1.900	0.759	0.139
POST	30	2.733	1.202	0.219

Paired Samples T-Test

Measure 1	Measure 2	W	df	p
PRE	- POST	16.000		< .001

Note. Wilcoxon signed-rank test.

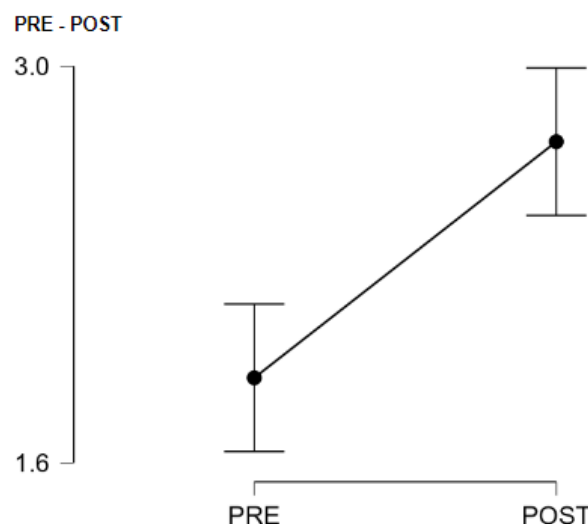


Figura 37: Risultati dell'analisi descrittiva, del test di Wilcoxon e grafico sul livello di sonnolenza pre-post esperimento.

In questo caso, con un $p\text{-value} < 0.001$, si può affermare che ci sono differenze statisticamente significative tra il livello di sonnolenza percepito dai soggetti pre e post esperimento. Si passa da una media iniziale di 1.90 ad una media post-esperimento pari a 2.73; in altre parole, il soggetto, dopo l'esperimento, è più stanco (presenta un livello di sonnolenza percepita più elevato) rispetto all'inizio; questo permette di confermare ulteriormente (cfr. §3.4.1.1) la bontà del disegno sperimentale del contesto di guida creato che induce di fatto uno stato di affaticamento sul conducente, peraltro rilevato oggettivamente dalle misure della SDLP.

3.4.2 Autovalutazioni durante la guida

Ultime variabili da analizzare sono le autovalutazioni all'interno dell'esperimento, ossia le risposte date dai conducenti in corrispondenza della presentazione visiva dei 5 punti di domanda (vedi Sezione 2.2.3). Ogni 9 minuti appariva un punto di domanda nella parte

destra dello schermo centrale, al quale il soggetto doveva indicare a voce, utilizzando una scala da 1 a 10 dove 1 corrispondeva a “totalmente sveglio” e 10 ad “addormentato”, il suo grado di stanchezza in quel preciso momento. Questo accadeva per tutti i 50 minuti della prova quindi ci sono state 5 autovalutazioni e più precisamente al 9°, 18°, 27°, 36° e 45° minuto quindi le prime 2 in assenza di musica e le successive 3 in presenza di musica. Di seguito vengono riportati i dati del test di Friedman che è l’equivalente non parametrico dell’ANOVA a misure ripetute poiché si lavora con valori ordinali provenienti da una distribuzione continua (Friedman, 1937).

Within Subjects Effects ▼

Cases	Sphericity Correction	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Autovalutazioni	None	23.106 ^a	4.000 ^a	5.776 ^a	14.388 ^a	< .001 ^a
	Greenhouse-Geisser	23.106	2.030	11.382	14.388	< .001
Residuals	None	25.694	64.000	0.401		
	Greenhouse-Geisser	25.694	32.479	0.791		

Note. Type III Sum of Squares
^a Mauchly's test of sphericity indicates that the assumption of sphericity is violated ($p < .05$).

Between Subjects Effects

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Residuals	176.424	16	11.026		

Note. Type III Sum of Squares

Figura 38: Risultati dell’analisi della varianza fra le 5 autovalutazioni fornite durante la guida.

Considerando la Fig. 38, si nota come ci siano delle differenze significative tra le autovalutazioni ($p\text{-value} < 0.001$); con l’utilizzo della Fig. 39 è possibile fare delle considerazioni su queste differenze.

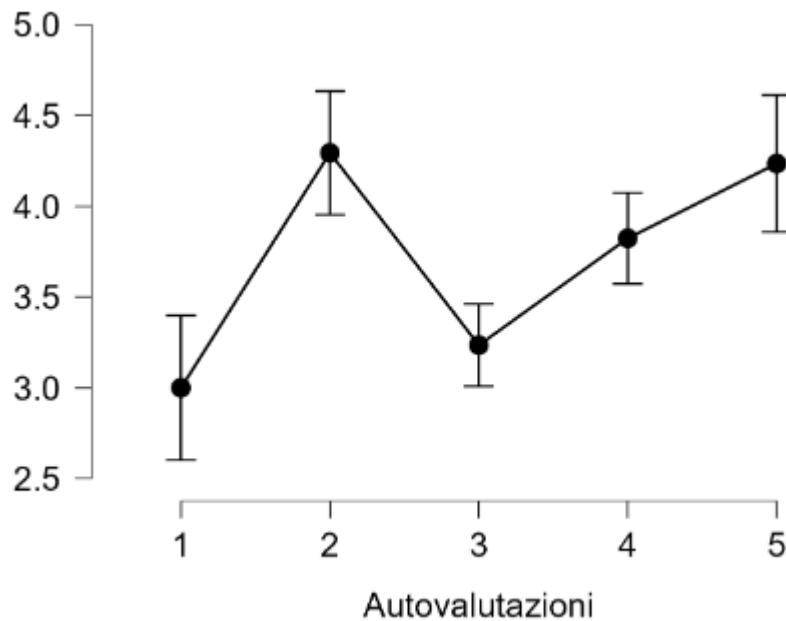


Figura 39: Grafico che descrive l'andamento dei valori medi delle autovalutazioni fornite dai conducenti durante la guida in funzione del tempo (5 istanti di valutazione).

