

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE EDILE ED AMBIENTALE**

Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria della Sicurezza Civile e Industriale

Tesi di Laurea Magistrale

**Controllo laterale del veicolo in condizioni di fatica
passiva del conducente.
Esperimenti al simulatore di guida.**

**Relatore: Prof. Riccardo Rossi
Correlatore: Dott. Nicola Cellini**

**Laureando: Giovanni Costantini
Matricola n°1177815**

ANNO ACCADEMICO 2018-2019

*A mio fratello Giulio,
che il dolore di ieri sia la forza di oggi*

SOMMARIO

SOMMARIO	5
ABSTRACT	9
INTRODUZIONE	11
CAPITOLO 1: LA FATICA	15
1.1 Verso una definizione di fatica	15
1.1.1 <i>Che cos'è la fatica?</i>	17
1.1.2 <i>Definizione di fatica nell'uso quotidiano</i>	18
1.1.3 <i>Definizione di fatica come esperienza</i>	21
1.1.4 <i>Definizione di fatica come condizione fisiologica</i>	21
1.1.5 <i>Definizione di fatica come decremento delle prestazioni</i>	22
1.1.6 <i>Fatica e sonnolenza</i>	23
1.1.7 <i>Una nuova definizione di fatica</i>	23
1.2 Fatica attiva e passiva	25
CAPITOLO 2: TECNOLOGIE PER LA SICUREZZA	29
2.1 Sistemi di supporto alla guida	29
2.2 ADAS	30
2.2.1 <i>Adaptive Cruise Control (ACC)</i>	31
2.2.2 <i>Autonomous Emergency Braking</i>	32
2.2.3 <i>Adaptive Light Control</i>	32
2.2.4 <i>Automatic Parking System</i>	32
2.2.5 <i>Blind Spot Monitor</i>	33
2.2.6 <i>Camera Monitor System</i>	33
2.2.7 <i>Cross Traffic Alert</i>	34
2.2.8 <i>Driving Attention Assist</i>	34
2.2.9 <i>Emergency Driver Assist</i>	34
2.2.10 <i>Hill Descent Control</i>	35
2.2.11 <i>Lane Change Assist</i>	35
2.2.12 <i>Lane Keeping Assist</i>	35
2.2.13 <i>Night View Assist</i>	35
2.2.14 <i>Traffic Jam Assist</i>	36
2.2.15 <i>Traffic Sign Recognition</i>	36
2.3 Ausili tecnologici per la fatica del guidatore	37
2.3.1 <i>Tecnologia di rilevamento e avviso</i>	37
2.3.2 <i>Prevenzione degli incidenti</i>	38
2.3.3 <i>Contromisure alla fatica</i>	38

2.4 Classificazione sistemi di monitoraggio per la fatica	39
2.5.1 Attività corticale (EEG)	40
2.5.2 Battito cardiaco (ECG)	41
2.5.3 Temperatura corporea	41
2.5.4 Rilassamento dei muscoli	41
2.5.5 Respiro	41
2.5.6 Sudorazione delle mani	41
2.5.7 Movimenti della testa	41
2.5.8 Postura	42
2.5.9 Pressione sul volante	42
2.5.10 Monitoraggio degli occhi e del viso	42
2.6 Sistemi che analizzano segnali del sistema veicolo	43
2.6.1 Dinamica del veicolo	43
2.6.2 Operazioni di guida effettuate dal conducente	43
2.7 Risposta a stimoli esterni	45
2.8 Verso il 2022	45
CAPITOLO 3: PREVENZIONE E SANZIONI	47
3.1 Segnali di pericolo per guidatori assonnati	47
3.2 Sanzioni in caso d'incidente	47
CAPITOLO 4: I SIMULATORI DI GUIDA PER LA SICUREZZA STRADALE	49
4.1 Simulare	49
4.2 Percezione vs realtà	49
4.3 I primi simulatori	50
4.4 Vantaggi e svantaggi	52
4.5 Validazione	53
4.6 Il simulatore di guida del DICEA	53
4.6.1 Apparato Hardware	53
4.6.2 Software	57
CAPITOLO 5: LA RICERCA	61
5.1 Progettazione dell'ambiente virtuale	61
5.2 Struttura dell'esperimento	64
5.2.1 I partecipanti	65
5.2.2 Le istruzioni ai partecipanti	67
5.2.3 La somministrazione dei questionari	67
5.2.4 Gli strumenti utilizzati	70

5.2.5 La procedura sperimentale e il compito di guida	70
CAPITOLO 6: ANALISI E RISULTATI	73
6.1 Tipologia di analisi statistiche	73
6.2 Programmi utilizzati per le analisi	74
6.3 Deviazione standard della posizione laterale (SDLP)	75
6.3.1 Analisi SDLP sull'intero campione	75
6.3.2 Analisi SDLP su campione ridotto	77
6.4 Superamento del limite della corsia	80
6.4.1 Percentuale di tempo di "fuori corsia". Casi di assenza di perdita totale del controllo	80
6.4.2 Percentuale di tempo di "fuori corsia". Campione ridotto	82
6.5 Scostamento laterale rispetto al limite della corsia	83
6.5.1 Scostamento "fuori corsia". Casi di assenza di perdita totale del controllo	83
6.5.2 Scostamento "fuori corsia". Campione ridotto	84
6.5.3 Scostamento "fuori corsia" a destra. Campione ridotto	84
6.5.4 Scostamento "fuori corsia" a sinistra. Campione ridotto	85
6.6 Deviazione standard dell'angolo di sterzata (SDSE)	85
6.6.1 Analisi della SDSE. Campione ridotto	85
6.7 High Frequency (HF)	87
6.7.1 Analisi della HF (57 soggetti)	87
CAPITOLO 7: CONCLUSIONI	89
7.1 Risultati	89
7.2 Sviluppi futuri	91
APPENDICE: ANALISI	93
A.6.1 Tipologia di analisi statistiche	93
A.6.3 Deviazione standard della posizione laterale (SDLP)	94
A.6.3.1 Analisi SDLP sull'intero il campione	94
A.6.3.2 Analisi SDLP su campione ridotto	112
A.6.4 Superamento del limite della corsia	116
A.6.4.1 Percentuale di tempo di "fuori corsia". Casi di assenza di perdita totale del controllo	116
A.6.4.2 Percentuale di tempo di "fuori corsia". Campione ridotto	118
A.6.5 Scostamento laterale rispetto al limite della corsia	121
A.6.5.1 Scostamento "fuori corsia". Casi di assenza di perdita totale del controllo.	121
A.6.5.2 Scostamento "fuori corsia". Campione ridotto	123
A.6.5.3 Scostamento "fuori corsia" a destra. Campione ridotto	126
A.6.5.4 Scostamento "fuori corsia" a sinistra. Campione ridotto	128

A.6.6 Deviazione standard dell'angolo di sterzata (SDSE)	131
A.6.6.1 Analisi della SDSE. Campione ridotto	131
A.6.7 High Frequency (HF)	134
A.6.7.1 Analisi della HF (57 soggetti)	134
TABELLA ACRONIMI	137
INDICE FIGURE, GRAFICI E TABELLE	139
RINGRAZIAMENTI	143
BIBLIOGRAFIA	145

ABSTRACT

In questa tesi, dopo un'attenta ricerca nella letteratura relativa al fenomeno della fatica alla guida di veicoli stradali, sono stati analizzati gli effetti della fatica passiva mediante esperimenti condotti con l'ausilio di un simulatore di guida. Complessivamente 66 soggetti sono stati invitati a guidare in un ambiente autostradale monotono per circa 50 minuti. Come variabili di osservazione sono state utilizzate la deviazione standard della posizione laterale del veicolo, la deviazione standard dell'angolo dello sterzo e gli output prodotti da un rilevatore di frequenza cardiaca. Tutti i risultati hanno confermato l'influenza negativa della durata dell'attività di guida, confermando che la fatica passiva è un fattore determinante di rischio per la sicurezza stradale a cui si può associare un effetto significativo sulla probabilità di osservare incidenti o "quasi incidenti".

In this study, after a careful literature research on the definition of fatigue, the effects of passive driving fatigue were analysed by means of a driving simulator. 66 subjects were asked to drive in a monotonous highway environment for about 50 minutes in the early afternoon (1pm-4pm). The standard deviation of the vehicle lateral position (SDLP), the standard deviation of the steering angle (SDSE) and the electrocardiogram outputs were all investigated as response variables. All the results confirmed the negative influence of driving time and the circadian effects on driving performance, confirming that passive fatigue is a determining factor for road safety risk which can increase the likelihood of accidents or "near misses" accidents.

INTRODUZIONE

Nel 2017 sono stati 174.933 gli incidenti stradali con lesioni a persone in Italia, in leggero calo rispetto al 2016, con 3.378 vittime (morti entro 30 giorni dall'evento) e 246.750 feriti (Figura 0.1). Tra i comportamenti errati più frequenti vi sono la distrazione alla guida, il mancato rispetto della precedenza e la velocità troppo elevata (nel complesso il 40,8% dei casi). Questi sono i dati che l'Istat ha pubblicato nel luglio 2018 sugli incidenti stradali del 2017. Il calo registrato è stato conseguito grazie all'impegno dei diversi soggetti istituzionali coinvolti: l'AcI (ente partecipante), la Polizia Stradale, i Carabinieri, le Polizie locali, gli uffici di statistica e i centri di monitoraggio per la sicurezza stradale di Comuni, Province, Province autonome e Regioni aderenti al Protocollo di intesa nazionale per il coordinamento delle attività della rilevazione statistica (Figura 0.1).

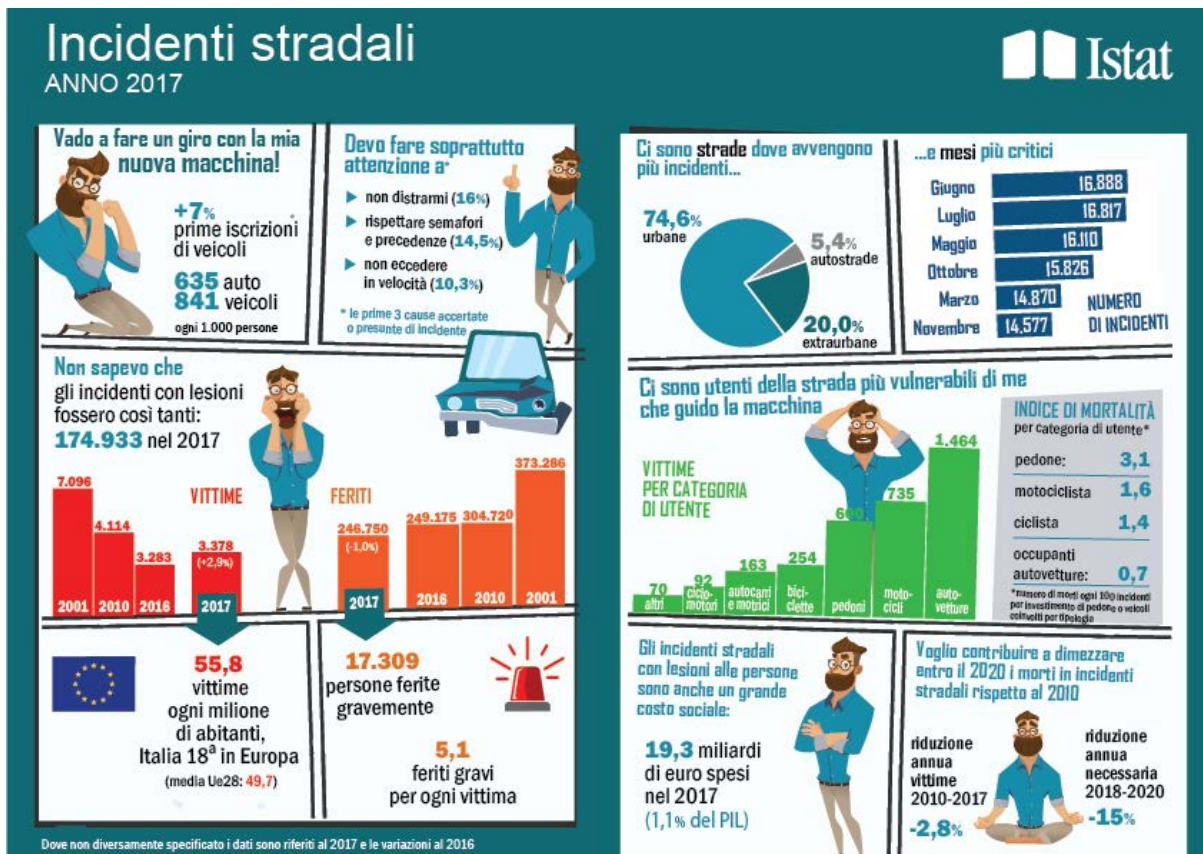


Figura 0.1: Report Incidenti stradali ISTAT 2017 (ISTAT 2018)

Nel rapporto (ISTAT 2018) la distrazione viene identificata come causa primaria degli incidenti. Ma che cosa ricade in questo ambito? Oltre alla mancanza di attenzione posta nel compito che si sta svolgendo, ricadono anche la fatica e la sonnolenza dell'autista. Queste ultime cause non vengono quasi mai citate nei rapporti annuali, rese meno evidenti da cause come velocità eccessiva, situazione meteorologica o condizioni del veicolo. Pur essendo riconosciuta come uno dei più

importanti problemi di sicurezza nei sistemi di trasporto, è tuttavia ancora sottostimata come fattore determinante degli incidenti stradali.

Eppure:

- L'eccessiva sonnolenza è associata approssimativamente (come causa diretta o concausa) ad un quinto degli incidenti stradali ed è una delle principali cause di incidenti mortali in autostrada;
- Dormire meno di 5 ore per notte aumenta di 4,5 volte la probabilità di avere un incidente;
- Stare svegli per 24 ore induce errori alla guida simili a quelli commessi da chi ha livelli di alcool nel sangue uguali o superiori a 1 g/l;
- Le persone affette da sindrome delle apnee ostruttive nel sonno (OSAS) hanno un rischio incidentale da 2 a 7 volte superiore a quello osservato nelle persone sane.
- Gli incidenti causati dal "colpo di sonno", definito anche come "killer silenzioso" sono i più gravi, con un elevato rischio di mortalità dovuto a totale inazione del guidatore;
- I pericoli connessi alla sonnolenza aumentano con l'aumentare delle ore trascorse alla guida senza pausa.

Ecco perché, molti studi in tutto il mondo hanno messo in evidenza l'importanza dello studio della fatica alla guida.

Gli studi sulla sonnolenza derivano da ricerche che si concentrano soprattutto sull'affaticamento del conducente; tuttavia, l'affaticamento del conducente non porta sempre alla sonnolenza. Tutti i diversi tipi di affaticamento del conducente portano ad un peggioramento delle prestazioni di guida e possono essere indotti mediante diverse manipolazioni sperimentali: guidare in condizioni di traffico impegnative può causare affaticamento del conducente a causa dell'elevato carico mentale, ma raramente porta a sonnolenza. Al contrario la sonnolenza sorge quando le persone sono obbligate a guidare in condizioni di privazione di sonno o durante i periodi della giornata in cui i ritmi circadiani favoriscono la tendenza ad addormentarsi. Inoltre, anche la guida in scenari stradali monotoni può indurre la sonnolenza a causa della mancanza di stimoli che catturino l'attenzione del conducente e della scarsa esigenza cognitiva. Questo ultimo effetto è potenziato quando associato a privazione del sonno o agli effetti del ritmo circadiano. I modelli di sonno/veglia seguono il ritmo circadiano naturale del corpo o l'orologio interno, che spinge gli esseri umani a dormire durante la notte e ad essere svegli durante il giorno. La riduzione delle prestazioni è evidente durante le depressioni del ritmo circadiano. Relativamente alla guida, ci sono due picchi di rischio relativo agli incidenti stradali (cioè il rapporto tra il numero di incidenti e il volume del traffico) a causa di una combinazione di privazione del sonno e pressione circadiana del sonno: tra le 3:00 e le 6:00 e tra le 13:30 e le 16:00 (Garbarino 2001). L'impatto dei ritmi circadiani sugli incidenti stradali è stato dimostrato anche durante un'attività di simulazione di guida. Per questi motivi, la sonnolenza è una delle principali cause di incidenti che si verificano durante la notte (0:00-7:00) o a metà pomeriggio (13:30-16:00). Nell'ultimo decennio, circa la metà dei conducenti adulti del campione considerato affermato di aver guidato durante uno stato di sonnolenza ed è stato stimato che la percentuale di incidenti mortali a causa della sonnolenza varia tra il 21 e il 28 % (He 2017) (Sahayadhas 2012). Considerando i costi sociali legati agli incidenti dovuti alla sonnolenza, si stanno dedicando molti sforzi alla progettazione e attuazione di tecnologie in grado di rilevare in anticipo l'insorgenza della sonnolenza, in modo da fornire segnali ai conducenti sulla necessità di interrompere la guida.

L'obiettivo di questa tesi è proprio quello di studiare, attraverso la sperimentazione con un simulatore di guida, la fatica dei conducenti in particolare la fatica passiva dovuta al compito. Dopo i primi capitoli di carattere bibliografico ed informativo seguirà una parte dedicata alla spiegazione dell'apparato utilizzato (Capitolo 4), una sul disegno sperimentale e in conclusione saranno presentate le analisi condotte.

CAPITOLO 1: La Fatica

Nel presente capitolo è ricercata una definizione del tema oggetto del presente lavoro di tesi mediante un'attenta ricerca nella letteratura. Sono inizialmente proposte le definizioni di fatica nell'uso quotidiano per poi passare alla definizione ottenuta dall'esperienza che l'uomo acquisisce nel tempo. Successivamente viene presentata la definizione come condizione fisiologica, come decremento delle prestazioni e la sua correlazione con la sonnolenza. Il capitolo si conclude con la differenza tra fatica attiva e passiva.

1.1 Verso una definizione di fatica

Da anni nel settore produttivo dell'"automotive" e nell'ambito dell'ingegneria dei sistemi di trasporto si progettano, realizzano e gestiscono i sistemi di interazione tra veicolo ed infrastruttura in modo da minimizzare il rischio e ridurre di conseguenza il numero di incidenti. Lo studio dei fattori umani ha quindi come obiettivo ridurre la probabilità e le conseguenze negative (lesione o decesso) dell'errore umano mediante una progettazione compatibile dei sistemi (veicolo e infrastrutture) considerando le caratteristiche ed i limiti soggettivi degli individui.

I sistemi di trasporto dovrebbero funzionare tutto il giorno, la società contemporanea richiede operazioni no stop; c'è però un fattore dei sistemi di trasporto che non è fatto per l'attività continuata: la componente umana. L'obiettivo è analizzare e identificare gli elementi del fattore umano che entrano in gioco nell'interazione tra guidatore infrastruttura e veicolo.

I limiti umani, intrinseci con la società contemporanea "di 24 ore", hanno portato a un problema pervasivo: la fatica.

La fatica del conducente è un serio problema di sicurezza che comporta anche la perdita di vita delle persone (Lee 2006). La fatica è una causa / con-causa in circa il 35 % di tutti gli incidenti mortali che si verificano nelle aree extra-urbane e il 12 % di quelli nelle aree urbane (Hartley 2004).

Nonostante la sua importanza per la salute e la sicurezza, c'è una lunga storia di disaccordi nel modo di rendere operativa la fatica quando la si studia nei sistemi di trasporto.

Molti di noi hanno sperimentato la fatica, "tirato" tutta la notte, costretto loro stessi al limite, o provato a guidare quell'ultima ora. Tutti, almeno una volta nella nostra vita, ci siamo sentiti affaticati. Palpebre cadenti, testa che annuisce, riluttanza a continuare e una strategia cosciente e impegnativa per combattere la fatica. Può assumere la forma di un umore negativo (spossatezza, stanchezza), di uno stato mentale deconcentrato (disagio, distrazione e frustrazione) o di uno stato fisico spiacevole (emicranie, tensioni e dolori muscolari).

Tuttavia, nonostante l'interesse generale per la fatica e il gran numero di libri dedicati a questo tema, l'argomento è mal compreso. Verso la fine del 1800 si è avuto un aumento di ricerche che ha raggiunto il punto più alto nel 1930 (Figura 1.1). Il periodo che va dal 1900 al 1940 è stato caratterizzato da una grande quantità di studi empirici, da un diffuso interesse teorico e da una forte attenzione a come le conoscenze acquisite potessero essere applicate nel campo dell'istruzione e in quello industriale. Dopo di allora, la fatica pian piano è uscita dalle tematiche scientifiche, al punto

che all'inizio del nuovo secolo appare raramente persino negli indici dei manuali moderni di psicologia cognitiva.

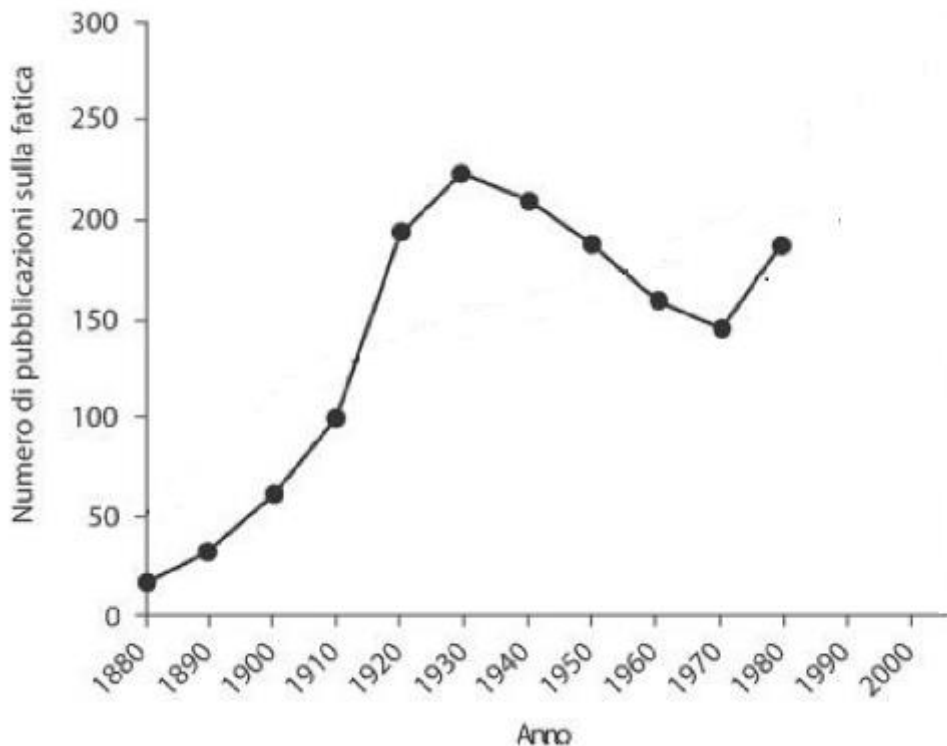


Figura 1.1: Variazioni nella frequenza delle pubblicazioni sulla fatica dal 1890 al 2000. Fonte: Argentero (2013)

Negli ultimi vent'anni, c'è stato un leggero aumento di interesse nelle ricerche scientifiche in questo ambito grazie a due settori. Da un lato c'è la preoccupazione per gli effetti della fatica, sotto forma di privazione del sonno, in particolare nelle applicazioni militari e dei trasporti. Dall'altro, vi è la proliferazione di ricerche in contesti medici e neurologici. Grazie a questi nuovi interessi, oggi, si sono raggiunti gli stessi picchi degli anni '30 e '40 del secolo scorso.

Tuttavia, non esiste ancora una idea generalmente accettata di cosa sia la fatica; non esiste una teoria matura sulle sue origini e della sua funzione, e poco si sa delle relazioni che intercorrono fra diversi tipi di fatica (fisica, mentale, sonnolenza). Al centro sta l'ipotesi che l'esperienza della fatica abbia la funzione di segnale adattivo per il controllo efficace delle azioni e della motivazione umana. Il fisiologo italiano Angelo Mosso ha scritto della fatica che: "quanto a primo aspetto può sembrare un'imperfezione del nostro corpo, è invece una delle sue perfezioni più meravigliose. La fatica crescendo rapidamente del lavoro compiuto, ci salva dal danno che recherebbe all'organismo la minore sensibilità" (Mosso 1891).

La fatica è sempre stata associata al lavoro, specificamente con l'esaurimento dell'energia a causa di un lavoro eccessivo. Questa concezione è considerata da tempo una spiegazione inadeguata della varietà di fenomeni della fatica. Due studiosi americani concludevano che, anche nel caso di lavoro fisico, se proprio non era estremo, la fatica rappresentava non un'incapacità di svolgere lavoro, ma una mancanza di desiderio, un "tentativo di allontanarsi o di sfuggire a una situazione" (Bartley 1947). A un certo livello, il lavoro può rappresentare semplicemente il carico fisico e mentale imposto al corpo e al cervello, definito dal fabbisogno energetico delle attività svolte. È noto che sia importante come le attività vengano intese da chi le esegue: se sono definite esternamente (date

da compiti) o scelte liberamente (tempo libero), o se sono compiti che consentono o meno un grado elevato di controllo. Come si sa da tempo (Thorndike 1900), quando le attività sono intraprese di propria iniziativa, il lavoro mentale non è percepito come stancante, e può addirittura avere l'effetto opposto. La fatica viene inoltre identificata come effetto centrale dell'essere affaticati un'avversione a ulteriori attività che richiedano livelli elevati di sforzo. È importante esplicitare il collegamento fra fatica e sforzo. Si assume che lo sforzo sia precursore della fatica, che poi si inneschi un'attività di controllo al fine di ridurre lo sforzo. Dover profondere uno sforzo continuamente crescente è funzionalmente equivalente a essere sempre più stanchi.

Quindi, la fatica, a differenza della concezione di deficit di energia, influenza principalmente la scelta e il controllo degli obiettivi.

1.1.1 Che cos'è la fatica?

Come possiamo definire la fatica? Quali sono i criteri psicologici per identificarla? Che cosa fa?

Queste sono le domande che si sono ripresentate regolarmente durante tutta la storia del problema e, ancora, non siamo in grado di fornire risposte definitive. Nell'affrontare il tema della definizione, esistono tre problemi:

1. Diffusa ipotesi che la fatica riguardi principalmente una diminuzione, per esempio, delle capacità;
2. La fatica non è solamente legata a diminuzione di capacità, ma anche, alla soggettività delle esperienze e a cambiamenti psicologici;
3. Il termine, in differenti gruppi scientifici, ha assunto diversi significati: in medicina si pensa alla fatica come una conseguenza debilitante di un'ampia gamma di malattie, i neurofisiologi si concentrano sulla perdita di controllo motorio che porta a una riduzione della forza muscolare, i ricercatori del sonno la considerano una condizione generata da un sonno di cattiva qualità o di ridotta durata.

Una delle prime definizioni date è la seguente (JE. 1914):

“fatica è un termine molto generale che, nella sua accezione più ampia, abbraccia tutti quei cambiamenti immediati e temporali, di carattere funzionale ed organico, che si verificano in un organismo o in qualsiasi delle sue parti costruttive, come risultato diretto dei suoi stessi sforzi, e che tendono a interferire con le ulteriori attività dell'organismo, o a inibirle”

I tentativi di definire la fatica sono associati a un enigma irrisolvibile posto dallo psicologo industriale australiano Bernard Muscio (Muscio 1921). Secondo Muscio, per definire qualsiasi fenomeno (ad es. la fatica) dobbiamo essere in grado di misurarlo, e pur misurandolo abbiamo bisogno di uno strumento di valutazione valido. Tuttavia, non possiamo costruire uno strumento senza sapere quale sia esattamente quello che dobbiamo misurare. Per questi motivi, la maggior parte della scienza è effettivamente resa inoperabile, perché ciò implica che si debba definire ciò che ci si propone di definire.

È necessario avere ben chiaro che cosa intendiamo per fatica. Un punto di partenza è la definizione di Bartlett (Bartlett 1953):

“fatica è un termine utilizzato per coprire tutti quei cambiamenti determinabili nell’espressione di un’attività che possono essere ricondotti all’esercizio continuo di quell’attività nelle sue condizioni operative normali, e che si può mostrare conducano, o immediatamente o dopo un certo ritardo, a un deterioramento dell’espressione di quella attività, o, più semplicemente, a risultati non desiderati, nell’ambito di quell’attività.”

Questa definizione ha diverse caratteristiche, in primo luogo la fatica è identificata come processo, un problema che si aggrava associato all’attività continua relativa a un compito. Questa rimane la definizione fondamentale degli effetti della fatica nelle prestazioni dovute a un compito. In secondo luogo, Bartlett (Bartlett 1953) pone attenzione a non identificare gli effetti della fatica con una riduzione in sé. Suggerisce che “sentirsi stanchi” può, in effetti, rappresentare uno stadio relativamente tardo del processo della fatica, “quando molti effetti indesiderati hanno già invaso le prestazioni” e identifica 3 fasi nello sviluppo della fatica prima che si verifichi un calo complessivo identificabile nel prodotto e nella velocità del lavoro:

1. Perdita di sincronizzazione e controllo di successivi elementi del compito;
2. Perdita di organizzazione, o aggiustamenti nel modo in cui il compito viene gestito;
3. Sensazione di fatica e disagio fisico.

Anche se Bartlett (Bartlett 1953) assume un deterioramento graduale delle prestazioni, lo sviluppo della fatica può avere conseguenze sulle attività successive al compito.

1.1.2 Definizione di fatica nell’uso quotidiano

Secondo i dizionari inglesi (ma anche secondo la (Treccani s.d.)), la fatica negli umani è “l’estrema stanchezza derivante da uno sforzo mentale o fisico” (Oxford 2013) (Tabella 1.1). Un confronto con le definizioni di stanchezza (“bisogno di dormire o riposare”) e sonnolenza (“lo stato dell’essere addormentato”) dimostra che la fatica è unica nel modo in cui viene attribuita a una causa, cioè lo sforzo. Inoltre, mentre il sonno presumibilmente è il modo principale per riprendersi dalla sonnolenza, non è chiaro della definizione del dizionario se sia necessario dormire o riposare per riprendersi dalla fatica. Si può aggiungere che la sonnolenza può o meno verificarsi in associazione con la fatica. È palese, che questa definizione rifletta effettivamente l’uso quotidiano, senza chiarire i termini di sonnolenza, stanchezza e affaticamento.

Categoria/approccio interpretativo	Esempio	Fonte
Dizionario	“...estrema stanchezza derivante da sforzo fisico o mentale o malattia”	(Oxford 2013)
Soggettivo	“sentirsi stanchi, assonati o esausti”	(Soames-Job 2000)
	“sperimentazione soggettiva della mancanza di volontà a continuare a svolgere un compito a causa della percezione ridotta dell’efficienza.”	(Brown 1995)
	“una sensazione travolgente di stanchezza, di mancanza di energia e una sensazione di esaurimento, associati ad un funzionamento fisico e/o cognitivo compromesso”	(Shen 2006)
	“consapevolezza di una ridotta capacità a svolgere attività fisica e/o mentale a causa di mancanza di disponibilità di risorse necessarie per svolgerla”	(Strober 2013)
Fisiologico	“lo stato dei muscoli, dei visceri o del sistema nervosa umano, in cui l’attività fisica e/o l’elaborazione mentale, in assenza di sufficiente riposo, si traducono con un’insufficiente capacità cellulare o energia non in grado per mantenere il livello originale di attività e / o elaborazione utilizzando risorse normali”	(Soames-Job 2000)
	“debolezza... da sforzo ripetuto o risposta ridotta di cellule, tessuti, o organi dopo un’eccessiva stimolazione, stress o attività”	(Hirshkowitz 2013)
	...un cambiamento dello stato psicofisiologico dovuto all’esecuzione prolungata [di uno o più compiti sul lavoro]	(Van der Linden 2003)
Fisiologico/ performance	“riduzione della produzione di forza, perdita di capacità di esercizio, maggiore senso di sforzo o percezione della forza”	(Strober 2013)
	“.. è l’incapacità di svolgere una funzione al livello desiderato a causa del recupero incompleto di lavoro precedenti. L’affaticamento acuto può verificarsi quando non vi è il tempo sufficiente per riposarsi e ri-	(Gander 2011)

	prendersi da un periodo di lavoro. L'affaticamento cumulativo o cronico si verifica quando nel tempo si verifica un recupero insufficiente dell'affaticamento acuto."	
Prestazione/ Rendimento	"decremento misurabile nello svolgimento di un'attività causata da un tempo prolungato di esecuzione"	(Bartlett 1953)
	"una capacità ridotta di lavoro e possibili riduzioni di attenzione, percezione, processo decisionale e capacità"	(Cercarelli 1996)
	"decremento dell'esecuzione di compiti che richiedono attenzione e la manipolazione e il recupero di informazioni archiviate nella memoria"	(Gawron s.d.)
Altro	"Ci sono tre aspetti della fatica: fisiologico, oggettivo (decremento del lavoro) e soggettivo."	(Bills 1934)
	"stato fisiologico/cognitivo di un individuo associato alla ripetizione di stimoli che si traduce in una resistenza prolungata al di là di una zona di comfort legata alla prestazione"	(Hancock 1997)
	Uno stato psicofisiologico che si verifica quando una persona sta guidando e si sente stanco o assonnato, nella misura in cui la sua capacità di funzionare è ridotta, con conseguente riduzione della performance ed emozioni negative e noia nel tentativo di rimanere svegli durante il compito.	(Craig 2011)

Tabella 1.1: Definizioni di fatica presenti in letteratura (Ross 2015)

1.1.3 Definizione di fatica come esperienza

Diverse definizioni nella letteratura sono strettamente correlate all'accezione più comune (Tabella 1.1), in quanto la fatica è descritta come un sentimento soggettivo affine alla stanchezza. Tuttavia, ci sono limitazioni alla definizione di fatica che sono esclusivamente esperienziali. In primo luogo, potrebbero non riuscire a catturare importanti effetti della fatica, dal momento che sentirsi stanchi può essere una fase avanzata di un processo in cui gli effetti indesiderati hanno già invaso la performance (R. Hockey 2013). Un secondo problema è che non soddisfa i criteri di Soames-Job e Dalziel (Soames-Job 2000) che descrivono le origini, lo stato e le conseguenze della fatica. Le persone affaticate sono abili a compensare al fine di conservare le prestazioni se sono motivate a farlo, anche se questo costa in termini di sforzo ed esaurimento (Hockey 2010). Ciò implica come sia necessario espandere il concetto di fatica oltre alla semplice esperienza per comprendere il ruolo dinamico dello sforzo nella fatica.

Una terza limitazione è che spesso queste definizioni non si riferiscono direttamente allo sforzo, ma piuttosto a carenza di risorse percepite o effettive.

È stato sottolineato molto tempo fa, come l'esperienza della fatica sia centrale per la comprensione di tutti i concetti (Bartley 1947), e sebbene i collegamenti con le prestazioni siano tutt'altro che chiari, pochi sostengono che l'esperienza della fatica è un utile indicatore delle prestazioni di sicurezza e salute a breve e lungo termine. D'altra parte, non c'è una chiara argomentazione sul perché la definizione di fatica debba essere esclusivamente soggettiva, specialmente quando le misure possono fornire informazioni utili sulla natura, validità e affidabilità della fatica vissuta dall'individuo (I. Brown 2000).

1.1.4 Definizione di fatica come condizione fisiologica

Risulta difficile validare la definizione di "*fatica come esperienza*" basandosi su una valutazione soggettiva di un fenomeno; è quindi necessario ricercare altre tipologie di definizioni, come ad esempio uno stato fisiologico di debolezza o esaurimento risultante dallo sforzo.

Un vantaggio di questo approccio è che i ricercatori hanno iniziato a interpretare e descrivere i meccanismi neurofisiologici della fatica. Un ulteriore vantaggio nel definire la fatica come stato fisiologico è che consente di misurarla attraverso indici oggettivi come l'attività cardiaca, elettrocorticale, oculomotoria, inclusi i *blinks* (battiti di ciglia), la percentuale di chiusura degli occhi o la dilatazione della pupilla.

Nonostante i vantaggi, ci sono degli inconvenienti ad una definizione esclusivamente fisiologica:

1. In essa non è tenuto conto dell'esperienza che matura nell'uomo dopo esserci trovato più volte a confrontarsi con l'insorgere della fatica;
2. La maggior parte delle persone non raggiungono mai il loro limite fisiologico, cioè bisogna includere l'esperienza degli operatori;
3. Si è ancora molto lontani dalla comprensione dell'intera gamma di meccanismi fisiologici responsabili della fatica.

In effetti, potremmo non capire mai la fisiologia di concetti astratti (come la coscienza e altre attività) coinvolti nello sforzo. Inoltre, alcuni autori concepiscono la fatica, non solo come sforzo, ma

come somma di risultati di diversi meccanismi biochimici e psicofisiologici, tra cui oltre allo sforzo, l'esaurimento del glucosio, ciclo del sonno, fattori psicosociali e la dieta. Sembrerebbe quindi, che la fatica sia psicologicamente e fisiologicamente complessa e intrattabile, è quindi un concetto psicofisiologico. In quanto tale è necessario definire sia componenti psicologici che fisiologici.

1.1.5 Definizione di fatica come decremento delle prestazioni

Definendo la fatica in termini di prestazioni, si rende possibile una robusta misurazione oggettiva della fatica in termini di comportamento rilevante per la sicurezza. Ignorare questo aspetto, significa avere una comprensione incompleta del concetto di fatica. Un problema nel definire le prestazioni è che gli effetti delle prestazioni della fatica sono spesso specifici del compito, cioè correlati a come l'operatore esercita sé stesso. A differenza di altri compiti cognitivi, che mostrano decrementi delle prestazioni anche dopo soli 5 minuti dall'inizio del compito, le tempistiche legate all'insorgere della fatica sono correlate alle più disparate situazioni e non risulta quindi possibile definire una soglia che valga in generale per qualsiasi condizione del compito

La logica conseguenza è che la fatica definita solo in termini di prestazioni sia inadeguata, e che qualsiasi definizione di fatica dovrebbe rendere esplicito il ruolo della natura e del contesto dello sforzo, così come anche il valore delle prestazioni dell'operatore.

Quando i compiti di guida richiedono un basso sforzo cognitivo, potrebbe essere necessario prestare poca attenzione per eseguire il compito: il conducente non deve impiegare troppe risorse cognitive o sforzi mentali per continuare a guidare. Nel caso in cui la guida possa essere eseguita prevalentemente in modo automatico, il pericolo appare principalmente quando si è nella situazione di guida prolungata, in quanto si può presentare uno stato di "sonnolenza del conducente". Il termine "sonnolenza" si riferisce a uno stato di bassa prontezza mentale che si manifesta in un calo dell'attenzione fisiologica e che è percepito soggettivamente con consapevolezza di situazione ridotta (deterioramento dell'efficienza nelle prestazioni di guida). Alcune capacità psicologiche necessarie per avere una guida sicura, in queste condizioni, possono essere ridotte o addirittura compromesse. Il conducente può compensare il proprio stato di sonnolenza esercitando uno sforzo mentale. Questo tipo di sforzo è noto come: sforzo compensativo (Mulder 1986). Se si guida in questa condizione di sottocarico, il conducente può finire in uno stato di fatica mentale, chiamato fatica passiva. La fatica passiva è quindi prodotta dal risultato di un'esecuzione prolungata e continua di compiti non impegnativi che difficilmente hanno bisogno di mantenere alta l'attenzione, con un livello alto di automazione e in cui la sonnolenza finirà sicuramente per apparire assieme a una minore prontezza dell'operatore.

Ci sono alcune condizioni che favoriscono la comparsa della sonnolenza, fatica passiva, durante la guida prolungata. Thiffault e Bergeron (Thiffault 2003b) propongono una distinzione tra fattori endogeni ed esogeni.

I fattori endogeni che influenzano lo stato di preparazione di base dell'individuo quando esegue l'attività di guida; alcuni sono associati alle fluttuazioni di vigilanza. Uno di questi fattori è sicuramente la variazione dell'ora del giorno. Numerosi studi confermano che la sonnolenza, intesa come la propensione ad addormentarsi, non è costante durante il giorno (Akerstedt 1994). Altri

fattori endogeni che favoriscono la sonnolenza sono la privazione, totale o parziale, del sonno e il consumo di alcol o droghe.

I fattori esogeni, invece, derivano dalle interazioni dell'individuo con l'ambiente stradale. Quindi, le caratteristiche geometriche della strada e l'ambiente limitrofo ad essa, possono avere un impatto sulle prestazioni di guida e vanno a influenzare la vigilanza e l'elaborazione delle informazioni. Guidare su strade in ambienti prevedibili (con stimoli monotoni o uniformi), su strade ben note e familiari o con bassa densità di traffico, danno vita al fenomeno descritto come "ipnosi autostradale" (Wertheim 1978) (Wertheim, Highway hypnosis: a theoretical analysis 1991), o "guida senza modalità di attenzione" (Kerr 1991). Un altro fattore esogeno che può influenzare la vigilanza del conducente è la temperatura all'interno del veicolo. Il calore e le alte temperature possono provocare sonnolenza e riduzione dell'attenzione. Wyon (Wyon 1996) ha confrontato l'efficienza nell'esecuzione di determinati compiti in uno studio di guida tra due condizioni termiche differenti (21 e 27 gradi centigradi), e ha trovato una prestazione migliore alla temperatura più bassa (21°C).

1.1.6 Fatica e sonnolenza

Secondo il modello a due processi, la sonnolenza è data dall'effetto combinato di fattori omeostatici del sonno, ovvero la pressione del sonno che dal risveglio aumenta linearmente per tutto il giorno, e di fattori circadiani, ovvero l'ora del giorno (A. Borbély 1982).

Uno studio di Connor (Connor 2011) ha dimostrato che anche la sonnolenza è dannosa per le prestazioni di guida. Molti studi nel settore dei trasporti hanno portato alcuni autori a trattare la fatica e la sonnolenza in modo equivalente. Tuttavia, rimangono buoni motivi per distinguere la fatica dalla sonnolenza. In primo luogo, ci sono prove che non solo le persone possono distinguere chiaramente tra stanchezza e sonnolenza, ma la stanchezza può essere prevalente (Dement 2003). In secondo luogo, diversi studi suggeriscono come la sonnolenza da sola non riesca a spiegare tutti gli importanti effetti sulle prestazioni legati alla fatica.

1.1.7 Una nuova definizione di fatica

Da questa discussione si possono identificare diversi elementi per giungere ad una definizione "esaustiva" di fatica da utilizzare nella ricerca dei trasporti. Essa dovrebbe descrivere lo stato di affaticamento come condizione psicofisiologica, cioè considerando aspetti sia psicologici che fisiologici. Dovrebbe spiegare il ruolo dello sforzo nello sviluppo della fatica in termini di interazione dinamica tra esperienza soggettiva e aspetti prestazionali. Dovrebbe chiarire l'importanza del sonno e come dovrebbe essere pensato in relazione alla fatica. Sulla base di questi elementi, e sulla base di quanto riportato in Tabella 1.1, viene proposta la seguente definizione (Ross 2015):

“La fatica è una condizione psicofisiologica subottimale causata da sforzo. Il grado e il carattere dimensionale della condizione dipendono dalla forma, dalla dinamica e dal contesto dello sforzo. Il contesto dello sforzo è descritto dal valore e dal significato della performance dell’individuo; evoluzione temporale del riposo e del sonno; effetti circadiani; fattori psicosociali che riguardano il lavoro e la vita familiare; caratteristiche personali; dieta; salute, fitness e altri stati individuali; e condizioni ambientali. La condizione di fatica risulta in cambiamenti di strategie o nell’uso delle risorse tali da mantenere o ridurre i livelli originali di processi mentali o attività fisica. ”

Secondo questa definizione, l’origine della fatica è lo “sforzo”, mentre il termine “fatica” descrive lo stato subottimale o la condizione psicofisiologica conseguente. Le conseguenze della fatica sono descritte sia in termini di cambiamenti nelle strategie o risorse associate alla performance che in prestazioni effettive. La fatica è un processo dinamico in continua evoluzione.