Dalla Fig. 39 si nota chiaramente che c'è un crollo abbastanza considerevole tra la seconda e la terza autovalutazione, segno che il soggetto percepisce una minore stanchezza successivamente all'avvio della musica. Per un'analisi più accurata, è stato condotto il test post hoc di Conover sulle autovalutazioni; questo è una versione non parametrica del test parametrico di Levene per l'uguaglianza della varianza (Conover, 1981). Nella Tabella 5 sono riportati tutti i possibili confronti tra le autovalutazioni; nelle prime due colonne vengono indicate le due autovalutazioni a confronto, nella seconda è riportato il valore del T-Test, nelle successive due colonne è indicato il valore del test di Wilcoxon delle due autovalutazioni a confronto mentre nelle ultime tre sono presenti i p-value senza correzioni e quelli con la correzione di Bonferroni e di Holm.

Tabella 5: Risultati del test post hoc di Conover sulle autovalutazioni alla guida.

Conover's Post Hoc Comparisons - Autovalutazioni

		T-Stat	df	W_i	W_j	p	p_{bonf}	p_{holm}
1	2	4.490	64	31.500	67.500	< .001	< .001	< .001
	3	0.499	64	31.500	35.500	0.620	1.000	1.000
	4	2.744	64	31.500	53.500	0.008	0.079	0.047
2	5	4.428	64	31.500	67.000	< .001	< .001	< .001
	3	3.991	64	67.500	35.500	< .001	0.002	0.001
	4	1.746	64	67.500	53.500	0.086	0.856	0.342
3	5	0.062	64	67.500	67.000	0.950	1.000	1.000
	4	2.245	64	35.500	53.500	0.028	0.282	0.141
	5	3.929	64	35.500	67.000	< .001	0.002	0.001
4	5	1.684	64	53.500	67.000	0.097	0.971	0.342

Note. Grouped by subject.

Volendo confrontare le varie autovalutazioni tra di loro utilizzando la Tabella 5, si nota come il p-value venga modificato con due correzioni, ossia quella di Bonferroni (Bonferroni, 1936) e quella di Holm (Holm, 1979). La prima, quella più restrigente e quindi usata nel presente studio, compensa l'aumento di probabilità dell'ipotesi nulla (non ci sono differenze significative tra le due valutazioni) verificando ogni singola ipotesi a un livello di significatività pari al rapporto tra la significatività α e il numero di ipotesi, in questo caso 10, come i livelli. Infatti, all'aumentare delle osservazioni, aumenta la possibilità di osservare un evento raro e, quindi, aumenta la probabilità di rifiutare erroneamente un'ipotesi nulla. La seconda, invece, è meno restrigente poiché è uguale a quella di Bonferroni solo che al posto del numero di livelli (10) si utilizzano i gradi di libertà, i quali, nel nostro caso, sono pari a 4.

In riferimento sempre alla Tabella 5, è importante fare delle considerazioni su alcune coppie di autovalutazioni:

- 2-3 → Come accennato in precedenza, il passaggio tra assenza e presenza di musica è caratterizzato da un abbassamento statisticamente significativo della percezione di affaticamento da parte del guidatore (p-value=0.002). In altre parole, il soggetto si sente meno stanco con l'inizio della musica. Da sottolineare il fatto che la seconda autovalutazione era al 18° minuto e la successiva al 27° minuto, quando l'inizio della musica è al 20° minuto, ciò vuol dire che il soggetto dopo 7 minuti di musica si sente meno stanco di quanto si sentisse 2 minuti prima;
- 1-3 → L'analisi della varianza tra i due gruppi ha portato ad un p-value=1, non evidenziando differenze significative. Questo è molto importante in quanto

significa che la fatica percepita dal soggetto dopo 9 minuti di guida (11 minuti prima della somministrazione) non è significativamente diversa da quella dopo 27 minuti, 7 minuti dopo l'accensione della musica; questo risultato dedotto dall'analisi delle valutazioni soggettive trova conferma nel dato oggettivo riferito alla SDLP (vedi Sezione 3.3.2) che di fatto dopo la riduzione indotta dalla musica tende a risalire nel tempo (effetto limitato nel tempo);

- 1-4 → Facendo le stesse considerazioni del punto precedente, il confronto tra l'autovalutazione 1 e 4 ha portato ad un $p\text{-value}=0.079$ che è non significativo ma ai margini della significatività. Ciò vuol dire che la musica ha effetti (marginali) fino alla quarta autovalutazione, confrontandola con la prima; infatti, se si compara la prima autovalutazione con la quinta, ossia l'ultima, la differenza è statisticamente significativa ($p\text{-value}<0.001$);
- 1-2 → Infine, è utile riportare il fatto che ci sono delle differenze significative tra le prime 2 autovalutazioni ($p\text{-value}<0.001$), sintomo che la fatica passiva, dopo 18 minuti di guida, percepita dal guidatore è significativamente maggiore rispetto a quella percepita dopo 9 minuti; questo conferma la validità del disegno sperimentale (attivazione della musica dopo 20 minuti), poichè una differenza significativa tra le prime due autovalutazioni è un segnale di un significativo affaticamento percepito dai soggetti.

Capitolo 4

Conclusioni

Nel presente studio, i dati raccolti da prove eseguite con un simulatore di guida automobilistico sono stati utilizzati per analizzare gli effetti della musica sul comportamento dei conducenti sottoposti ad un compito di guida prolungata in ambiente autostradale monotono. Gli esperimenti hanno consentito di simulare condizioni di guida relativamente rischiose in un ambiente sicuro e controllato, isolando l'influenza delle caratteristiche del soggetto e misurando con alta precisione le variazioni che si verificano nelle prestazioni di guida.

A 30 soggetti (gruppo di studio) è stato chiesto percorrere un tratto autostradale per 50 minuti occupando la corsia di destra come farebbero normalmente, mantenendo una velocità compatibile con i limiti di velocità segnalati lungo il percorso. L'esperimento prevedeva per ciascuna prova una prima fase della durata di 20 minuti durante i quali non vi era alcuna somministrazione (intesa come riproduzione musicale), seguita da una seconda fase della durata di 30 minuti caratterizzata dalla somministrazione della playlist preferita dal soggetto (precedentemente fornita) ad un livello sonoro preventivamente regolato su un valore ritenuto dallo stesso conducente appropriato.

Come variabile di risposta principale, oltre ai risultati delle autovalutazioni e i dati relativi all'intensità del volume, è stata scelta la deviazione standard della posizione laterale del veicolo (SDLP) calcolata con riferimento a sotto-intervalli temporali successivi di ampiezza pari a 5 minuti; i dati raccolti durante le prove sono stati confrontati con quelli già raccolti in un altro esperimento utilizzando un gruppo di controllo di 27 soggetti che ha guidato lungo lo stesso percorso ma in assenza di musica per tutti i 50 minuti della prova.

I principali risultati ottenuti sono sinteticamente riportati nel seguito:

- La variabile tempo (*TIME*) influisce sulla SDLP: in particolare, quest'ultima aumenta con lo scorrere del tempo, sintomo di un aumento della fatica passiva nel guidatore che induce una perdita del controllo laterale del veicolo; inoltre, *TIME*

X *COND* è significativo quindi è lecito dire che la condizione (gruppo di controllo e gruppi di studio) influisce sull'andamento nel tempo della SDLP, in altri termini ci sono delle differenze significative tra l'andamento della SDLP nel gruppo di controllo con quello del gruppo studio;

- Considerando il solo gruppo di studio, è possibile affermare che ci sono differenze statisticamente significative tra il 4° e il 5° intervallo, ossia nel periodo compreso tra il ventesimo e il venticinquesimo minuto di prova. Considerando che la somministrazione dei brani musicali iniziava al ventesimo minuto si può concludere che la musica influisce in maniera positiva sulla SDLP e quindi sul controllo laterale e con il passare del tempo questo effetto statisticamente significativo sparisce, segno che la musica produce effetti positivi sulla fatica passiva solo per alcuni minuti dopo la sua attivazione;
- Per quanto riguarda sempre il gruppo di studio, è interessante notare che tra il 1° intervallo (0-5 minuti) e il 5° intervallo (20-25 minuti) non sono state evidenziate delle differenze statisticamente significative nella SDLP, segno che la musica ha portato il conducente a mostrare i valori della SDLP simili a quelli iniziali. Invece, considerando gli stessi intervalli ma del gruppo di *Controllo*, si segnalano delle differenze significative, sottolineando il beneficio della musica sulla SDLP e, di conseguenza, sulla fatica passiva legata al compito di guida. È importante far presente, inoltre, che ci sono delle differenze significative nel gruppo di studio tra il 4° intervallo (15-20 minuti) e il 5° intervallo (20-25 minuti). Ciò sta a significare che la musica, per quanto riguarda questo gruppo, ha ridotto in maniera significativa la SDLP inducendo un miglioramento del controllo laterale;
- Analizzando la differenza di livello sonoro tra prima e dopo l'attivazione della musica (dB-MUSICA NORMALIZZATA), si può affermare che più è alta la differenza di livello sonoro più è bassa la SDLP; questa non solo è più bassa per quei soggetti la cui prova era caratterizzata da un'elevata differenza di livello sonoro ma, in detti casi, essa tende a non variare col progredire della prova;
- La musica tende ad annullare l'effetto di differenze nel numero di ore di sonno dei soggetti nella notte precedente le prove; la durata del sonno porterebbe, in assenza di musica, ad avere valori più alti di SDLP per chi ha dormito poco;
- Il passaggio tra assenza di musica e musica è caratterizzato da un abbassamento statisticamente significativo della percezione soggettiva di affaticamento da parte

del guidatore. In altre parole, il soggetto si sente meno stanco dopo l'attivazione della musica;

- La fatica percepita dal soggetto dopo 9 minuti di guida è uguale a quella dopo 27 minuti, 7 minuti dopo l'accensione della musica; questo risultato dedotto dall'analisi delle valutazioni soggettive trova conferma nel dato oggettivo riferito alla SDLP (cfr.§3.3.2) che di fatto dopo la riduzione indotta dalla musica tende a risalire nel tempo (effetto limitato nel tempo).