Lo sforzo che porta ad essa può essere definito come “elaborazione mentale o prestazioni fisiche che richiedono uno sforzo diretto”. La definizione afferma come la forma e la dinamica dello sforzo determinino il carattere dimensionale della fatica. Per “forma dello sforzo” si intende il tipo di elaborazione mentale o prestazione fisica coinvolta, in termini di una singola funzione cognitiva o di un compito psicomotorio, un insieme di compiti caratteristici (ad esempio un compito di guida passiva rispetto un’attività di guida attiva) o anche una considerazione totale di vita e lavoro. La forma dello sforzo dipenderà dalle caratteristiche del compito svolto e sarà influenzato da fattori contestuali (anche la motivazione). La “dinamica dello sforzo” descrive la storia dello sforzo, cioè se lo sforzo è speso per un tempo lungo o breve, continuo o discontinuo.

I fattori contestuali descrivono lo sforzo in termini di vari fattori a cui è diretto. Lo sforzo può essere causato da aver già esercitato e dover continuare ad esibirsi di fronte a una vasta gamma di fattori, tra cui fattori circadiani, mancanza di riposo o sonno, temperature esterne, preoccupazioni varie (famiglia, lavoro, ecc), fastidio dei passeggeri, traffico pesante e così via. Comprendere quali di questi fattori sono i più rilevanti per lo sviluppo della fatica è importante per contrastare la fatica nel settore dei trasporti.

Il valore e l’importanza del mantenimento delle prestazioni per l’operatore determineranno in larga misura l’entità dello sforzo sostenuto. Al primo cenno di fatica, l’operatore può essere motivato a mantenere le prestazioni. Questo può essere fatto aumentando lo sforzo e aumentando la fatica. In alternativa, lo sforzo può essere ridotto con degli aggiustamenti strategici a livello cognitivo o psicomotorio.

Questa definizione assimila la sonnolenza al concetto di fatica in due modi principali. Innanzitutto, lo stato psicofisiologico di sonnolenza si sovrappone parzialmente allo stato psicofisiologico della fatica. Percezioni dello stato di sonnolenza - il bisogno di dormire - sono inclusi come una sottodimensione della dimensione esperienziale della condizione di fatica. In secondo luogo, sono incluse le unità di sonno descritte dal modello a due processi di Borbély (A. Borbély 1982) come influenze importanti dello sforzo che portano all’affaticamento dell’operatore. I fattori sonno e veglia sono importantissimi fattori contestuali per gli operatori dei trasporti, nel senso che la fatica può essere causata dallo sforzo di rimanere svegli.

1.2 Fatica attiva e passiva

Come è stato detto in precedenza, la “fatica” è un termine multidimensionale difficile da definire per tutti i ricercatori. Infatti, i termini fatica, sonnolenza e dormiveglia (*drowsiness*) sono utilizzati spesso come sinonimi (Johns 1998).

L'affaticamento del guidatore può essere categorizzato in relazione a (Figura 1.2):

- “*sleep related*”, cioè la fatica legata al sonno (SR);
- “*task related*”, cioè la fatica legata al compito (TR).

I decrementi SR nelle prestazioni di guida sono legati al ritmo circadiano (ora del giorno), disturbi del sonno e privazione/limitazione del sonno. Il ritmo circadiano naturale del corpo umano controlla l'alternanza sonno/veglia durante il giorno, compresa una perdita di attenzione nel primo pomeriggio, quando le persone sono più assonnate. 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 legati osservato nei picchi dei bisogni del sonno (Pack 1995) all'inizio della mattina (02:00 - 06:00) e nel primo pomeriggio (14:00 - 16:00). La variabilità della velocità (espressa mediante la deviazione standard della velocità del guidatore) varia significativamente con l'ora del giorno. Le prestazioni sono tanto peggiori quanto più una persona rimane sveglia. La diminuzione del sonno o il non raggiungimento di un adeguato riposo, si traducono in un aumento della sonnolenza e un calo di prestazioni. Nel tentativo di valutare la progressione del calo delle prestazioni in risposta ai vari livelli di privazione del sonno, dei ricercatori americani (Jewett 1999) hanno testato dei soggetti in relazione ad un compito di vigilanza psicomotoria (PVT). Il PVT è un'attività che misura le reazioni temporali e richiede ai partecipanti di premere un pulsante della tastiera non appena vedono apparire dei numeri sul display. Tutte le misure del PVT, inclusi numero di errori, tempo di reazione più veloce, tempo di reazione più lento, tempo di reazione medio sono migliorati con l'aumentare delle ore di sonno.

La fatica TR, invece, dipende dall'attività di guida e dall'ambiente di guida. Altri studiosi (Desmond s.d.), (Gimeno 2006) sostengono che la fatica del guidatore prodotta da TR possa essere attiva o passiva.

La fatica attiva è correlata al sovraccarico: guida con alta densità di traffico, scarsa visibilità o la richiesta di eseguire un compito secondario alla guida (ad es. uso di cellulare alla guida, conversazione con altri passeggeri, ascolto di radio e navigatore, avvisi acustici).

La fatica passiva è associata a condizioni di guida sotto carico: guida in ambienti monotoni per lunghi periodi di tempo, compiti di guida parzialmente/completamente automatizzati.

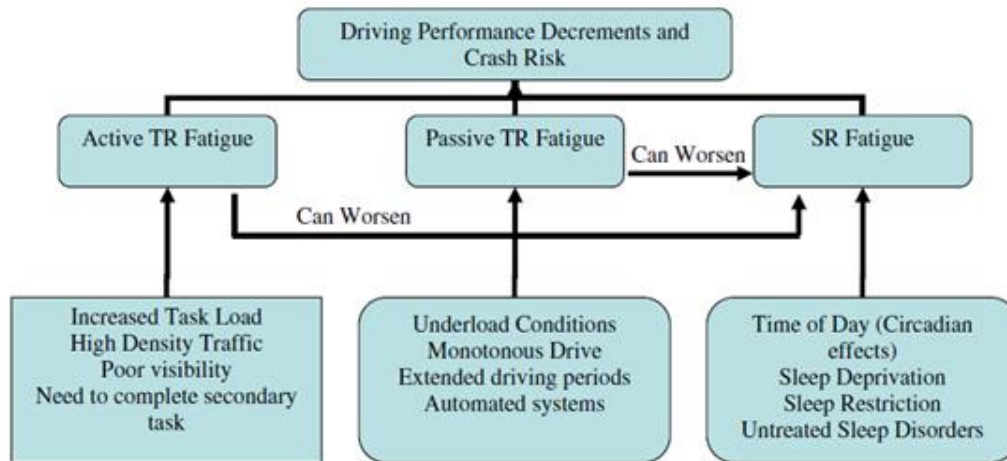


Figura 1.2: I 3 tipi di fatica, le loro cause, conseguenze ed interazioni (May 2009).

Sebbene si possano vedere gli stessi decrementi delle prestazioni sia per la fatica SR che la fatica TR, questi fattori causali devono essere distinti quando si valutano/implementano strumenti per rilevare o contrastare la fatica del conducente.

Brown (I. Brown 2000) afferma che il carico di lavoro eccessivo, se prolungato, provoca “tensione” che viene avvertita come fatica. Quindi, ridurre il carico di lavoro può alleviare la fatica del conducente e l’esaurimento delle risorse. In effetti, produttori di auto promuovono tecnologie automatizzate che riducono il carico di lavoro del conducente come fattore migliorativo della sicurezza.

La riduzione del carico di lavoro, però, può essere efficace solo per la fatica attiva. L’equiparazione della fatica al carico prolungato di lavoro è notoriamente una semplificazione eccessiva. Lo stesso Brown (I. Brown 2000) ha sottolineato questo fatto in quanto gli operatori affaticati sono spesso consapevoli delle proprie limitazioni e possono sviluppare strategie adattive per le prestazioni. La fatica induce il conducente a fissare la propria attenzione a stimoli che alleviano lo sforzo; questo però porta ad un peggioramento delle prestazioni.

La regolazione del carico di lavoro può essere interrotta in condizioni di sovraccarico o di sottocarico. Desmond e Hancock (Desmond s.d.) definivano la fatica attiva come il cambiamento di stato derivante da “aggiustamento psicomotorio continuo e prolungato, correlato al compito”. Per esempio, guidare su una strada trafficata richiede frequenti variazioni del moto (*Stop and Go*); pertanto la fatica attiva è associata ad un elevato carico di lavoro cognitivo. Viceversa, la fatica passiva si sviluppa quando si richiede un uso non frequente dei controlli (soprattutto se il controllo della velocità di crociera è attivo), ma la vigilanza per i pericoli permane. L’automazione dei veicoli mette sempre più i conducenti nel ruolo di supervisione, il che riduce la fatica attiva ma incoraggia notevolmente la fatica passiva.

La fatica corrisponde più strettamente alla perdita dell’impegno nel compito, che è definito dall’energia, dall’interesse per il compito e dalla concentrazione. Il coinvolgimento delle attività diminuisce soprattutto quando il compito è monotono e offre poche possibilità di controllo attivo da parte del conducente. Entrambe le forme di fatica deprimono l’impegno, ma l’effetto è maggiore per la fatica passiva, perché produce una perdita rilevante nell’impegno profuso nel compito.

Gli effetti dannosi sulla vigilanza, dovuti a fatica passiva, possono essere attribuiti sia alla perdita di risorse attenzionali (Warm 2008), sia alla riduzione strategica dell'assegnazione dello sforzo (G. R. Hockey 1997). I due meccanismi possono essere dissociati testando gli effetti moderatori del carico di lavoro: l'aumento del carico di lavoro, dovrebbe aggravare gli effetti delle prestazioni a causa dell'insufficienza delle risorse e alleviare gli effetti dovuti alla sottovalutazione degli sforzi. Nella guida simulata, gli effetti di fatica e stress sono prevalenti quando le richieste di attività sono basse, a sostegno di un'ipotesi di regolazione dello sforzo. Quindi, non si può escludere che gli effetti della fatica passiva sulla vigilanza siano mediati dalla perdita di risorse associate a un basso impegno tattico.

<i>Fatica attiva</i>	<i>Fatica passiva</i>
carico di lavoro mentale ↑	carico di lavoro mentale ↓
caratterizzata da sovraccarico cognitivo e dalla necessità di frequenti risposte di controllo per prevenire il deterioramento delle prestazioni (insorgere dello stress, molto superiore rispetto alla fatica passiva)	caratterizzata da monotonia e da ridotta frequenza del controllo del veicolo, quindi bassi livelli di coinvolgimento nelle attività e riduzione di sfide
entrambi gli stati sono associati a schemi caratteristici dei processi di stress cognitivo, definendo diversi stili di regolazione del carico di lavoro	
effetti della fatica si accumulano nel tempo aumentando di magnitudo con l'aumentare della durata dell'attività	

Tabella 1.2: Principali differenze tra fatica attiva e passiva

La fatica passiva rappresenta una minaccia per la sicurezza molto più immediata rispetto alla fatica attiva, il che implica sia necessaria molta cautela nello sviluppo e nell'implementazione di sistemi di veicoli automatizzati. La riduzione del carico di lavoro mentale tramite l'automazione può effettivamente aggravare la fatica passiva e compromettere le capacità di vigilanza critiche in termini di sicurezza e la capacità di rispondere rapidamente a situazioni critiche.

La Tabella 1.2 mostra il riassunto delle differenze tra la fatica attiva e la fatica passiva.

CAPITOLO 2: Tecnologie per la sicurezza

Nel presente capitolo sono identificati i sistemi di supporto alla guida con la suddivisione in attivi e passivi. Sono successivamente presentati gli Advanced Driver Assistance System, gli ausili tecnologici per monitorare la fatica del guidatore mediante il rilevamento e l'avviso. Segue una parte dedicata alla prevenzione degli incidenti e alle contromisure al fenomeno. Vengono presentati brevemente i sistemi che analizzano parametri psico-fisici e quelli che analizzano segnali del sistema veicolo. Il capitolo si conclude con le indicazioni dell'Unione Europea per il futuro.

2.1 Sistemi di supporto alla guida

Per aumentare la sicurezza sulle strade si deve agire su tre aspetti fondamentali: il conducente, le infrastrutture e i veicoli.

Sul conducente si può agire, per esempio, con campagne di sensibilizzazione che mirano a rendere consapevoli i partecipanti del pericolo per loro e per gli altri nel guidare in maniera imprudente o nel mettersi alla guida in condizioni psico-fisiche non perfette. Dato che questo metodo, allo stato attuale, non è sufficiente, bisogna integrarlo con misure “coercitive” e “intimidatorie” aumentando la vigilanza sulle strade.

Per quanto riguarda le infrastrutture, in Italia sono state progettate e costruite molti anni fa senza prevedere l'attuale sviluppo del traffico e le attuali esigenze in termini di sicurezza. Inoltre, queste infrastrutture soffrono di una manutenzione spesso insufficiente e con cartellonistica non sempre adeguata o mal concepita.

Il terzo punto sul quale intervenire sono i veicoli. Oggi, il mercato automobilistico si sta evolvendo in maniera rapida, caratterizzato da un costante inserimento negli autoveicoli di vari sistemi di sicurezza ad elevato standard tecnologico che vanno ad aumentare i profili di sicurezza generale. I costruttori di auto, negli anni passati, hanno principalmente favorito lo sviluppo di sistemi per la sicurezza passiva (es. airbag, cinture di sicurezza, resistenza agli urti, ect.) rispetto a sistemi di sicurezza attiva pensati principalmente per prevenire situazioni di pericolo e incidenti. Quindi i dispositivi di sicurezza possono essere:

- **Attivi:** intervengo in modo da ridurre la possibilità che si verifichi un evento avverso:
 - ABS (*Antilock Braking System*): dispositivo che evita il bloccaggio delle ruote;
 - ESP (*Electric Power Steering*): congegni di controllo elettronico della stabilità dinamica, che migliora la funzionalità dell'ABS;
 - TCS (*Traction Control System*): riduce il pattinamento delle ruote e migliora la stabilità;
 - ISA (*Intelligent Speed Adaptation*): dispositivo che riduce in automatico la velocità dell'auto in caso di superamento dei limiti;
 - Specchietto retrovisore aggiuntivo (specchio grandangolare convesso);
 - *Dash cam*: videocamera orientabile che può segnalare la presenza di veicoli troppo vicini.

- **Passivi:** sono protezioni che riducono le conseguenze fisiche di un danno:
 - Telaio: con le sue diverse zone di comprimibilità riesce ad assorbire parte dell'urto;
 - Cinture di sicurezza: strumento che permette di evitare l'eiezione del corpo fuori dall'abitacolo o l'urto con il volante e altre parti della vettura;
 - *Air Bag*: sistema che coadiuva il compito delle cinture di sicurezza;
 - Seggiolini: strumenti utilizzati per la ritenuta dei bambini, dove i normali dispositivi per adulti oltre ad essere inefficaci possono essere deleteri.

Nella tecnica automobilistica, per sicurezza attiva si intende:

- sicurezza di marcia: come il risultato di un progetto armonico del telaio del veicolo (passaruote, sospensioni, organi dello sterzo, impianto frenante) tale da garantire il comportamento dinamico ottimale del veicolo;
- sicurezza delle condizioni di guida: come la riduzione dei fattori di sollecitazione fisiologica sul conducente e passeggeri. In fase di progettazione e costruzione del veicolo, vengono ridotte al minimo le condizioni che provocano rumori, vibrazioni, riflessi di luce e correnti d'aria che potrebbero portare ad avere qualche effetto negativo sul conducente;
- sicurezza percettiva: accorgimenti per la garanzia della corretta percezione da parte del conducente della strada, dei segnali, dei pericoli, compresi i dispositivi di illuminazione, di allarme acustico/ottico, sistemi per la migliore visibilità, specchietti retrovisori e quant'altro;
- sicurezza di comando: ovvero ergonomia del posto di guida (cioè comodità del sedile e della collocazione della strumentazione, facile intelligibilità della strumentazione, rispetto delle misure antropometriche). Sistemi che consentono, anche curando la facilità di accesso al posto guida, un basso affaticamento del guidatore e quindi una maggiore sicurezza in fase di guida, specialmente per i lunghi percorsi.

Attualmente, grazie all'avvento delle nuove tecnologie si stanno sviluppando dei nuovi sistemi per prevenire comportamenti e manovre errate del guidatore, che generano dei *feedback* di tipo "immediato". Sono dei sistemi che vanno ad agire tramite sensori e sistemi di allertamento di vario tipo sul comportamento del guidatore. Tali sistemi prendono il nome di ADAS (*Advanced Driver Assistance System*), sistemi avanzati di assistenza alla guida.

2.2 ADAS

I sistemi ADAS sono sistemi che danno un grosso aiuto al guidatore, sia in situazioni di marcia ordinaria che in situazioni di emergenza (Figura 2.1). Questi sistemi di ausilio, quasi sempre completamente basati sull'elettronica, assistono l'utente durante la guida migliorandone concretamente la sicurezza di marcia. Il progetto iniziale era nato qualche anno fa per rendere il mezzo più intelligente, però ultimamente è diventato un punto di riferimento nel mercato automobilistico ai fini della sicurezza. Normalmente sono dei sistemi che rilevano delle condizioni critiche nella guida e avvertono il guidatore con segnali ottici e acustici a seconda della scelta progettuale.

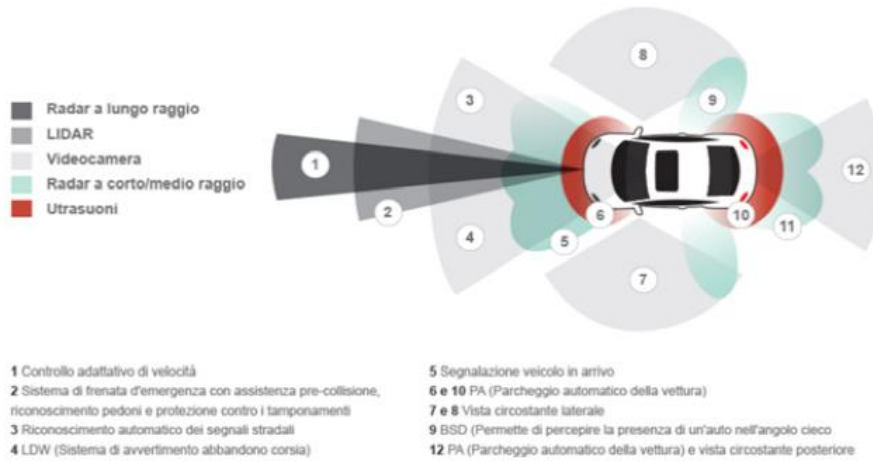


Figura 2.1: I sistemi *Advanced Driver Assistance System* (ADAS) (Pini 2018)

Alla base dei sistemi di assistenza alla guida ci sono una serie di sensori che raccolgono i dati (sensori a infrarossi, telecamere e radar). Poi ci sono i componenti come il servosterzo elettrico che muove il volante, il controllo della stabilità che va a frenare ogni ruota singolarmente e il Gps che va a tracciare il percorso. Infine, ci sono i software che raccolgono e gestiscono tutti questi sistemi e “sorvegliano” l'intero sistema vettura.

I dispositivi ADAS comprendono diverse funzionalità e nei paragrafi successivi saranno riportate alcune tra le tecnologie più innovative e sicure (Vai 2018).

2.2.1 Adaptive Cruise Control (ACC)

Questi sistemi utilizzano un sensore radar per il mantenimento delle velocità, una telecamera sul parabrezza e le indicazioni del percorso date dal sistema di navigazione (Figura 2.2). Il cruise control mantiene la velocità impostata dal conducente e la regola in base a quella dell'auto precedente, accelerando o rallentando quando e se necessario. Può anche interagire con il *Traffic Sign Recognition* per adeguare l'andatura ai limiti di velocità che variano.

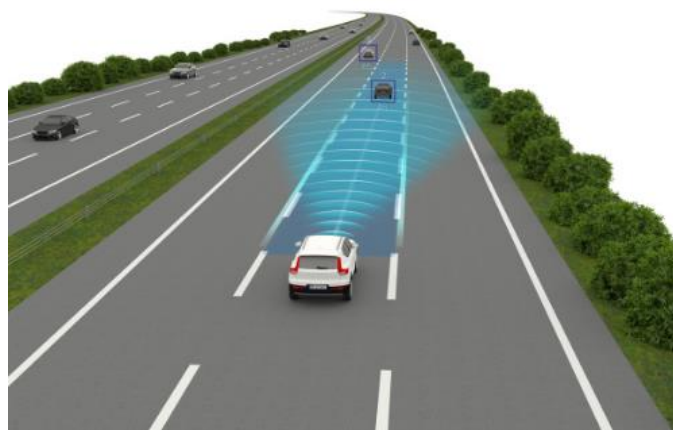


Figura 2.2: Adaptive Cruise Control (ACC) - Mantenimento della velocità di crociera e della distanza. (Vai 2018)

2.2.2 Autonomous Emergency Braking

Si passa da sistemi semplici, come una telecamera, a sistemi più complessi che utilizzano radar (Figura 2.3). Tutti, però, reagiscono a velocità fino a 30 Km/h e, in questo caso, vengono definiti come *City Brake System*. Il riconoscimento dei pedoni o addirittura dei ciclisti sono funzionalità dei sistemi più avanzati, allo stesso modo del funzionamento a velocità più elevate per cui è necessario il radar. Ci sono anche dei sistemi in grado di agire sul volante, per evitare le collisioni.



Figura 2.3: *Autonomous Emergency Braking (AEB)* - Frenata automatica di emergenza (Vai 2018)

2.2.3 Adaptive Light Control

Sistemi che vanno dall'attivazione automatica dei fari anabbaglianti (con il sensore crepuscolare) alla gestione automatica dei fari abbaglianti. Nei sistemi più avanzati, con fari "full led a matrice" sono in grado di modificare il fascio luminoso spegnendo le zone corrispondenti al veicolo che precede o a quelli che arrivano nella corsia opposta.

2.2.4 Automatic Parking System

Sistemi che sono in grado di riconoscere gli spazi di parcheggio, indicarli al guidatore ed effettuare le manovre agendo sullo sterzo e lasciando all'autista solo il compito di accelerare e frenare (Figura 2.4). I sistemi più avanzati hanno bisogno di soli 80 cm di spazio oltre la lunghezza dell'auto per parcheggiare longitudinalmente, in caso di emergenza possono frenare automaticamente e utilizzano una serie di sensori a ultrasuoni sistemati su tutto il perimetro dell'automobile.

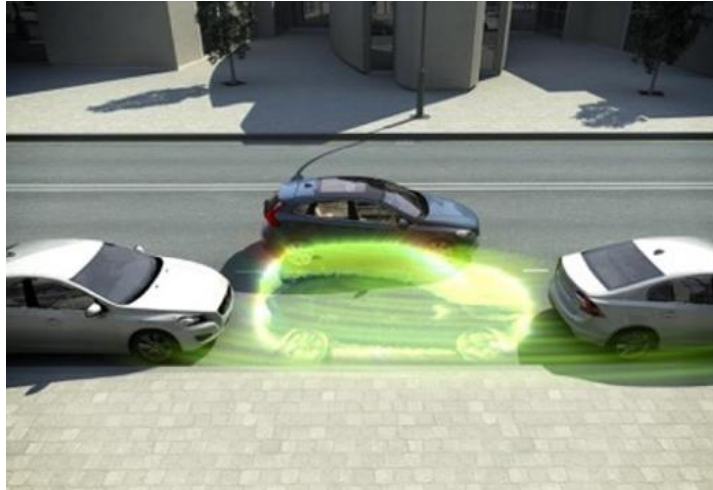


Figura 2.4: Automatic Parking System (APS)- Sistema di parcheggio automatizzato (Vai 2018)

2.2.5 Blind Spot Monitor

Monitora l'angolo cieco, quella zona in cui un veicolo che ci sta superando non entra ancora nell'area di visione dello specchietto ed è anche nascosto dal montante posteriore dell'automobile (Figura 2.5). I sistemi di rilevamento della presenza di un'altra automobile, utilizzano dei radar installati al posteriore controllando la zona dietro e accanto all'auto. Il sistema avvisa il conducente del potenziale pericolo attivando un sensore a led nello specchietto retrovisore del lato corrispondente. Se il conducente attiva la freccia nonostante l'avviso, il led comincia a lampeggiare con intensità maggiore per richiamare l'attenzione di chi è al volante sul pericolo potenziale. Alcuni sistemi avanzati possono agire anche sul volante.

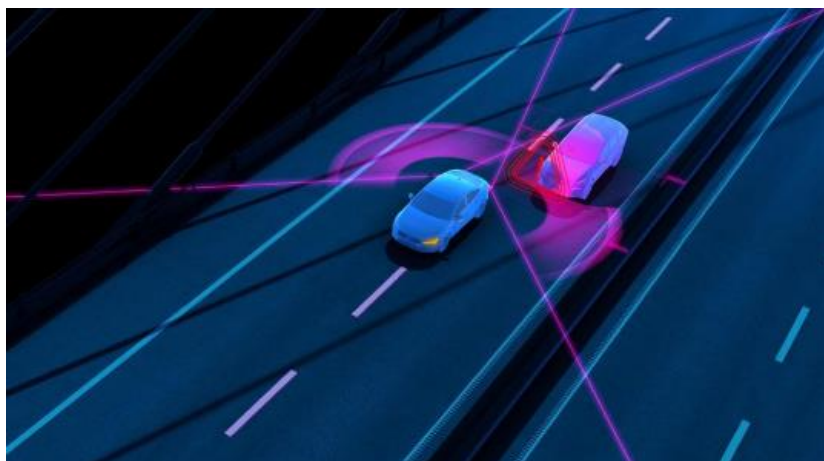


Figura 2.5: Blind Spot Monitor - Monitoraggio dell'angolo cieco (Vai 2018)

2.2.6 Camera Monitor System

Si passa dai sistemi più semplici che utilizzano la sola retrocamera posteriore per la manovra, a quelli che ne hanno 4 per ogni lato dell'auto e, grazie ad un software, riescono a ricostruire una vista aerea dell'area, proiettandola sul monitor interno (Figura 2.6).



Figura 2.6: Camera Monitor System (CMS) - Monitoraggio con videocamere (Vai 2018)

2.2.7 Cross Traffic Alert

Utilizza telecamere e sensori, si attiva quando in prossimità delle intersezioni, avvisando il guidatore se qualche veicolo si sta avvicinando in maniera pericolosa.

2.2.8 Driving Attention Assist

Sono i sistemi che monitorano il livello di attenzione del conducente, per evitare i colpi di sonno (Figura 2.7). Alcuni verificano lo stile di guida, altri controllano lo sguardo o la posizione della testa e in caso di pericolo producono un allarme sonoro, spesso accompagnato dal simbolo della tazza del caffè e dall'invito di fermarsi per fare una pausa.



Figura 2.7: Driving Attention Assist (DAS)- Monitoraggio dell'attenzione del conducente (Vai 2018)

2.2.9 Emergency Driver Assist

Funziona attraverso l'unione di 4 sistemi di assistenza alla guida. Se i sensori rilevano che il guidatore è in stato di incoscienza (per un tempo determinato non ha utilizzato né freni, né acceleratore, né sterzo), il sistema avvia delle contromisure coordinate. Per prima cosa, il conducente è oggetto di sollecitazioni tramite avvisi acustici, visivi e fisici (colpo di freno). Se non reagisce, si attiva la

procedura di arresto d'emergenza: si attivano le quattro frecce d'emergenza e l'ACC facilita la frenata automatica e contribuisce a evitare che l'automobile tamponi il veicolo che la precede. Anche in strade con diverse corsie, il sistema sterza in modo controllato fino alla corsia più a destra fino a fermare l'auto, chiamando al contempo i soccorsi.

2.2.10 Hill Descent Control

È usato soprattutto su Suv, prende il controllo dell'auto nelle discese più ripide, coordinando l'azione dei freni attraverso il sistema ESC e mantenendo una velocità predeterminata (inferiore ai 5 km/h).

2.2.11 Lane Change Assist

Si trova di solito assieme al sistema ACC più avanzati. È in grado di far cambiare autonomamente corsia all'auto per effettuare un sorpasso. Il guidatore ha il solo compito di azionare l'indicatore di direzione.

2.2.12 Lane Keeping Assist

Aiuta il guidatore a mantenere la propria corsia di marcia (Figura 2.8).

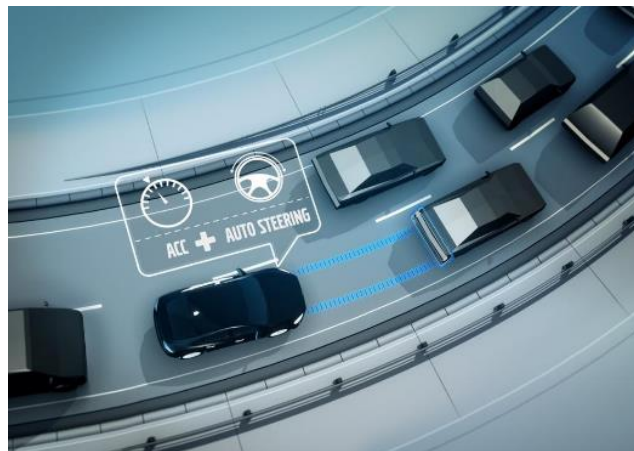


Figura 2.7: Lane Keeping Assist (LKA)- Assistente al mantenimento di corsia (Vai 2018)

2.2.13 Night View Assist

Utilizza sensori infrarossi e/o una telecamera termica per determinare la presenza di veicoli, essere umani e animali nelle fasi di guida notturna (Figura 2.9).



Figura 2.8: Night View Assit (NVA) - Assistente alla visione notturna (Vai 2018)

2.2.14 Traffic Jam Assist

È una funzione avanzata dell'ACC che necessita del cambio automatico, perché è in grado di arrestare e di far ripartire l'auto, nella marcia incolonnata quando si verificano situazioni di traffico "a singhiozzo" caratterizzate da fenomeni di stop-and-go (Figura 2.10).

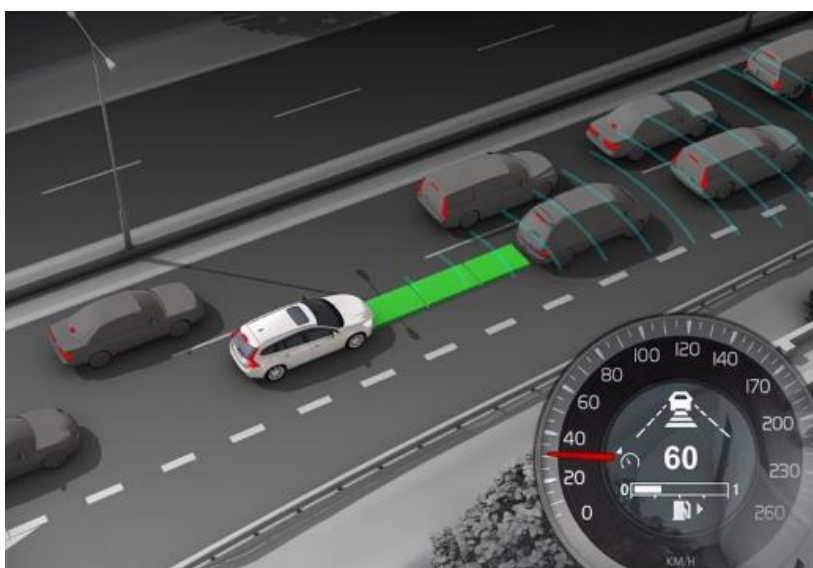


Figura 2.9: TJA - Traffic Jam Assist - Assistente alla guida in coda (Vai 2018)

2.2.15 Traffic Sign Recognition

Attraverso le informazioni provenienti dalla telecamera anteriore è in grado di riportare sul cruscotto il limite di velocità in vigore su quel tratto di strada (Figura 2.11).



Figura 2.10: Traffic Sign Recognition (TSR) - Riconoscimento dei segnali stradali (Vai 2018)

2.3 Ausili tecnologici per la fatica del guidatore

Quando si considera la tecnologia progettata per rilevare e/o contrastare la fatica del conducente, sebbene si possano vedere gli stessi tipi di decrementi delle prestazioni sia per fatica SR che la fatica TR, questi fattori causali devono essere distinti. I dispositivi per rilevare la fatica del conducente possono essere utilizzati per entrambe le tipologie di fatica.

I dispositivi sono classificati in base a seconda che siano destinati al rilevamento della fatica, alla prevenzione degli incidenti e alla riduzione della fatica. Questi dispositivi sono valutati per la loro efficacia nel rilevare o contrastare la fatica di tipo SR e TR.

2.3.1 Tecnologia di rilevamento e avviso

Le tecnologie di rilevamento e avviso utilizzano misure sensibili ai cambiamenti fisiologici e prestazionali della fatica, come i movimenti degli occhi, la posizione del capo e le prestazioni dello sterzo. L'unico obiettivo di questi dispositivi è di avvisare il conducente della sua stanchezza in modo che possa smettere di guidare e riposare. Dato che la fatica SR porta più facilmente il conducente nella situazione di addormentarsi, questi dispositivi possono essere più efficienti per identificare la fatica SR.

Il sistema *PERCLOS (PERcentage of eye CLOSure)*, calcola il tempo trascorso con la pupilla occlusa dalla palpebra in base al monitoraggio video degli occhi. Questa misura è considerata un indice di fatica, generalmente calcolata in intervalli di 1-3 minuti. Nello specifico, l'algoritmo calcola la proporzione nel tempo (ad es. 1 minuto) nella quale la palpebra copre l'80 % della pupilla (Dinger e Grace 1998).

Head-nodding technology (movimento del capo): quando un conducente inizia ad addormentarsi, la sua testa inizia ad oscillare verticalmente (come se la persona annuisse) mentre i muscoli si rilassano. Il No-NAP (Global Infotech Pune. 2006) è un dispositivo che si inserisce nell'orecchio del

guidatore e monitora la posizione della testa. Quando la testa oscilla in verticale, il conducente riceve un suono per svegliarlo. Dato che questo movimento oscillatorio del capo è l'ultimo segnale di sonnolenza prima che si verifichi un micro-sonno, questa tecnologia è efficace nel rilevare l'insorgere del sonno. Il problema di questa tecnologia è che quando arriva il segnale all'orecchio del conducente, è già troppo tardi poiché, nel periodo precedente, il guidatore non era già idoneo a guidare in sicurezza. Inoltre, sembra essere elevato il rischio di falsi allarmi mentre il conducente sta guidando, generando così un disturbo inutile al guidatore e ciò può portare a non utilizzare la tecnologia o ad ignorare gli allarmi veri che potrebbero causare un arresto anomalo.

La “Deadman switch technology” è progettata per consentire al guidatore di premere in continuazione un interruttore. Quando l'interruttore viene rilasciato, si presuppone che la condizione del guidatore sia cambiata e allora scattano degli allarmi. Anche questo, come l'Head-nodding technology, è un sistema di allarme tardivo, che identifica il sonno quando si è di fatto già manifestato.

2.3.2 Prevenzione degli incidenti

La tecnologia della “prevenzione degli incidenti” è stata progettata per prevenire incidenti indipendentemente dai fattori causali. Gli avvertimenti possono ridurre il rischio di incidente per i conducenti che soffrono di fatica SR e fatica TR. I sistemi di allarme possono aiutare i guidatori soggetti a fatica (SR e TR) compensando gli incrementi dei tempi di reazione indotti dalla fatica.

Rumble Strips (strisce rumorose), sono un'opzione di progettazione stradale per monitorare e avvisare il guidatore quando si allontana dalla strada. Queste strisce, quando vengono calpestate dalle ruote producono vibrazioni e rumore all'interno dell'automobile. Il vantaggio di questa tecnologia è che è legata all'infrastruttura e quindi resa disponibile a tutti i veicoli.

Lane departure warning system, è una tecnologia che monitora attraverso una telecamera la strada che si sta percorrendo e i segni di confine della corsia. Un allarme suona quando l'autista devia dalla corsia. Il SafeTrac (AssistWare Technology 2005) è uno di questi dispositivi e avverte il conducente quando inizia a uscire dalla sua corsia senza utilizzare l'indicatore di direzione. Calcola un “punteggio” continuo di prestazioni e se il punteggio diminuisce, il SafeTrac genera un avviso che raccomanda il riposo. Un altro dispositivo è l'AutoVue che emette un suono assimilabile a quello delle rumble strips reali per avvisare l'autista quando esce dalla propria corsia. Questi sistemi sono attualmente installati nei veicoli “Infinity M45” e “Infinity FX”. Entrambi i dispositivi hanno un basso valore di falsi allarmi.

Collision avoidance system (CAS) warnings (sistema di avviso anticollisioni). Gli avvertimenti CAS sono attualmente integrati in alcuni veicoli e hanno lo scopo di avvisare i conducenti di un possibile incidente posteriore o laterale. Questa tecnologia è utile nelle condizioni di scarsa visibilità.

2.3.3 Contromisure alla fatica

La tecnologia progettata per ridurre la fatica è adatta per i conducenti che soffrono di affaticamento da TR. Le contromisure includono l'uso dell'automazione nei veicoli per ridurre il carico di lavoro e

la tecnologia interattiva progettata per aumentare l'impegno del guidatore per prevenire la fatica passiva da TR.

L'automazione, fa riferimento al trasferimento del controllo di una attività (controllo della guida) dal guidatore al veicolo. Lo scopo è quello di modificare il carico di attività del conducente in base allo stato del guidatore. Il sistema di supporto del guidatore utilizza un sistema computerizzato che analizza il carico di lavoro mentale e visivo del conducente, e decide di conseguenza come presentare le informazioni. Se il guidatore è in alto carico di lavoro visivo, il sistema può presentare messaggi verbali o feedback tattili. Sebbene questo sistema non affronta in modo specifico la fatica, esso tenta di ridurre il carico di lavoro del conducente andando ad alleviare la fatica attiva TR.

Il sistema di controllo adattivo della velocità, che come detto prima è un avanzamento del controllo automatico della velocità, aiuta il conducente a circolare in un ambiente stradale complesso, ma potrebbe essere svantaggioso in condizioni di strada lineare con poco traffico.

Il S.A.M.G.-3 (May 2009) monitora le normali correzioni di sterzata, definiti dalle micro-correzioni che i conducenti devono costantemente fare per mantenere le prestazioni. Quando cessano queste micro-correzioni, viene attivato un allarme. Accompagnato al sistema di controllo adattivo della velocità; il sistema disattiva il controllo automatico della velocità quando cessano i movimenti del volante.

Interactive technology (tecnologia interattiva) è una tecnologia che si basa sul dare compiti secondari al conducente quando si sente affaticato. L' "*Interactive Knight-Warrior Alarm*" viene attivato dal conducente quando si sente stanco. Il sistema emette periodicamente un allarme acustico ad un intervallo temporale specificato. Il guidatore ha 1-3 sec per spegnere questo allarme, altrimenti suonerà una sirena nel tentativo di svegliare l'autista. Di tutte le tecnologie di dispositivi di prevenzione degli incidenti, questi potrebbero essere i più fattibili da implementare in termini di integrazione nella costruzione di veicoli e progettazione di strade.

I sistemi esistenti di questo tipo includono l'*Adaptive Cruise Control* (ACC) e lo sterzo attivo (AS); i futuri progressi nell'automazione a supporto dei veicoli senza conducente promettono di ridurre ulteriormente il carico di lavoro dei conducenti (Saxby 2013).

2.4 Classificazione sistemi di monitoraggio per la fatica

La fatica umana è rilevabile attraverso diversi parametri e negli ultimi anni si sono sviluppate diverse ricerche mirate a realizzare sistemi di monitoraggio delle condizioni fisiche e psicofisiche del conducente. Ovviamente, questi sistemi rientrano nella categoria della sicurezza attiva.

Tali sistemi possono essere distinti in tre gruppi:

1. monitoraggio diretto del conducente (analisi dei parametri fisiologici e fisici);
2. interpretazione dello stato del conducente analizzando le grandezze legate al sistema veicolo (analisi delle operazioni di guida e delle grandezze della dinamica del veicolo);
3. monitoraggio tramite la risposta a stimoli esterni.

Dal punto di vista logico-funzionale, indipendentemente dal tipo di segnale misurato, i sistemi di monitoraggio si basano tutti sullo stesso schema: vengono misurati, mediante dei sensori, uno o più parametri che vengono poi mandati a una centralina di elaborazione e gestione dei dati che li

interpreta, in funzione di una logica programmata nel suo interno, con il fine di monitorare le condizioni psico-fisiche del conducente e, se tale sistema rileva che le condizioni del conducente non sono dello standard prefissato, attiva un sistema di allarme o di avvertimento. Certi sistemi necessitano di “conoscere” il conducente, ovvero devono elaborare dei dati iniziali del conducente, prima di entrare in funzione a pieno regime.

Tali sistemi sono identificati con l'acronimo DDDS (*Driver Drowsy Detection System*).

I sistemi che analizzano i parametri psico-fisici sono stati classificati come sistemi intrusivi e passivi. Intrusivi perché vanno a misurare dei valori propri del conducente.

Questi sistemi risultano essere i migliori, perché si ottengono risultati con margine di errore molto piccolo rispetto ad altri metodi dato che la misura è realizzata direttamente al conducente senza passare attraverso altri dispositivi.

I principali sistemi che appartengono a questa categoria per quanto riguarda grandezze fisiologiche sono:

- rilevamento dell'attività elettrocorticale (elettroencefalogramma, EEG);
- misura del battito cardiaco o frequenza del polso;
- temperatura corporea;
- rilevamento del rilassamento muscolare;
- analisi del respiro;
- sudorazione delle mani;

e quelli che si basano su segnali fisici e cinetici:

- movimento della testa;
- postura;
- pressione sul volante;
- monitoraggio degli occhi e dello sguardo.

2.5.1 Attività corticale (EEG)

Molti studi hanno messo in relazione la stanchezza del conducente con la variazione dell'attività corticale dello stesso. Questa attività può essere facilmente misurata e rappresentata graficamente con l'elettroencefalogramma (EEG). L'EEG rileva ed elabora attività corticali oscillatorie che rientrano in precise bande di frequenza: onde delta (0-4 Hz), onde theta (4-8 Hz), onde alpha (8-13 Hz), onde beta (13-20 Hz).

Una serie di studi (Lal 2001) hanno identificato delle sostanziali correlazioni tra queste onde e la stanchezza del conducente durante la guida. Se in un intervallo di tempo si registra un aumento dell'attività theta, anche di modesta entità, è probabile che il conducente inizi a stancarsi. Il deterioramento dell'attenzione è poi intensificato se si verifica un costante incremento dell'attività theta e una variazione dell'intensità dell'attività alpha mentre l'attività beta rimane invariata.