Questi risultati danno una visione più profonda del problema della fatica collegata alla musica, evidenziando diversi aspetti che concorrono alla compromissione delle prestazioni di guida. Poiché ogni aspetto della fatica è correlato a fattori causali specifici, il problema deve essere affrontato con contromisure specifiche, ossia trovando soluzioni pratiche che aiutino i conducenti. In particolare, l'aspetto della guida in ambienti monotoni con una riproduzione musicale non è stato specificamente affrontato in passato, quindi è necessaria un'analisi più approfondita delle caratteristiche del fenomeno con altri esperimenti simili ma complementari al presente. In altre parole, questo studio è un punto di partenza per altri studi legati all'interazione fatica-musica; è necessario fare altre sperimentazioni per capire meglio la connessione tra i due fattori, al fine di giustificare la sperimentazione (e la futura implementazione) di possibili contromisure come, ad esempio:

- Contromisure a bordo del veicolo per segnalare la sonnolenza con dei sistemi che monitorano il livello di attenzione del conducente, per evitare i colpi di sonno. Alcuni sistemi in uso monitorano lo stile di guida, altri lo sguardo o la posizione della testa e in caso di pericolo producono un allarme sonoro, spesso accompagnato dal simbolo della tazzina del caffè e dall'invito di fermarsi per fare una pausa. Si potrebbe sostituire l'allarme sonoro con delle tracce musicali in grado di destare il conducente per il tempo necessario (comunque breve, anche alla luce dei risultati raggiunti in questo lavoro) a raggiungere un luogo in cui fermarsi e recuperare una condizione psico-fisica adeguata ad una guida sicura;
- Contromisure a bordo del veicolo per aumentare la vigilanza, rendendo al minimo tutte le distrazioni all'interno dell'abitacolo;
- Linee guida specifiche nel processo di progettazione stradale, come ridurre al minimo la monotonia nel tracciato stradale e/o nel paesaggio.

Come detto in precedenza, questo studio è un punto di partenza per altri studi, in modo tale da avere una visione più completa del fenomeno; per il momento è possibile affermare che la musica, dopo 20 minuti di guida in silenzio, riporta la SDLP ai livelli iniziali anche se l'effetto positivo dura poco nel tempo. Alcuni possibili sviluppi dello studio compiuto potrebbero essere:

- Aumentare la dimensione del campione (numero e stratificazione) per meglio rappresentare la popolazione dei conducenti e le loro caratteristiche di guida;
- Indagare altre variabili registrate al simulatore, come velocità o variabilità nell'angolo di sterzo;
- Indagare altre variabili fisiologiche come, ad esempio, la PERCLOS (percentuale di tempo passato con gli occhi chiusi), in quanto i dati dell'eyetracker non sono stati analizzati;
- Studiare con un'analisi più avanzata e dettagliata (serie temporali) il rapporto tra BPM della musica e SDLP;
- Modificare il disegno sperimentale, in modo tale da iniziare la prova invertendo le due condizioni di guida: iniziare con la riproduzione musicale e poi passare ad una condizione di guida in assenza di musica, in modo tale da valutare se è la musica che crea una riduzione della SDLP oppure se è il cambiamento della situazione che lo provoca (in questo caso il passaggio musica-no musica); inoltre, una prova dove i soggetti iniziano con la musica è più congrua alla realtà dato che, i partecipanti che hanno una playlist creata per la guida, la ascolteranno sin da subito e non la riprodurranno solo dopo un determinato periodo;
- Modificare il disegno sperimentale nella sua durata, ossia avere tre condizioni successive, come silenzio-musica-silenzio oppure musica-silenzio-musica;
- Aumentare la durata della condizione iniziale, poiché, in accordo con altri studi, i primi 5 minuti della variabile SDLP andrebbero esclusi dall'analisi dei dati in quanto i soggetti devono adattarsi all'ambiente autostradale e si è visto che questo accade dopo i primi 5 minuti di guida (Ronen, 2013; Gastaldi, 2016);
- Sostituire la riproduzione musicale con un allarme sonoro, in modo tale da evidenziare se uno può sostituire altro o se hanno effetti diversi tra di loro sulla fatica passiva del guidatore.

Appendice

Tabella A.1: Autovalutazioni alla guida di ogni singolo soggetto. Medie ottenute considerando le celle vuote come dato mancante.

Soggetto	1°	2°	3°	4°	5°
1	1		4	5	5
2	1	2	2	3	3
3	3	4	4	4	5
4	2	4	4	5	6
5	3	4	3	4	4
6	1	2	1	1	1
7		1	1	1	2
8		1	1	1	2
9	1	2	3	5	
10	1	2		2	3
11	3	5	3	4	4
13	2		3	4	4
14	1	3		3	1
15	2	3	3	3	3
16		4	3		4
17		3		1	2
19	7	8	7	7	8
20	2	2	2	2	3
21	3	4	3	4	4
22	2	3	2	3	3
23		4	4	5	5
24	3	4	3	3	4
25	2	3	3	3	
27	4	6	4	5	6
28	4	4	3	3	3
29	4	3		3	3
30	3	5	3	3	3

31	7		4		5
32	2	5	3	5	6
33	6	8	5	6	6
Media	2,80	3,67	3,12	3,50	3,86

Tabella A.2: Autovalutazioni pre e post esperimento riguardo allo stato di stanchezza e al livello di stress.

Soggetto	SAMN (pre)	SAMN (post)	Stress (pre)	Stress (post)
1	1	3	9	8
2	1	1	8	8
3	1	4	9	7
4	2	4	10	10
5	3	4	7	8
6	2	1	8	10
7	1	2	10	9
8	2	2	8	8
9	3	4	8	8
10	1	2	9	9
11	2	3	6	8
13	2	4	8	8
14	2	2	7	8
15	3	4	5	9
16	1	4	7	6
17	1	1	8	10
19	4	5	4	6
20	1	2	7	7
21	1	4	10	10
22	1	4	9	8
23	3	5	7	7
24	3	4	4	6
25	3	4	9	9
27	2	4	9	3
28	4	3	6	8
29	2	4	3	4
30	4	4	6	8
31	5	4	4	5
32	4	5	7	8
33	4	4	4	8
Media	2,30	3,37	7,20	7,70

Tabella A.3: Autovalutazioni pre e post esperimento riguardo allo sonnolenza e ore di sonno per ogni soggetto.

Soggetto	Ore di sonno [h]	SSS (pre)	SSS (post)
1	7,00	1	2
2	7,50	1	1
3	8,50	2	5
4	6,00	2	3
5	8,00	3	5
6	7,00	1	2
7	7,00	1	1
8	8,00	1	2
9	8,50	2	2
10	7,50	1	2
11	8,00	3	3
13	8,00	2	3
14	8,50	2	1
15	8,00	2	3
16	8,50	2	3
17	8,00	1	1
19	6,50	2	3
20	7,50	2	2
21	9,00	2	2
22	7,50	1	3
23	7,50	3	4
24	7,00	2	3
25	7,00	2	3
27	7,50	2	4
28	7,00	2	2
29	8,50	1	2
30	7,00	2	2
31	6,00	4	3
32	8,50	2	5
33	7,00	3	5
Media	7,58	1,90	2,73

Tabella A.4: Variazione di dB tra assenza e presenza di musica con il valore medio di BPM della musica riprodotta.

Soggetto	No-Musica [dB]	Musica [dB]	Differenza [dB]	BPM medi
1	58,8	61,5	2,7	120,2
2	56,3	62,4	6,1	118,2
3	54,8	63,7	8,9	132,9
4	58,9	63,9	5,0	110,0
5	53,1	62,1	9,0	142,6
6	55,2	64,8	9,6	126,6
7	56,3	63,4	7,1	120,3
8	58,8	63,9	5,1	131,5
9	57,1	58,8	1,7	136,7
10	57,7	64,7	7,0	144,3
11	59,3	63,8	4,5	119,2
13	56,0	64,8	8,8	99,1
14	54,4	63,1	8,7	135,2
15	56,4	62,1	5,7	126,6
16	58,5	65,1	6,6	125,7
17	54,6	60,9	6,3	120,2
19	53,4	58,7	5,3	113,3
20	60,9	63,9	3,0	118,8
21	53,8	62,9	9,1	115,5
22	57,3	63,4	6,1	109,1
23	58,5	64,0	5,5	103,3
24	53,8	65,2	11,4	129,8
25	55,8	62,7	6,9	111,1
27	56,7	66,2	9,5	125,1
28	53,8	61,8	8,0	124,1
29	53,2	60,1	6,9	120,3
30	53,9	66,9	13,0	116,7
31	54,4	64,3	9,9	110,5
32	55,0	65,1	10,1	119,5
33	53,8	63,6	9,8	120,1

Tabella A.5: Confronto fra tutti gli intervalli possibili di ogni gruppo dove group1 e group2 corrispondo ai due intervalli confrontati, n1 e n2 sono il numero delle misurazioni ossia dei soggetti (27 per il Controllo e 30 per il Sample), df sono i gradi di libertà e la significatività dove ns sta a “non significativo” mentre l’asterisco denota significatività.

Group	group1	group2	n1	n2	df	p-value	Significatività
Controllo	1	2	27	27	26	0.38	ns
Controllo	1	3	27	27	26	0.135	ns
Controllo	1	4	27	27	26	0.003	*
Controllo	1	5	27	27	26	0.002	*
Controllo	1	6	27	27	26	0.000181	*
Controllo	1	7	27	27	26	7.89E-05	*
Controllo	1	8	27	27	26	1.56E-05	*
Controllo	1	9	27	27	26	8.20E-07	*
Controllo	1	10	27	27	26	1.76E-05	*
Controllo	2	3	27	27	26	0.31	ns
Controllo	2	4	27	27	26	0.011	*
Controllo	2	5	27	27	26	0.005	*
Controllo	2	6	27	27	26	0.001	*
Controllo	2	7	27	27	26	0.000263	*
Controllo	2	8	27	27	26	0.000105	*
Controllo	2	9	27	27	26	1.90E-05	*
Controllo	2	10	27	27	26	3.20E-05	*
Controllo	3	4	27	27	26	0.027	*
Controllo	3	5	27	27	26	0.003	*
Controllo	3	6	27	27	26	0.002	*
Controllo	3	7	27	27	26	3.71E-05	*
Controllo	3	8	27	27	26	6.04E-05	*
Controllo	3	9	27	27	26	6.02E-06	*
Controllo	3	10	27	27	26	2.84E-06	*
Controllo	4	5	27	27	26	0.11	ns
Controllo	4	6	27	27	26	0.095	ns
Controllo	4	7	27	27	26	0.002	*
Controllo	4	8	27	27	26	0.000823	*
Controllo	4	9	27	27	26	0.000419	*
Controllo	4	10	27	27	26	0.000576	*
Controllo	5	6	27	27	26	0.931	ns
Controllo	5	7	27	27	26	0.218	ns
Controllo	5	8	27	27	26	0.096	ns
Controllo	5	9	27	27	26	0.053	ns
Controllo	5	10	27	27	26	0.027	*
Controllo	6	7	27	27	26	0.036	*