Gli svantaggi che questo sistema di misura comportano in quanto a intrusività (es., elettrodi da posizionare sullo scalpo, utilizzo di amplificatori) sono tali da rendere impossibile un suo utilizzo pratico.

2.5.2 Battito cardiaco (ECG)

Un altro sistema ad alta intrusività ma anche ad alta affidabilità è quello che si basa sulla rilevazione del battito cardiaco. È sufficiente mettere degli elettrodi sul petto del guidatore per misurare la frequenza cardiaca nel tempo (Verwey e Zaidel 1999). Quando il soggetto tende ad addormentarsi la frequenza tende a diminuire.

2.5.3 Temperatura corporea

Conseguentemente al rallentamento del battito cardiaco si ha anche una diminuzione della temperatura corporea (Rimini-Doering 2001).

2.5.4 Rilassamento dei muscoli

La rilevazione del tono muscolare rientra tra i metodi anch'esso ad alta intrusività, dato che si basa sul misurare attraverso dei sensori posti sul collo del conducente, le contrazioni dei muscoli delle braccia. Queste misure vengono rilevate nel tempo al fine di andare a determinare l'istante in cui nel soggetto insorge la sensazione di sonno.

2.5.5 Respiro

Un dispositivo montato nelle vicinanze del volante, analizza la temperatura, la velocità, e il grado di turbolenza dell'aria catturata. La misura viene convertita in un segnale e analizzata da un algoritmo che stabilisce gli intervalli di tempo in cui l'autista è assennato. È di facile utilizzo, poco intrusivo, ma fornisce risultati non molto affidabili perché è molto sensibile alle condizioni ambientali.

2.5.6 Sudorazione delle mani

La sudorazione delle mani aumenta con la stanchezza, per cui anche questo parametro può essere utilizzato per valutare le condizioni psicofisiologiche andando a mettere delle resistenze sulla corona del volante per misurare la variazione di conduttanza che deriva dall'aumento della sudorazione.

2.5.7 Movimenti della testa

Tramite una telecamera viene rilevata la posizione della testa e, mediante l'analisi delle immagini, si determinano i movimenti e le inclinazioni della testa stimando la stanchezza del guidatore (Frisoli, Avizzano e Bergamasco 2001).

2.5.8 Postura

Sempre tramite telecamere si può monitorare la postura, oppure con sensori posti sul sedile di guida che misurano la distribuzione della pressione. Quando si è nella condizione di vigilanza, il busto del guidatore è eretto e la risultante delle pressioni sullo schienale del sedile si trova ad una certa altezza h dalla cerniera. Invece, quando l'autista tende ad addormentarsi, inclina il capo in avanti e la risultante delle pressioni diminuisce (in modulo), mentre la sua distanza dalla cerniera si riduce (Figura 2.12).

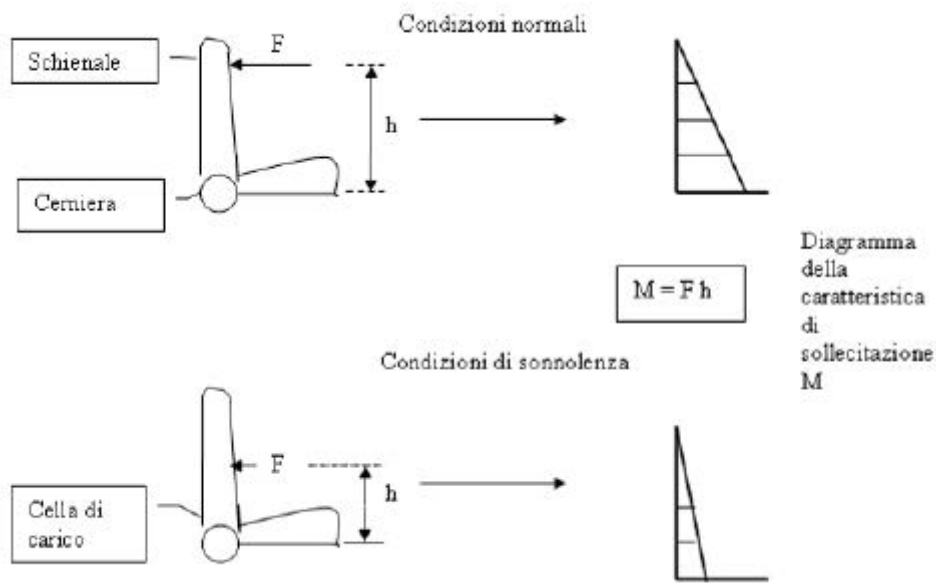


Figura 2.11: Schema di un sedile con cella di carico. (Malvasi 2007)

2.5.9 Pressione sul volante

Questo sistema misura l'andamento della pressione di contatto esercitata dalle mani del guidatore sullo sterzo. Il sistema determina i valori della pressione attraverso dei sensori posti sul volante, ma rimane poco chiaro come si possa risalire alla determinazione della sonnolenza con margini di sicurezza accettabili e non è semplice stabilire valori di soglia.

Con il termine "Eye Tracking" si intende il processo di misurazione del punto di fissazione oculare o del moto di un occhio rispetto alla testa. L'Eye tracker è uno strumento utile per misurare la posizione e il movimento degli occhi.

2.5.10 Monitoraggio degli occhi e del viso

Considerati tra i migliori sistemi come rapporto tra affidabilità e intrusività.

2.6 Sistemi che analizzano segnali del sistema veicolo

Sono metodi di misura meno attendibili di quelli appena descritti. In particolare, sono metodi di misura passivi e sono meno intrusivi.

I principali sistemi sono riportati in Tabella 2.1.

DINAMICA DEL VEICOLO	posizione (rispetto alla carreggiata) e direzione di marcia del veicolo
	andamento della velocità longitudinale e laterale
	angolo e velocità di imbardata
	accelerazione e decelerazione longitudinale
	accelerazione laterale
OPERAZIONI DI GUIDA EFFETTUATE DAL CONDUCENTE	azionamento dei pedali
	azionamento del cambio
	azionamento del volante

Tabella 2.1: Sistemi che analizzano i segnali del sistema veicolo

2.6.1 Dinamica del veicolo

I sistemi che si basano sulla dinamica del veicolo sono i meno attendibili in quanto si basano su delle grandezze che sono funzione delle operazioni fatte dal guidatore che a sua volta sono funzioni dello stato psico-fisico dello stesso. Infatti, per questo motivo vengono utilizzati in combinazione con altre grandezze.

Molto semplicemente, tramite dei sensori si ricavano le grandezze di interesse oppure da quelle rilevate si calcolano le altre tramite operazioni analitiche. Si traccia come varia nel tempo la grandezza, e in base a questo si può affermare se il conducente (se la grandezza rileva ampie fluttuazioni) è assennato.

2.6.2 Operazioni di guida effettuate dal conducente

I sistemi che si basano sulle operazioni di guida sono teoricamente più affidabili, rispetto a quelli appena descritti, perché risentono più direttamente delle condizioni psico-fisiche del guidatore. Il metodo che si basa sul monitoraggio dello sterzo, da un'analisi bibliografica risulta essere la soluzione più promettente (Blum 2002) (Verwey e Zaidel 1999) (Allen 1995) (Moreno 1996) (Fukuda 1995) (Elling 1994) (Brekke 1994) (Gabrielsen 1994).

Ci sono tante tecniche per realizzare questo sistema e le variabili che sono più frequentemente monitorate sono (Verwey e Zaidel 1999) (Fukuda 1995) (Elling 1994):

- posizione angolare dello sterzo;
- velocità dei movimenti dello sterzo durante le correzioni di traiettoria;
- coppia esercitata dal guidatore sul volante per compiere le manovre in curva.

Dalla letteratura, la variabile che sembra dare i migliori risultati è quella relativa alla posizione angolare dello sterzo, in particolare l'analisi dei micromovimenti che l'autista fa per correggere la traiettoria. Nelle normali condizioni di guida, l'autista cerca sempre di mantenere l'auto al centro della carreggiata con delle azioni frequenti di piccole correzioni (quasi impercettibili) dell'angolo dello sterzo. In dettaglio, per la maggior parte dei guidatori, i movimenti di controllo dello sterzo hanno una ampiezza massima di circa 2° in un campo di frequenze tra 0.1 e 0.3 Hz. Da sottolineare che questo campo di ampiezza non varia in modo significativo considerando percorsi con strada dritta o in curva (Gabrielsen 1994).

Invece, nelle condizioni di sonnolenza, è stato dimostrato che il guidatore effettua micro-correzioni con una frequenza minore e realizza movimenti più ampi e meno precisi.

Quindi questo metodo si basa sulla logica di riconoscimento dello stato del guidatore sulle seguenti condizioni a cui si può associare una condizione di stanchezza del conducente (Gabrielsen 1994) (Sayed 2000):

- l'intervallo che intercorre tra due movimenti di correzione che tende ad aumentare;
- l'ampiezza angolare di tali movimenti correttivi tende a crescere;
- i movimenti correttivi tendono a diventare meno precisi;

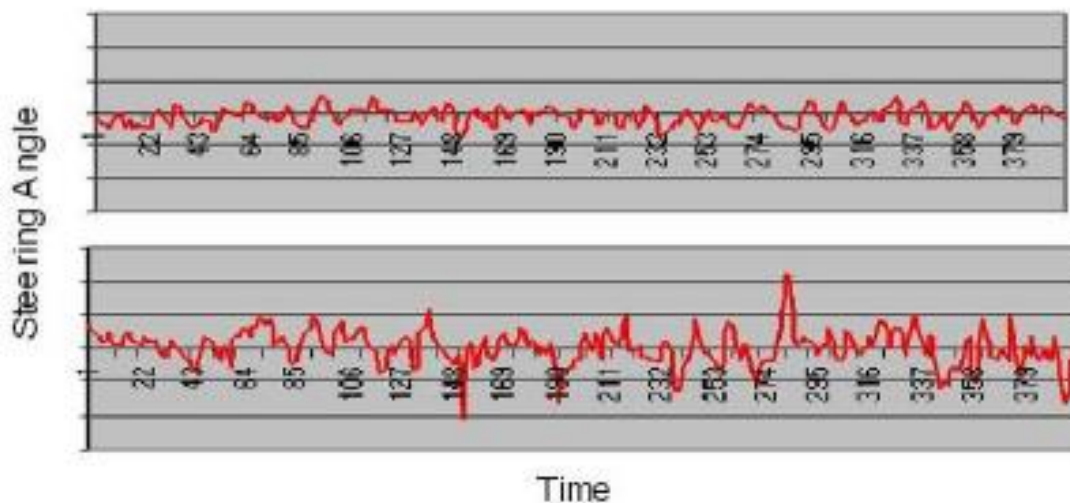


Figura 2.12: Correzioni dell'angolo dello sterzo con conducente riposato e affaticato. (Sayed 2000)

Analizzando la Figura 2.13 (Sayed 2000), è possibile apprezzare la differenza tra i due andamenti. L'intervallo di tempo tra una correzione ed un'altra, rappresenta il discriminante tra stato di sonnolenza e non; quanto più la stanchezza del guidatore cresce, tanto più aumentano gli intervalli di tempo tra sterzate successive.

In un confronto incrociato con i segnali dell'ECG e con un sistema di monitoraggio degli occhi, questo metodo ha mostrato un'attendibilità del 90%.

Un problema riscontrato, è che le correzioni apportate dal conducente tramite lo sterzo variano anche in funzione della velocità del veicolo; la tendenza è quella di diminuire l'ampiezza delle correzioni all'aumentare della velocità (Fukuda 1995). Una possibile soluzione a questo problema è quella di realizzare un sistema in grado di apprendere rapidamente lo stile di guida del guidatore.

2.7 Risposta a stimoli esterni

Tali sistemi sono stati classificati come attivi e vogliono stimare le condizioni di guida del guidatore fornendo degli stimoli acustici e visivi. È una tecnica utile in applicazioni militari o nei trasporti, in cui il soggetto è un dipendente del datore di lavoro e il suo compito è solo quello di guidare. È meno utile per un normale automobilista che è sempre assorto negli impegni e risulta quindi sempre stanco e non ha voglia di ascoltare una voce registrata.

Il principale obiettivo di questa tecnica è quello di attirare l'attenzione mentale del guidatore per non farlo annoiare e per non fargli perdere il controllo del veicolo.

Quando uno di questi metodi rileva una situazione di affaticamento superiore alla soglia ritenuta di sicurezza, il sistema DDDS deve essere in grado di prevenire il verificarsi del pericolo.

2.8 Verso il 2022

L'Europa sta compiendo un enorme passo nella direzione della sicurezza nei mezzi di trasporto. Il Parlamento e il Consiglio Europeo, infatti, hanno approvato la legge che prevede di rendere obbligatori alcuni ADAS all'interno di auto, camion e autobus (Figura 2.14).

Nel maggio del 2022, tutti i veicoli di nuova omologazione dovranno essere dotati, di serie, di quasi trenta dotazioni tra sistemi tecnologici e caratteristiche tecniche, pensati per la sicurezza dei guidatori e dei passeggeri. Per le vetture già in commercio, quindi omologate per la vendita prima del 2022, le nuove dotazioni diventeranno obbligatorie a partire da maggio 2024.



Figura 2.13: Nuovi sistemi di sicurezza nelle automobili (Quotidiano motori 2019)

Tra i vari ADAS che saranno resi obbligatori su tutte le auto di nuova immatricolazione ci sono:

- Frenata di emergenza automatica (auto, furgoni)
- Controllo del tasso alcolemico (auto, furgoni, camion, bus)
- Prevenzione della sonnolenza (auto, furgoni, camion, bus)
- Prevenzione della distrazione (auto, furgoni, camion, bus)
- Scatola nera per la registrazione degli incidenti (auto, furgoni, camion, bus)
- Emergency stop signal, ovvero accensione automatica delle 4 frecce in caso di frenata improvvisa (auto, furgoni, camion, bus)
- Protezione completa per la sicurezza passiva (auto e furgoni)
- Protezione in caso di impatto con pedoni e ciclisti (auto e furgoni)
- Intelligent speed assistance, cioè rilevamento dei segnali stradali e del limite di velocità corrente (auto, furgoni, camion, bus)
- *Lane keeping assist*, cioè mantenimento della corsia (auto e furgoni)
- Protezione laterale dagli impatti (auto e furgoni)
- Telecamera posteriore e sistemi di rilevamento (auto, furgoni, camion, bus)
- Monitoraggio della pressione degli pneumatici (furgoni, camion, bus)
- Rilevamento degli utenti vulnerabili della strada e avviso di presenza (camion e bus)
- Rilevamento degli angoli ciechi (camion e bus)

Secondo le stime, il 20% delle morti sulle strade europee potrebbe essere evitato dall'*Intelligent Speed Assistance*, un sistema che analizza la segnaletica stradale e le mappe satellitari, regola la velocità del veicolo a seconda dei limiti. Su richiesta del Parlamento, i veicoli potranno essere dotati di scatole nere con sensori che memorizzano determinati parametri della vettura negli istanti che precedono un incidente.

Dei miglioramenti a livello di sicurezza passiva saranno previsti e tutti i nuovi veicoli verranno sottoposti a nuove tipologie di *crash test*, anteriori e laterali. L'omologazione degli pneumatici sarà rivista, fino a comprendere collaudi di coperture usurate. I parabrezza dovranno avere delle specifiche che consentiranno di attenuare la gravità delle lesioni in caso di incidenti con pedoni o ciclisti.

Si parla poi anche di introdurre il rilevatore di ostacoli in movimento nelle manovre in retromarcia, già in offerta su alcuni modelli (come la nuova Mercedes Classe B), e di predisporre le auto a montare misuratori di tasso alcolemico in grado di impedire l'avviamento per scongiurare il rischio che i guidatori si mettano al volante in condizioni non ottimali.

CAPITOLO 3: Prevenzione e Sanzioni

Nel presente capitolo sono presentati alcuni campanelli di allarme che indicano l'insorgere del colpo di sonno e le misure preventive da adottare prima e durante la guida. L'ultima parte tratta la materia giuridica con un focus sulle sanzioni.

3.1 Segnali di pericolo per guidatori assonnati

Spesso non siamo consapevoli del nostro effettivo grado di sonnolenza e tendiamo a sopravvalutare la nostra capacità di resistere al sonno (ACI 2014). Tuttavia, alcuni segnali dovrebbero fungere d'allarme mentre siamo alla guida. Gli occhi cominciano a bruciare, tendono a chiudersi e le palpebre si abbassano di frequente; è sempre più difficile mettere a fuoco le immagini. La testa tende a cadere in avanti e si comincia a sbadigliare; non si riesce inoltre a mantenere la concentrazione sul compito non avendo consapevolezza di dove si è, di come si è arrivati in quel posto, della velocità mantenuta nel tragitto: i pensieri si fanno sempre più confusi. Le manovre diventano meno fluide e i tempi di reazione si allungano

In Tabella 3.1 sono riportate le misure preventive da adottare prima e durante il compito.

Prima di mettersi alla guida	identifica e cura le malattie che provocano sonnolenza
	non bere alcolici e fai attenzione all'assunzione di farmaci (chiedi al tuo medico)
	evita se puoi la guida notturna
	dormi adeguatamente la notte precedente o fai un adeguato sonnellino (30-60 minuti circa) prima di partire
Durante la guida	fermati subito se ti senti assonnato o se riconosci i primi segnali d'allarme della sonnolenza
	fai un sonnellino non superiore a 20 minuti ed eventualmente prima di ripartire bevi un caffè, ma ricorda che l'effetto di 150-200 mg di caffeina (equivalente a due caffè espresso) dura circa un'ora.

Tabella 3.1: Misure di prevenzione da adottare prima e durante il compito

3.2 Sanzioni in caso d'incidente

In caso di incidente, il colpo di sonno non è considerato come una giustificazione o una causa di forza maggiore, ossia una giustificazione per essere esenti da responsabilità. Il conducente, quando decide di mettersi alla guida, deve assicurarsi di avere le condizioni psico-fisiche necessarie per mantenere il controllo del veicolo in ogni circostanza, oltre che assicurarsi che il veicolo abbia le condizioni tecniche atte per una guida sicura. Solo un malore improvviso potrebbe giustificare eventuali responsabilità.

Il codice della strada art. 141 co. 2 e 11:

art.141.2: “il conducente deve sempre conservare il controllo del proprio veicolo ed essere in grado di compiere tutte le manovre necessarie in condizioni di sicurezza, specialmente l’arresto tempestivo del veicolo entro i limiti del suo campo di visibilità e dinanzi a qualsiasi ostacolo prevedibile”

11. “Chiunque viola le altre disposizioni del presente articolo è soggetto alla sanzione amministrativa del pagamento di somma da 41 a euro 168”

A riguardo, la Cassazione ha affermato che «in tema di omicidio colposo determinato dalla perdita di controllo di un autoveicolo, nel caso in cui venga prospettata dalla difesa la tesi del malore improvviso» (quale giustificazione che ha inciso sulla capacità intellettuale e volitiva del soggetto), «il giudice di merito può disattenderla quando manchino elementi concreti capaci di renderla plausibile e siano presenti elementi idonei a far ritenere che la perdita di controllo del veicolo sia stata determinata invece da un altro fattore non imprevedibile, che avrebbe dovuto indurre il conducente a desistere dalla guida». In queste situazioni potrebbe anche scattare la revisione della patente di guida. Ma com'è possibile stabilire se la causa dell'incidente è stata un colpo di sonno?

Si valutano diversi elementi, di solito definiti dalla consulenza tecnica: ad esempio la mancanza di tracce di frenata sull'asfalto, la velocità moderata proprio per dimostrare che il conducente in quel momento non era vigile e presente a sé stesso.

CAPITOLO 4: I simulatori di guida per la sicurezza stradale

Nel presente capitolo viene definito che cosa significhi simulare e la differenza tra percezione e realtà. Sono presentate le differenti tipologie di simulatori, i vantaggi e gli svantaggi dell'utilizzo di questa strumentazione e una puntuale descrizione della strumentazione (apparato hardware e software) presente presso il Laboratorio Trasporti dell'Università di Padova.

4.1 Simulare

Simulare significa prendere un modello della realtà che consenta di valutare e prevedere lo svolgersi di una serie di eventi causati dall'imposizione di alcune condizioni da parte di un utente.

Le simulazioni sono uno strumento sperimentale di analisi molto potente, grazie alle grandi capacità di calcolo fornite dall'informatica, utilizzato sia per ambiti tecnologici che scientifici. La simulazione, quindi, non è altro che la trasposizione logico-matematica della realtà.

I simulatori di guida forniscono l'opportunità di riprodurre le caratteristiche dinamiche del veicolo reale in un contesto virtuale.

Negli ultimi anni i simulatori si stanno evolvendo con notevole successo grazie alla loro funzionalità ed utilità e, molti studi vengono fatti per migliorare la percezione della realtà.

4.2 Percezione vs realtà

Perché un simulatore di guida possa far vivere al pilota le sensazioni abituali che avrebbe se stesse guidando nella realtà - percezioni posturali e soprattutto visive che la piattaforma dà al pilota - devono essere coerenti tra di loro (fase e intensità degli stimoli). È ovvio pensare che la riproduzione fedele del sistema non è possibile, però i continui studi mirano a portare questa percezione ad esserlo il più possibile. Sempre più studi sono fatti per capire il meccanismo che determina l'equilibrio del corpo umano, in modo da poter "ingannare" l'utente e fargli percepire una sensazione di moto che più si avvicina a quella reale, nonostante il simulatore in quel momento stia riproducendo accelerazioni con intensità diversa.

Come dice il Dott. Chetta (Chetta 2007) l'apparato vestibolare, situato in profondità dell'osso temporale dietro l'orecchio interno, fornisce al cervello informazioni riguardanti la posizione della testa e del corpo nello spazio. Anche l'apparato visivo trasmette all'encefalo una percezione diretta dell'ambiente esterno. Affinché le informazioni prodotte dal sistema vestibolare possano essere acquisite dal sistema posturale, devono essere costantemente comparate ed integrate con quelle provenienti dagli altri recettori periferici (per es. occhi). Ecco che, informazioni contrastanti tra apparato vestibolare e quello visivo possono causare disagi; come ad esempio la cinetosi, "il mal di mare", che nasce quando c'è contrasto tra informazione visiva che osserva un punto fisso e le oscillazioni della barca rilevate dal vestibolo.

L'apparato vestibolare è predisposto per rispondere al meglio ad accelerazioni rapide e di breve durata mentre si lascia facilmente ingannare da accelerazioni lunghe o inconsuete; ecco il perché i capogiri quando si ruota più volte su sé stessi e ci si ferma di colpo. Per esempio, per ottenere un'accelerazione costante, in maniera da "ingannare" il sistema dell'equilibrio umano, si deve mantenere l'apparato visivo fermo e ruotare la sedia del pilota rispetto all'orizzonte, in modo tale che senta un'accelerazione gravitazionale coerente a quella che si vorrebbe far percepire senza dover muovere longitudinalmente l'abitacolo. Logicamente ci dovrà essere una strategia che, in modo del tutto automatico, mandi i segnali agli attuatori affinché la piattaforma si muova nel modo descritto.

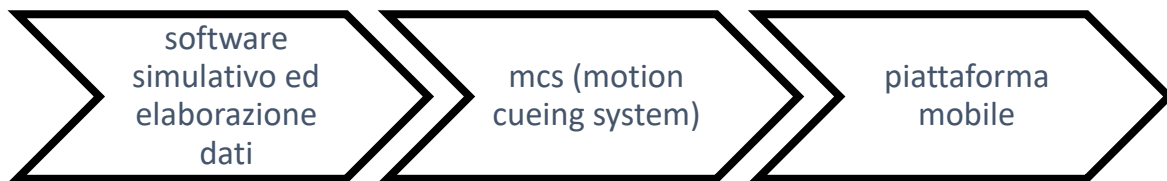


Figura 4.1: Struttura di un simulatore

Un simulatore è strutturato da un programma simulativo che si occuperà di virtualizzare l'automobile e l'ambiente ed elaborare i dati provenienti dai comandi del pilota e quindi in grado di generare i segnali del moto e farglieli percepire (Figura 4.1). È dotato anche di un secondo sistema (mcs) capace di prendere le accelerazioni sviluppate dall'elaboratore e trasformarle in comandi di attuazione della piattaforma.

4.3 I primi simulatori

Nei primi anni '70, la Volkswagen, costruì il primo simulatore di guida automobilistico con un sistema a 3 gradi di libertà (Figura 4.2). Il moto veniva dato dal movimento pilotato della cabina sui tre assi rotazionali (x,y,z) e il pilota aveva un unico schermo davanti a sé.



Figura 4.2: Primo simulatore di guida Volkswagen

Da qui in poi, lo sviluppo dei simulatori fu molto veloce, grazie anche alle tecnologie informatiche. I simulatori di guida, oggi, vengono utilizzati in diversi ambiti come: ricerca per la sicurezza stradale, corsi di formazione per i conducenti, scuola guida, progettazione e valutazione da parte delle case automobilistiche di nuovi sistemi di assistenza al conducente del veicolo.

Si possono dividere in tre categorie, in base al loro livello di fedeltà nel riprodurre il compito di guida:

1. simulatori a basso livello di fedeltà (statici). Veicolo e schermi sono fissati al pavimento e il loro angolo di visibilità è il più esteso possibile grazie alla presenza di più schermi affiancati o di un unico schermo convesso. Il volante e la pedaliera sono spesso forniti di feedback di forza e sistema sonoro per aumentare la veridicità della guida;
2. simulatori a medio livello di fedeltà (dinamici). Composti da un veicolo accelerato con almeno un grado di libertà (asse x e/o y). Lo schermo davanti può essere fissato al pavimento o muoversi assieme al veicolo. Volante e pedaliera come nel caso di simulatori statici;
3. simulatori ad alto livello di fedeltà, sempre dinamici, però con 6 gradi di libertà ottenuti mediante una cabina montata su un robot esapode (struttura esapodale di Gough-Stewart: è un tipo di manipolatore parallelo che ha sei attuatori prismatici, comunemente martinetti idraulici o attuatori elettrici lineari, collegati in coppia a tre posizioni sulla piastra di base della piattaforma (Figura 4.3)) in grado di muoversi con interno simile a quello di un'automobile in cui viene proiettato l'ambiente in modo che sia coperto almeno un angolo di 220°.

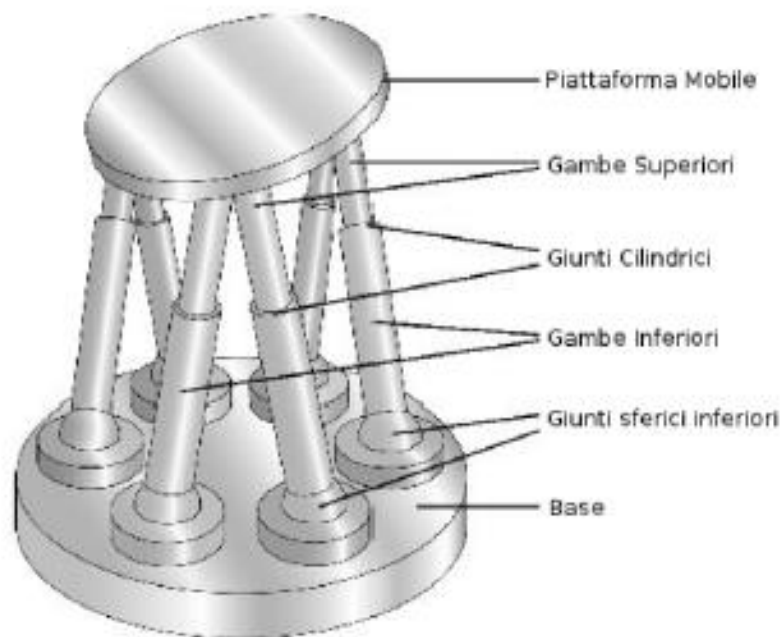


Figura 4.3: Struttura esapodale di Gough-Stewart. (D'ambrosio 2011)

4.4 Vantaggi e svantaggi

In Tabella 4.1 sono riportati i principali vantaggi e gli svantaggi.

<p><i>L'utilizzo di un simulatore, in confronto ad una osservazione in contesti di traffico reali, offre i seguenti vantaggi:</i></p>	<p><i>versatilità</i>: è il maggior vantaggio, in quanto può essere facilmente configurato per riprodurre un'infinità di situazioni in differenti contesti stradali</p>
	<p><i>economicità</i>: dopo un'ingente spesa iniziale, per l'acquisto del simulatore, gli esperimenti sono molto meno costosi dei rilievi sul campo</p>
	<p><i>risparmio di tempo</i>: i rilievi sul campo possono essere molto lunghi e non produrre il risultato sperato. Al simulatore, invece, gli esperimenti sono progettati ad hoc per ottenere i contesti di guida desiderati</p>
	<p><i>sicurezza</i>: è facile notare come un simulatore di guida non presenti rischi tipici della guida reale</p>
	<p><i>controllo sperimentale e facilità di raccolta dati</i>: il simulatore permette di controllare i parametri di guida con uno spettro più ampio rispetto ad una osservazione sul campo ed offre la possibilità di replicare le medesime condizioni stradali, di traffico e meteo ad ogni test.</p>
<p><i>Ci sono però, anche degli aspetti negativi:</i></p>	<p><i>impossibilità di riprodurre esattamente la realtà</i>: è lo svantaggio principale di un simulatore di guida, dato che un ambiente reale non potrà mai essere replicato in tutta la sua complessità</p>
	<p><i>malessere dovuto all'utilizzo di un simulatore di guida</i>: la simulazione del moto può creare in alcuni soggetti sintomi simili a quelli dovuti al malessere del movimento come: nausea, disorientamento o addirittura atassia ed emesi anche se in forma leggera. Possono presentarsi durante la simulazione o dopo il suo termine e possono essere temporanei o persistere per alcune ore. Le cause possono essere legate alle caratteristiche del simulatore (es. ritardo tra azione del conducente e risposta all'interno della simulazione), oppure alle caratteristiche degli schermi (es. le dimensioni, luminosità, frequenza di visualizzazione, ecc), o le caratteristiche dell'ambiente di sperimentazione (es. temperatura, umidità, luce ecc), o dalle caratteristiche del conducente (es. se soffrono di malessere da moto)</p>

	mancanza, da parte degli utilizzatori, delle sensazioni tipiche delle situazioni reali del traffico (pericolo, fretta)
	mancanza, da parte degli utilizzatori, di motivazione al rispetto delle norme del Codice della Strada (CdS)

Tabella 4.1: Vantaggi e svantaggi dei simulatori di guida

Anche se il simulatore di guida presenta questi svantaggi, rimane uno strumento dalle incredibili potenzialità per lo studio della sicurezza stradale, tenendo conto che dovrà essere testata la validità caso per caso per rappresentare lo specifico scenario che si vuole studiare.

4.5 Validazione

La validazione di un simulatore di guida consiste nella misura di quanto esso sia realistico in riferimento ad un determinato contesto di studio.

Blaauw (Blaauw 1982) ha definito due differenti livelli di validità:

1. validità fisica: corrispondenza fisica tra l'esperienza di guida al simulatore e quella del mondo reale (fedeltà del simulatore);
2. validità comportamentale: differenza di comportamento del guidatore al simulatore di guida e nel mondo reale (validità predittiva).

4.6 Il simulatore di guida del DICEA

Il simulatore di guida utilizzato nel lavoro di tesi è situato presso il Laboratorio di Trasporti del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (DICEA) dell'Università degli Studi di Padova. In dotazione al laboratorio ci sono due simulatori "PC-based", cioè costituiti da uno o più PC, prodotti dalla casa produttrice olandese STSoftware® e attivi al DICEA dal 2010.

Uno di essi è statico (a basso livello di fedeltà), mentre l'altro dinamico (a medio livello di fedeltà) e perciò in grado di simulare, grazie ad una pedana di movimento, accelerazioni, spostamenti e vibrazioni percepiti usualmente nell'intorno dell'abitacolo di un veicolo, rendendo ancora più realistica l'esperienza di guida (Figura 4.4, 4.5, 4.6, 4.7).

4.6.1 Apparato Hardware

L'apparato hardware del simulatore di guida statico si compone, nello specifico, di:

- 3 PC collegati in rete con processore Intel i5, frequenza 3.4 GHz, 2 moduli RAM DDR3 da 2 GB ciascuno, scheda video Nvidia GeForce GTX 760 e sistema operativo Microsoft Windows 7 Professional;
- 5 display al plasma da 50 pollici con risoluzione in pixel di 1920×1080 (L×H) disposti intorno alla postazione di guida, in particolare uno in posizione frontale e due laterali, anteriore e posteriore, per ciascun lato dell'abitacolo, adibiti alla visualizzazione della simulazione di guida;
- display per il controllo dell'operatore;

- abitacolo dotato di sedile regolabile con cintura di sicurezza, plancia con blocchetto di accensione, sterzo, leva di azionamento degli indicatori di direzione e di accensione delle luci, cambio manuale a cinque marce più retromarcia, freno di stazionamento e pedaliera con frizione, freno e acceleratore;
- sistema audio surround 5.1 composto da 3 altoparlanti frontali, 2 in posizione laterale posteriore all'altezza della testa del conducente e 1 subwoofer a lato della pedaliera.

L'apparato hardware del simulatore di guida dinamico, invece, è costituito da:

- 3 PC collegati in rete con processore Intel i7, frequenza 3,4 GHz, 2 moduli RAM DDR3 da 2 GB ciascuno, scheda video Nvidia GeForce GTX 760 e sistema operativo Microsoft Windows 7 Professional;
- 5 display al plasma da 60 pollici con risoluzione in pixel di 1920×1080 (L×H), disposti intorno alla postazione di guida, nel dettaglio uno in posizione frontale e due laterali, anteriore e posteriore, per ciascun lato dell'abitacolo, i quali coprono una visuale superiore ai 300°;
- display per il controllo dell'operatore;
- kinect camera collocata sopra al display frontale con la funzione di head tracker, grazie a cui cioè è possibile seguire il movimento della testa del guidatore;
- piattaforma mobile della casa produttrice australiana CKAS®, sopra alla quale è collocato l'abitacolo del simulatore, che, per mezzo di essa, è in grado di muoversi con due gradi di libertà lungo gli assi orizzontali longitudinale e trasversale (X,Y) e quindi di restituire le sensazioni inerziali del corpo;
- abitacolo dotato di sedile regolabile con cintura di sicurezza, plancia con blocchetto di accensione, sterzo, leva di azionamento degli indicatori di direzione e di accensione delle luci, cambio manuale a cinque marce più retromarcia, freno di stazionamento e pedaliera con frizione, freno e acceleratore;
- sistema audio surround 5.1 composto da 3 altoparlanti frontali, 2 in posizione laterale posteriore all'altezza della testa del conducente e 1 subwoofer a lato della pedaliera.



Figura 4.4: Simulatore di guida statico del Laboratorio di Trasporti del DICEA

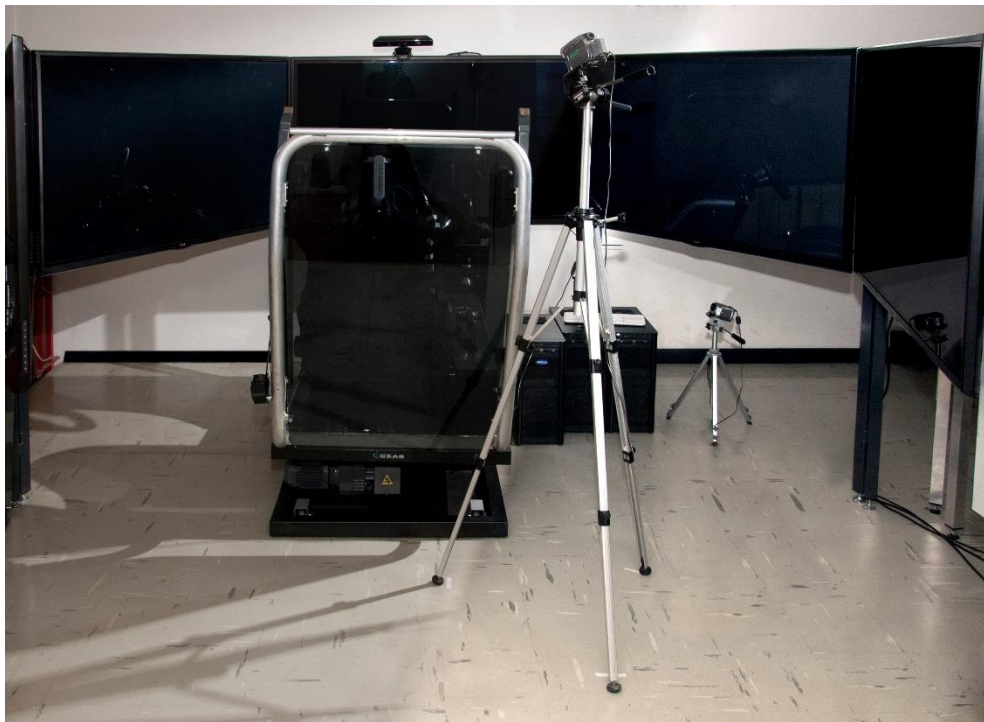


Figura 4.5: Simulatore di guida dinamico del Laboratorio di Trasporti del DICEA



Figura 4.6: Dettaglio dell'abitacolo del simulatore di guida



Figura 4.7: Dettaglio dei sistemi di guida del simulatore

Le funzioni per entrambi i simulatori, sono così divise fra tre PC (Figura 4.8):

- al PC principale (“control 1” o “control 2” a seconda del simulatore usato) spetta il controllo dell’interfaccia operatore (“control terminal”), la gestione della simulazione di traffico, l’esecuzione degli script, la riproduzione dei suoni, la creazione grafica tridimensionale (rendering) dell’ambientazione nel monitor frontale (“center”) e il comando della kinect camera nel caso del simulatore dinamico;
- il secondo PC (“render A”) si occupa del rendering grafico nei due monitor laterali anteriori (“left-1” e “right-1”) e per il simulatore dinamico del controllo della piattaforma mobile (“motion platform”);
- il terzo PC (“render B”) si occupa invece del rendering grafico dei due monitor posti in posizione laterale posteriore (“left-2” e “right-2”).

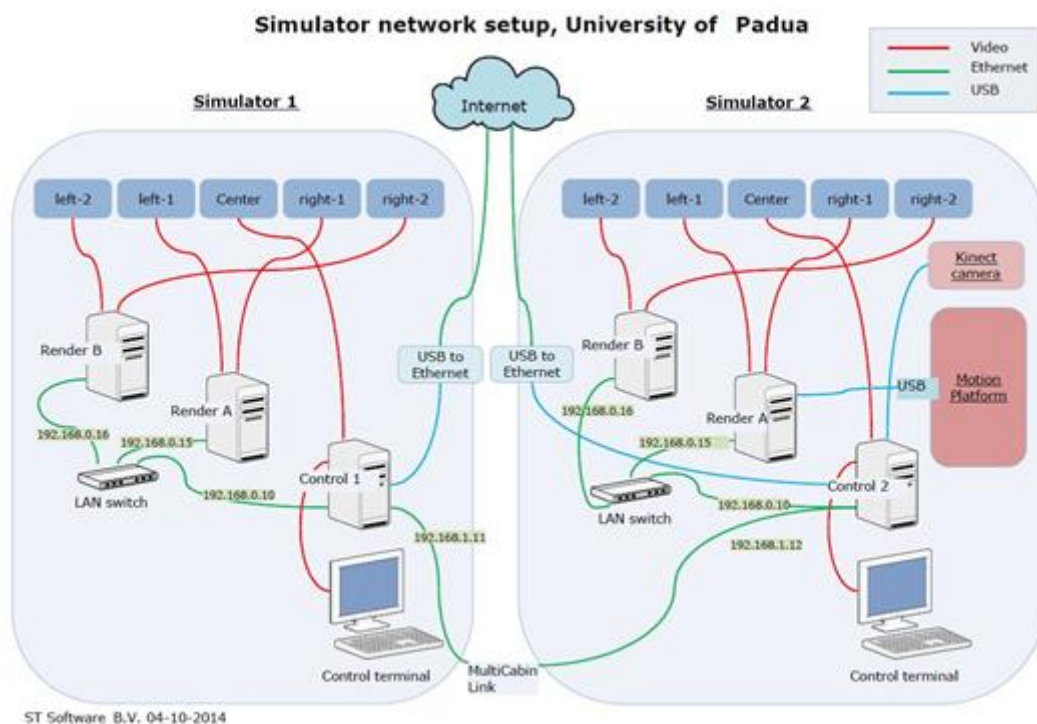


Figura 4.8: Configurazione di rete del simulatore di guida (STSoftware 2007)

Per la simulazione oggetto di studio è stato utilizzato il simulatore di guida di tipo dinamico.

4.6.2 Software

Entrambi i simulatori funzionano mediante un pacchetto di software divisi in tre categorie:

- software adibiti alla progettazione della simulazione:
 - stRoadDesign per la realizzazione degli ambienti stradali mediante interfaccia grafica – Graphical User Interface (GUI);
 - stScenario per la creazione degli scenari di simulazione con apposito linguaggio di script;

- software utilizzati in fase esecutiva 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 dei suoni;
- software dedicati alla collezione e l'analisi dei dati risultanti dalla simulazione:
 - stTraffic/stScenario per l'elaborazione dei dati in tempo reale;
 - stDataproc per l'elaborazione dei dati off-line mediante GUI.