Controllo	6	8	27	27	26	0.085	ns
Controllo	6	9	27	27	26	0.07	ns
Controllo	6	10	27	27	26	0.009	*
Controllo	7	8	27	27	26	0.696	ns
Controllo	7	9	27	27	26	0.671	ns
Controllo	7	10	27	27	26	0.066	ns
Controllo	8	9	27	27	26	0.876	ns
Controllo	8	10	27	27	26	0.231	ns
Controllo	9	10	27	27	26	0.442	ns
Sample	1	2	30	30	29	0.846	ns
Sample	1	3	30	30	29	0.04	*
Sample	1	4	30	30	29	0.078	ns
Sample	1	5	30	30	29	0.906	ns
Sample	1	6	30	30	29	0.148	ns
Sample	1	7	30	30	29	0.024	*
Sample	1	8	30	30	29	0.004	*
Sample	1	9	30	30	29	0.000753	*
Sample	1	10	30	30	29	0.002	*
Sample	2	3	30	30	29	0.000937	*
Sample	2	4	30	30	29	0.003	*
Sample	2	5	30	30	29	0.919	ns
Sample	2	6	30	30	29	0.062	ns
Sample	2	7	30	30	29	0.009	*
Sample	2	8	30	30	29	0.001	*
Sample	2	9	30	30	29	0.000477	*
Sample	2	10	30	30	29	0.002	*
Sample	3	4	30	30	29	0.703	ns
Sample	3	5	30	30	29	0.008	*
Sample	3	6	30	30	29	0.321	ns
Sample	3	7	30	30	29	0.618	ns
Sample	3	8	30	30	29	0.242	ns
Sample	3	9	30	30	29	0.043	*
Sample	3	10	30	30	29	0.039	*
Sample	4	5	30	30	29	0.026	*
Sample	4	6	30	30	29	0.277	ns
Sample	4	7	30	30	29	0.872	ns
Sample	4	8	30	30	29	0.442	ns
Sample	4	9	30	30	29	0.082	ns
Sample	4	10	30	30	29	0.067	ns

Sample	5	6	30	30	29	0.018	*
Sample	5	7	30	30	29	0.000346	*
Sample	5	8	30	30	29	4.00E-05	*
Sample	5	9	30	30	29	2.69E-05	*
Sample	5	10	30	30	29	0.000137	*
Sample	6	7	30	30	29	0.069	ns
Sample	6	8	30	30	29	0.006	*
Sample	6	9	30	30	29	1.86E-05	*
Sample	6	10	30	30	29	0.002	*
Sample	7	8	30	30	29	0.321	ns
Sample	7	9	30	30	29	0.011	*
Sample	7	10	30	30	29	0.006	*
Sample	8	9	30	30	29	0.123	ns
Sample	8	10	30	30	29	0.088	ns
Sample	9	10	30	30	29	0.638	ns

Tabella A.6: Valori dei BPM medi e della VMR per ogni soggetto.

ID	BPM medi	Dev. St. BPM	Var. BPM	VMR
1	120.19	32.73	1071.43	8.914
2	118.22	32.68	1067.75	9.032
3	132.88	28.28	799.50	6.017
4	109.98	23.43	548.89	4.991
5	142.61	28.83	831.41	5.830
6	126.64	23.80	566.57	4.474
7	120.25	31.23	975.25	8.110
8	131.52	25.48	649.36	4.937
9	136.66	42.41	1798.54	13.161
10	144.33	23.02	529.98	3.672
11	119.17	12.96	168.00	1.410
13	99.14	23.11	534.19	5.388
14	135.24	19.64	385.71	2.852
15	126.56	3.77	14.18	0.112
16	125.70	36.02	1297.29	10.320
17	126.67	14.79	218.62	1.726
19	113.26	13.21	174.46	1.540
20	118.78	28.69	823.36	6.932
21	115.45	28.69	823.36	7.132
22	109.08	18.41	338.79	3.106
23	103.27	16.15	260.98	2.527
24	129.83	21.13	446.44	3.439
25	111.07	28.59	817.33	7.359
27	125.11	21.48	461.25	3.687
28	124.09	9.51	90.50	0.729
29	120.31	30.85	951.90	7.912
30	116.66	28.79	828.86	7.105
31	110.46	15.76	248.48	2.250
32	119.53	26.28	690.75	5.779
33	120.08	15.32	234.70	1.954

Bibliografia

- Adan A., and Almirall, H. (1991). "Horne & Ostberg Morningness-Eveningness Questionnaire: a reduced scale". *Personality and Individual Differences*.
- Alm, H. (1996). "Driving Simulators as Research Tools: A Validation Study Based on the VTI Driving Simulator". *Swedish National Road and Transport Research Institute, Linköping, Sweden*.
- Bonferroni, C. E. (1936). "Teoria statistica delle classi e calcolo delle probabilità". *Firenze: Seeber*.
- Box, G. E. P., & D. R. Cox. (1964). "An Analysis of Transformations." *Journal of the Royal Statistical Society*.
- Brookhuis, K. A., de Vries, G., & de Waard, D. (1991). "The effects of mobile telephoning on driving performance". *Accident Analysis and Prevention*.
- Buysse D. J., Reynolds, C.F., Monk, T. H., Berman, S. R., & Kupfer, D. J. (1989). "The Pittsburgh Sleep Quality Index: A new instrument for psychiatric practice and research". *Psychiatry Research*.
- Cassidy, Macdonald. (2009). "The effects of music choice on task performance: A study of the impact of self-selected and experimenter-selected music on driving game performance and experience". *Scand J Psychol*.
- Connor, J., R. Norton, S. Ameratunga, E. Robinson, B. Wiggmore, and R. Jackson. (2001). "Prevalence of Driver Sleepiness in a Random Population-Based Sample of Car Driving". *Sleep*.
- Conover, W. J., Iman, Ronald L. (1981). "Rank Transformations as a Bridge Between Parametric and Nonparametric Statistics". *The American Statistician*.
- Devi M. S. and Bajaj P. R. (2008). "Driver Fatigue Detection Based on Eye Tracking," *2008 First International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology*.

- Di Stasi LL, McCamy MB, Pannasch S, Renner R, Catena A, Cañas JJ, Velichkovsky BM, Martinez-Conde S. (2015). "Effects of driving time on microsaccadic dynamics". *Exp Brain Res*.
- Dibben, N., & Williamson, V. J. (2007). "An exploratory survey of in-vehicle music listening". *Psychology of Music*.
- Farrell J. (2020). "The Effect of Increasing Music Volume on Reaction Time". *The Journal of Science and Medicine*.
- Freuli, F., De Cet, G., Gastaldi, M., Orsini, F., Tagliabue, M., Rossi, R., & Vidotto, G. (2020). "Cross-cultural perspective of driving style in young adults: Psychometric evaluation through the analysis of the Multidimensional Driving Style Inventory". *Transportation Research Part F-traffic Psychology and Behaviour*.
- Friedman, M. (1937). "The use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance". *Journal of the American Statistical Association*.
- Gastaldi, Rossi et al. (2016). "Caffeinated Chewing Gum as Countermeasure to Drivers' Passive Task-Related Fatigue Caused by Monotonous Roadway". *Transportation research record* 2602.
- Gimeno, Pilar Tejero, Gemma Pastor Cerezuela, and Mariano Choliz Montanes. (2006). "On the concept and measurement of driver drowsiness, fatigue and inattention: implications for countermeasures". *International journal of vehicle design*.
- Ghotbi N, Pilz LK, Winnebeck EC, et al. (2020). "The μ MCTQ: An Ultra-Short Version of the Munich ChronoType Questionnaire". *Journal of Biological Rhythms*.
- Greenhouse, S. W., Geisser, S. (1959). "On methods in the analysis of profile data". *Psychometrika*.
- Hayami T., K. Matsunaga, K. Shidoji, and Y. Matsuki. (2002). "Detecting drowsiness while driving by measuring eye movement - a pilot study". *Intelligent Transportation Systems*.
- Helland, A., Jenssen, G. D., Lervåg, L.-E., Westin, A. A., Moen, T. (2013). "Comparison of driving simulator performance with real driving after alcohol intake: A randomised, single blind, placebo-controlled, cross-over trial". *Accident Analysis & Prevention*.

- Hoddes E, Zarcone V, Smythe H, Phillips R, Dement WC. (1973). "Quantification of sleepiness: a new approach". *Psychophysiology*.
- Holm, S. (1979) "A Simple Sequentially Rejective Multiple Test Procedure". *Scandinavian Journal of Statistics*.
- Huynh, H., & Feldt, L. S. (1976). "Estimation of the Box correction for degrees of freedom from sample data in randomised block and split-plot designs." *Journal of Educational Statistics*.
- Johns M. W. (1991). "A new method for measuring daytime sleepiness: the Epworth sleepiness scale". *Sleep*.
- Johns, M. W. (1998). "Rethinking the assessment of sleepiness". *Sleep Medicine Reviews*.
- Kennedy, R., Lane, N., Barbaum, K., & Lillenthal, M. (2009). "Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness". *The International Journal of Aviation Psychology*.
- Lamble, D., Kauranen, T., Laakso, M., & Summala, H. (1999). "Cognitive load and detection thresholds in car following situations: Safety implications for using mobile (cellular) telephones while driving". *Accident Analysis and Prevention*.
- Lenne, M. G., Triggs, T. J., & Redman, J. R. (1997). "Time of day variations in driving performance". *Accident Analysis and Prevention*.
- Li R., Chen Y. V., Zhang L. (2019). "Effect of music tempo on long-distance driving: Which tempo is the most effective at reducing fatigue?". *I-Perception*.
- Louwerens, J., Gloerich, A., De Vries, G., Brookhuis, K., & O'Hanlon, J. (1987). "The relationship between drivers' blood alcohol concentration (BAC) and actual driving performance during high-speed travel. ." *Alcohol Drugs Traffic Saf.*
- Mauchly, J. W. (1940). "Significance Test for Sphericity of a Normal n-Variate Distribution". *The Annals of Mathematical Statistics*.
- May, J. F., and C. L. Baldwin. (2009). "Driver Fatigue: The Importance of Identifying Causal Factors of Fatigue When Considering Detection and Countermeasure Technologies". *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*.