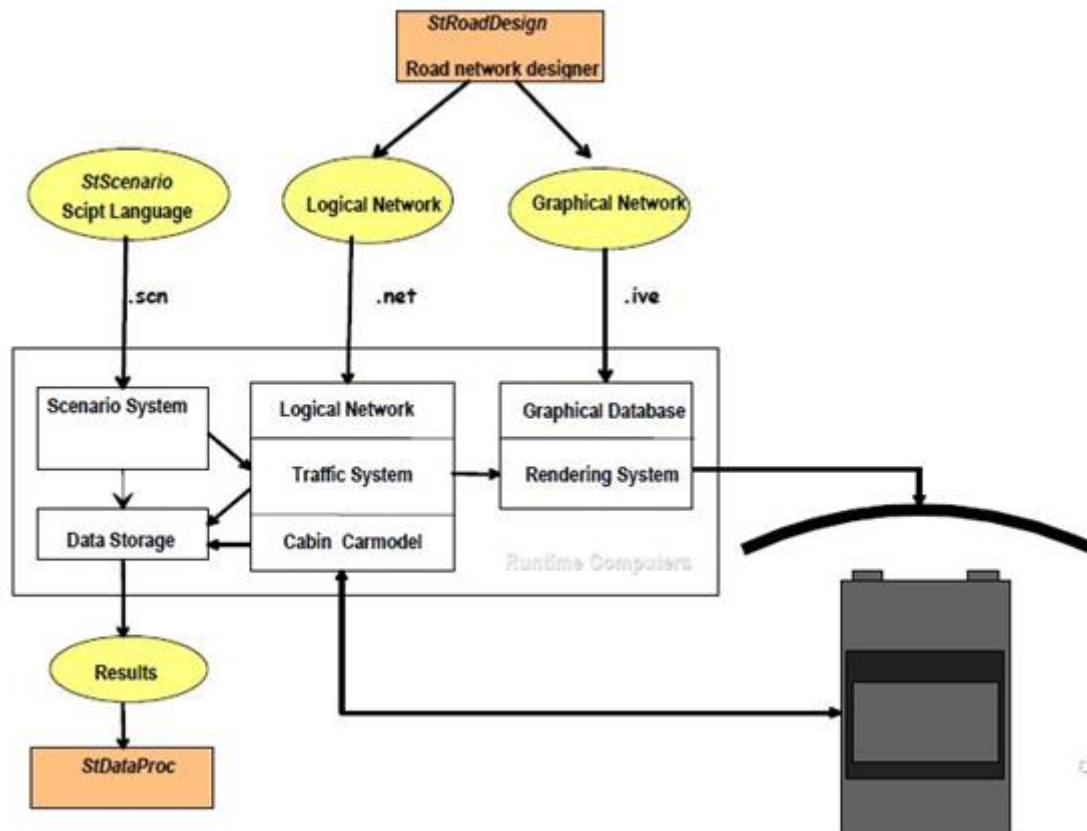


Figura 4.9: Schema di funzionalità del pacchetto software (STSoftware 2007)

In particolare:

- stRoadDesign (Figura 4.9) permette di creare la rete stradale logica, ovvero quella in cui ha luogo la simulazione, in tutte le sue caratteristiche (dimensioni e altre proprietà tipiche di segmenti e intersezioni stradali come numero di corsie, presenza di marciapiede o corsia per il parcheggio a lato strada, segnaletica orizzontale o verticale e luci); le componenti di traffico sono legate ad essa e quindi, durante la simulazione, si trovano sempre in un punto della rete e non vengono permessi movimenti liberi fuori dai percorsi stradali. A partire dalla rete stradale logica, il software crea poi quella grafica che viene visualizzata sui display durante la simulazione; siccome quest'ultima è direttamente derivata da quella logica, tra le due esiste una perfetta correlazione geometrica e, di conseguenza, il traffico legato alla rete logica apparirà nella corrispondente posizione spaziale della rete grafica. La rete viene creata mediante elementi di tipo *segment* rappresentanti i segmenti stradali (rettilinei o curvilinei),

i quali possono essere uniti o spezzati mediante elementi di tipo *Cnode* costituenti i nodi di connessione; quando tre o più segmenti si incrociano viene inserito un elemento di tipo *intersection*, ovvero un'intersezione.

Il tratto di rete tra due intersezioni prende il nome di *path* ed è caratterizzato da una specifica direzione da A a B. La direzione opposta da B ad A invece si definisce *opposite path*. Ciascun path, o *opposite path*, è identificato da un numero specifico per localizzare le componenti di traffico durante la simulazione.

Una volta creata la rete formata da segmenti e intersezioni, l'ambiente virtuale viene completato da elementi orizzontali detti *field*, come campi o altre superfici di vari materiali, e verticali detti *facade*, come cancelli o siepi; infine, è possibile aggiungere altri elementi di arredo sotto forma di *3D object*, ovvero oggetti 3D come edifici, panchine, bidoni della spazzatura, etc.; infine esistono gli elementi *tree*, elementi in 2D che ruotano a seconda della vista rappresentanti gli alberi o altro tipo di vegetazione;

- stScenario non è altro che uno specifico linguaggio di programmazione progettato ad hoc per questo tipo di simulatore di guida.

Tale linguaggio permette di definire un numero qualsiasi di scenari di simulazione all'interno dello stesso file di script e di attivarne più di uno indipendentemente durante il suo svolgimento; ogni scenario si attiva mediante una condizione di inizio e si disattiva con una di fine da script (ad esempio quando un veicolo raggiunge una determinata velocità o entra in uno specifico path), ma può anche essere controllato dall'operatore mediante l'interfaccia grafica di stControl;

Gli script sono composti in semplice linguaggio ASCII con un editor di testo, preferibilmente TextPad, per il quale sono disponibili specifiche estensioni al fine di facilitare la scrittura e correggere eventuali errori di sintassi.

- stControl è costituito da un'interfaccia grafica tramite la quale l'operatore può gestire la simulazione (figura 4.10). In particolare, egli può far iniziare, sospendere temporaneamente o far terminare la simulazione; durante la singola prova può gestire vari eventi predefiniti, registrare, controllare lo stato delle componenti hardware del simulatore, controllare la pressione sui pedali di frizione, freno e acceleratore, la marcia ingranata, la modalità di cambio (manuale o automatica), la quantità di carburante disponibile, la velocità di crociera, lo stato del veicolo (acceso o spento), l'accensione delle luci, la posizione del volante e del freno a mano, la tipologia di vista (dalla postazione del guidatore, da tutte le angolazioni), lo zoom della vista, le condizioni atmosferiche e di conseguenza la distanza di visibilità;

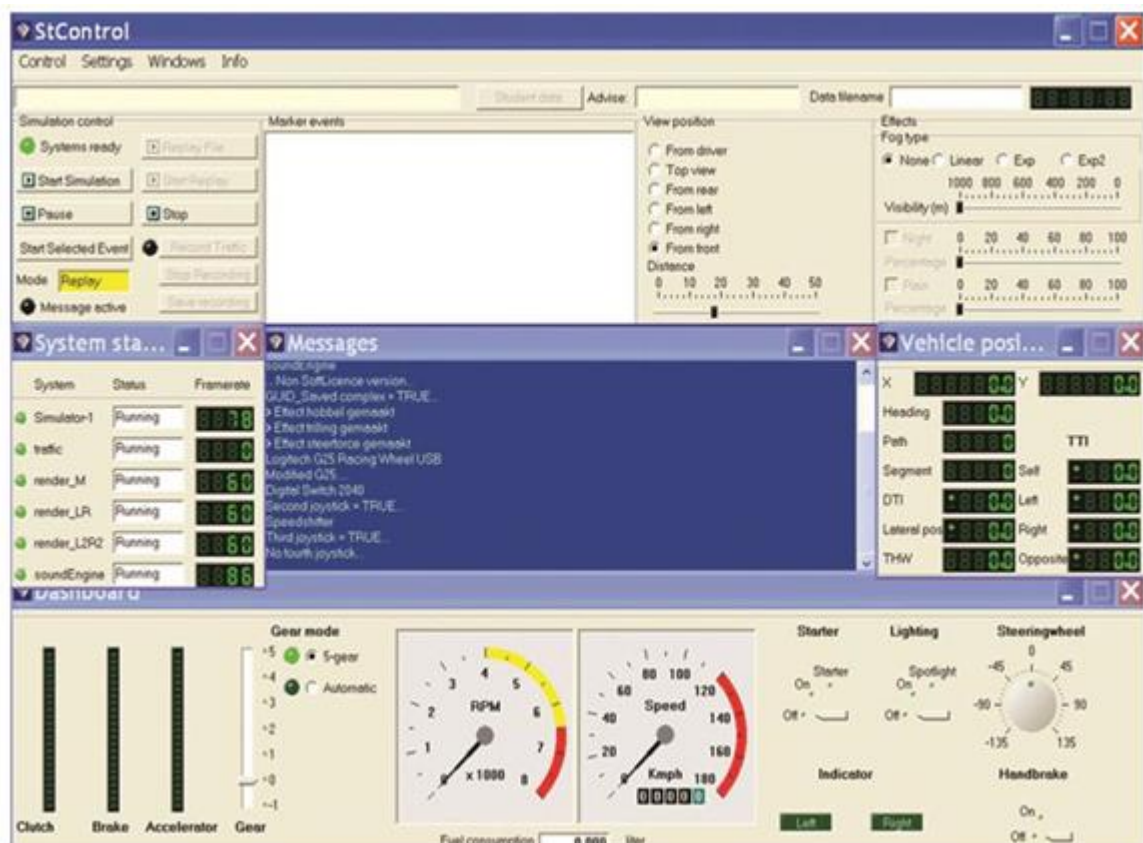


Figura 4.10: Interfaccia grafica del software stControl (STSoftware 2007)

- stTraffic si occupa del processo centrale della simulazione eseguendo gli scenari da script, gestendo le componenti veicolari e inviando i dati di traffico ai software stRender e stSoundEngine;
- stRender si occupa della computazione dei dati di traffico ricevuti da stTraffic per produrre la grafica 3D dell'ambiente di simulazione composta dalla rete creata con stRoadDesign, il cruscotto del veicolo ed eventuali immagini pop-up;
- stSoundEngine crea dai dati di traffico ricevuti da stTraffic, i suoni di simulazione quali il rumore del motore, il vento ed eventuali istruzioni verbali o feedback;
- stDataProc permette di gestire off-line, mediante interfaccia grafica, i dati risultanti dalla simulazione archiviati in serie binarie; è possibile, infatti, selezionare graficamente blocchi di dati, eventualmente contrassegnati da eventi in fase di simulazione, ed elaborarli statisticamente stampando poi i risultati in un file di testo e anche convertire le serie binarie di dati in linguaggio ASCII per poi esportarle in vari formati.

CAPITOLO 5: La ricerca

Nel presente capitolo viene presentata la ricerca oggetto di questa tesi. Partendo dalla progettazione dell'ambiente virtuale sono poi riportate le caratteristiche del campione oggetto di studio e la struttura dell'esperimento (questionari somministrati, strumentazione utilizzata, procedura sperimentale e compito di guida).

5.1 Progettazione dell'ambiente virtuale

L'obiettivo principale della ricerca condotta è quello di ricreare la situazione di fatica passiva alla guida e studiarne gli effetti che essa provoca sul conducente; in particolare la posizione laterale del veicolo e alcuni effetti fisiologici. Una variabile cruciale per indurre la fatica è il periodo del giorno in cui viene svolto l'esperimento. Si può sostenere che, poiché è molto probabile che si verifichi sonnolenza durante la notte, i periodi di test notturni dovrebbero essere i più informativi. Tuttavia, poiché tutti sanno che la privazione del sonno può essere pericolosa durante la guida, i conducenti potrebbero eventualmente attivare una strategia specifica per contrastare questo problema durante la guida notturna. Inoltre, la maggior parte dei conducenti sembra essere consapevole del loro livello di sonnolenza durante la guida (Nilsson 1997). Per questo motivo, si è ritenuto che il momento più insidioso sia la metà del pomeriggio (13: 30-14: 00), poiché in assenza di uno stato di privazione del sonno, i conducenti potrebbero sottovalutare il rischio.

Per studiare la fatica e la sonnolenza alla guida è stato scelto di creare un ambiente virtuale molto monotono, cioè, un'autostrada con tracciato rettilineo, senza necessità di superare e con un ambiente circostante composto solo da qualche albero. Il tutto è stato progettato al simulatore in dotazione al laboratorio di trasporti del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (DICEA).

Per riprodurre l'ambiente virtuale scelto si è utilizzato il software stRoadDesign di STSoftware. Il procedimento di costruzione del modello è avvenuto nel seguente ordine:

- Inserimento dei segmenti stradali (segment) e delle intersezioni(intersection);
- Inserimento degli elementi verticali (facade), degli alberi (tree) e degli oggetti 3D (3D object);
- Inserimento degli elementi orizzontali (field).

Per ogni segmento è stato scelto il numero di corsie, la loro tipologia, la larghezza, il tipo di pavimentazione e la segnaletica orizzontale. Sono poi stati aggiunti i segnali verticali e altri oggetti 3D di arredo.

Nella Figura 5.1 è possibile vedere il modello finito nella visualizzazione 2D e in Figura 5.2 quella 3D.

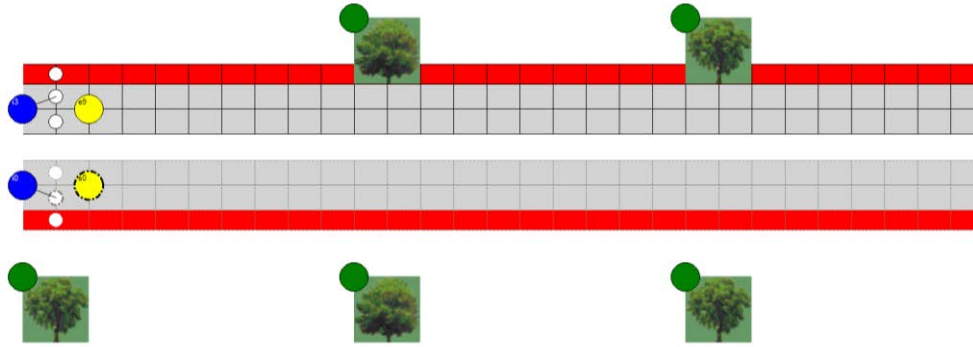


Figura 5.1: Visualizzazione modello in 2D del tracciato

Per il funzionamento della simulazione di guida è stato creato uno script impiegando il linguaggio di programmazione stScenario di STSoftware.

Questo script ha lo scopo di collocare il veicolo (utilizzato dal soggetto partecipante), chiamato Main Target (MT), in una specifica posizione e con ben determinate caratteristiche, generare gli altri veicoli circolanti (gli agent) definendone la tipologia e il comportamento, controllare le caratteristiche dell'ambiente virtuale (l'ora del giorno, le condizioni meteo, etc.) e ottenere i dati che verranno poi riportati nei file di output.

Alcune caratteristiche:

- Numero di intersezioni: 4
- Numero di paths: 20
- Numero di Path Segments: 20
- Numero di Lanes: 60
- Numero di Signs: 17
- Numero di fields: 1644
- Numero di trees: 6560
- Numero di facades: 3289
- Larghezza corsia: 3,70 m
- Larghezza corsia d'emergenza: 3 m
- Larghezza macchina: 1,6 m
- Lunghezza macchina: 4,6 m.



Figura 5.2: Visualizzazione 3D ambiente virtuale

Il Main Target è stato inserito tra altri due veicoli. Sia il veicolo leader che il veicolo follower si comportano allo stesso modo del MT. Le auto in sorpasso, invece, venivano create dopo che il MT aveva raggiunto una velocità maggiore di 70 km/h. È stata ricreata una leggera pendenza laterale della carreggiata al fine di creare la tendenza a deviare a destra richiedendo così al conducente di apportare correzioni compensative dello sterzo. Nella direzione opposta è stato creato un traffico molto leggero.

In Tabella 5.1 sono riportate tutte le variabili scelte quali output campionate con una frequenza di 10 Hz.

VARIABILE	SIGNIFICATO
event	evento
time	periodo di tempo corrente (il periodo di tempo è sempre memorizzato automaticamente, quindi non deve essere specificato)
pathnum	numero di percorso di MainTarget
segnum	numero di segmento di MainTarget
dtoint	distanza dalla prossima intersezione: in metri. La distanza è misurata dal centro del paraurti anteriore al punto in cui inizia il piano di intersezione
dfrint	distanza dall'ultimo incrocio: in metri. La distanza è misurata dal centro del paraurti anteriore.
xpos	coordinata X del centro del pannello frontale
ypos	coordinata Y del centro del pannello frontale
velocity	velocità del MainTaret: in m/s
acc	accelerazione di MainTaret: in m/s^2
latpos	distanza laterale tra il centro del paraurti anteriore di MainTarget e la linea centrale della DLANE più a destra (DLane [0]). Se il centro del paraurti anteriore è a SINISTRA di questa linea: valori positivi. A DESTRA di questa linea: valori negativi.
latacc	accelerazione laterale calcolata come velocità longitudinale del MainTarget.
heading	direzione del veicolo rispetto alla strada (in gradi)
tlc	incrocio time-to-line sulla corsia di marcia. Questa è la versione geometricamente accurata. Se il veicolo si muove verso la linea di sinistra: positivo. Se il veicolo si sta spostando verso destra, direzione: negativo.
tti	tempo di intersezione, in secondi. Calcolato come distanza lungo il percorso (tra il paraurti anteriore di MainTarget e l'inizio del piano di intersezione) a intersezione/velocità di MainTarget (m/s). Infinito è la velocità è 0.

stopdis	distanza di arresto corrente, calcolata come $- \text{Velocity}^2 / (2 * \text{acc})$. Definito solo se acc (accelerazione) ≤ -0.1 . Altrimenti il valore è Infinito.
rpm	velocità di rotazione del motore del MainTarget
gas	posizione del pedale dell'acceleratore in percentuale (0-100)
brake	il valore del pedale del freno grezzo dalla cabina
clutch	il valore del pedale della frizione grezzo dalla cabina
steer	angolo del volante (in gradi)
steerspeed	velocità di rotazione del volante in gradi/secondo
steertorque	coppia di sterzata in Nm (se supportato dalla cabina)
steererror	la deviazione tra l'angolo effettivo di sterzata e angolo di sterzata richiesto, in gradi. L'angolo di sterzata richiesto è calcolato dalla velocità longitudinale del veicolo, dal tasso di imbardata e slittamento a ruota anteriore. Richiede un veicolo accurato modello dinamico, come il modello interno di StTraffic
wheeangle	angolo della ruota anteriore (in gradi)
wheelerror	la deviazione degli angoli frontali dall'angolo della ruota normativa (dato un percorso ideale). La deviazione tra l'angolo effettivo della ruota anteriore e la roadgeometry (angolo normativo), in gradi (0-360). Se su rettilineo l'angolo normativo è l'angolo del segmento rettilineo. Se su un segmento curvo, l'angolo normativo è la tangente dell'angolo della linea dal punto centrale dell'arco alle coordinate del centro del paraurti anteriore.
yawrate	velocità di imbardata (velocità di rotazione dell'asse longitudinale del veicolo)

Tabella 5.1: Variabili di output del simulatore

5.2 Struttura dell'esperimento

La ricerca è stata condotta tra il 4 febbraio e il 29 marzo 2019. Gli esperimenti sono stati svolti presso il laboratorio del dipartimento ICEA. La durata complessiva di ciascuna prova è stata di circa pari ad un'ora e venti.

Di seguito saranno riportate informazioni riguardanti:

- I partecipanti;
- Le istruzioni ai partecipanti;
- La somministrazione dei questionari;
- Gli strumenti utilizzati;
- La procedura sperimentale e il compito di guida.

5.2.1 I partecipanti

Per questo esperimento sono stati reclutati un totale di 66 soggetti egualmente suddivisi per genere e con un'età compresa tra i 19 ai 32 anni (media di 25,5)

È stato scelto questo range di età in quanto i giovani adulti risultano ad alto rischio di incidenti stradali dovuti alla sonnolenza.

A ciascun soggetto sono stati chiesti i dati anagrafici a fini statistici e alcuni dati sulla loro storia di guida (Tabella 5.2, Grafico 5.1, Tabella 5.3, Grafico 5.2, Tabella 5.4).

Numero partecipanti	66 soggetti
Genere	33 femmine 33 maschi
Età	1 soggetto 19 anni 8 soggetti 21 anni 6 soggetti 22 anni 12 soggetti 23 anni 13 soggetti 24 anni 13 soggetti 25 anni 7 soggetti 26 anni 2 soggetto 27 anni 1 soggetto 28 anni 1 soggetto 29 anni 1 soggetto 31 anni 1 soggetto 32 anni

Tabella 5.2: Dati anagrafici

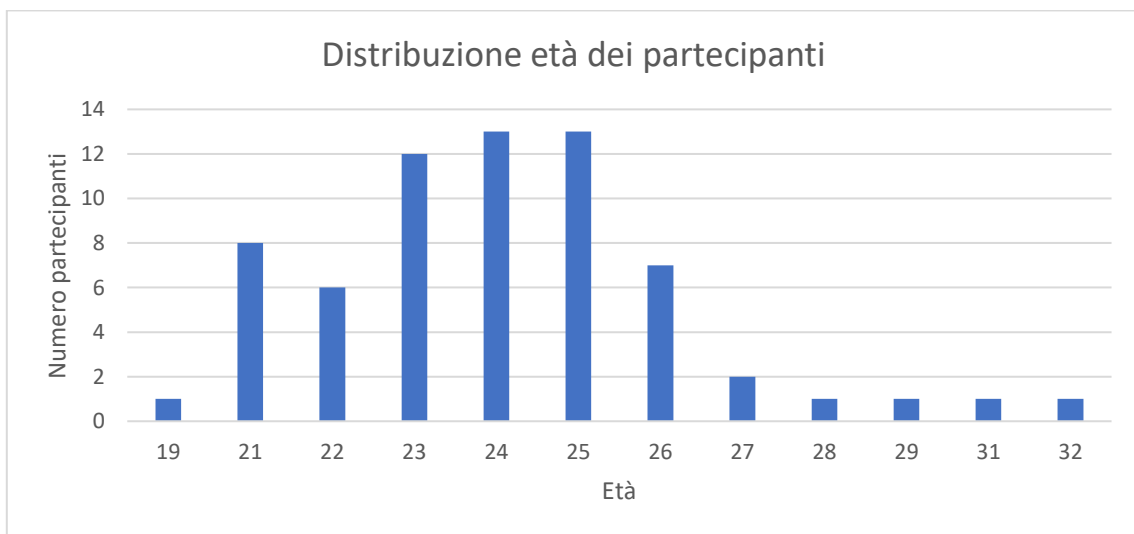


Grafico 5.1: Età partecipanti

Professione	60 studenti 6 lavoratori dipendenti
Livello di istruzione	2 master/dottorato 15 laurea di secondo livello 35 laurea di primo livello 14 diploma scuola superiore
Anni dal conseguimento della patente	4 soggetti 1 anno 4 soggetti 2 anni 9 soggetti 3 anni 11 soggetti 4 anni 13 soggetti 5 anni 11 soggetti 6 anni 3 soggetti 7 anni 5 soggetti 8 anni 2 soggetti 10 anni 1 soggetto 12 anni 1 soggetto 13 anni

Tabella 5.3: Dati anagrafici

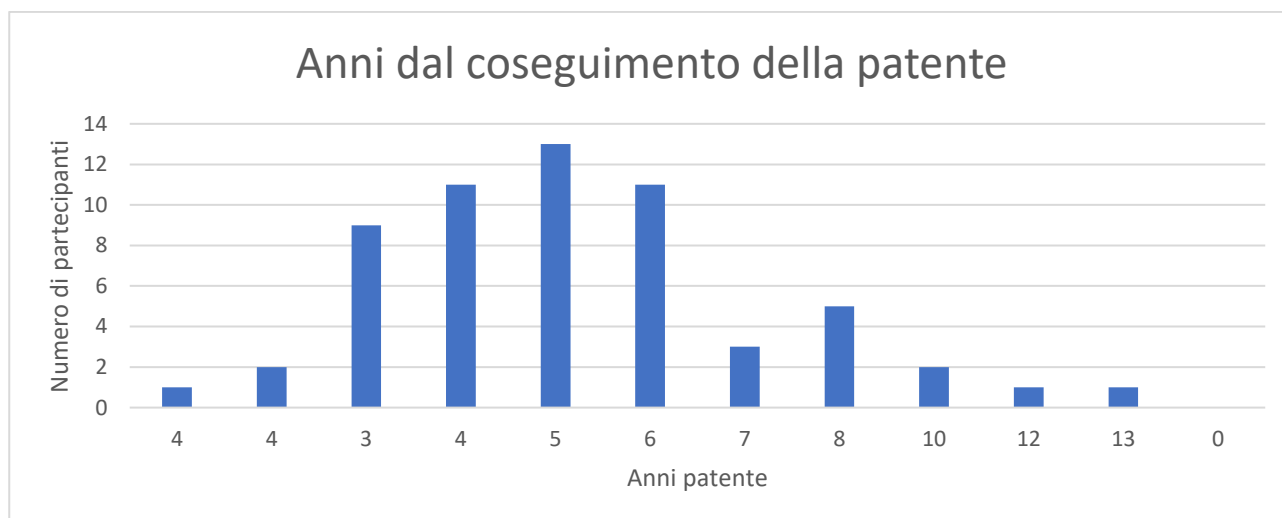


Grafico 5.2: Anni patente

Tipo di patente	65 patente B 1 patente A-B
Utilizzo del mezzo	20 soggetti uso quotidiano 18 soggetti uso frequente 21 soggetti uso saltuario 7 soggetti uso raro
Km/anno percorsi	24 soggetti < 2500 km/anno 20 tra i 2500 e i 5000 km/anno 10 tra i 5000 e i 7500 km/anno 3 tra i 7500 e i 10000 km/anno 9 >10000 km/anno
Numero di incidenti	65 soggetti 0 incidenti 1 soggetto 1 incidente (tamponamento)
Tipo di strada percorsa maggiormente	5 autostrada 20 strada extraurbana 40 strada urbana

Tabella 5.4: Dati anagrafici

5.2.2 Le istruzioni ai partecipanti

A tutti i soggetti sono state fornite le medesime istruzioni, cioè di guidare in ambiente virtuale cercando di adottare lo stesso comportamento che abitualmente contraddistingue la loro guida nella realtà e di cercare di mantenere sempre la corsia di destra. All'inizio della prova veniva visualizzato un conto alla rovescia e successivamente partiva la prova. Alla fine, veniva visualizzata sullo schermo la scritta "termine prova" e il partecipante doveva accostare sulla destra e spegnere l'auto. Infine, è stato chiesto al partecipante di non parlare con lo sperimentatore durante le prove se non in caso di necessità.

5.2.3 La somministrazione dei questionari

Il progetto è stato approvato del Comitato Etico del Dipartimento di Psicologia dell'Università di Padova e tutti i partecipanti sono stati invitati a prenderne visione e a firmare il consenso informato per accettazione e partecipazione all'esperimento.

A tutti i partecipanti all'esperimento sono stati somministrati una settimana prima della prova uno screening online (per le misure di tratto, cioè quelle che descrivono il campione) con i seguenti questionari per valutare se il soggetto aveva o meno disturbi del sonno o altre problematiche legate a sonnolenza diurna, ansia o depressione:

- M.E.Q.-r (Morning-eveningness questionnaire reduced version);
- BDI-II (Beck Depression Inventory-II);
- PSQI (Pittsburg Sleep Quality Index);
- STAI-Y2 (State-Trait Anxiety Inventory Y2);
- ESS (Epworth Sleepiness Scale).

Il BDI-II (Beck Depression Inventory' II) è uno strumento di autovalutazione utile a misurare l'intensità della depressione (Beck 2006) fornitoci dal Dipartimento di Psicologia dell'Università degli Studi di Padova. Nel dettaglio, punteggi da 0-13 indicano un'assenza di sintomi depressivi; punteggi compresi tra 14-19 indicano una lieve presenza di sintomi depressivi; tra 20-29 indicano una sintomatologia depressiva di grado moderato e punteggi tra 30-69 indicano una sintomatologia depressiva di grado severo. Il punteggio grezzo 13 corrisponde al valore di cut-off clinico, identificando la presenza di depressione.

Il PSQI (Pittsburg Sleep Quality Index) è uno degli strumenti più utilizzati per la valutazione della qualità del sonno (Buysse D. J. 1989) fornitoci dal Dipartimento di Psicologia dell'Università degli Studi di Padova. Nel dettaglio, il punteggio globale 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. Il punteggio grezzo 4 corrisponde al valore di cut-off clinico.

Lo STAI-Y2 (State-Trait Anxiety Inventory Y2) è uno strumento di autovalutazione utile per misurare l'ansia di tratto con domande che indagano come il soggetto si sente abitualmente (Spielberger 1983) fornitoci dal Dipartimento di Psicologia dell'Università degli Studi di Padova.

Il 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 (gufi) (Adan A. 1991).

L'ESS (Epworth Sleepiness Scale) è uno strumento che misura la sonnolenza diurna, fornitoci dal Dipartimento di Psicologia dell'Università degli Studi di Padova. Nel dettaglio, il punteggio globale varia da 0 a 24. Il punteggio grezzo 11 corrisponde al valore di cut-off clinico, al di sopra di tale numero il soggetto tende ad addormentarsi durante il giorno.

Il giorno stesso della prova, invece, all'inizio sono stati somministrati i seguenti questionari per effettuare misure di stato (informazioni nel momento in cui le misuro):

- SAMN (Samn-Perelli questionnaire) (Samn 1982);
- SSS (Stanford Sleepiness Scale) (Hoddes 1973) ;
- SSQ (Simulator Sickness Questionnaire) (R. S. Kennedy 1993).

Il SAMN è uno strumento che misura la fatica di stato, fornitoci dal Dipartimento di Psicologia dell'Università degli Studi di Padova. Nel dettaglio, il punteggio globale varia da 1 a 7 dove 1=carichissimo e 7=molto affaticato.

L'SSS è uno strumento che misura la sonnolenza di stato, fornitoci dal Dipartimento di Psicologia dell'Università degli Studi di Padova. Nel dettaglio, il punteggio globale varia da 1 a 7 dove 1=vigile e 7=quasi addormentato.

L'SSQ (Simulator Sickness Questionnaire) è uno strumento che riguarda il malessere dovuto all'utilizzo del simulatore (Kennedy 2009). Deriva dal Motion Sickness Questionnaire (MSQ), legato invece al più generale malessere del movimento. I sintomi delle due tipologie di malessere sono simili, ma quelle legate all'utilizzo del simulatore risultano meno gravi, meno riscontrabili in percentuale e originati da cause diverse.

Nel dettaglio, il questionario è composto da 16 sintomi in cui il soggetto deve stimare l'intensità su una scala che va da 0 a 3: i 4 livelli "nessuno", "leggero", "moderato" o "forte".

A partire da questi, assegnando dei pesi a ciascun sintomo (Tabella 5.5), è possibile ottenere 3 punteggi significativi relativamente alle tre categorie in cui essi possono essere suddivisi, cioè nausea, disturbo del nervo oculomotore e disorientamento.

Pesi per i sintomi			
Sintomi	Nausea	Disturbo del nervo oculomotore	Disorientamento
Malessere generale	1	1	0
Fatica	0	1	0
Mal di testa	0	1	0
Affaticamento agli occhi	0	1	0
Difficoltà di messa a fuoco	0	1	1
Aumento della salivazione	1	0	0
Aumento della sudorazione	1	0	0
Nausea	1	0	1
Difficoltà a concentrarsi	1	1	0
Sensazione di pesantezza alla testa	0	0	1
Visione confusa	0	1	1
Capogiro (ad occhi aperti)	0	0	1
Capogiro (ad occhi chiusi)	0	0	1
Vertigini	0	0	1
Fastidio di stomaco	1	0	0
Aerofagia	1	0	0
Totale	[1]	[2]	[3]

Tabella 5.5: Questionario SSQ. Pesi per sintomi

Poi, con un ulteriore calcolo, si ottiene il punteggio totale che rappresenta il grado complessivo di malessere da simulatore:

- nausea = [1] × 9,54;
- disturbo del nervo oculomotore = [2] × 7,58;
- disorientamento = [3] × 13,92;
- punteggio totale = ([1] + [2] + [3]) × 3,74.

L'SSQ è stato fatto compilare all'inizio e alla fine della prova, per valutare rispettivamente le condizioni iniziali e quelle immediatamente dopo l'utilizzo del simulatore.

Nessuno dei 66 partecipanti ha affermato di aver avuto malessere da simulatore e nessuno ha interrotto la prova.

5.2.4 Gli strumenti utilizzati

Durante la prova al simulatore sono stati usati i seguenti strumenti per la raccolta dati:

- elettrodi di superficie in Ag/AgCl per la misurazione dell'elettrocardiogramma e dell'elettromiogramma collegati ad un poligrafo portatile Siesta (802) (Compumedics, Abbotsford, Australia);
- Eye-tracker SMI Tracking Glasses 2 (SensoMotoric Instruments, Germany).

5.2.5 La procedura sperimentale e il compito di guida

Per evitare di condizionare in qualsiasi modo la buona riuscita dell'esperimento, in ciascuna prova all'interno del laboratorio, si è posta particolare attenzione a replicare le stesse condizioni:

- Temperatura del laboratorio di 24°C;
- Ambiente oscurato con unica luce soffusa dietro ai monitor del simulatore di guida;
- Luminosità dei monitori di 4 lux;
- Stesse condizioni acustiche (volume altoparlanti impostati sempre allo stesso volume);
- Stesse condizioni meteo dell'ambiente virtuale (orario pomeridiano e con leggera nebbia per rispecchiare al meglio il meteo locale).

L'orario di svolgimento dell'esperimento era suddiviso in due fasce orarie pomeridiane:

- Dalle 13:00 alle 14:30;
- Dalle 15:00 alle 16:30.

scelte liberamente dal soggetto.

Il soggetto una volta accolto, veniva fatto accomodare all'interno del laboratorio e gli veniva fatto leggere e firmare il consenso informato. Una volta accettato, passava alla compilazione dei questionari (5 min) e poi al successivo montaggio degli elettrodi di elettrocardiografia (Triangolo di Einthoven, sotto le scapole destra e sinistra e all'altezza dell'ultima scapola a sinistra (Figura 5.3)) con disinfezione e scrubbing delle aree interessate, installazione eye-tracker e calibrazione a 3 punti (3min).

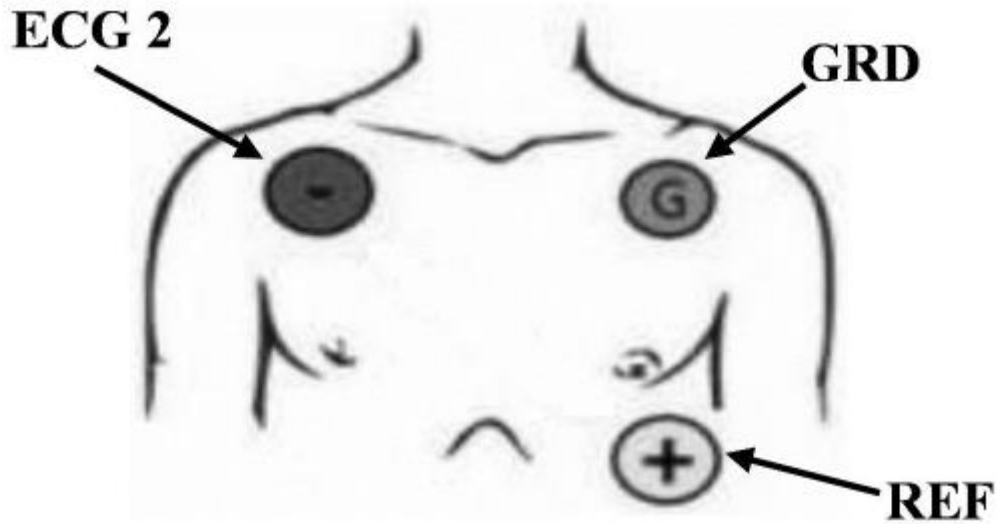


Figura 5.3: Posizione elettrodi di elettrocardiogramma

Il partecipante veniva poi fatto accomodare al sedile di guida del simulatore e, una volta controllati che tutti i parametri fossero giusti, veniva fatto partire lo script di simulazione e il soggetto doveva guidare per 50 minuti.

Dopo l'attività di guida, al soggetto veniva smontati tutti gli elettrodi e fatto compilare gli ultimi questionari.

CAPITOLO 6: Analisi e risultati

Nel presente capitolo è riportata una breve descrizione delle differenti analisi statistiche e dei programmi utilizzati. Le variabili analizzate sono la deviazione standard della posizione laterale (SDLP), la media della percentuale di tempo trascorso dal veicolo esternamente la linea di demarcazione della corsia, lo scostamento laterale rispetto al limite della corsia, la deviazione standard dell'angolo di sterzata (SDSE) e l'High Frequency (HF).

Per la descrizione puntuale delle analisi si rimanda all'APPENDICE.

6.1 Tipologia di analisi statistiche

La statistica è una disciplina che ha come fine lo studio quantitativo e qualitativo di un particolare fenomeno collettivo di incertezza o non deterministico, cioè di non completa conoscenza di esso o parte di esso. È uno strumento del metodo scientifico e sperimentale per studiare i modi in cui un fenomeno collettivo può essere sintetizzato e compreso. Questo avviene attraverso la raccolta e l'analisi delle informazioni relative al fenomeno studiato (Figura 6.1).

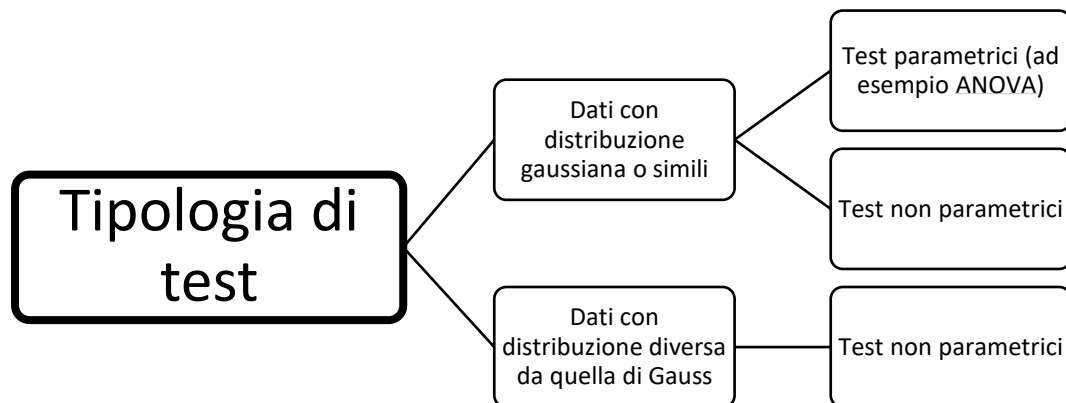


Figura 6.1: Tipologia di test statistici definiti secondo la distribuzione gaussiana o non.

L'analisi della varianza (ANOVA) è utilizzata per testare le differenze tra medie campionarie; per farlo si prendono in considerazione le rispettive varianze. Il principio che sta alla base di questo test è quello di stabilire se due o più medie campionarie possono derivare da popolazioni che hanno la stessa media parametrica. Quando le medie sono solamente due è indifferente usare questo test o il t-test, mentre quando sono più di due (come in questo caso), bisogna utilizzare l'analisi della varianza. Viene definita l'ipotesi nulla "tutte le medie sono uguali" e l'ipotesi alternativa "le medie non sono uguali". Se il p -value è inferiore al valore definito dall'intervallo di confidenza (95% \rightarrow 0,05) allora l'ipotesi nulla è rigettata e le medie non sono uguali; si procederà quindi con delle analisi post hoc per andare ad individuare quali gruppi sono differenti statisticamente. Se invece il p -value è maggiore dell'intervallo di confidenza allora l'ipotesi nulla è verificata e non c'è differenza tra le medie.

Per fare quest'analisi, che nel caso studio sarà "a misure ripetute" bisogna prima verificare tre condizioni:

- Tutte le misure sono rilevate in maniera indipendente dalle altre misure: **INDIPENDENZA DELLE MISURE**;
- **UGUALI VARIANZE**;
- I dati devono assumere una distribuzione normale: **DISTRIBUZIONE NORMALE**.

Nel caso in cui almeno una delle tre condizioni fosse violata sarà necessario proseguire con dei test statistici di tipo non parametrico. In queste analisi non si assume l'ipotesi di normalità per le popolazioni. Prima di passare alle analisi non parametriche, nel caso in cui la distribuzione non sia normale, è possibile utilizzare il metodo di BoxCox per la normalizzazione dei dati. Nel 1964, G. E. P. Box e D. R. Cox hanno proposto un metodo iterativo e concettualmente complesso, divenuto operativamente semplice e di vasta applicazione con l'uso dei computer, per individuare quale trasformazione dei dati può meglio normalizzare la loro distribuzione. Il metodo ricorre a una famiglia di trasformazioni di potenze.

Per tutte le analisi del presente lavoro di tesi viene utilizzato un intervallo di confidenza pari al 95 % ($\alpha = 0,05$).

6.2 Programmi utilizzati per le analisi

Per tutte le analisi presentate all'interno di questo lavoro di tesi sono state utilizzate due differenti estensioni di Excel, il software R e JASP:

- *XLSTAT* è un componente aggiuntivo di analisi dei dati Excel potente ma flessibile che consente agli utenti di analizzare, personalizzare e condividere i risultati all'interno di Microsoft Excel. Sono disponibili oltre 200 funzionalità statistiche sia standard che avanzate.
- *QI Macros* software per Excel permette di creare istogrammi, flow charts, boxplot ma anche di effettuare analisi statistiche.
- *R* è un linguaggio di programmazione 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. A luglio 2019, R si colloca al ventesimo posto nell'indice TIOBE, una misura della popolarità dei linguaggi di programmazione;
- *JASP* è un pacchetto gratuito di statistiche 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.

6.3 Deviazione standard della posizione laterale (SDLP)

L'uso del simulatore di guida ha permesso di registrare vari parametri che descrivono il comportamento del conducente ad alta frequenza di campionamento (10 Hz). La prima variabile che si andrà ad analizzare è la deviazione standard della posizione laterale, in inglese *Standard Deviation of Lateral Position* (SDLP), che risulta essere la principale misura di esito del controllo del veicolo (Figura 6.2).

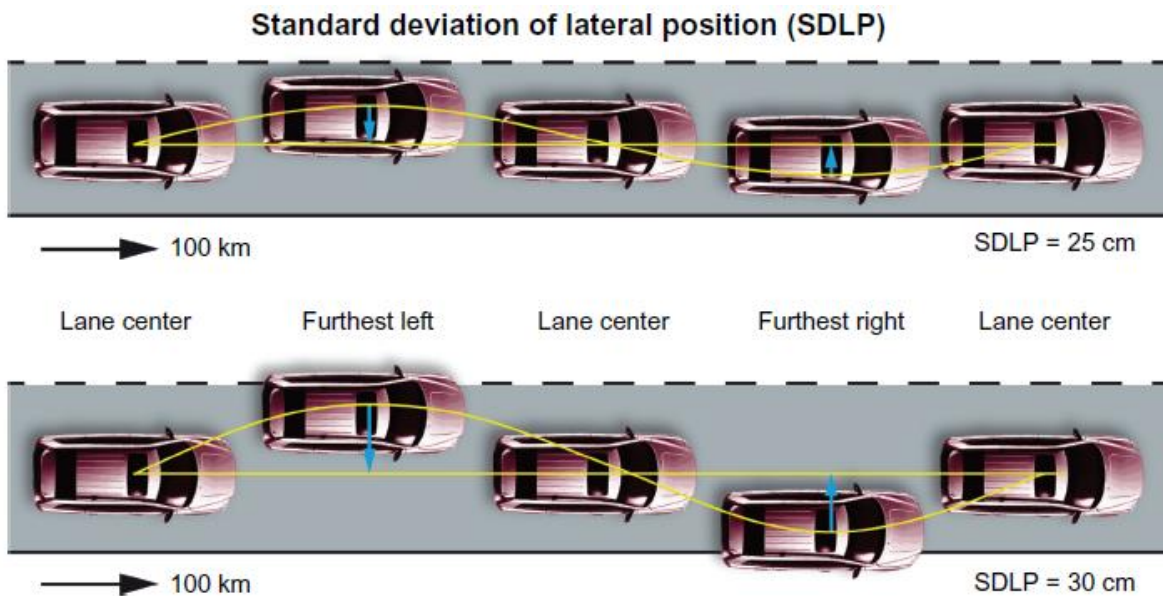


Figura 6.2: Esempio di rappresentazione grafica di modalità di misura della SDLP. (Verster 2013).

La figura 6.2 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 di sicurezza. Uno studio condotto al simulatore di guida ha mostrato come la SDLP aumenti in modo lineare con la sonnolenza sia nei giovani che negli anziani (Lowden 2009). In condizioni di guida su strada una $SDLP > 0,24m$ è considerata la soglia per comportamenti rischiosi dovuti a stanchezza e sonnolenza mentre al simulatore una $SDLP > 0,27m$ (Louwerens 1987) (Zhou 2008) (Green 2013) (Helland 2013) (van der Sluiszen 2016).

6.3.1 Analisi SDLP sull'intero campione

Nel Grafico 6.1 viene plottata la SDLP per tutti i 66 soggetti che hanno partecipato allo studio nei 50 minuti di guida; è già possibile notare un andamento crescente nel tempo.

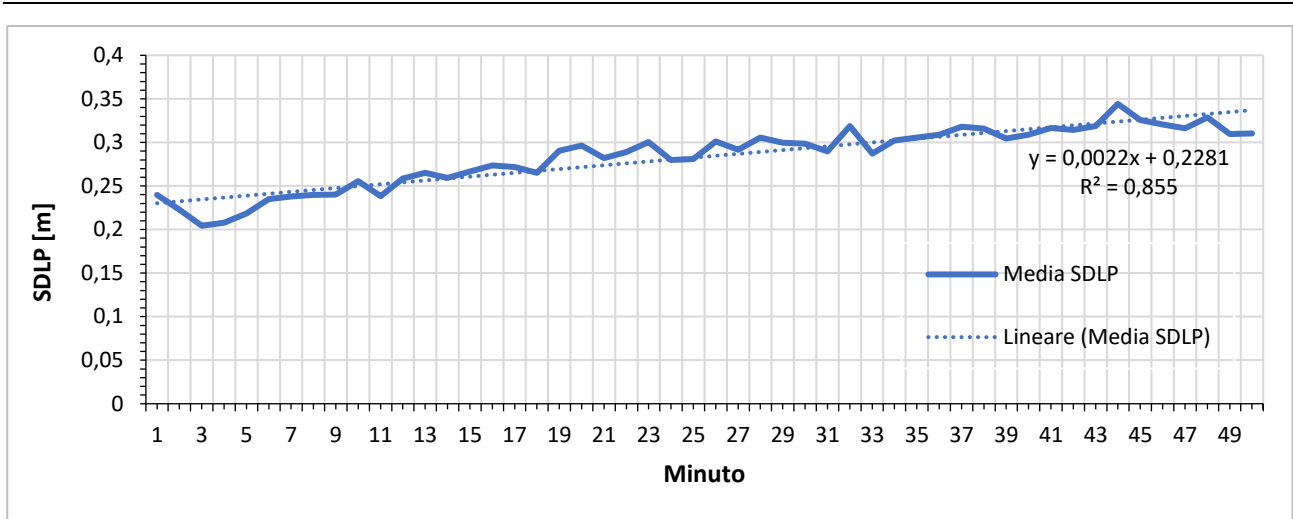


Grafico 6.1: Media dei valori di SDLP dell'intero campione. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari ad un minuto.

Box-plot è la rappresentazione grafica utilizzata per descrivere la distribuzione di un campione tramite indici di dispersione e di posizione. Viene rappresentato tramite un rettangolo diviso in due parti, da cui escono due segmenti. Il rettangolo è delimitato dal primo e dal terzo quartile e diviso nel suo interno dalla mediana. I segmenti (detti baffi) sono delimitati dal minimo e dal massimo dei valori. Le "x" sono gli outliers (osservazioni eccezionali o valori estremi). Confrontando tra loro le lunghezze dei due baffi e le altezze dei due rettangoli che costituiscono la scatola si ottengono informazioni sulla simmetria della distribuzione: è tanto più simmetrica quanto le lunghezze dei baffi risultano simili tra loro e le altezze dei due rettangoli risultano simili tra loro.

Nel Grafico 6.2 è utilizzata la rappresentazione grafica Boxplot per descrivere la distribuzione del campione tramite indici di dispersione e di posizione.

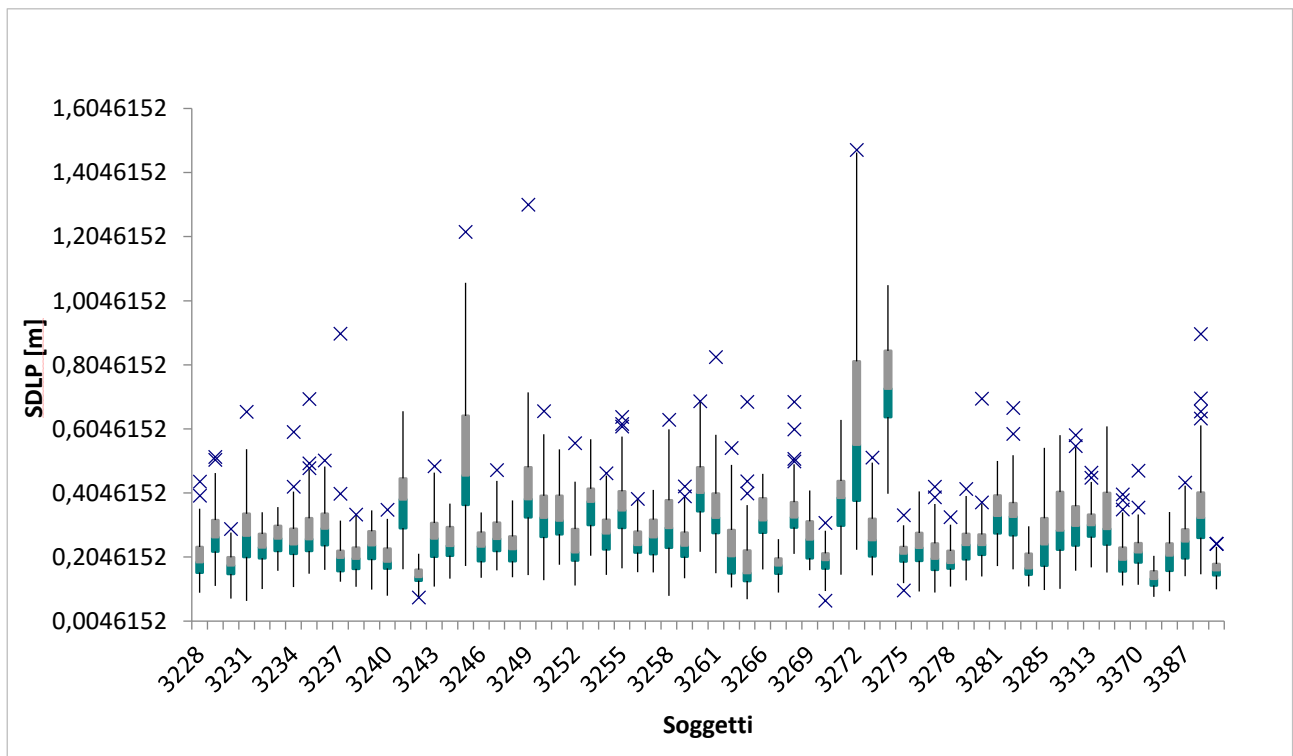


Grafico 6.2: Boxplot dei valori di SDLP intero campione. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari ad un minuto

Osservando il Grafico 6.2 si intuisce subito come alcuni valori di SDLP registrati siano degli outliers e il comportamento anomalo di alcuni soggetti.

In questo caso, le tre le condizioni che rendono plausibile l'ANOVA non sono risultate soddisfatte. Non è stato ottenuto nessun risultato nemmeno con il metodo di BoxCox. È stato quindi necessario ricorrere a metodi statistici non parametrici. Questi non dipendono dalla forma della distribuzione della popolazione, non si basano sui parametri della distribuzione ed è possibile applicarli anche nei casi di dati qualitativi. Esistono molti test non parametrici, in questa tesi è stato utilizzato il test di Friedman. Il test ha mostrato differenze significative tra le popolazioni ($\chi^2(49) = 488.4, p < .001$). Le analisi Post hoc di Conover hanno mostrato una differenza significativa delle popolazioni dal **tredicesimo** minuto. Non sono state utilizzate le correzioni di Bonferroni, perché ritenute troppo restrittive.

Esiste una differenza significativa nella variabile considerata (SDLP) dal minuto 13 dall'inizio della prova (0). Questo significa che trascorsi 13 minuti le differenze iniziano ad essere significative avendo così una perdita del controllo laterale dovuta alla fatica passiva legata al compito di guida. La differenza di SDLP tra l'inizio della prova e il minuto 13 è di 2,5cm.

6.3.2 Analisi SDLP su campione ridotto

In letteratura per individuare il campione su cui effettuare l'analisi della SDLP sono eliminati i soggetti che hanno fatto incidenti durante la prova e quei soggetti che hanno ottenuto valori di SDLP superiori a 0,7 m (Gastaldi 2016). Nel presente lavoro sono dunque state fatte le seguenti eliminazioni dal campione al fine di renderlo il più omogeneo possibile:

- Eliminati i soggetti che hanno fatto incidenti (1 soggetto);
- Eliminati i soggetti che nell'arco dei 50 minuti di guida, hanno almeno un valore medio al minuto di SDLP > 0,70 m come si può vedere nel Grafico 6.3, perché sono stati ritenuti con un controllo laterale "anomalo" rispetto agli altri soggetti (6 soggetti);
- Eliminati gli intervalli 0-1, 1-2, 2-3, fissando quindi l'inizio dell'analisi dal 3-4 intervallo perché i primi tre intervalli sono stati considerati come fase di assestamento (conoscenza e presa di confidenza del simulatore).

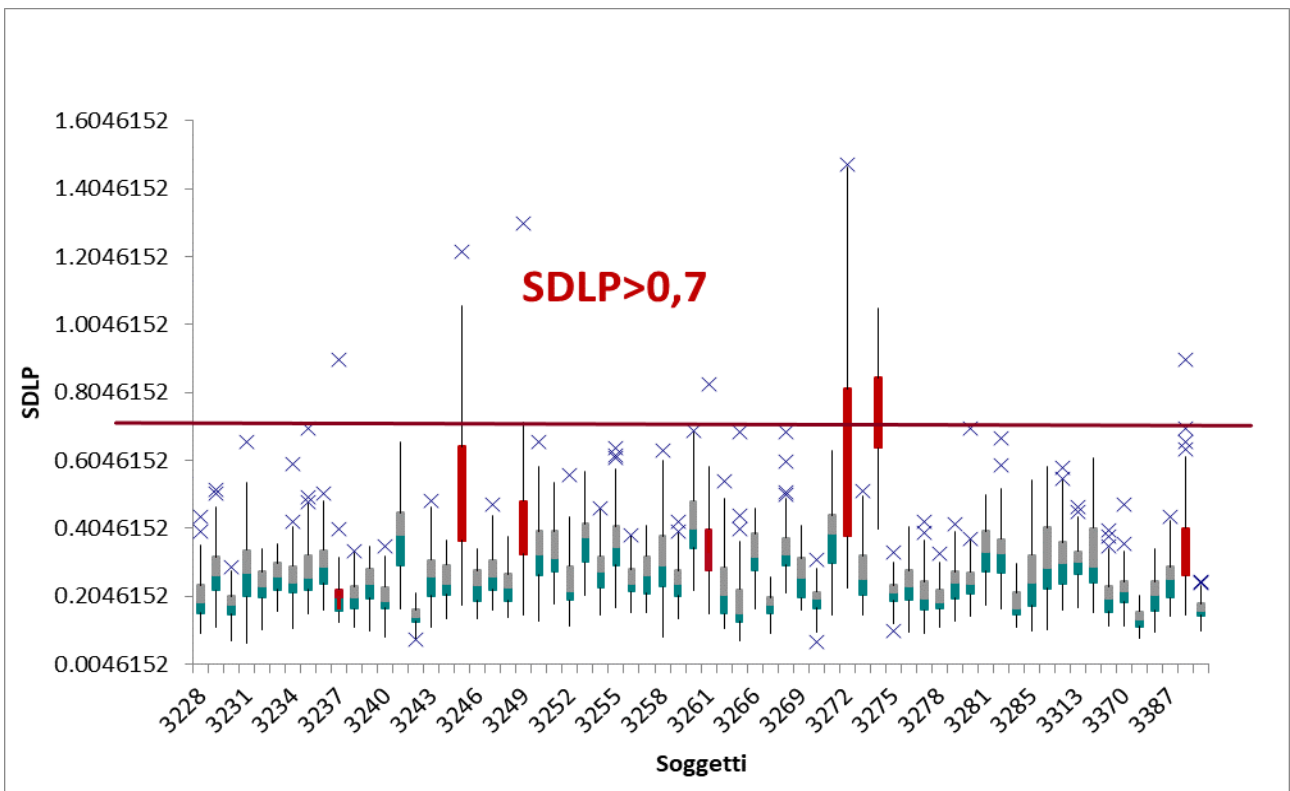


Grafico 6.3: Boxplot dei valori di SDLP intero campione con limitazione di 0,7 m e individuazione soggetti "critici" in rosso. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari ad un minuto.

Sono stati eliminati quindi un totale di 7 soggetti, risultano quindi 59 soggetti sui quali sono state eseguite le successive analisi.

Nel Grafico 6.4 viene plottata la SDLP per i 59 soggetti dal quarto minuto in poi di guida; è possibile notare un andamento crescente nel tempo come già visto per l'intero campione.

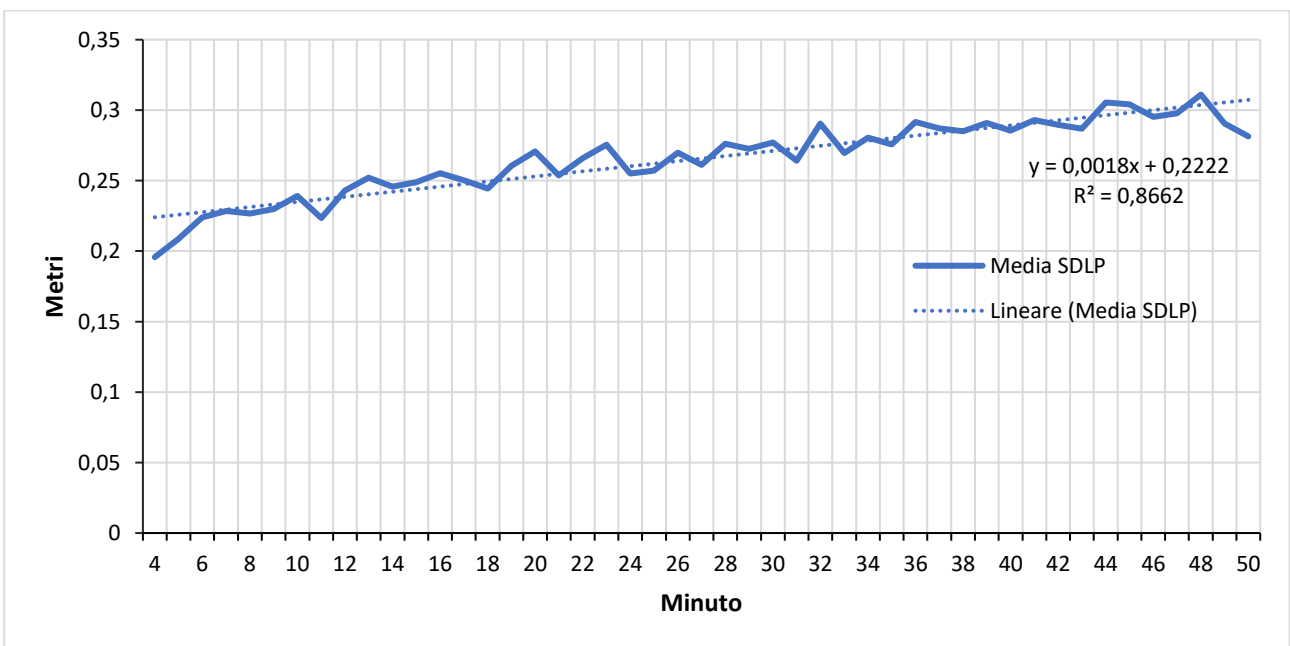


Grafico 6.4: Media dei valori di SDLP (m) campione ridotto. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari ad un minuto.

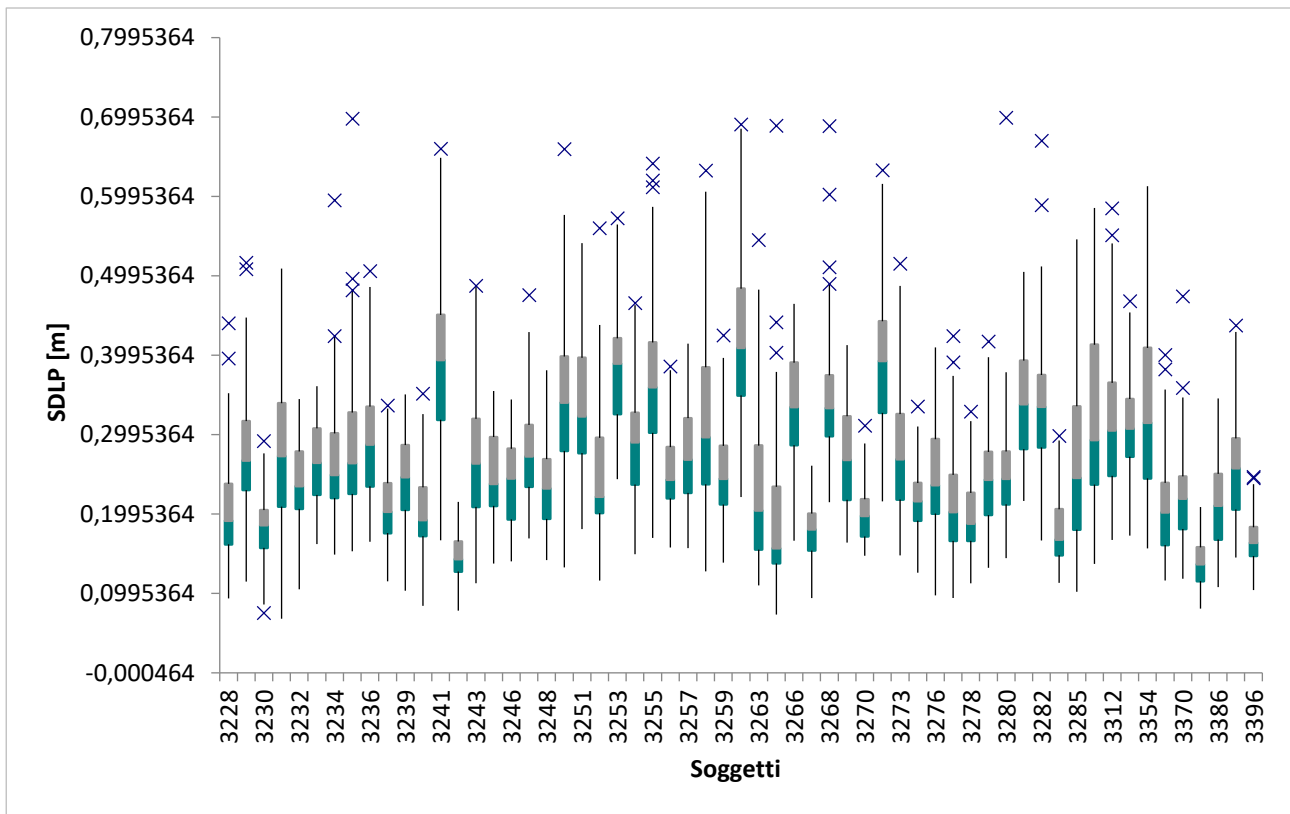


Grafico 6.5: Boxplot dei valori di SDLP campione ridotto. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari ad un minuto.

Anche in questo caso, le tre le condizioni che rendono plausibile l'ANOVA non sono risultate soddisfatte. Il test di Friedman ha mostrato differenze significative tra le popolazioni ($\chi^2(46) = 327.3$, $p < .001$). Le analisi Post hoc di Conover hanno mostrato una differenza significativa delle popolazioni dall'**ottavo** minuto dall'inizio della prova. Non sono state utilizzate le correzioni di Bonferroni, perché ritenute troppo restrittive.

Esiste una differenza significativa nella variabile considerata tra il minuto 8 e il minuto 4 assunto come baseline. Questo significa che trascorsi 4 minuti in termini di SDLP iniziano ad essere significative avendo così una perdita del controllo laterale dovuta alla fatica passiva legata al compito di guida. La differenza di SDLP tra la baseline e il minuto 8 è di 3,1cm.

6.4 Superamento del limite della corsia

Nell'esperimento è stata utilizzata la larghezza standard della corsia autostradale cioè di 3,75m, mentre l'autovettura ha una larghezza di 1,60m Figura 6.3)

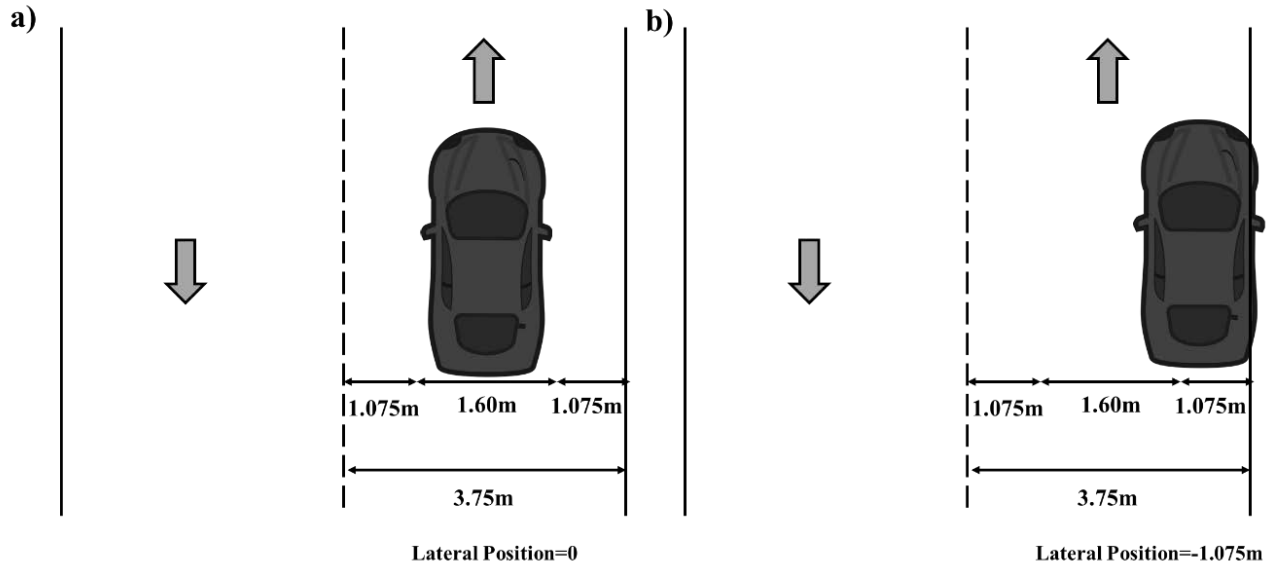


Figura 6.3: Rappresentazione schematica della strada e della larghezza della vettura. a) l'auto è al centro della corsia; b) l'auto sta attraversando la linea di fine carreggiata

È stata calcolata la percentuale di tempo, rispetto al singolo minuto di osservazione, durante la quale la linea di demarcazione della corsia è stata superata in modo ingiustificato (tempo di "fuori corsia"); tale comportamento (perdita del controllo laterale) può essere considerato rischioso potendo potenzialmente condurre ad una collisione con i veicoli circolanti nella corsia di sinistra ovvero con veicoli o ostacoli posti a destra nell'area di banchina.

6.4.1 Percentuale di tempo di "fuori corsia". Casi di assenza di perdita totale del controllo

Nell'esperimento solo un soggetto su 66 ha completamente perso il controllo del veicolo finendo fuori strada ("colpo di sonno"); l'analisi è stata focalizzata sui rimanenti 65 soggetti, al fine di identificare la presenza di situazioni potenzialmente rischiose non facilmente identificabili come nel caso citato. Si è assunto che il rischio di incidenti aumenti quando i conducenti superano la segnaletica stradale orizzontale, invadendo l'altra corsia (sul lato sinistro o destro della carreggiata). Nel Grafico 6.6 viene plottata la percentuale dei 65 soggetti che nell'arco dei 50 minuti di guida partendo dal terzo minuto hanno toccato e/o oltrepassato la linea di demarcazione della corsia; è possibile notare un andamento crescente nel tempo. Nell'arco della prova, la percentuale di invasione dell'altra corsia aumenta più del doppio con dei picchi nei minuti 21, 28 e 44. Anche per queste analisi sono stati eliminati gli intervalli 0-1, 1-2, 2-3, perché sono stati considerati come fase di assestamento (conoscenza e presa di confidenza del simulatore).

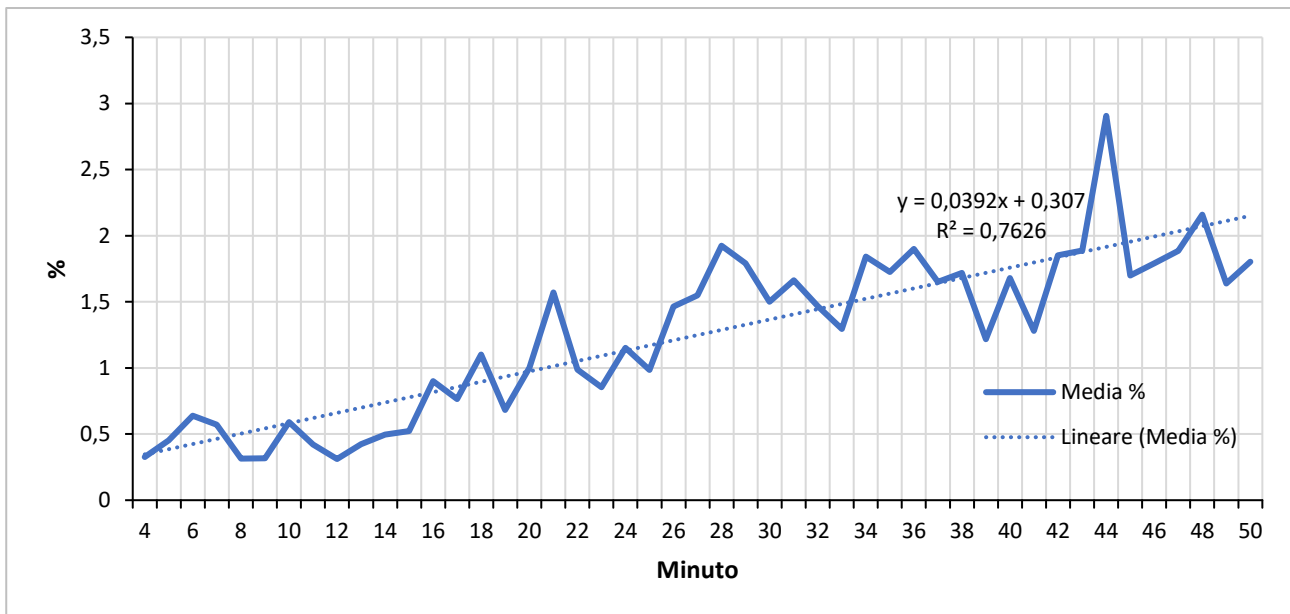


Grafico 6.6: Media della percentuale, dei 65 soggetti, di tempo trascorso dai veicoli esternamente la linea di demarcazione della corsia. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari ad un minuto.

In questo caso, le tre le condizioni che rendono plausibile l'ANOVA non sono risultate soddisfatte. Il test di Friedman ha mostrato differenze significative tra le popolazioni ($\chi^2(46) = 149.6, p < .001$). Le analisi Post hoc di Conover hanno mostrato una differenza significativa delle popolazioni dal **ventisettesimo** minuto dall'inizio della prova. Non sono state utilizzate le correzioni di Bonferroni, perché ritenute troppo restrittive.

Esiste una differenza significativa nella variabile considerata tra il minuto 27 e il minuto 4 assunto come baseline. Questo significa che trascorsi 23 minuti in termini di percentuale di tempo "fuori corsia" le differenze iniziano ad essere significative andando così ad oltrepassare la linea del limite della corsia. La differenza tra la baseline e il minuto 27 è dell'1,2% (0,72s).

6.4.2 Percentuale di tempo di “fuori corsia”. Campione ridotto

Le medesime analisi sono state condotte con riferimento al sotto campione di 59 soggetti selezionati sulla base dei criteri esposti nel paragrafo 6.3.2. I risultati di sintesi sono riportati nel grafico 6.7.

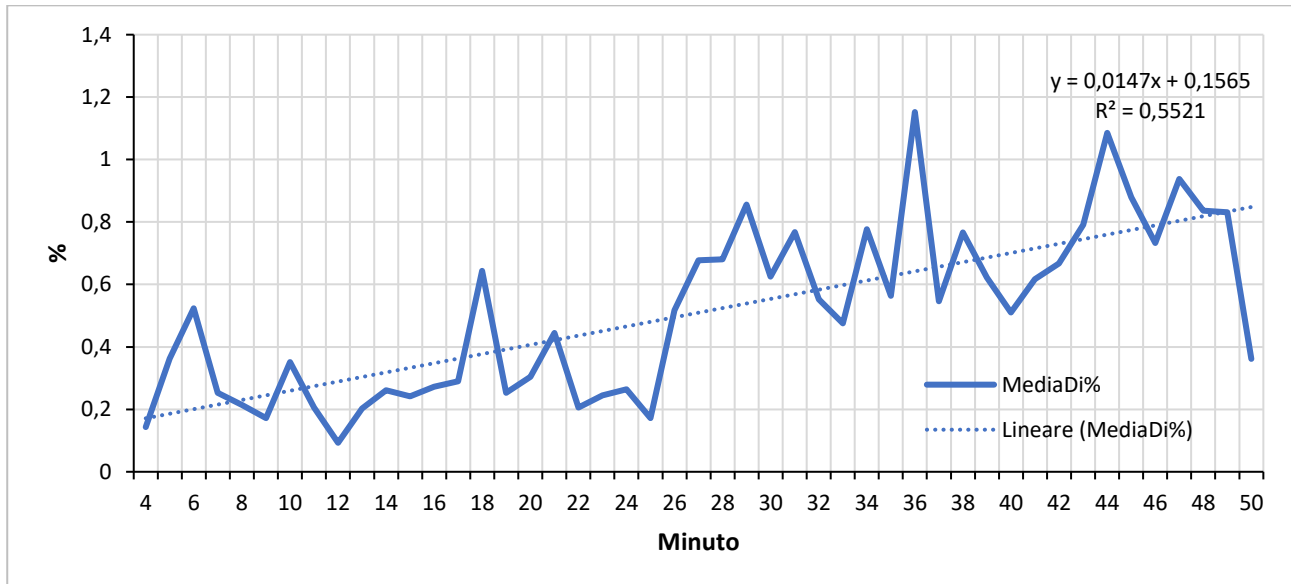


Grafico 6.7: Media della percentuale, del campione ridotto, di tempo trascorso dai veicoli esternamente la linea di demarcazione della corsia. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari ad un minuto.

In questo caso, le tre le condizioni che rendono plausibile l'ANOVA non sono risultate soddisfatte. Il test di Friedman ha mostrato differenze significative tra le popolazioni ($\chi^2(46) = 112.6, p < .001$). Le analisi Post hoc di Conover hanno mostrato una differenza significativa delle popolazioni dal ventisettesimo minuto dall'inizio della prova. Non sono state utilizzate le correzioni di Bonferroni, perché ritenute troppo restrittive.

Esiste una differenza significativa nella variabile considerata tra il minuto 27 e il minuto 4 assunto come baseline. Questo significa che trascorsi 23 minuti in termini di percentuale di tempo “fuori corsia” le differenze iniziano ad essere significative andando così ad oltrepassare la linea del limite della corsia. La differenza tra la baseline e il minuto 27 è dello 0,5% (0,3s).

6.5 Scostamento laterale rispetto al limite della corsia

Oltre alla percentuale, è stato anche calcolato il valore dello scostamento laterale rispetto alla linea di demarcazione nei casi di uscita dalla corsia.

6.5.1 Scostamento “fuori corsia”. Casi di assenza di perdita totale del controllo

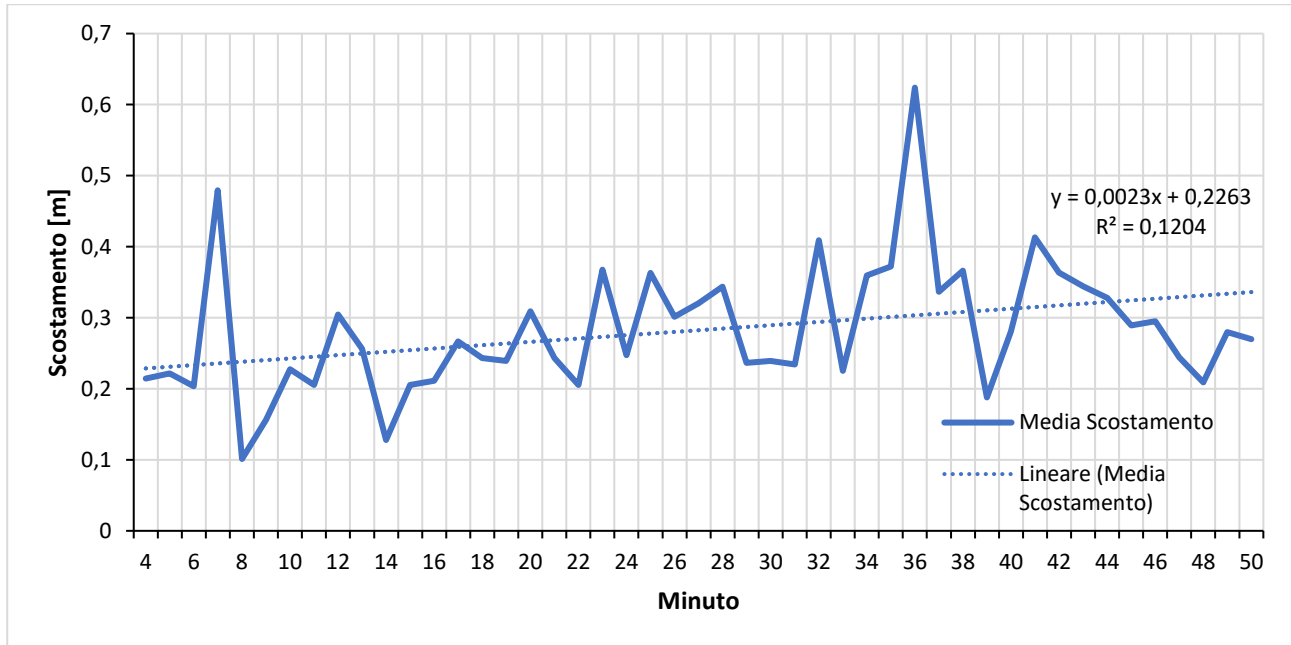


Grafico 6.8: Media dello scostamento, dei 65 soggetti, rilevato dai veicoli esternamente la linea di demarcazione della corsia. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari ad un minuto.

Sono state effettuate le analisi sui valori dello scostamento del fuori corsia dei 65 soggetti individuati al paragrafo 6.4.1. L'andamento del parametro si può notare nel Grafico 6.8. In questo caso, le tre le condizioni che rendono plausibile l'ANOVA non sono risultate soddisfatte. Il test di Friedman ha mostrato differenze significative tra le popolazioni ($\chi^2(46) = 149.6, p < .001$). Le analisi Post hoc di Conover hanno mostrato una differenza significativa delle popolazioni dal **ventisettesimo** minuto dall'inizio della prova. Non sono state utilizzate le correzioni di Bonferroni, perché ritenute troppo restrittive.

Esiste una differenza significativa nella variabile considerata tra il minuto 27 e il minuto 4 assunto come baseline. Questo significa che trascorsi 23 minuti in termini di scostamento laterale rispetto al limite della corsia le differenze iniziano ad essere significative avendo così una perdita del controllo laterale dovuta alla fatica passiva legata al compito di guida. La differenza tra la baseline e il minuto 27 è di 4,8cm.

6.5.2 Scostamento “fuori corsia”. Campione ridotto

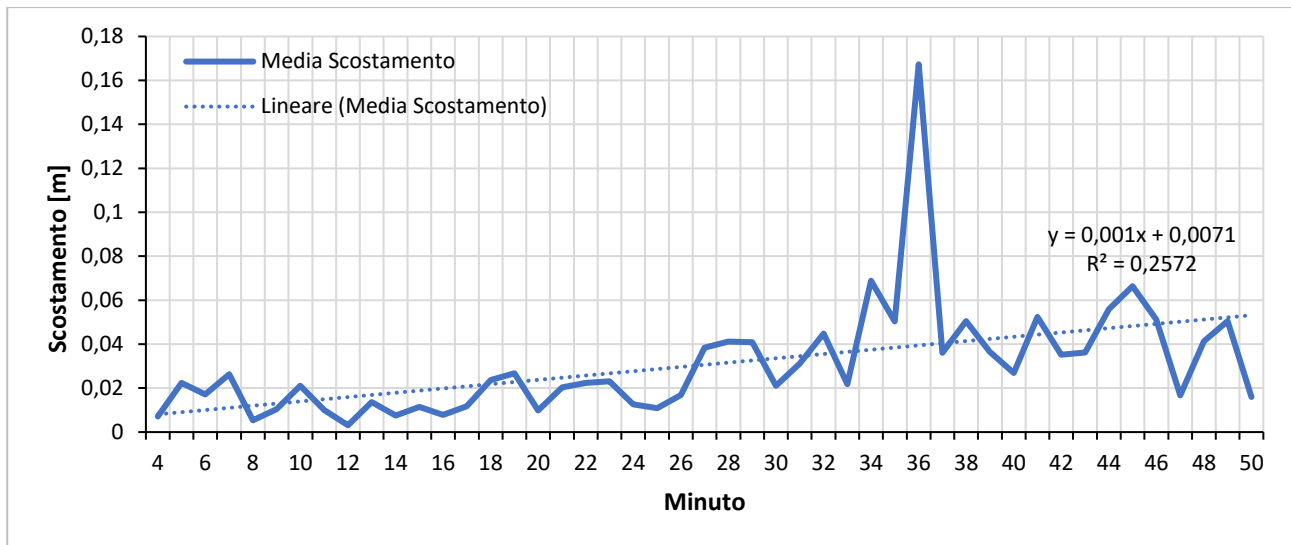


Grafico 6.9: Media dello scostamento, del campione ridotto, rilevato dai veicoli esternamente la linea di demarcazione della corsia. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari ad un minuto.

Sono state effettuate le analisi sui valori dello scostamento per i 59 soggetti individuati al paragrafo 6.3.2. L'andamento del parametro si può notare nel grafico 6.9. In questo caso, le tre le condizioni che rendono plausibile l'ANOVA non sono risultate soddisfatte. Il test di Friedman ha mostrato differenze significative tra le popolazioni ($\chi^2(46) = 111.8, p < .001$). Le analisi Post hoc di Conover hanno mostrato una differenza significativa delle popolazioni dal **ventottesimo** minuto dall'inizio della prova. Non sono state utilizzate le correzioni di Bonferroni, perché ritenute troppo restrittive. Esiste una differenza significativa nella variabile considerata tra il minuto 28 e il minuto 4 assunto come baseline. Questo significa che trascorsi 24 minuti in termini di scostamento laterale rispetto al limite della corsia le differenze iniziano ad essere significative avendo così una perdita del controllo laterale dovuta alla fatica passiva legata al compito di guida. La differenza tra la baseline e il minuto 28 è di 3,4cm.

6.5.3 Scostamento “fuori corsia” a destra. Campione ridotto

Sono state effettuate le analisi sui valori di scostamento a destra dei 59 soggetti individuati al paragrafo 6.3.2. In questo caso, le tre le condizioni che rendono plausibile l'ANOVA non sono risultate soddisfatte. Il test di Friedman ha mostrato differenze significative tra le popolazioni ($\chi^2(46) = 96.85, p < .001$). Le analisi Post hoc di Conover hanno mostrato una differenza significativa delle popolazioni dal **trentaquattresimo** minuto dall'inizio della prova. Non sono state utilizzate le correzioni di Bonferroni, perché ritenute troppo restrittive.

Esiste una differenza significativa nella variabile considerata tra il minuto 34 e il minuto 4 assunto come baseline. Questo significa che trascorsi 30 minuti in termini di scostamento laterale rispetto al limite della corsia le differenze iniziano ad essere significative avendo così una perdita del controllo laterale dovuta alla fatica passiva legata al compito di guida andando quindi ad invadere la corsia di emergenza. La differenza tra la baseline e il minuto 34 è di 1,5cm.

6.5.4 Scostamento “fuori corsia” a sinistra. Campione ridotto

Sono state effettuate le analisi sui valori della distanza dei 59 soggetti individuati al paragrafo 6.3.2. In questo caso, le tre le condizioni che rendono plausibile l'ANOVA non sono risultate soddisfatte. Il test di Friedman ha mostrato differenze significative tra le popolazioni ($\chi^2(46) = 71.89, p < .009$). Le analisi Post hoc di Conover hanno mostrato una differenza significativa delle popolazioni dal **trentaquattresimo** minuto dall'inizio della prova. Non sono state utilizzate le correzioni di Bonferroni, perché ritenute troppo restrittive.

Esiste una differenza significativa nella variabile considerata tra il minuto 34 e il minuto 4 assunto come baseline. Questo significa che trascorsi 30 minuti in termini di scostamento laterale rispetto al limite della corsia le differenze iniziano ad essere significative avendo così una perdita del controllo laterale dovuta alla fatica passiva legata al compito di guida andando quindi ad invadere la corsia di sorpasso. La differenza tra la baseline e il minuto 34 è di 3,2cm.

6.6 Deviazione standard dell'angolo di sterzata (SDSE)

L'angolo di sterzo è un parametro fondamentale per l'individuazione di stanchezza e affaticamento. La deviazione standard dell'angolo di sterzo è sicuramente un buon indicatore di distrazione. In effetti un guidatore attento utilizza lo sterzo più spesso facendo piccole correzioni, mentre un guidatore stanco usa lo sterzo meno frequentemente facendo dei movimenti più ampi per correggere la posizione all'interno della carreggiata. Tali movimenti possono essere identificati utilizzando appunto la deviazione standard dell'angolo di sterzo che presenta dei picchi in corrispondenza delle azioni di correzione.

6.6.1 Analisi della SDSE. Campione ridotto

Il grafico 6.10 mostra come la SDSE nell'arco dei 50 minuti di guida aumenti e mostra la presenza di numerosi picchi già a partire dai primi minuti.