- Natale, V., Esposito, M. J., Martoni, M., and Fabbri, M. (2006). "Validity of the reduced version of the Morningness–Eveningness Questionnaire". *Sleep Biol. Rhythms*.
- North, A. C., Hargreaves, D. J., & Hargreaves, J. J. (2004). "Uses of music in everyday life". *Music Perception*.
- Pack, A. I., Pack, A. M., Rodgman, E., Cucchiara, A., Dinges, D. F., & Schwab, C. W. (1995). "Characteristics of crashes attributed to the driver having fallen asleep". *Accident Analysis and Prevention*.
- Roenneberg T, Wirz-Justice A, Mellow M. (2003). "Life between clocks: daily temporal patterns of human chronotypes". *J Biol Rhythms*.
- Ronen, A., & N. Yair. (2013). "The Adaptation Period to a Driving Simulator". *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*.
- Rossi, R., M. Gastaldi, and G. Gecchele. (2001). "Analysis of Driver Task-Related Fatigue Using Driving Simulator Experiments". *Procedia-Social and Behavioral Sciences*.
- Rossi R., Slide del corso di *Fattori Umani nella Sicurezza dei Sistemi di Trasporto*, Università degli studi di Padova, 2020.
- Samn, S. W., & Perelli, L. P. (1982). "Estimating aircrew fatigue: a technique with application to airlift operations". *School of Aerospace Medicine Brooks Afb tx*.
- Suhandi Junaedi & Habibullah Akbar. (2018). "Driver Drowsiness Detection Based on Face Feature and PERCLOS". *J. Phys.: Conf*.
- Taubman-Ben-Ari O, Mikulincer M, Gillath O. (2004). "The multidimensional driving style inventory-scale construct and validation". *Accident Analysis & Prevention*.
- Thiffault, P., & Bergeron, J. (2003). "Fatigue and individual differences in monotonous simulated driving". *Personality and Individual Differences*.
- Ting, P.-H., J.-R. Hwang, J.-L. Doong, and M.-C. Jeng. (2008). "Driver Fatigue and Highway Driving: A Simulator Study". *Physiology and Behavior*.
- Ünal, A. B., de Waard, D., Epstude, K., & Steg, L. (2013). "Driving with music: Effects on arousal and performance". *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*.

- Upton, G.; Cook, I. (2006). "Oxford Dictionary of Statistics (2nd ed.)". *Oxford University Press*.
- Van der Sluiszen, N., Vermeeren, A., Jongen, S., Theunissen, E., van Oers, A., Van Leeuwen, C., Ramaekers, J. (2016). "On-the-road driving performance after use of the antihistamines mequitazine and l-mequitazine, alone and with alcohol". *Psychopharmacology*.
- Verster, J. C., & Roth, T. (2011). "Standard operation procedures for conducting the on-the-road driving test, and measurement of the standard deviation of lateral position (SDLP)". *International journal of general medicine*.
- Weir, D. H., and A. J. Clark. (1995). "A Survey of Mid-Level Driving Simulators". In *Vehicle Computer Applications: Vehicle Systems and Driving Simulation*.
- Wilcoxon, Frank. (1945). "Individual Comparisons by Ranking Methods." *Biometrics Bulletin*.
- Yerkes, R.M., & Dodson, J.D. (1908). "The Relation of Strength of Stimulus to Rapidity of Habit Formation". *Journal of Comparative Neurology & Psychology*.
- Zigmond AS, Snaith RP. (1983). "The hospital anxiety and depression scale". *Acta Psychiatr Scand*.

Ringraziamenti

Ringrazio il mio relatore, il Professore Riccardo Rossi, per la sua disponibilità ad accettare la mia proposta di tesi e ad essere stato sempre disponibile per migliorare il mio progetto di tesi, nonché il mio correlatore il Professore Massimo Grassi, senza il quale non sarebbe stato possibile effettuare l'intero studio.

Ringrazio particolarmente la mia famiglia che mi ha permesso di intraprendere questo percorso universitario ormai giunto al termine e per avermi sostenuto soprattutto nei momenti più difficili senza mai avermi fatto mancare niente.

Un ringraziamento va anche all'Ing. Baldassa e all'Ing. Orsini che mi hanno aiutato per lo svolgimento della tesi in tutta la sua stesura, dal reclutamento dei soggetti fino all'analisi dei dati.

Volevo ringraziare tutte le altre persone che mi sono state vicino e che mi hanno aiutato in questo cammino, tra cui amici di una vita e chi ho conosciuto da poco, nonché i soggetti che si sono offerti volontari per gli esperimenti e che hanno speso un'ora del loro tempo per il mio progetto di tesi.

Ultimo ma non per importanza, un ringraziamento speciale va fatto anche a Giulia che mi è sempre stata accanto sopportandomi e supportandomi. Grazie che hai sempre creduto in me e che non ti sei mai tirata indietro quando c'era bisogno di un aiuto. Grazie soprattutto per quei giorni persi a causa del mio studio, fonte di giornate passate per lo più ad annoiarti e ad aspettarmi.

Doveroso dedicare tutto questo anche a me stesso. Dopo anni di rinunce, sforzi e studio, è stato raggiunto un traguardo significativo che mi premia per tutto quello che è stato fatto.

Padova, 20 luglio 2022

Pietro Vascon