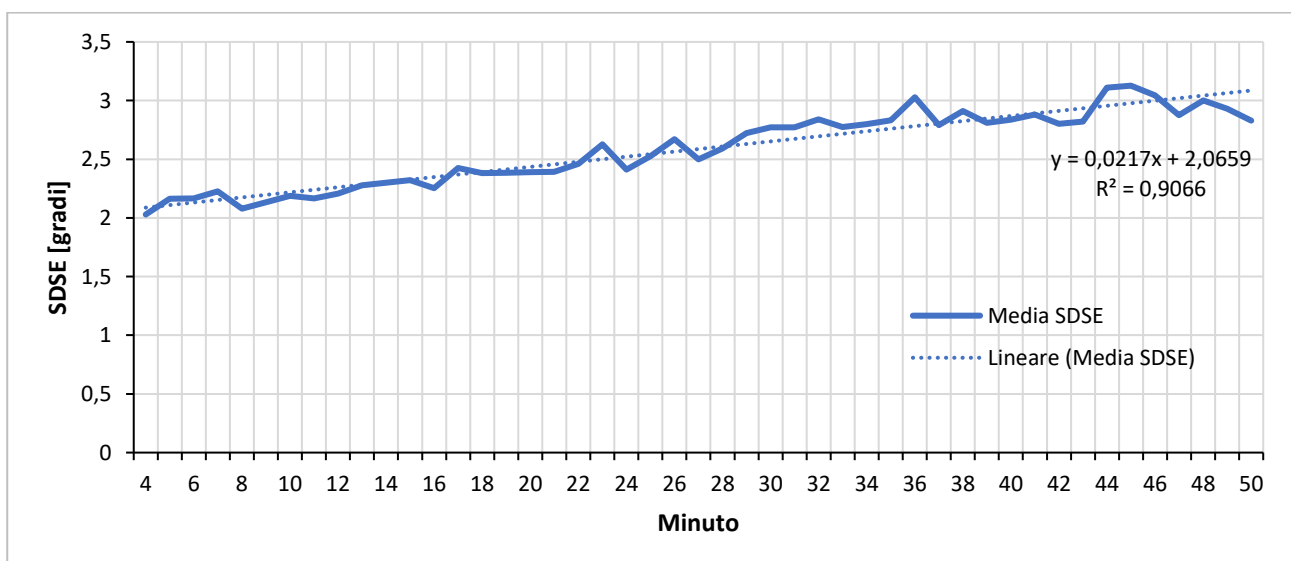


Grafico 6.10: Media dei valori di SDSE campione ridotto. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari ad un minuto.

Sono state effettuate le analisi sui valori della SDSE dei 59 soggetti individuati al paragrafo 6.3.2. In questo caso, le tre le condizioni che rendono plausibile l'ANOVA non sono risultate soddisfatte. Il test di Friedman ha mostrato differenze significative tra le popolazioni ($\chi^2(46) = 393.3, p < .001$). Le analisi Post hoc di Conover hanno mostrato una differenza significativa delle popolazioni dal **diciassettesimo** minuto. Non sono state utilizzate le correzioni di Bonferroni, perché ritenute troppo restrittive.

Esiste una differenza significativa nella variabile considerata tra il minuto 17 e il minuto 4 assunto come baseline. Questo significa che trascorsi 13 minuti in termini di deviazione standard dell'angolo di sterzata le differenze iniziano ad essere significative avendo così una perdita del controllo laterale dovuta alla fatica passiva legata al compito di guida. La differenza tra la baseline e il minuto 17 è di $0,396^\circ$.

Come mostra il Grafico 6.11, l'SDSE risulta avere un andamento molto simile all'SDLP.

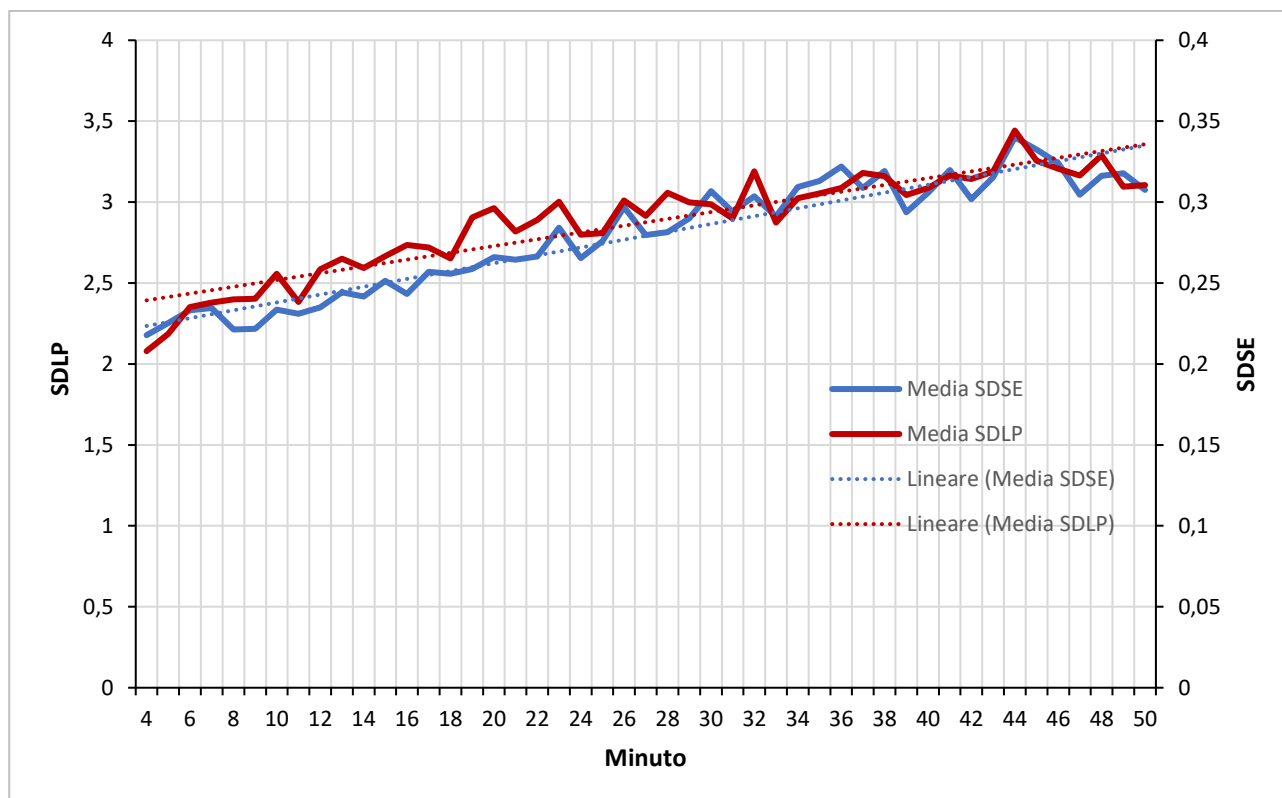


Grafico 6.11: Media dei valori di SDSE (gradi) confrontati con i valori medi di SDLP (m) del campione ridotto. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari ad un minuto.

6.7 High Frequency (HF)

High Frequency (HF) è una variabile che misura l'attività vagale sul cuore ed è utile per esaminare la fatica del conducente. Più è alto il valore dell'HF più il soggetto è rilassato.

6.7.1 Analisi della HF (57 soggetti)

Il grafico 6.12 mostra come l'andamento della HF nell'arco dei 50 minuti di guida aumenti e mostra la presenza di numerosi picchi già a partire dai primi minuti.

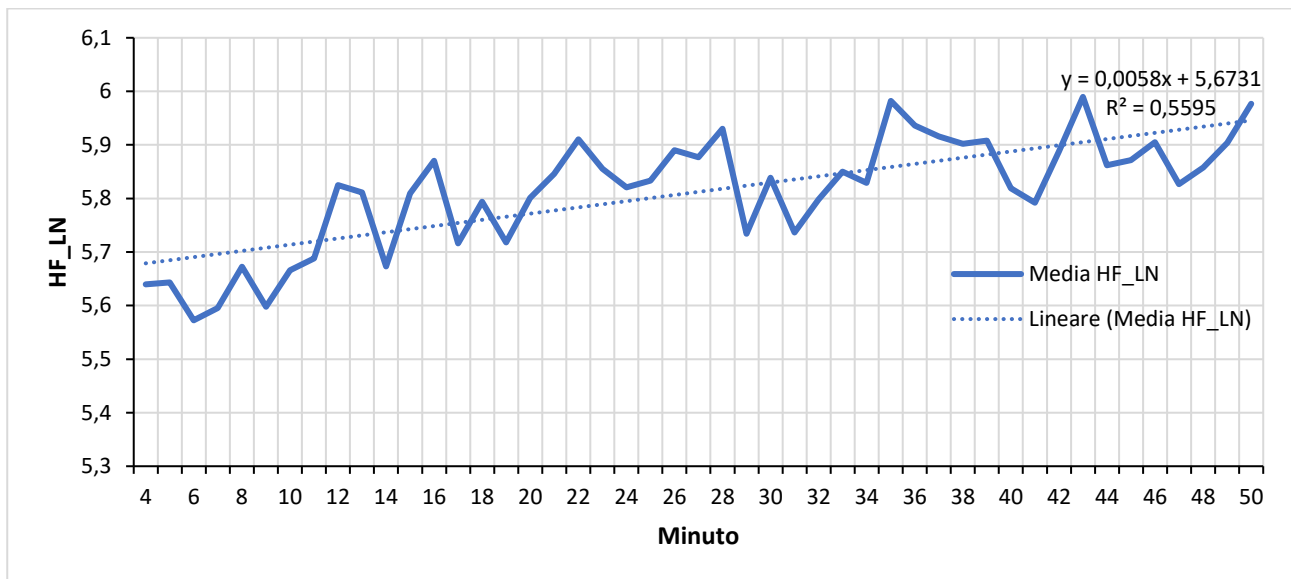


Grafico 6.12: Media dei valori logaritmo naturale di HF dei 57 soggetti. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari ad un minuto.

Sono state effettuate le analisi sui valori di HF di 57 dei 59 soggetti individuati al paragrafo 6.3.2, in quanto per due soggetti i dati di HF non sono stati registrati. In questo caso, le tre le condizioni che rendono plausibile l'ANOVA non sono risultate soddisfatte. Il test di Friedman non ha mostrato differenze significative tra le popolazioni ($\chi^2(46) = 60,93, p=0,069$). Pur avendo l'HF un andamento crescente nel tempo, mostrando dunque che i soggetti si stanno rilassando, non sono state rilevate differenze significative tra gli intervalli temporali

CAPITOLO 7: Conclusioni

Nel presente capitolo verranno presentati i risultati delle analisi effettuate e gli sviluppi futuri.

7.1 Risultati

Lo studio presentato in questo lavoro di tesi è stato focalizzato sul comportamento di affaticamento del conducente. Lo studio ha previsto la guida da parte dei soggetti partecipanti in un ambiente monotono. Sessantasei soggetti (33 femmine) sono stati invitati a guidare per 50 minuti in ambito autostradale. Il campione finale era bilanciato per distribuzione di genere ed età. L'età media era di $24,55 \pm 2,31$ anni, che variava da 19 a 32 anni, senza differenze tra i sessi ($24,7 \pm 1,9$ e $24,4 \pm 2,7$ anni rispettivamente per la femmina e il maschio). Tutti i soggetti avevano conseguito la patente da almeno un anno nella data di effettuazione del test. La maggior parte dei soggetti percorre meno di 7.500 km ogni anno.

Solo un soggetto ha riportato sonnolenza critica ($ESS > 14$, mentre 12-14 è lieve sonnolenza diurna) e solo uno moderato disturbo del sonno ($PSQI > 10$, mentre PSQI 6-10 si riferisce a problemi di sonno minori). La maggior parte dei soggetti era di cronotipo intermedio (MEQ 10-18, solo 6 "gufi" e 4 "allodole"). Sei soggetti presentavano sintomi di depressione moderata (BDI-II tra 13 e 21) e 2 sintomi di depressione grave ($BDI-II > 21$). I dati demografici e le informazioni raccolte durante lo screening iniziale sono riportati in Figura 7.1.

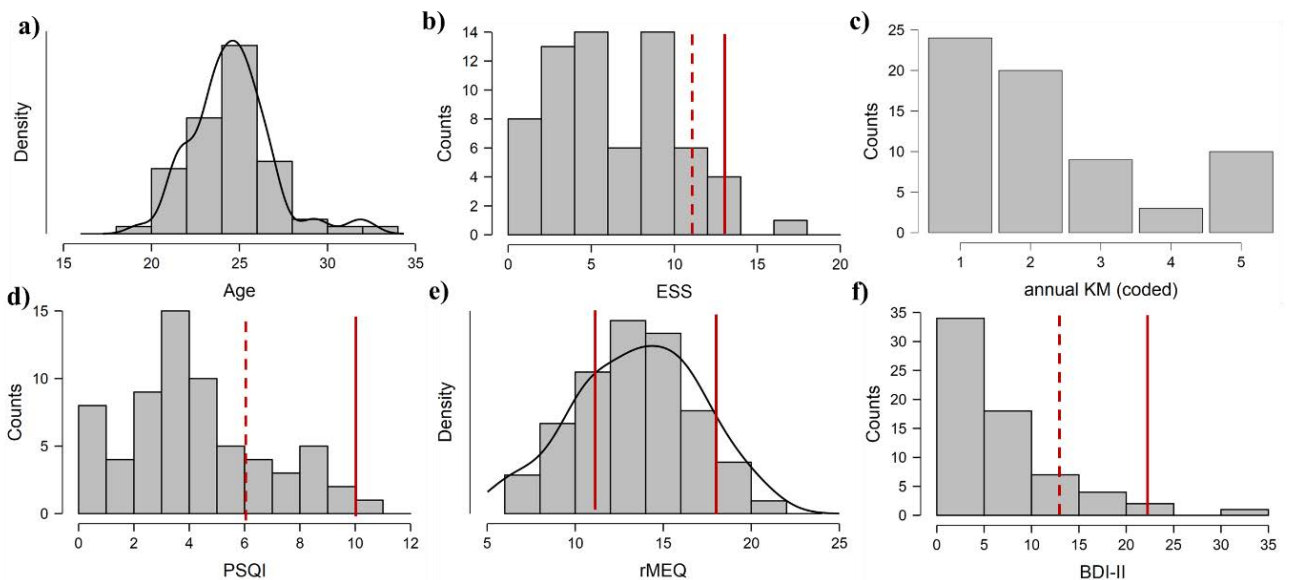


Figura 7.1: Dati demografici e informazioni sullo screening del nostro campione finale. Le linee rosse rappresentano il taglio standard. a) distribuzione della densità dell'età dei partecipanti; b) Epworth Sleepiness Scale (ESS, sonnolenza diurna); c) Distanza di guida annuale: 1 = circa 2500 km, 2 = tra 2500 e 5000 km, 3 = tra 5000 e 7500 km, 4 = tra 7500 e 10000 km, 5 = più di 10000 km; d) Indice di qualità del sonno di Pittsburgh (PSQI, difficoltà del sonno); e) versione ridotta del questionario Morningness-Eveningness (rMEQ, tipologia circadiana); f) Beck Depression Inventory II (BDI-II, sintomatologia depressiva).

VARIABILE	DIFFERENZA SIGNIFICATIVA DAL MINUTO
SDLP	8
% Tempo fuori corsia	27
Scostamento fuori corsia a destra	34
Scostamento fuori corsia a sinistra	34
Scostamento fuori corsia	28
SDSE	17
HF (57 soggetti)	NA

Tabella 7.1: Campione ridotto (59 soggetti). Insorgenza (minuto di prova) di differenze significative nei valori medi delle variabili rispetto alla condizione di controllo (quarto minuto di guida).

I risultati dei test non parametrici, riassunti in Tabella 7.1, hanno mostrato per tutte le variabili indagate (escludendo HF) un peggioramento significativo nel tempo.

Gli effetti negativi della guida prolungata sulle prestazioni dei conducenti sono stati confermati sperimentalmente, coerentemente con i risultati ottenuti in studi precedenti (Gastaldi 2016). È inoltre confermata la bontà della variabile SDLP come indicatore del peggioramento delle prestazioni di guida. Pur mostrando le altre variabili indagate in questa ricerca un peggioramento significativo nel tempo e mostrando quindi di essere strettamente legate al fenomeno della fatica passiva, tuttavia la loro significatività ha un ritardo rispetto alla SDLP di 9 minuti per SDSE, di 19 minuti per la % di tempo fuori corsia, di 20 minuti in termini di scostamento fuori corsia e di 26 minuti per quanto riguarda lo scostamento destro e sinistro. Si può dunque concludere come, almeno in riferimento all'esperimento condotto, la SDLP rappresenti la grandezza che identifica per prima nel tempo l'insorgenza di modalità anomale di controllo del veicolo riconducibili alla fatica passiva nel compito di guida.

Considerando il numero di fattori che possono indurre sonnolenza e quindi aumentare il rischio della sua insorgenza durante la guida, la disponibilità di sistemi in grado di prevenirne lo sviluppo, qualunque sia la causa, è un punto cruciale. In altre parole, sistemi efficaci dovrebbero rilevare le tendenze dello stato di allerta, per identificare il momento ottimale per avvisare il guidatore: non troppo presto perché i falsi positivi possono indurre il guidatore a ignorare il segnale, e non troppo tardi per impedire la perdita di controllo del veicolo. I partecipanti hanno riferito, in media, un aumento della sonnolenza soggettiva e dell'affaticamento dopo la simulazione di guida (Figura 7.2).

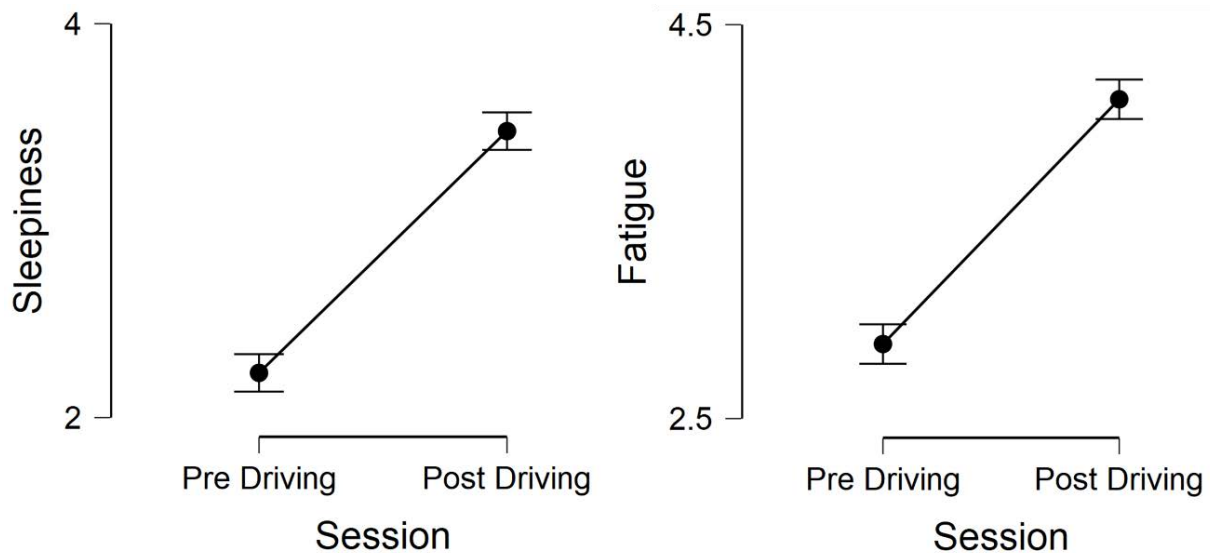


Figura 7.2: Sonnolenza e fatica autovalutate prima e dopo il compito di guida.

A livello individuale, 2 soggetti hanno riportato una riduzione della sonnolenza dopo la guida, 12 non hanno riportato alcun cambiamento, mentre 51 (77,3%) hanno riportato un aumento della sonnolenza. Risultati simili sono stati osservati per l'affaticamento, con 4 soggetti che hanno riportato una riduzione dell'affaticamento dopo la guida, 13 non hanno riportato alcun cambiamento, mentre 49 (78,7%) hanno riportato un aumento della sonnolenza, mentre 45 hanno riportato un aumento dell'affaticamento (74,2%). Nel complesso sembra che la nostra simulazione di guida abbia indotto un effetto leggermente più forte sulla sonnolenza piuttosto che sulla fatica.

7.2 Sviluppi futuri

Alcuni possibili sviluppi di ricerca futuri potrebbero essere:

- Il problema con gli eventi cardiaci è che una "soglia" dovrebbe essere a livello individuale, cioè dovrebbe tenere conto di altri fattori soggettivi (ad es. Età, indice di massa corporea, attività fisica, genere, fase mestruale, ecc.) e circadiani (ad es. il giorno, durata del sonno nella notte precedente) dell'individuo. Per questo uno studio futuro potrebbe tener conto anche di tutte queste variabili.
- Indagare altre variabili fisiologiche (es.: PERCLOSE);
- Indagare l'entità della pressione connessa alla presa del volante come possibile indicatore di fatica;
- L'ambiente virtuale creato sperimentalmente ha creato una situazione di crisi nel conducente; per questo motivo potrà essere usato come ambiente sperimentale per indagare altre variabili legate all'interazione tra il veicolo e l'utente per poi procedere con la progettazione, implementazione e validazione di un sistema di rilevamento della fatica.

APPENDICE: ANALISI

Nella presente appendice verrà presentata la descrizione puntuale di tutte le analisi effettuate, i cui risultati sono stati riportati nel CAPITOLO 6.

A.6.1 Tipologia di analisi statistiche

Per la scelta del più opportuno test statistico da utilizzare nel caso in esame è stato identificato innanzitutto che il problema oggetto di studio fosse un campione di dati “a misure ripetute”. Per ogni soggetto infatti la stessa misura viene registrata dalla strumentazione per tutta la durata dell’esperimento. I dati campionati sono poi stati considerati per le analisi in intervalli di un minuto. L’analisi non parametrica, per il software Jasp, corrispondente all’ANOVA è il test di Kruskal-Wallis mentre per l’ANOVA a misure ripetute è il test di Friedman (Figura A.1). Le analisi post hoc proposte sono quelle di Conover con eventualmente le correzioni di Holm o Bonferroni sul *p-value*. Per questo lavoro di tesi le correzioni non sono state considerate in quanto sono state ritenute troppo restrittive nelle analisi post hoc e l’obiettivo è invece quello di andare a definire il primo intervallo di significatività a favore della sicurezza. Con le correzioni si avrebbe una differenza significativa per un intervallo di tempo successivo a quelle senza correzioni e ciò andrebbe contro la sicurezza.

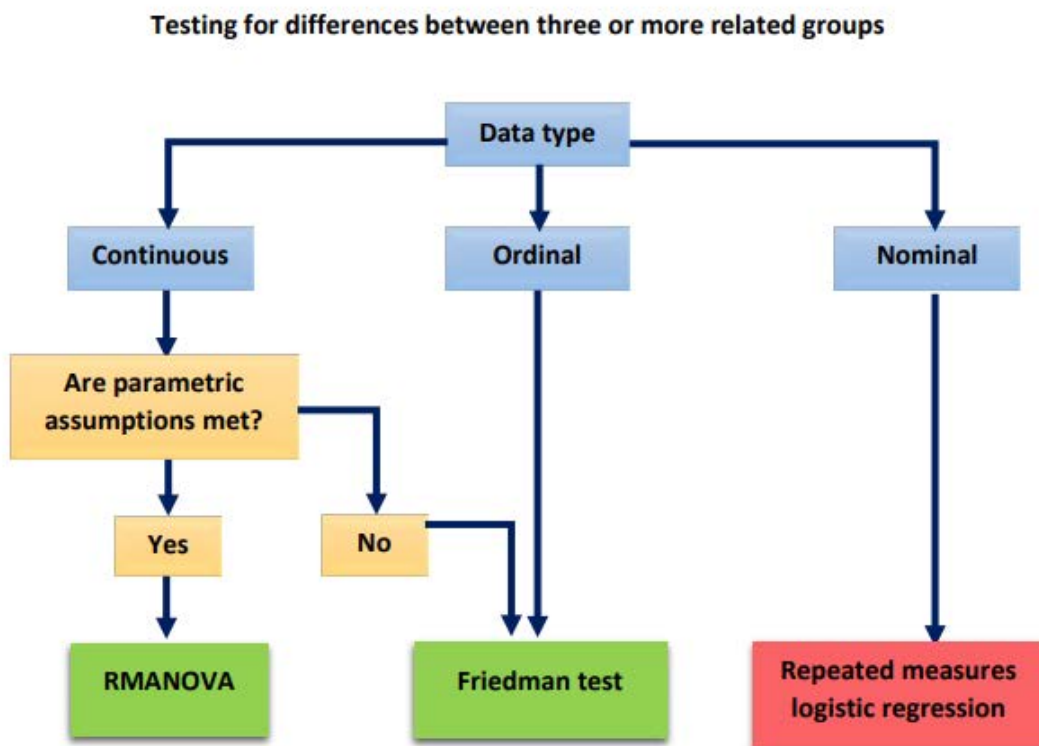


Figura A.1: Scelta test statistico (Sampson 2018)

A.6.3 Deviazione standard della posizione laterale (SDLP)

A.6.3.1 Analisi SDLP sull'intero il campione

Nel Grafico A.1 viene rappresentata con un istogramma la distribuzione della SDLP per tutti i 66 soggetti che hanno partecipato allo studio nei 50 minuti di guida.

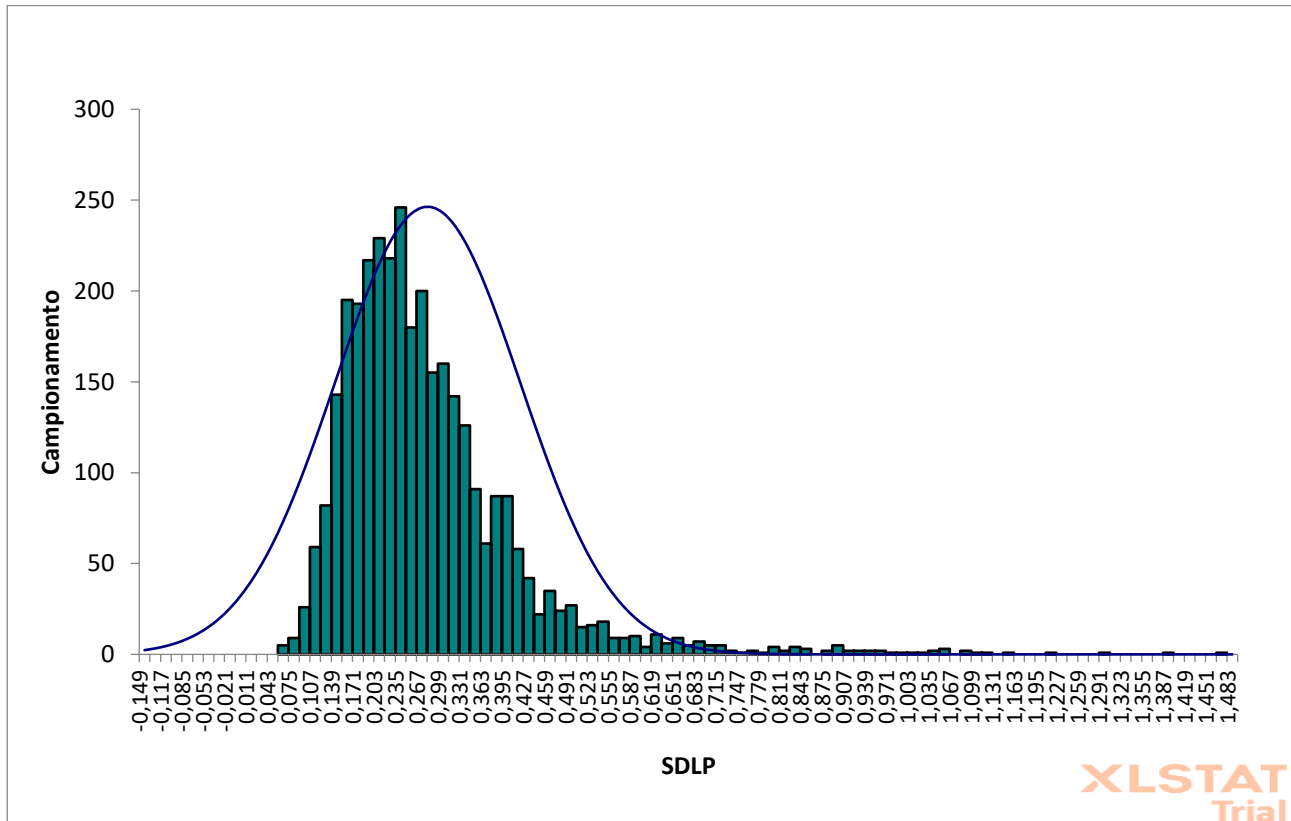


Grafico A.1: Istogramma SDLP per i 66 soggetti

Affinché sia possibile effettuare un'analisi di tipo parametrico, come ad esempio ANOVA, sarà necessario rispettare le seguenti condizioni:

- **INDIPENDENZA DELLE MISURE:** mediante il calcolo del “Chi-Quadro” in un test statistico non parametrico; serve per verificare se la differenza tra frequenze osservate e frequenze attese di due caratteri sia dovuto al caso o alla provenienza e al tipo del campione estratto.
- **DISTRIBUZIONE NORMALE:** Il test di “Shapiro-Wilk” è un test per la verifica di ipotesi statistiche ed è considerato in letteratura uno dei test più potenti per la verifica della normalità.
- **UGUALI VARIANZE:** Uno dei più famosi test per questa ipotesi nulla è quello di “Bartlett”. Tale test è basato sull'ipotesi che la distribuzione del carattere dipendente sia normale, ed è poco robusto a deviazioni da tale ipotesi. Per ovviare a tale problema si preferisce quindi di solito ricorrere a test che siano affidabili anche nel caso non normale, come ad esempio il test di “Levene”.

INDIPENDENZA DELLE MISURE	Chi-Sq	48.54
	P	1
	α	0.05
DISTRIBUZIONE NORMALE	W	0.814
	p-value (Two-tailed)	< 0,0001
	α	0.05
UGUALI VARIANZE	Test	1.442
	P	0.024
	α	0.05

Tabella A.1: Verifica delle tre condizioni

Risulta che:

- le variabili sono indipendenti;
- le varianze non sono uguali;
- la distribuzione non è normale.

Non risulta quindi possibile procedere con delle analisi parametriche.

È opportuno verificare se l'ipotesi della normalità è rispettata nei singoli intervalli. Si riporta a titolo esemplificativo la verifica sull'intervallo 2-3:

Shapiro-Wilk test (2-3)	
W	0.647
p-value (Two-tailed)	< 0,0001
Alpha	0.05

Tabella A.2: Verifica normalità sull'intervallo 2-3

Risulta che la distribuzione non è normale, nemmeno sui singoli intervalli.

Vengono di seguito presentati i grafici relativi alla distribuzione dell'intervallo 2-3.

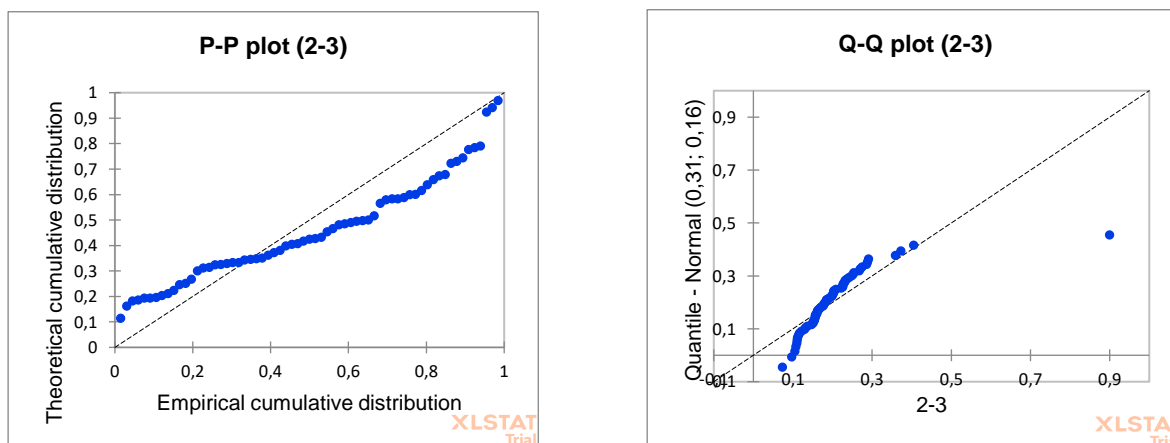


Grafico A.2: Verifica normalità della distribuzione

Con il software di analisi statistica "Jasp" è stata verificata la normalità su tutti i singoli intervalli mediante il test di "Shapiro-Wilk" (Figura A.2).

Assumption Checks

Test of Normality (Shapiro-Wilk)

	W	p
0-1	0.694	< .001
1-2	0.793	< .001
2-3	0.647	< .001
3-4	0.851	< .001
4-5	0.931	0.001
5-6	0.814	< .001
6-7	0.951	0.011
7-8	0.924	< .001
8-9	0.859	< .001
9-10	0.899	< .001
10-11	0.924	< .001
11-12	0.933	0.001
12-13	0.888	< .001
13-14	0.880	< .001
14-15	0.903	< .001
15-16	0.876	< .001
16-17	0.854	< .001
17-18	0.853	< .001
18-19	0.655	< .001
19-20	0.890	< .001
20-21	0.718	< .001
21-22	0.788	< .001
22-23	0.655	< .001
23-24	0.708	< .001
24-25	0.811	< .001
25-26	0.777	< .001
26-27	0.770	< .001
27-28	0.800	< .001
27-28	0.800	< .001
28-29	0.838	< .001
29-30	0.924	< .001
30-31	0.876	< .001
31-32	0.861	< .001
32-33	0.837	< .001
33-34	0.766	< .001
34-35	0.809	< .001
35-36	0.844	< .001
36-37	0.696	< .001
37-38	0.786	< .001
38-39	0.868	< .001
39-40	0.819	< .001
40-41	0.894	< .001
41-42	0.809	< .001
42-43	0.730	< .001
43-44	0.680	< .001
44-45	0.813	< .001
45-46	0.898	< .001
46-47	0.888	< .001
47-48	0.915	< .001
48-49	0.868	< .001
49-50	0.749	< .001

Note. Significant results suggest a deviation from normality.

Figura A.2: Verifica normalità su tutti gli intervalli

La distribuzione non risulta normale in nessuno degli intervalli considerati. Dalle analisi effettuate risulta che la distribuzione non è normale. Prima di procedere con le analisi di tipo non parametrico, è opportuno provare ad utilizzare una curva “generalizzata del modello lineare” (GLM) di tipo Gamma (studiano la relazione che intercorre tra le variabili che caratterizzano un fenomeno, in particolare che una *variabile risposta* sia legata linearmente ad una o più *variabili esplicative fissate*).

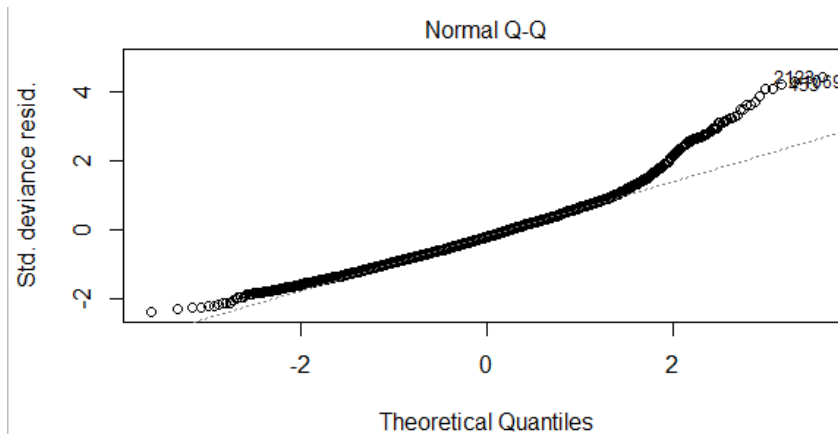


Figura A.3: Normalizzazione dei dati modello BoxCox

Fittando i dati con distribuzioni simili a quella gaussiana si nota che la distribuzione migliora; è quindi opportuno utilizzare la normalizzazione mediante **BOXCOX**. Non essendo infatti rispettate le tre condizioni sarà opportuno normalizzare i dati e successivamente verificare che il modello ottenuto le rispetti tutte e tre.

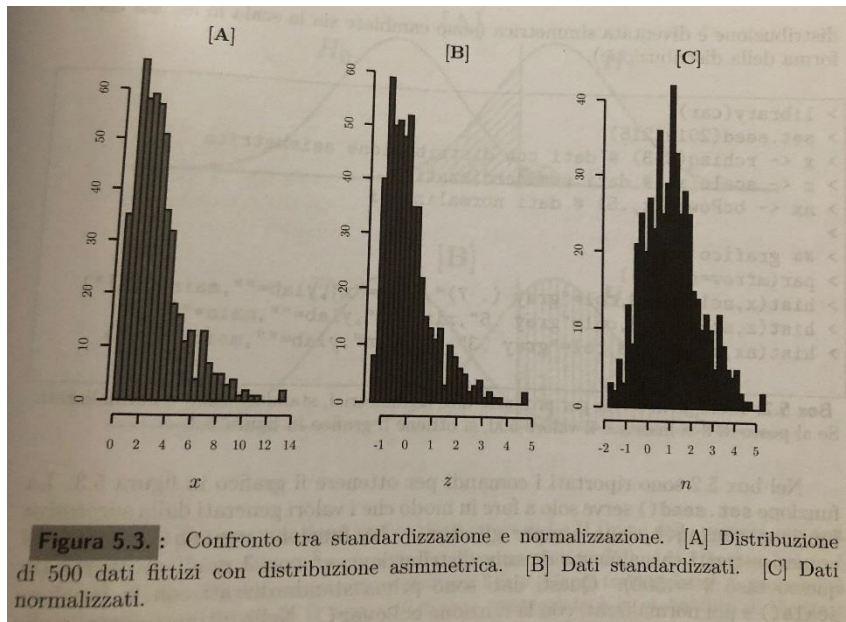


Figura A.4: Normalizzazione dei dati (Pastore 2015)

Nel 1964, G. E. P. Box e D. R. Cox (Cox 1964) hanno proposto un metodo iterativo e concettualmente complesso, **BOXCOX**, divenuto operativamente semplice e di vasta applicazione con l'uso dei computer, per individuare quale trasformazione dei dati può meglio normalizzare la loro distribuzione. Il metodo ricorre a una famiglia di trasformazioni di potenze.

Si ottiene una X trasformata mediante:

$$X_{trasl} = \frac{X^\lambda - 1}{\lambda}$$

Le più comuni trasformazioni di BoxCox sono:

$$Y^{-3} = \frac{1}{Y^3} \text{ per } \lambda = -3$$

$$Y^{-2} = \frac{1}{Y^2} \text{ per } \lambda = -2$$

$$Y^{-1} = \frac{1}{Y^1} \text{ per } \lambda = -1$$

$$Y^{-0.5} = \frac{1}{\sqrt{Y}} \text{ per } \lambda = -0.5$$

$$\log(Y) \text{ per } \lambda = 0$$

$$Y^{0.5} = \frac{1}{\sqrt{Y}} \text{ per } \lambda = 0.5$$

$$Y^1 = Y \text{ per } \lambda = 1$$

$$Y^2 \text{ per } \lambda = 2$$

$$Y^3 \text{ per } \lambda = 3$$

Sono di seguito presentati tutti i 9 casi con le più comuni λ .

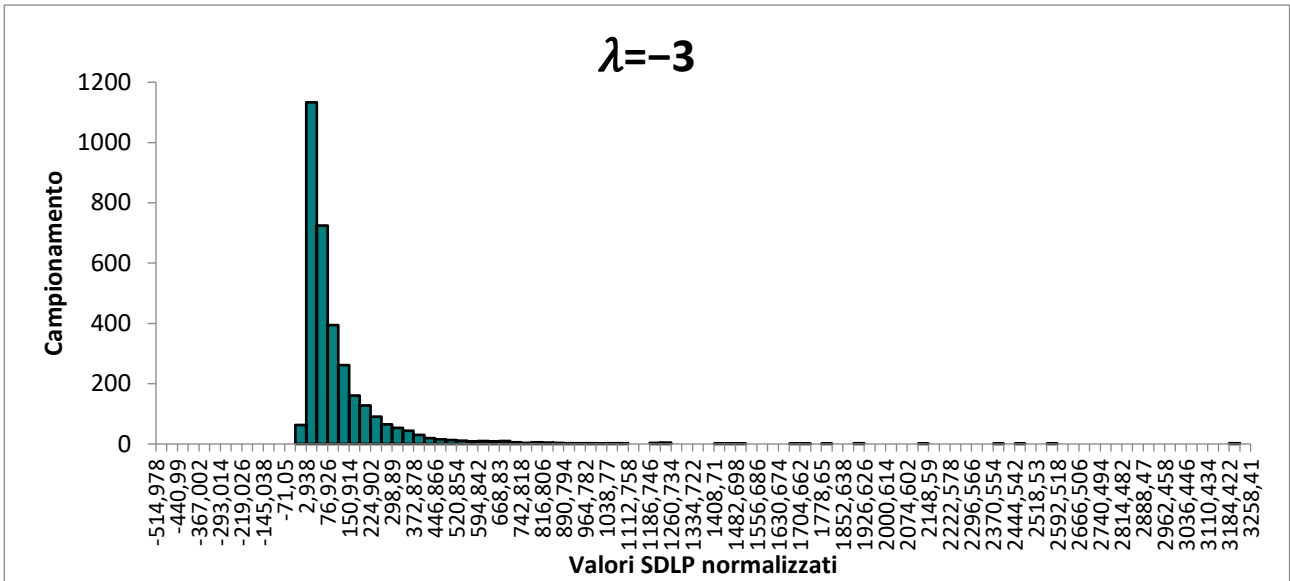


Grafico A.3: Istogramma SDLP per i 66 soggetti con normalizzazione BoxCox

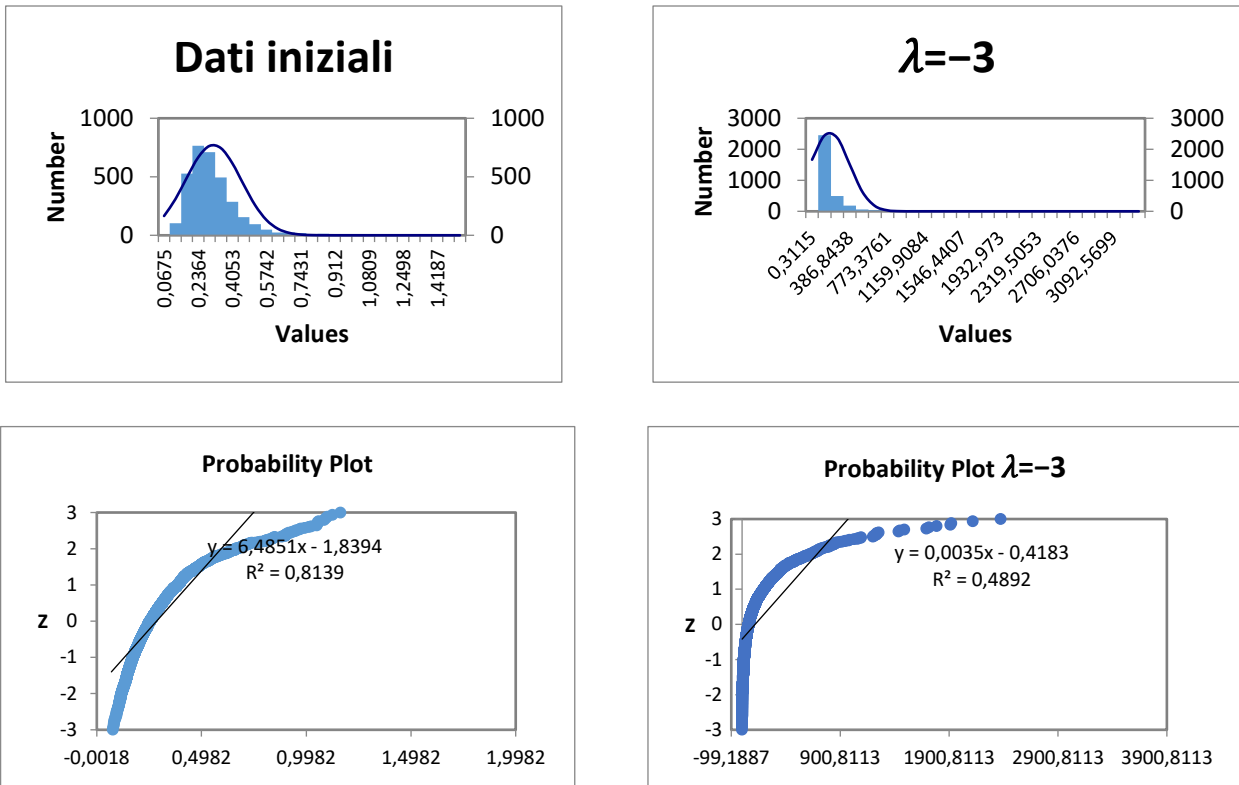


Grafico A.4: Confronto dati iniziali con dati normalizzati

INDIPENDENZA DELLE MISURE	Chi-Sq	348075.86
	P	0
	α	0.05
DISTRIBUZIONE NORMALE	W	0.490
	p-value (Two-tailed)	< 0,0001
	α	0.05
UGUALI VARIANZE	Test	2.708
	P	0.000
	α	0.05

Tabella A.3: Verifica delle tre condizioni

Risulta che:

- le variabili non sono indipendenti;
- le varianze non sono uguali;
- la distribuzione non è normale.

Non è quindi possibile procedere con delle analisi parametriche.

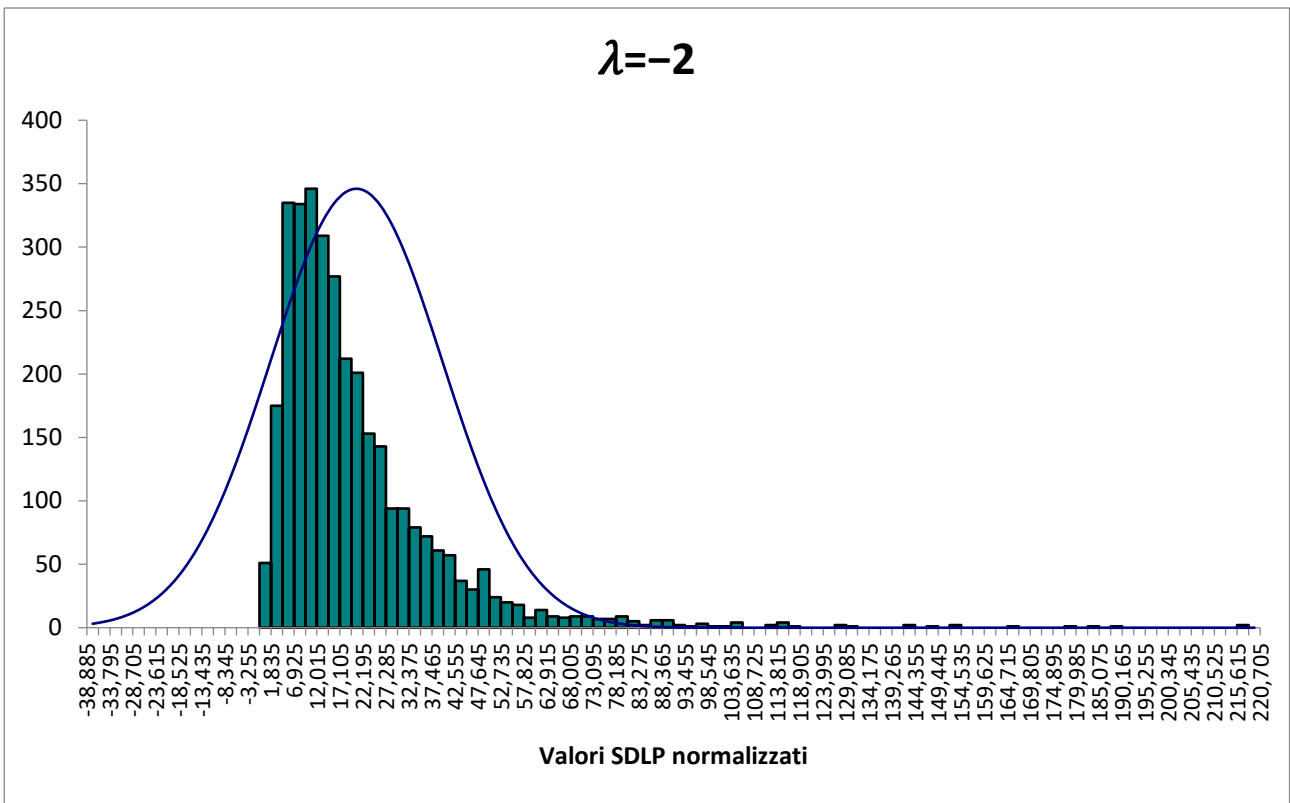


Grafico A.5: Istogramma SDLP per i 66 soggetti con normalizzazione BoxCox

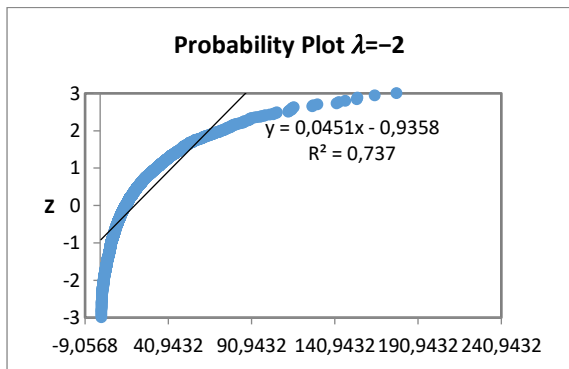
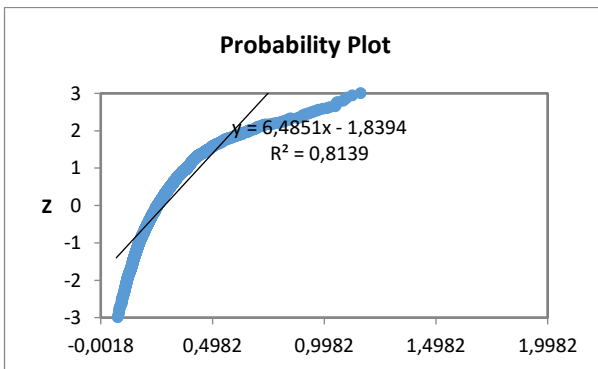
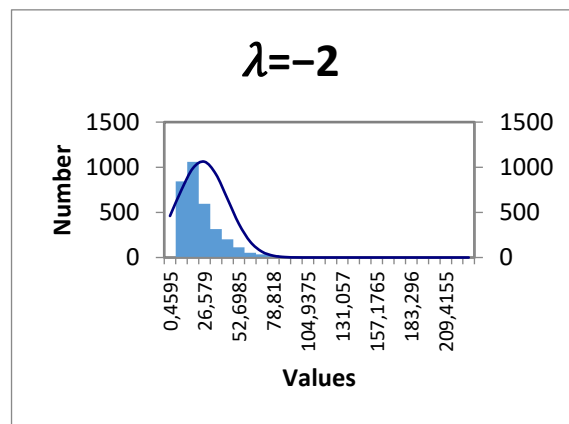
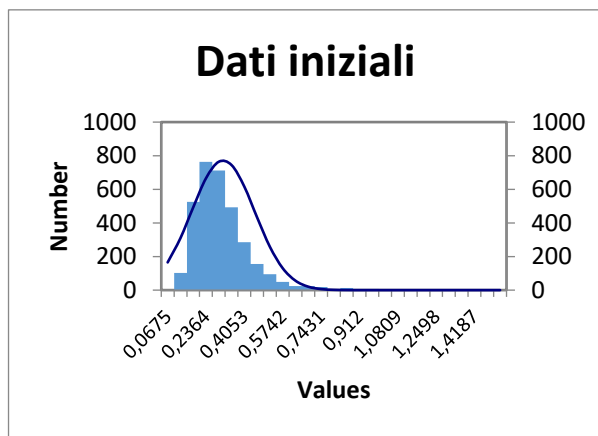


Grafico A.6: Confronto dati iniziali con dati normalizzati

INDIPENDENZA DELLE MISURE	Chi-Sq	22522.52
	P	0
	α	0.05
DISTRIBUZIONE NORMALE	W	0.737
	p-value (Two-tailed)	< 0,0001
	α	0.05
UGUALI VARIANZE	Test	2.323
	P	0.000
	α	0.05

Tabella A.4: Verifica delle tre condizioni

Risulta che:

- le variabili non sono indipendenti;
- le varianze non sono uguali;
- la distribuzione non è normale.

Non è quindi possibile procedere con delle analisi parametriche.

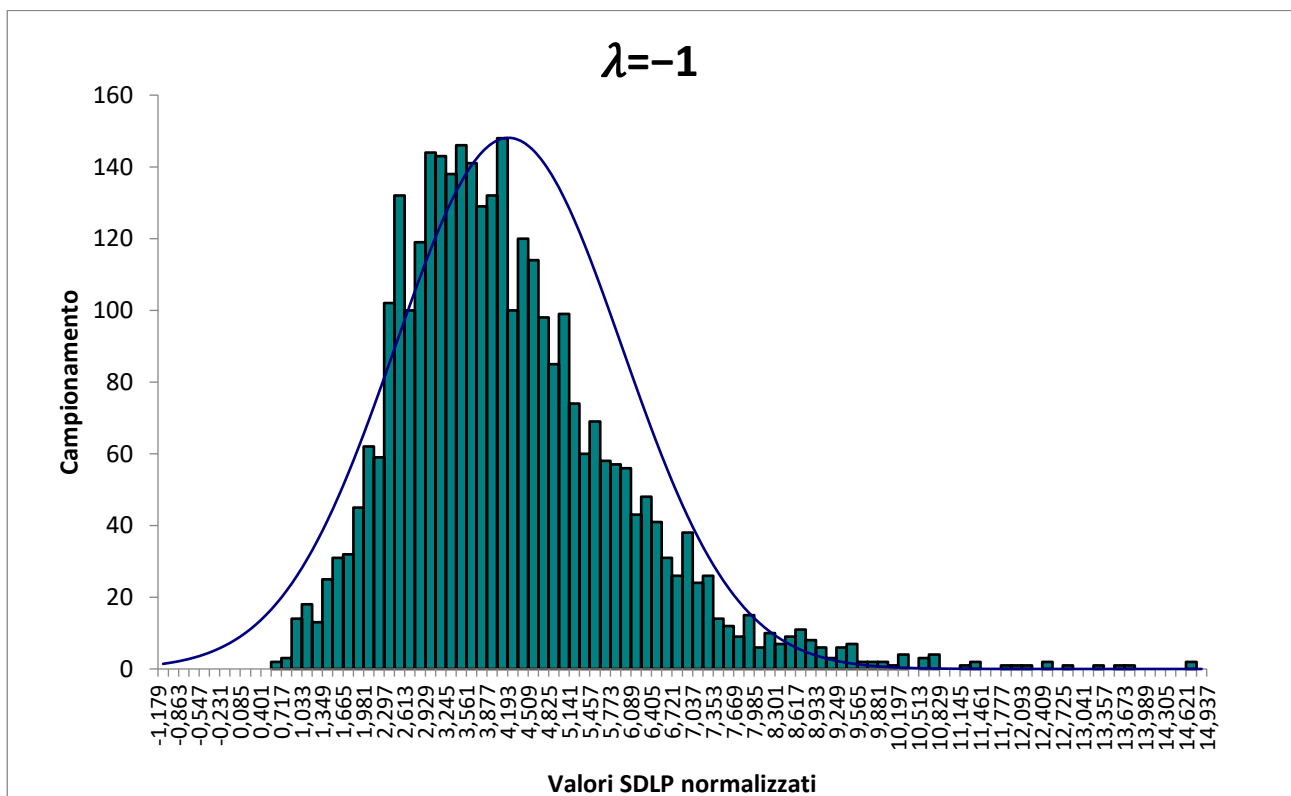


Grafico A.7: Istogramma SDLP per i 66 soggetti con normalizzazione BoxCox

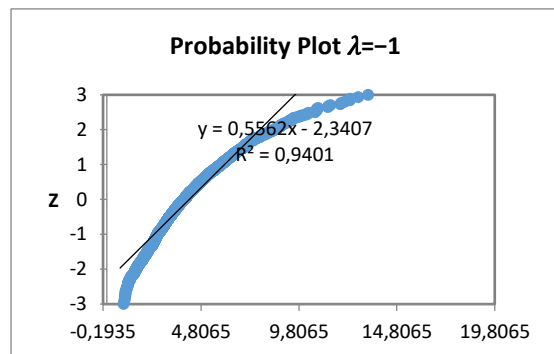
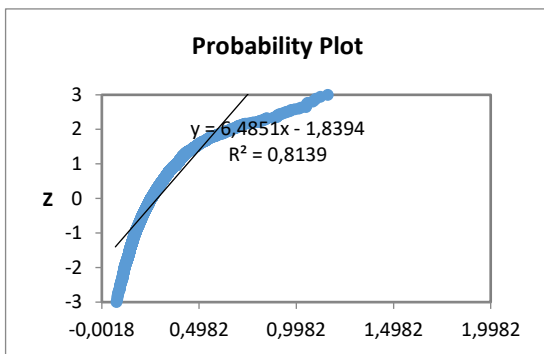
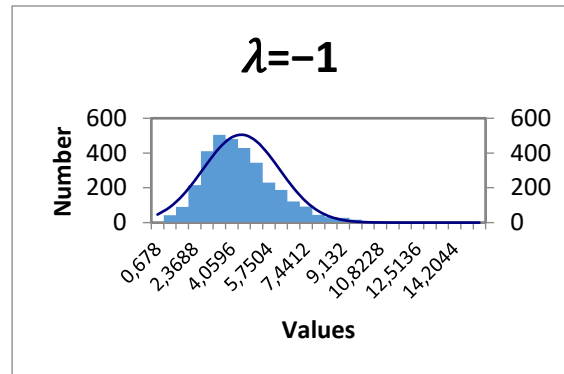
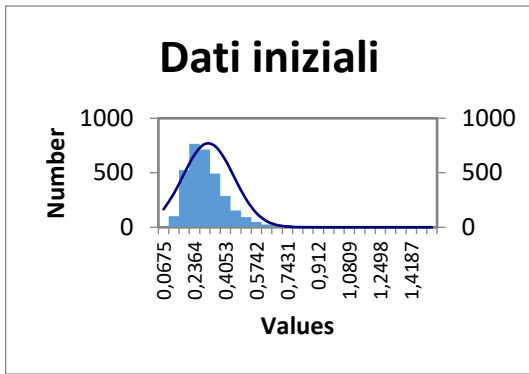


Grafico A.8: Confronto dati iniziali con dati normalizzati

INDIPENDENZA DELLE MISURE	Chi-Sq	1007.26
	P	1
	α	0.05
DISTRIBUZIONE NORMALE	W	0.940
	p-value (Two-tailed)	< 0,0001
	α	0.05
UGUALI VARIANZE	Test	1.125
	P	0.256
	α	0.05

Tabella A.5: Verifica delle tre condizioni

Risulta che:

- le variabili sono indipendenti;
- le varianze sono uguali;
- la distribuzione non è normale.

Non è quindi possibile procedere con delle analisi parametriche.

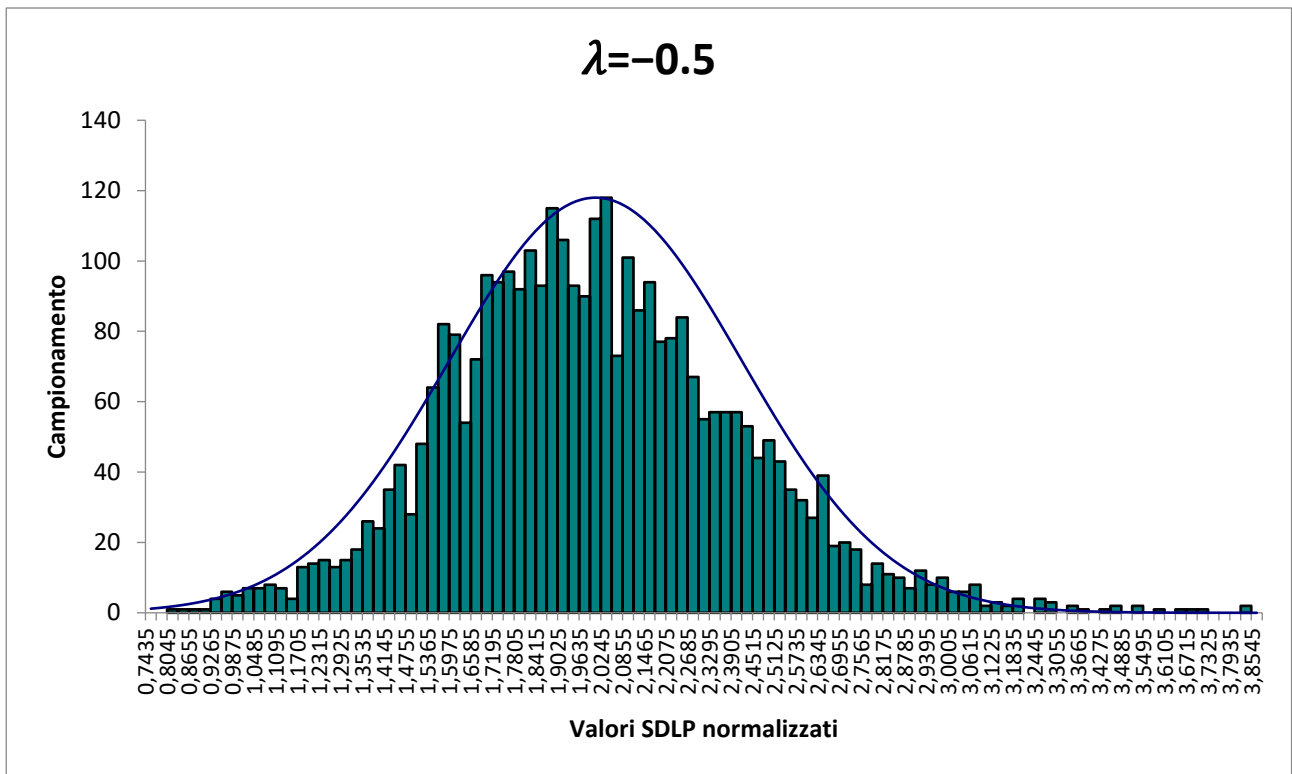


Grafico A.9: Istogramma SDLP per i 66 soggetti con normalizzazione BoxCox

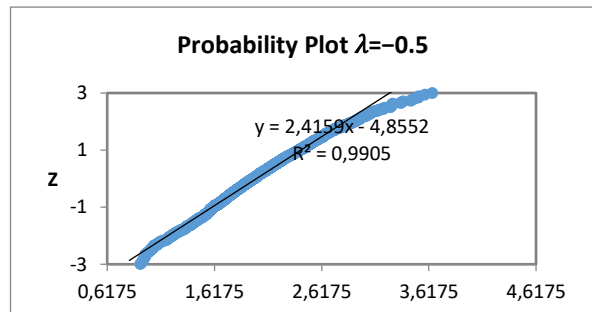
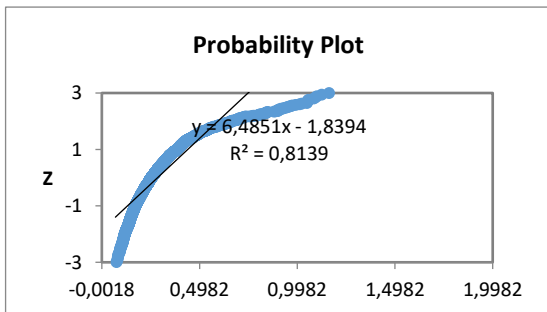
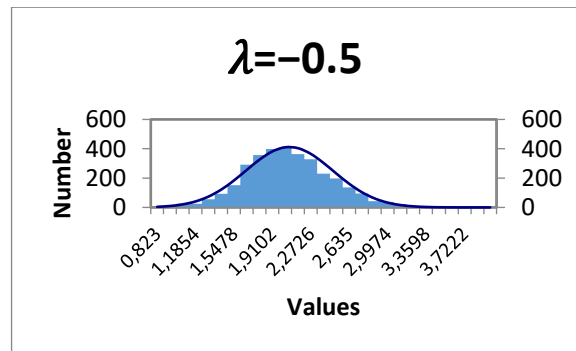
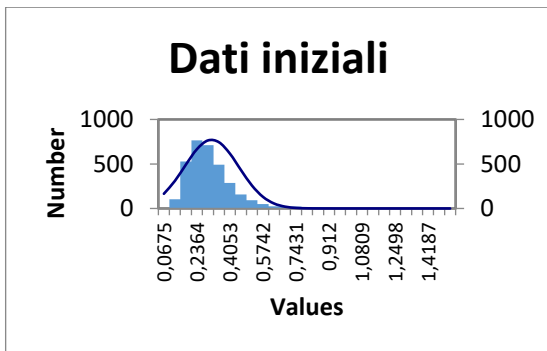


Grafico A.10: Confronto dati iniziali con dati normalizzati

INDIPENDENZA DELLE MISURE	Chi-Sq	117.38
	P	1
	α	0.05
DISTRIBUZIONE NORMALE	W	0.991
	p-value (Two-tailed)	< 0,0001
	α	0.05
UGUALI VARIANZE	Test	0.610
	P	0.985
	α	0.05

Tabella A.6: Verifica delle tre condizioni

Risulta che:

- le variabili sono indipendenti;
- le varianze sono uguali;
- la distribuzione non è normale.

Non è quindi possibile procedere con delle analisi parametriche.

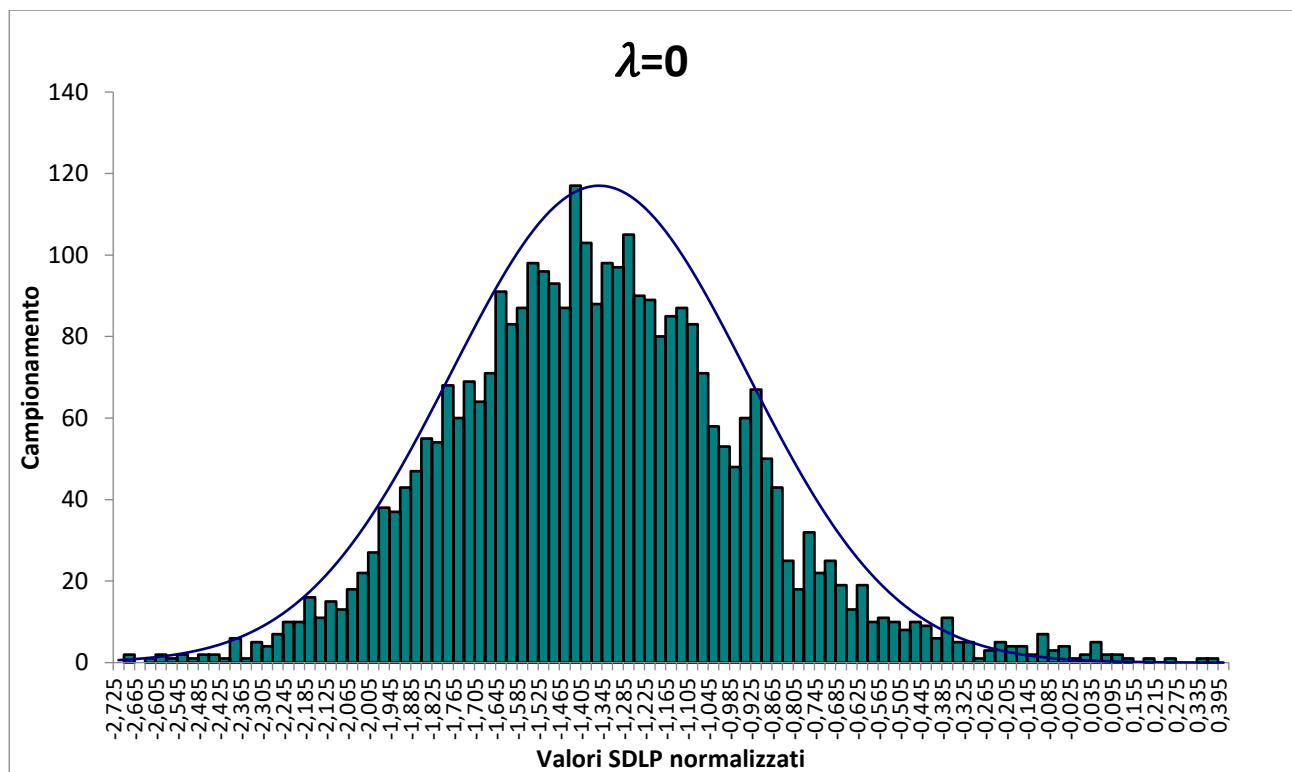


Grafico A.11: Istogramma SDLP per i 66 soggetti con normalizzazione BoxCox

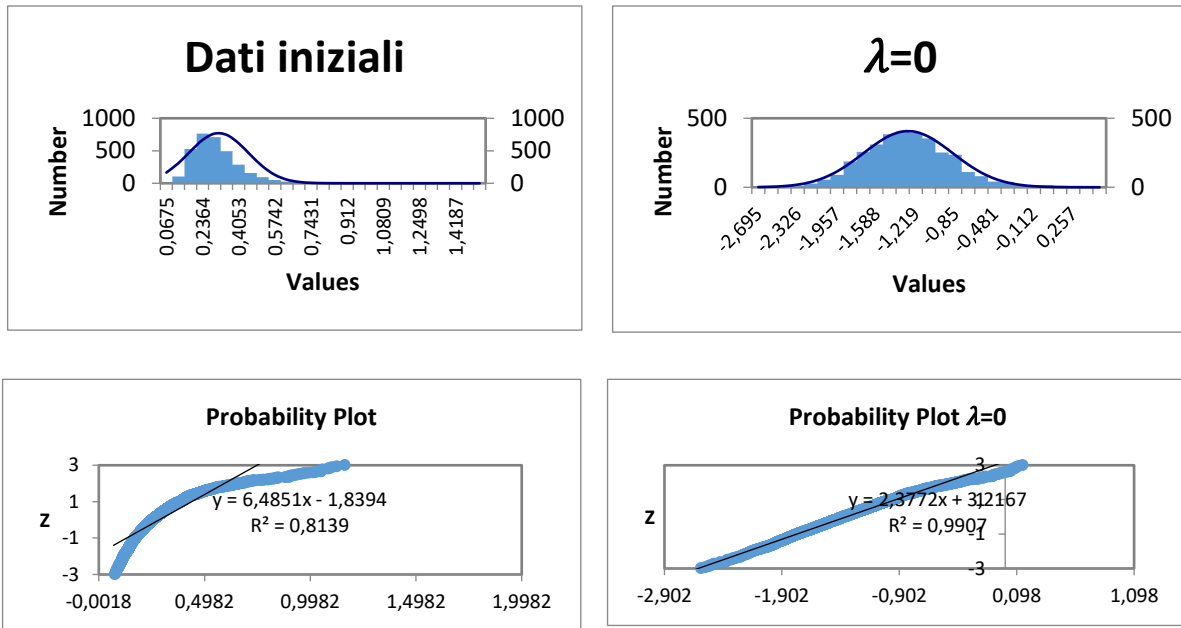


Grafico A.12: Confronto dati iniziali con dati normalizzati

INDIPENDENZA DELLE MISURE	Chi-Sq	189.18
	P	1
	α	0.05
DISTRIBUZIONE NORMALE	W	0.991
	p-value (Two-tailed)	< 0,0001
	α	0.05
UGUALI VARIANZE	Test	0.655
	P	0.970
	α	0.05

Tabella A.7: Verifica delle tre condizioni

Risulta che:

- le variabili sono indipendenti;
- le varianze sono uguali;
- la distribuzione non è normale.

Non è quindi possibile procedere con delle analisi parametriche.

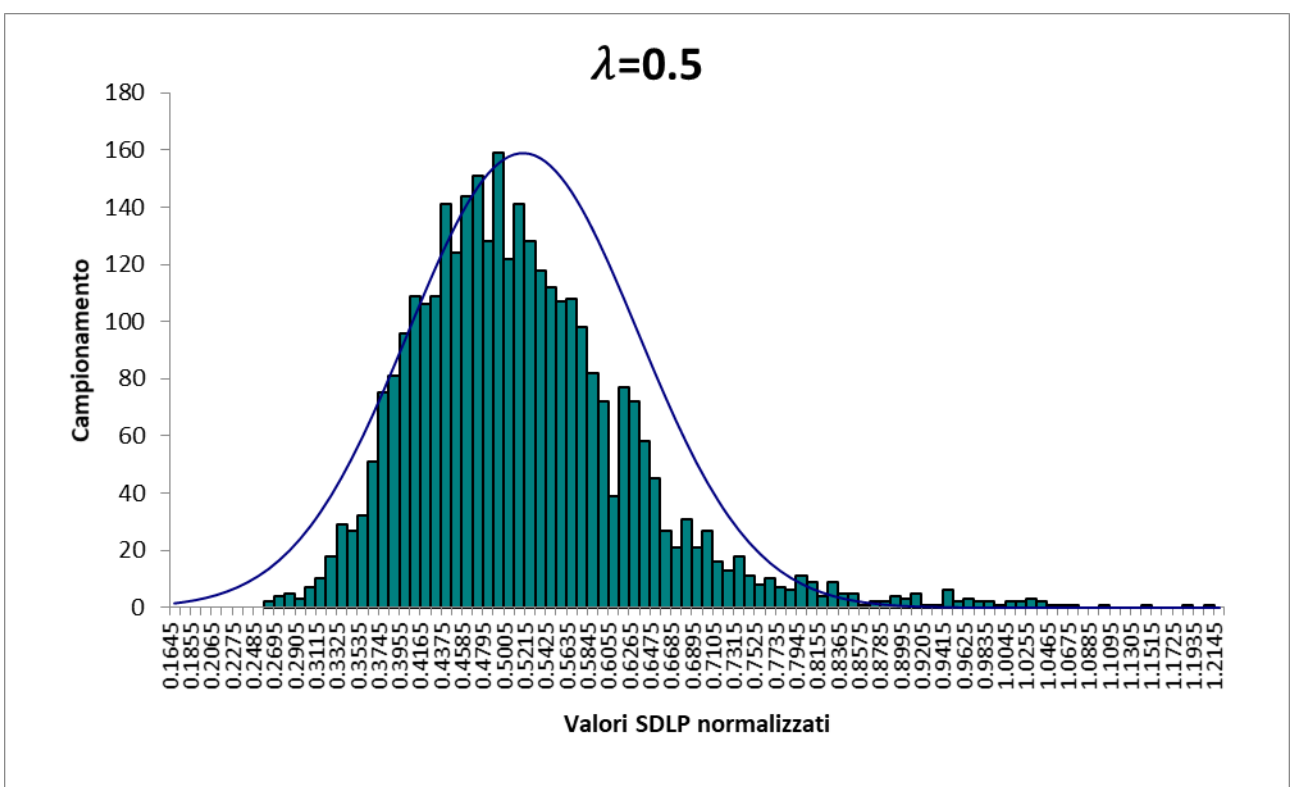


Grafico A.13: Istogramma SDLP per i 66 soggetti con normalizzazione BoxCox

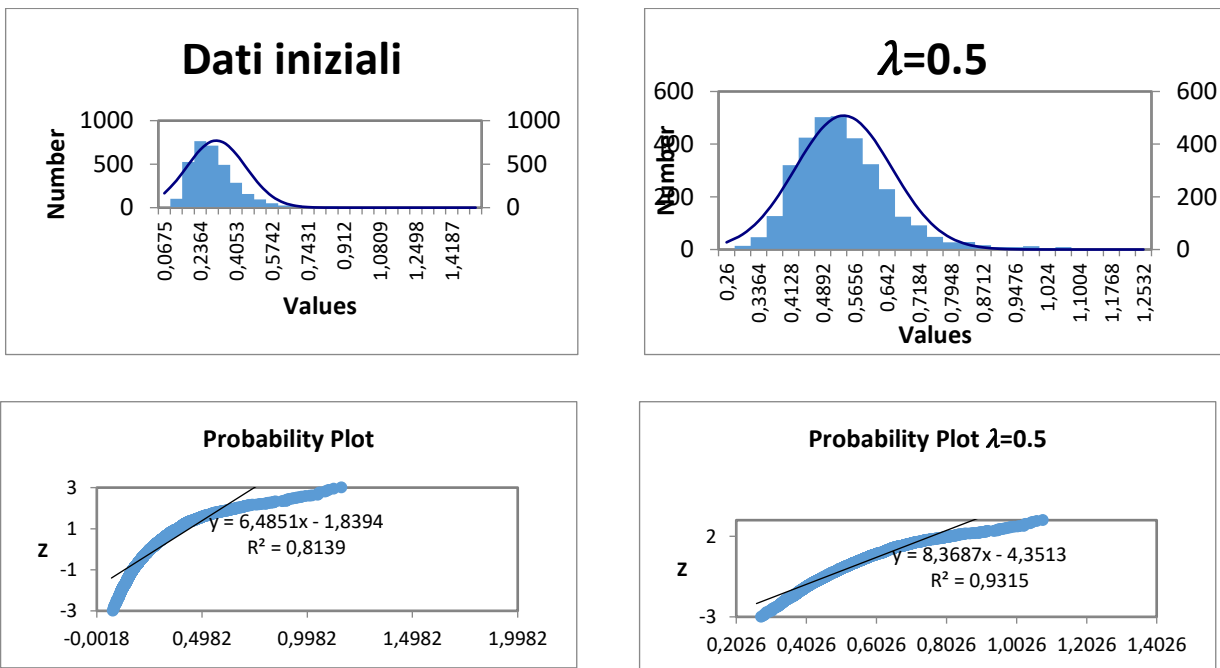


Grafico A.14: Confronto dati iniziali con dati normalizzati

INDIPENDENZA DELLE MISURE	Chi-Sq	31.93
	P	1
	α	0.05
DISTRIBUZIONE NORMALE	W	0.932
	p-value (Two-tailed)	< 0,0001
	α	0.05
UGUALI VARIANZE	Test	1.106
	P	0.285
	α	0.05

Tabella A.8: Verifica delle tre condizioni

Risulta che:

- le variabili sono indipendenti;
- le varianze sono uguali;
- la distribuzione non è normale.

Non è quindi possibile procedere con delle analisi parametriche.

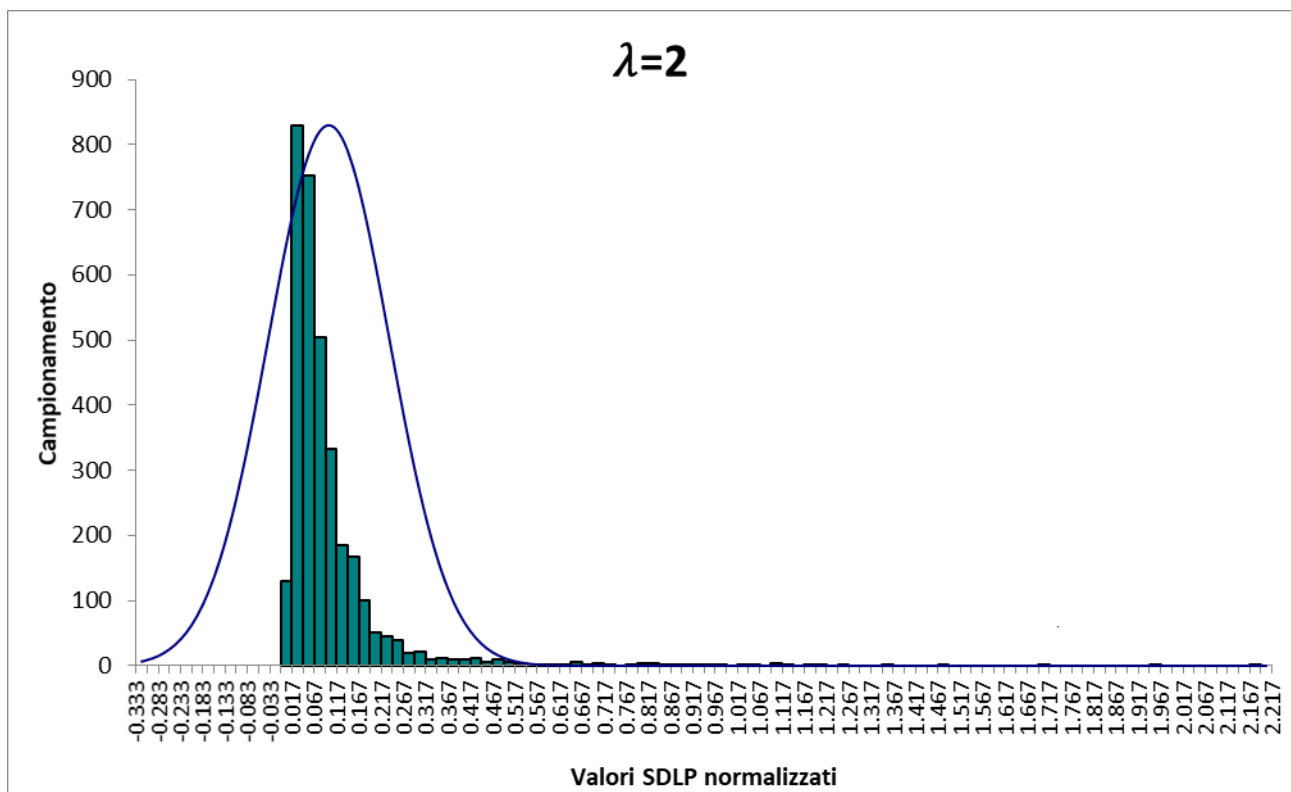


Gráfico A.15: Istogramma SDLP per i 66 soggetti con normalizzazione BoxCox

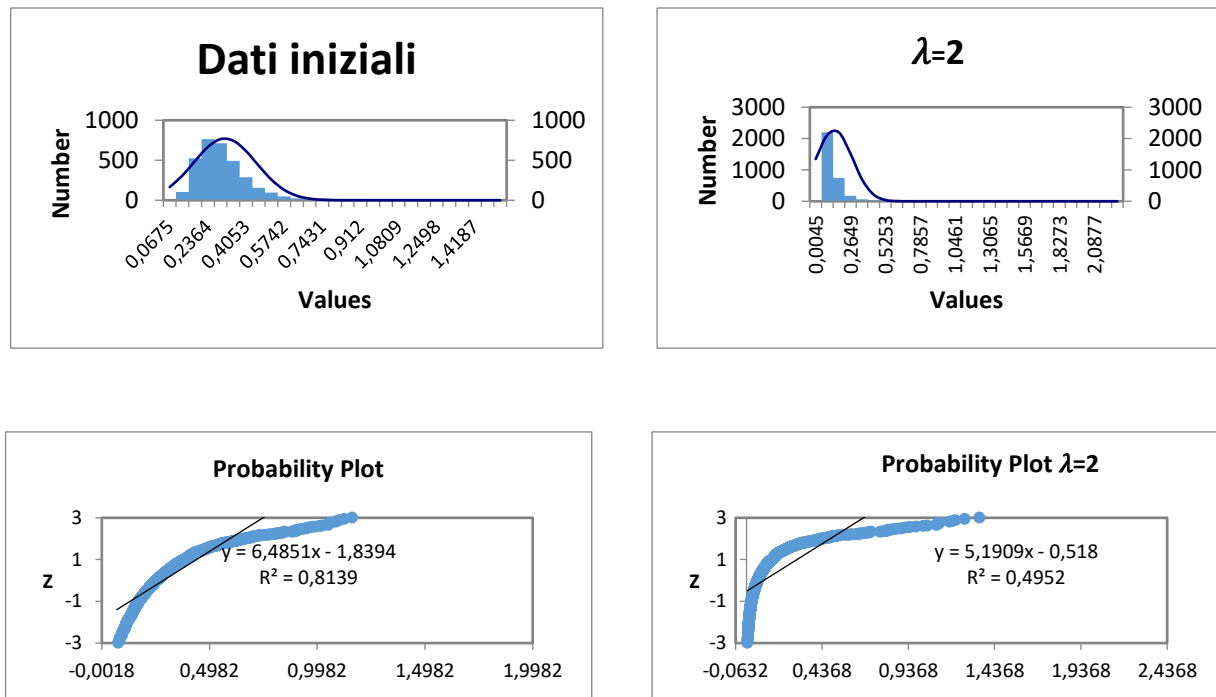


Grafico A.16: Confronto dati iniziali con dati normalizzati

INDIPENDENZA DELLE MISURE	Chi-Sq	143.63
	P	1
	α	0.05
DISTRIBUZIONE NORMALE	W	0.496
	p-value (Two-tailed)	< 0,0001
	α	0.05
UGUALI VARIANZE	Test	1.376
	P	0.043
	α	0.05

Tabella A.9: Verifica delle tre condizioni

Risulta che:

- le variabili sono indipendenti;
- le varianze non sono uguali;
- la distribuzione non è normale.

Non è quindi possibile procedere con delle analisi parametriche.

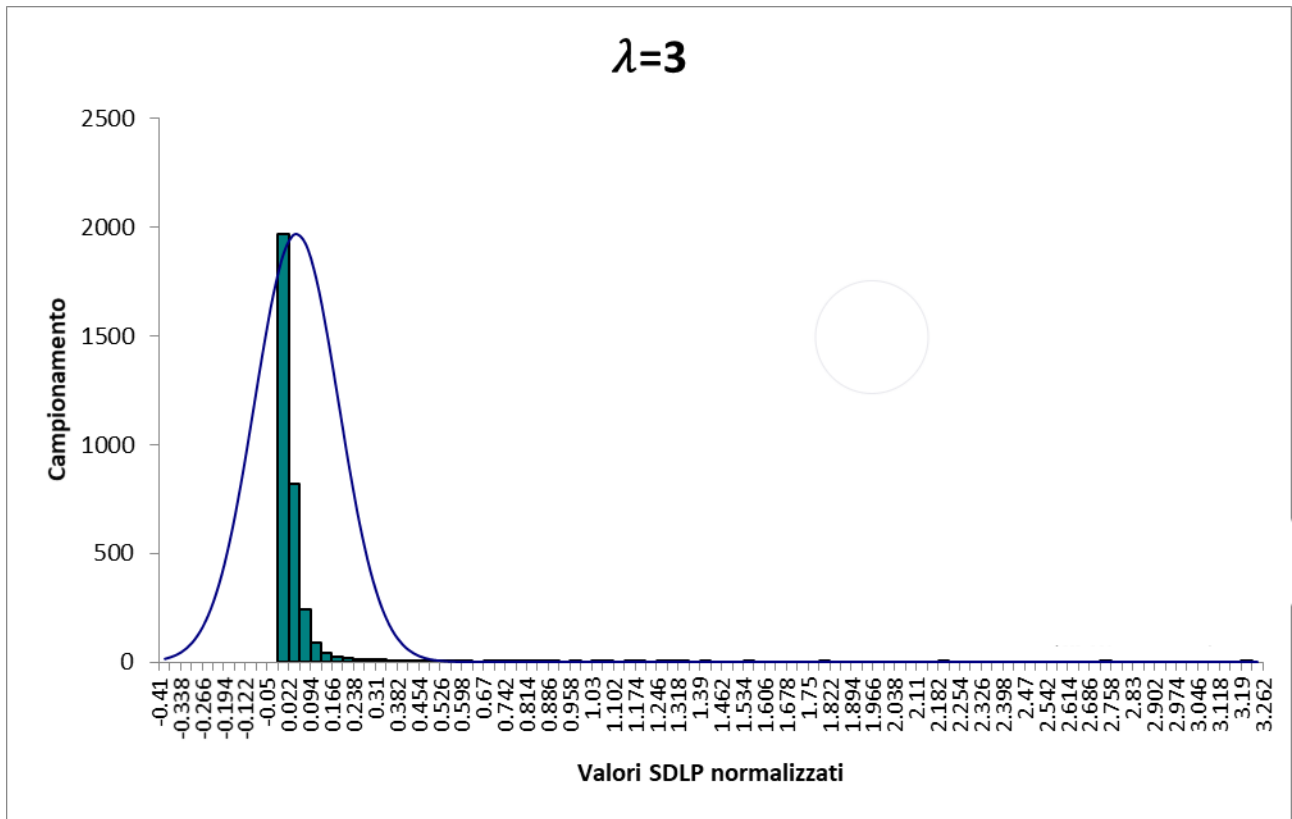


Grafico A.17: Istogramma SDLP per i 66 soggetti con normalizzazione BoxCox

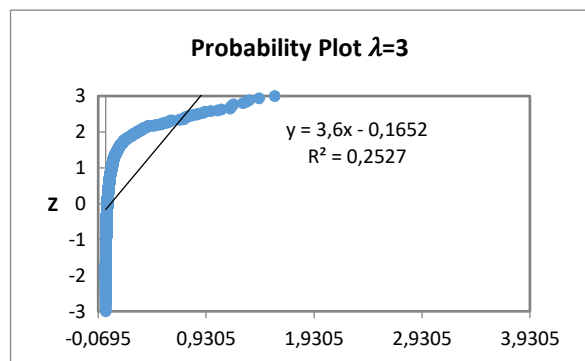
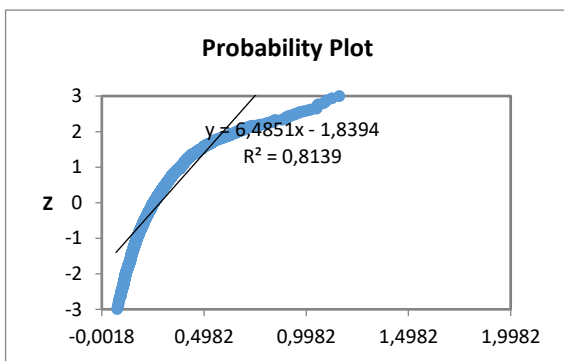
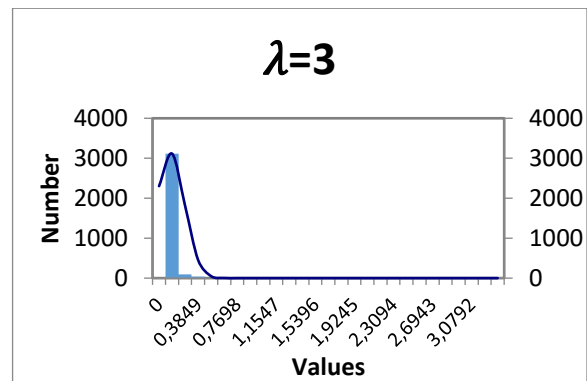
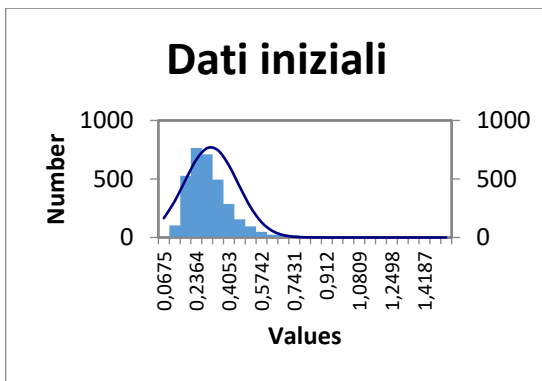


Grafico A.18: Confronto dati iniziali con dati normalizzati

INDIPENDENZA DELLE MISURE	Chi-Sq	204.85
	P	1
	α	0.05
DISTRIBUZIONE NORMALE	W	0.254
	p-value (Two-tailed)	< 0,0001
	α	0.05
UGUALI VARIANZE	Test	1.063
	P	0.356
	α	0.05

Tabella A.10: Verifica delle tre condizioni

Risulta che:

- le variabili sono indipendenti;
- le varianze sono uguali;
- la distribuzione non è normale.

Non è quindi possibile procedere con delle analisi parametriche.

In tabella A.11 sono riassunti i risultati dei tre test per i differenti valori di lamda.

Lambda	Normalità	Varianza	Indipendenza
-3	NO	NO	NO
-2	NO	NO	NO
-1	NO	SI	SI
-0.5	NO	SI	SI
0	NO	SI	SI
0.5	NO	SI	SI
2	NO	NO	SI
3	NO	SI	SI

Tabella A.11: Riassunto verifica delle tre condizioni

Mediante la normalizzazione con il metodo BOXCOX non è stato trovato un valore di lambda che garantisca l'ipotesi della normalità, l'ipotesi delle varianze e l'ipotesi dell'indipendenza.

Si procede quindi con le **analisi non parametriche**.

Conover's Post Hoc Comparisons							
		Mean Difference	T-Stat	df	p	p bonf	p holm
1	2	0.017	1.293	3185	0.196	1	1
	3	0.035	3.505	3185	< .001	0.567	0.396
	4	0.032	2.251	3185	0.024	1	1
	5	0.021	1.614	3185	0.107	1	1
	6	0.005	1.17	3185	0.242	1	1
	7	0.002	0.277	3185	0.782	1	1
	8	-0.0001	0.206	3185	0.837	1	1

	9	-0.0006	0.084	3185	0.933	1	1
	10	-0.016	0.714	3185	0.475	1	1
	11	0.001	0.521	3185	0.602	1	1
	12	-0.019	1.486	3185	0.138	1	1
	13	-0.025	2.219	3185	0.027	1	1
	14	-0.020	1.023	3185	0.307	1	1
	15	-0.027	1.775	3185	0.076	1	1
	16	-0.034	2.772	3185	0.006	1	1
	17	-0.032	2.026	3185	0.043	1	1
	18	-0.026	1.19	3185	0.234	1	1
	19	-0.051	3.177	3185	0.002	1	1
	20	-0.056	3.408	3185	< .001	0.811	0.55
	21	-0.042	2.334	3185	0.02	1	1
	22	-0.049	3.395	3185	< .001	0.849	0.575
	23	-0.061	3.749	3185	< .001	0.221	0.16
	24	-0.040	2.103	3185	0.036	1	1
	25	-0.041	2.63	3185	0.009	1	1
	26	-0.061	4.167	3185	< .001	0.039	0.03
	27	-0.052	2.643	3185	0.008	1	1
	28	-0.066	3.942	3185	< .001	0.101	0.075
	29	-0.060	4.18	3185	< .001	0.037	0.028
	30	-0.059	4.437	3185	< .001	0.012	0.009
	31	-0.050	3.196	3185	0.001	1	1
	32	-0.079	4.797	3185	< .001	0.002	0.002
	33	-0.048	3.447	3185	< .001	0.704	0.481
	34	-0.063	3.678	3185	< .001	0.292	0.207
	35	-0.066	4.418	3185	< .001	0.013	0.01
	36	-0.069	4.469	3185	< .001	0.01	0.008
	37	-0.078	5.215	3185	< .001	< .001	< .001
	38	-0.076	5.183	3185	< .001	< .001	< .001
	39	-0.065	4.752	3185	< .001	0.003	0.002
	40	-0.069	4.99	3185	< .001	< .001	< .001
	41	-0.077	5.498	3185	< .001	< .001	< .001
	42	-0.074	4.334	3185	< .001	0.018	0.014
	43	-0.079	4.707	3185	< .001	0.003	0.003
	44	-0.105	6.65	3185	< .001	< .001	< .001
	45	-0.086	5.331	3185	< .001	< .001	< .001
	46	-0.081	5.235	3185	< .001	< .001	< .001
	47	-0.077	4.907	3185	< .001	0.001	< .001
	48	-0.089	6.695	3185	< .001	< .001	< .001
	49	-0.070	4.83	3185	< .001	0.002	0.001
	50	-0.071	4.675	3185	< .001	0.004	0.003

Tabella A.12: Confronti Post hoc

Il test ha mostrato differenze significative tra le popolazioni ($\chi^2 (49) = 488.4, p < .001$). Le analisi Post hoc di Conover hanno mostrato una differenza significativa delle popolazioni dal tredicesimo minuto. Non sono state utilizzate le correzioni di Bonferroni, perché ritenute troppo restrittive.

A.6.3.2 Analisi SDLP su campione ridotto

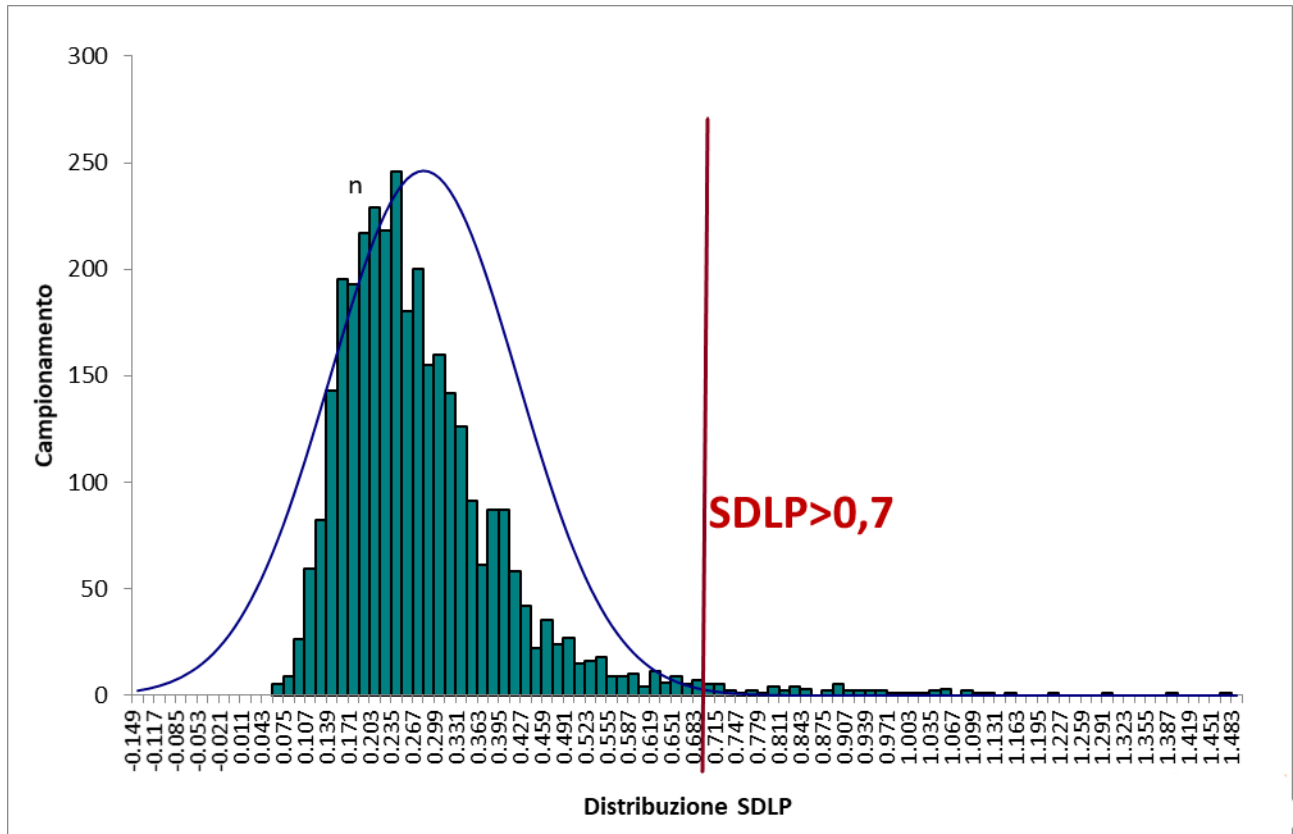


Grafico A.19: Distribuzione dei valori di SDLP per i 66 soggetti

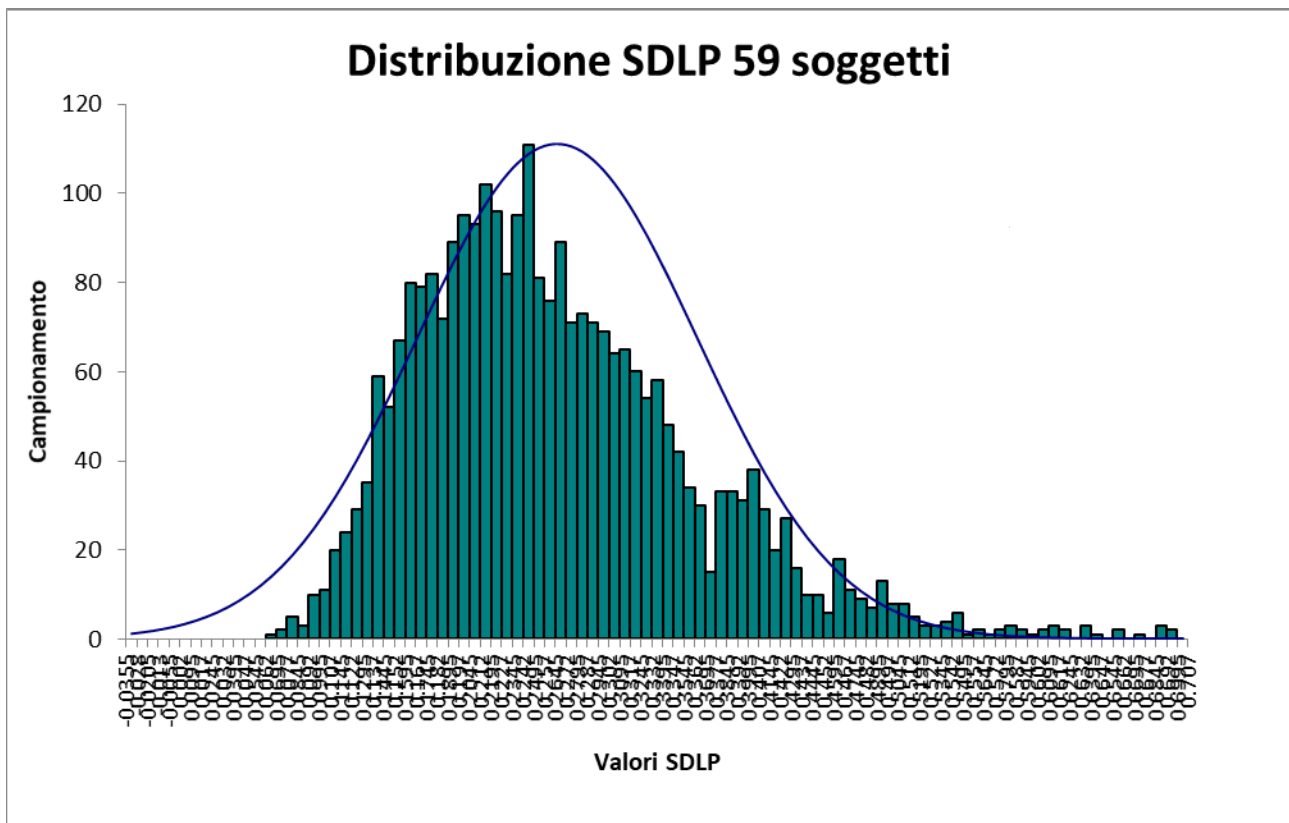


Grafico A.20: Distribuzione dei valori di SDLP per i 59 soggetti

INDIPENDENZA DELLE MISURE	Chi-Sq	48.54542957
	P	1
	α	0.05
DISTRIBUZIONE NORMALE	W	0.952
	p-value (Two-tailed)	< 0,0001
	α	0.05
UGUALI VARIANZE	Test	1.803
	P	0.001
	α	0.05

Tabella A.13: Verifica delle tre condizioni

Risulta che:

- le variabili sono indipendenti;
- le varianze non sono uguali;
- la distribuzione non è normale.

Non è quindi possibile procedere con delle analisi parametriche.

Conover's Post Hoc Comparisons - RM Factor 1							
		Mean Difference	T-Stat	Df	p	p bonf	p holm
4	5	-0.013	0.639	2668	0.523	1	1
	6	-0.028	1.008	2668	0.314	1	1
	7	-0.033	1.839	2668	0.066	1	1

	8	-0.031	2.193	2668	0.028	1	1
	9	-0.034	2.108	2668	0.035	1	1
	10	-0.044	2.612	2668	0.009	1	1
	11	-0.028	1.406	2668	0.16	1	1
	12	-0.047	3.393	2668	< .001	0.758	0.578
	13	-0.056	4.181	2668	< .001	0.032	0.028
	14	-0.050	2.925	2668	0.003	1	1
	15	-0.053	3.521	2668	< .001	0.473	0.366
	16	-0.059	4.706	2668	< .001	0.003	0.003
	17	-0.054	4.025	2668	< .001	0.063	0.053
	18	-0.049	3.052	2668	0.002	1	1
	19	-0.065	4.841	2668	< .001	0.001	0.001
	20	-0.075	5.019	2668	< .001	< .001	< .001
	21	-0.058	3.933	2668	< .001	0.093	0.077
	22	-0.070	5.004	2668	< .001	< .001	< .001
	23	-0.080	5.622	2668	< .001	< .001	< .001
	24	-0.059	3.876	2668	< .001	0.118	0.096
	25	-0.061	4.373	2668	< .001	0.014	0.012
	26	-0.074	5.572	2668	< .001	< .001	< .001
	27	-0.065	4.053	2668	< .001	0.056	0.047
	28	-0.080	5.48	2668	< .001	< .001	< .001
	29	-0.077	5.636	2668	< .001	< .001	< .001
	30	-0.081	6.083	2668	< .001	< .001	< .001
	31	-0.068	4.628	2668	< .001	0.004	0.004
	32	-0.095	6.325	2668	< .001	< .001	< .001
	33	-0.074	5.501	2668	< .001	< .001	< .001
	34	-0.085	5.721	2668	< .001	< .001	< .001
	35	-0.080	6.041	2668	< .001	< .001	< .001
	36	-0.096	6.247	2668	< .001	< .001	< .001
	37	-0.091	6.68	2668	< .001	< .001	< .001
	38	-0.089	6.687	2668	< .001	< .001	< .001
	39	-0.095	6.808	2668	< .001	< .001	< .001
	40	-0.090	6.587	2668	< .001	< .001	< .001
	41	-0.097	7.099	2668	< .001	< .001	< .001
	42	-0.094	6.197	2668	< .001	< .001	< .001
	43	-0.091	6.346	2668	< .001	< .001	< .001
	44	-0.110	7.922	2668	< .001	< .001	< .001
	45	-0.108	7.091	2668	< .001	< .001	< .001
	46	-0.099	6.666	2668	< .001	< .001	< .001
	47	-0.102	6.715	2668	< .001	< .001	< .001
	48	-0.115	8.362	2668	< .001	< .001	< .001
	49	-0.095	6.701	2668	< .001	< .001	< .001
	50	-0.086	6.112	2668	< .001	< .001	< .001

Tabella A.14: Confronti Post hoc

Il test di Friedman ha mostrato differenze significative tra le popolazioni ($\chi^2(46) = 327.3, p < .001$). Le analisi Post hoc di Conover hanno mostrato una differenza significativa delle popolazioni dall'ottavo minuto dall'inizio della prova. Non sono state utilizzate le correzioni di Bonferroni, perché ritenute troppo restrittive.

Si prova quindi a normalizzare i dati mediante il metodo BOXCOX e riverifico le ipotesi ($\lambda=0$).

INDIPENDENZA DELLE MISURE	Chi-Sq	132.03
	P	1
	α	0.05
DISTRIBUZIONE NORMALE	W	0.999
	p-value (Two-tailed)	0.058
	α	0.05
UGUALI VARIANZE	Test	0.825
	P	0.793
	α	0.05

Tabella A.15: Verifica delle tre condizioni

Risulta che:

- le variabili sono indipendenti;
- le varianze sono uguali;
- la distribuzione è normale.

È quindi possibile procedere con l'analisi parametrica ANOVA.

Il test ha mostrato differenze significative tra le popolazioni ($F(46)=9.309; p < .001$). Le analisi Post hoc di Holm hanno mostrato una differenza significativa delle popolazioni dal dodicesimo minuto. Non sono state utilizzate le correzioni di Bonferroni, perché ritenute troppo restrittive.

A.6.4 Superamento del limite della corsia

È stata calcolata la percentuale sul minuto delle volte che veniva calpesta e oltrepassata la linea della segnaletica orizzontale, andando così ad ottenere dei “quasi incidenti”.

A.6.4.1 Percentuale di tempo di “fuori corsia”. Casi di assenza di perdita totale del controllo

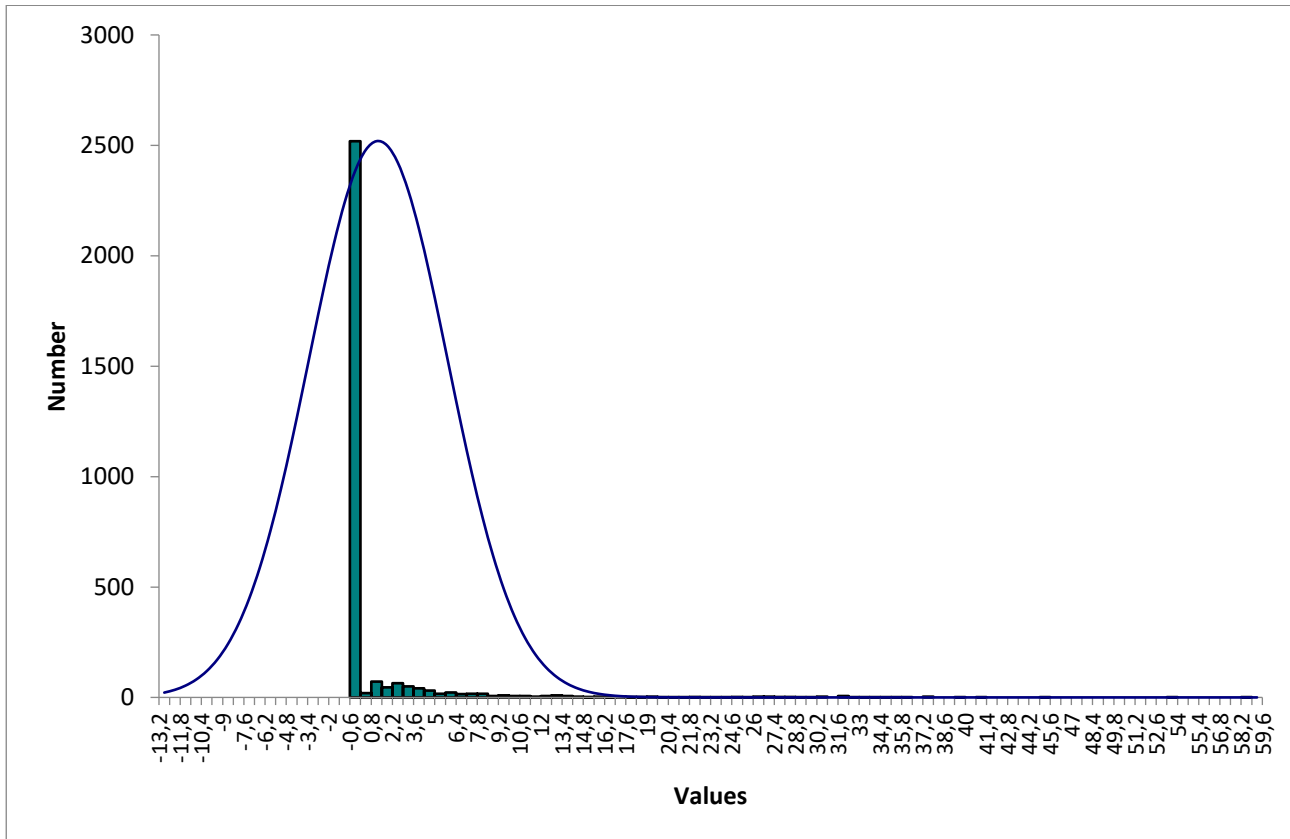


Grafico A.21 Distribuzione dei valori di percentuale dei 65 soggetti

INDIPENDENZA DELLE MISURE	Chi-Sq	1542.83
	P	0
	α	0.05
DISTRIBUZIONE NORMALE	W	0.305
	p-value (Two-tailed)	<0.001
	α	0.05
UGUALI VARIANZE	Test	1.213
	p	0.155
	α	0.05

Tabella A.16: Verifica delle tre condizioni

Risulta che:

- le variabili non sono indipendenti;
- le varianze sono uguali;
- la distribuzione non è normale.

Non è quindi possibile procedere con delle analisi parametriche.

Conover's Post Hoc Comparisons - RM Factor 1							
		Mean Difference	T-Stat	df	p	p bonf	p holm
4	5	-0.128	0.404	2944	0.686	1.000	1.000
	6	-0.317	0.349	2944	0.727	1.000	1.000
	7	-0.248	0.150	2944	0.881	1.000	1.000
	8	0.013	0.006	2944	0.996	1.000	1.000
	9	0.01	0.022	2944	0.982	1.000	1.000
	10	-0.268	1.197	2944	0.231	1.000	1.000
	11	-0.094	0.011	2944	0.991	1.000	1.000
	12	0.016	0.139	2944	0.890	1.000	1.000
	13	-0.097	0.393	2944	0.694	1.000	1.000
	14	-0.171	0.454	2944	0.650	1.000	1.000
	15	-0.199	0.493	2944	0.622	1.000	1.000
	16	-0.582	0.654	2944	0.513	1.000	1.000
	17	-0.444	1.219	2944	0.223	1.000	1.000
	18	-0.786	1.529	2944	0.126	1.000	1.000
	19	-0.362	0.903	2944	0.367	1.000	1.000
	20	-0.684	1.191	2944	0.234	1.000	1.000
	21	-1.262	2.294	2944	0.052	1.000	1.000
	22	-0.671	1.623	2944	0.105	1.000	1.000
	23	-0.536	1.031	2944	0.303	1.000	1.000
	24	-0.838	1.369	2944	0.171	1.000	1.000
	25	-0.668	0.737	2944	0.461	1.000	1.000
	26	-1.154	1.718	2944	0.086	1.000	1.000
	27	-1.241	2.432	2944	0.015	1.000	1.000
	28	-1.622	3.036	2944	0.002	1.000	1.000
	29	-1.459	3.745	2944	< .001	0.198	0.193
	30	-1.192	1.972	2944	0.049	1.000	1.000
	31	-1.355	2.582	2944	0.010	1.000	1.000
	32	-1.157	2.543	2944	0.011	1.000	1.000
	33	-0.983	2.117	2944	0.034	1.000	1.000
	34	-1.538	3.540	2944	< .001	0.439	0.419
	35	-1.419	3.208	2944	0.001	1.000	1.000
	36	-1.598	3.801	2944	< .001	0.159	0.156
	37	-1.343	3.086	2944	0.002	1.000	1.000
	38	-1.412	2.937	2944	0.003	1.000	1.000
	39	-0.903	2.466	2944	0.014	1.000	1.000
	40	-1.374	2.715	2944	0.007	1.000	1.000

	41	-0.967	2.416	2944	0.016	1.000	1.000
	42	-1.548	2.382	2944	0.017	1.000	1.000
	43	-1.585	2.787	2944	0.005	1.000	1.000
	44	-2.619	4.305	2944	< .001	0.019	0.019
	45	-1.394	3.751	2944	< .001	0.194	0.189
	46	-1.485	3.773	2944	< .001	0.178	0.174
	47	-1.583	1.873	2944	0.061	1.000	1.000
	48	-1.861	3.917	2944	< .001	0.099	0.098
	49	-1.332	3.496	2944	< .001	0.518	0.492
	50	-1.498	2.322	2944	0.020	1.000	1.000

Tabella A.17: Confronti Post Hoc

Il test di Friedman ha mostrato differenze significative tra le popolazioni ($\chi^2(46) = 149.6, p < .001$). Le analisi Post hoc di Conover hanno mostrato una differenza significativa delle popolazioni dal ventisettesimo minuto dall'inizio della prova. Non sono state utilizzate le correzioni di Bonferroni, perché ritenute troppo restrittive.

A.6.4.2 Percentuale di tempo di "fuori corsia". Campione ridotto

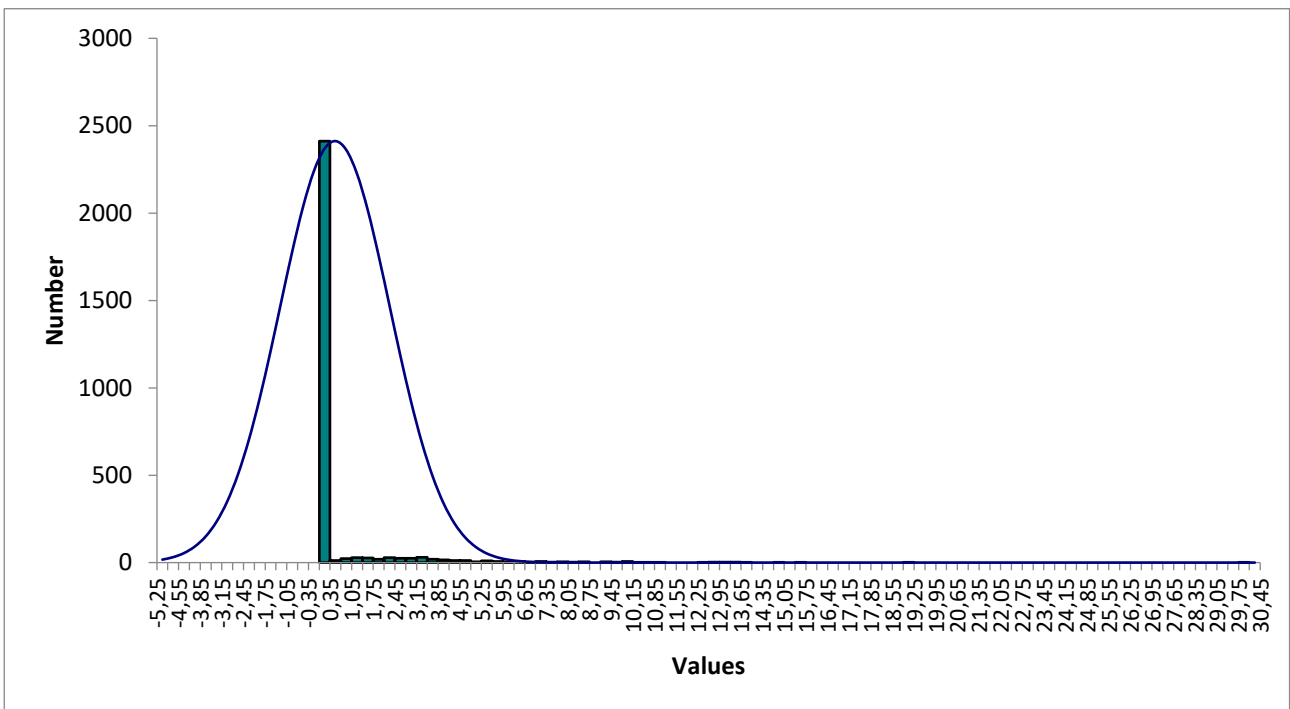


Grafico A.22 Distribuzione dei valori di percentuale dei 59 soggetti

INDIPENDENZA DELLE MISURE	Chi-Sq	14640.72
	p	0
	α	0.05
DISTRIBUZIONE NORMALE	W	0.324
	p-value (Two-tailed)	<0.0001
	α	0.05
UGUALI VARIANZE	Test	1.389
	p	0.043
	α	0.05

Tabella A.18: Verifica delle tre condizioni

Risulta che:

- le variabili non sono indipendenti;
- le varianze non sono uguali;
- la distribuzione non è normale.

Non è quindi possibile procedere con delle analisi parametriche.

Conover's Post Hoc Comparisons - RM Factor 1							
		Mean Difference	T-Stat	df	p	p bonf	p holm
4	5	-0.227	0.927	2576	0.354	1.000	1.000
	6	-0.286	0.505	2576	0.614	1.000	1.000
	7	-0.113	0.275	2576	0.784	1.000	1.000
	8	-0.073	0.332	2576	0.740	1.000	1.000
	9	-0.029	0.505	2576	0.614	1.000	1.000
	10	-0.14	1.099	2576	0.272	1.000	1.000
	11	-0.064	0.294	2576	0.769	1.000	1.000
	12	0.053	0.026	2576	0.980	1.000	1.000
	13	-0.061	0.601	2576	0.548	1.000	1.000
	14	-0.122	0.620	2576	0.535	1.000	1.000
	15	-0.102	0.831	2576	0.406	1.000	1.000
	16	-0.134	0.575	2576	0.565	1.000	1.000
	17	-0.067	0.767	2576	0.443	1.000	1.000
	18	-0.518	1.700	2576	0.089	1.000	1.000
	19	-0.075	0.728	2576	0.466	1.000	1.000
	20	-0.079	0.026	2576	0.980	1.000	1.000
	21	-0.312	1.521	2576	0.128	1.000	1.000
	22	-0.029	0.939	2576	0.348	1.000	1.000
	23	-0.073	0.639	2576	0.523	1.000	1.000
	24	-0.084	0.556	2576	0.578	1.000	1.000
	25	-0.029	0.466	2576	0.641	1.000	1.000
	26	-0.387	1.534	2576	0.125	1.000	1.000
	27	-0.553	2.153	2576	0.031	1.000	1.000
	28	-0.504	2.128	2576	0.033	1.000	1.000
	29	-0.737	3.367	2576	< .001	0.832	0.818

	30	-0.446	1.291	2576	0.197	1.000	1.000
	31	-0.646	2.141	2576	0.032	1.000	1.000
	32	-0.423	1.930	2576	0.054	1.000	1.000
	33	-0.32	1.744	2576	0.081	1.000	1.000
	34	-0.656	3.220	2576	0.001	1.000	1.000
	35	-0.373	2.383	2576	0.017	1.000	1.000
	36	-1.044	3.770	2576	< .001	0.180	0.180
	37	-0.37	2.364	2576	0.018	1.000	1.000
	38	-0.645	2.728	2576	0.006	1.000	1.000
	39	-0.475	2.511	2576	0.012	1.000	1.000
	40	-0.379	1.981	2576	0.048	1.000	1.000
	41	-0.49	2.166	2576	0.030	1.000	1.000
	42	-0.534	1.636	2576	0.102	1.000	1.000
	43	-0.618	2.230	2576	0.026	1.000	1.000
	44	-0.974	3.508	2576	< .001	0.496	0.491
	45	-0.761	3.796	2576	< .001	0.163	0.163
	46	-0.61	3.118	2576	0.002	1.000	1.000
	47	-0.802	1.125	2576	0.261	1.000	1.000
	48	-0.639	3.227	2576	0.001	1.000	1.000
	49	-0.711	3.546	2576	< .001	0.430	0.427
	50	-0.226	1.304	2576	0.193	1.000	1.000

Tabella A.19: Confronti Post Hoc

Il test di Friedman ha mostrato differenze significative tra le popolazioni ($\chi^2(46) = 112.6, p < .001$). Le analisi Post hoc di Conover hanno mostrato una differenza significativa delle popolazioni dal ventisettesimo minuto dall'inizio della prova. Non sono state utilizzate le correzioni di Bonferroni, perché ritenute troppo restrittive.

A.6.5 Scostamento laterale rispetto al limite della corsia

Oltre alla percentuale, è stato anche calcolato il valore della distanza di uscita dalla segnaletica orizzontale.

A.6.5.1 Scostamento “fuori corsia”. Casi di assenza di perdita totale del controllo.

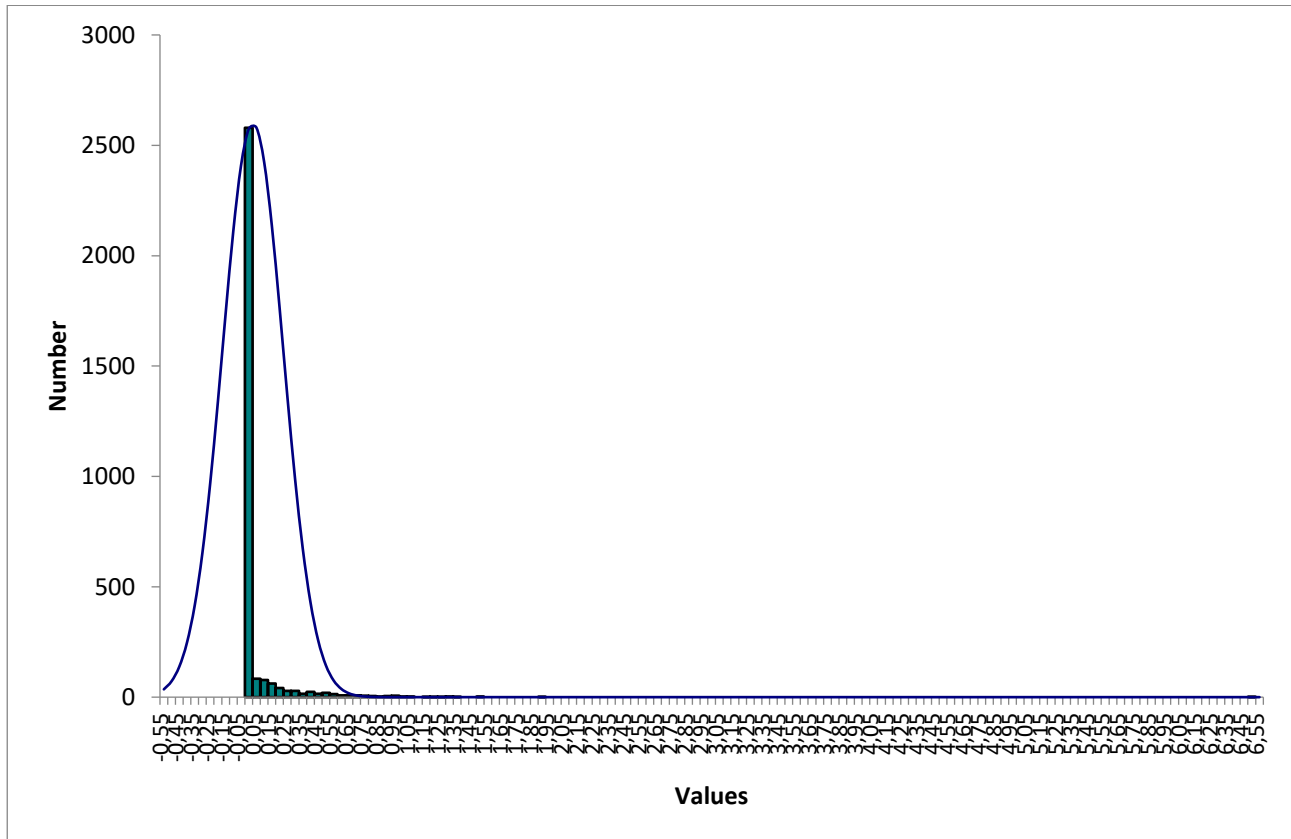


Grafico A.23 Distribuzione dei valori della distanza dei 65 soggetti

INDIPENDENZA DELLE MISURE	Chi-Sq	1223.28
	p	1
	α	0.05
DISTRIBUZIONE NORMALE	W	0.269
	p-value (Two-tailed)	<0.0001
	α	0.05
UGUALI VARIANZE	Test	1.584
	p	0.008
	α	0.05

Tabella A.20: Verifica delle tre condizioni

Risulta che:

- le variabili sono indipendenti;
- le varianze non sono uguali;
- la distribuzione non è normale.

Non è quindi possibile procedere con delle analisi parametriche.

Conover's Post Hoc Comparisons - RM Factor 1							
		Mean Difference	T-Stat	df	p	p bonf	p holm
4	5	-0.007	0.255	2944	0.799	1.000	1.000
	6	-0.002	0.139	2944	0.890	1.000	1.000
	7	-0.02	0.066	2944	0.947	1.000	1.000
	8	0.007	0.166	2944	0.868	1.000	1.000
	9	0.004	0.089	2944	0.929	1.000	1.000
	10	-0.019	1.396	2944	0.163	1.000	1.000
	11	6.814e -4	0.321	2944	0.748	1.000	1.000
	12	-0.007	0.039	2944	0.969	1.000	1.000
	13	-0.011	0.720	2944	0.471	1.000	1.000
	14	0.003	0.155	2944	0.877	1.000	1.000
	15	-0.006	0.427	2944	0.670	1.000	1.000
	16	-0.006	0.388	2944	0.698	1.000	1.000
	17	-0.025	1.186	2944	0.236	1.000	1.000
	18	-0.021	1.274	2944	0.203	1.000	1.000
	19	-0.017	0.748	2944	0.455	1.000	1.000
	20	-0.026	1.274	2944	0.203	1.000	1.000
	21	-0.028	1.889	2944	0.059	1.000	1.000
	22	-0.021	1.402	2944	0.161	1.000	1.000
	23	-0.034	1.031	2944	0.303	1.000	1.000
	24	-0.022	1.291	2944	0.197	1.000	1.000
	25	-0.023	0.992	2944	0.321	1.000	1.000
	26	-0.03	1.706	2944	0.088	1.000	1.000
	27	-0.048	2.072	2944	0.038	1.000	1.000
	28	-0.057	2.903	2944	0.004	1.000	1.000
	29	-0.049	3.585	2944	< .001	0.371	0.356
	30	-0.024	1.812	2944	0.007	1.000	1.000
	31	-0.03	2.022	2944	0.043	1.000	1.000
	32	-0.072	2.554	2944	0.011	1.000	1.000
	33	-0.025	2.105	2944	0.035	1.000	1.000
	34	-0.077	3.524	2944	< .001	0.467	0.444
	35	-0.069	3.280	2944	0.001	1.000	1.000
	36	-0.156	3.590	2944	< .001	0.363	0.349
	37	-0.066	3.147	2944	0.002	1.000	1.000
	38	-0.074	3.297	2944	< .001	1.000	0.990
	39	-0.024	2.233	2944	0.026	1.000	1.000
	40	-0.044	2.715	2944	0.007	1.000	1.000

	41	-0.072	2.826	2944	0.005	1.000	1.000
	42	-0.051	2.133	2944	0.033	1.000	1.000
	43	-0.052	2.587	2944	0.010	1.000	1.000
	44	-0.074	4.006	2944	< .001	0.068	0.068
	45	-0.068	3.956	2944	< .001	0.084	0.084
	46	-0.065	3.452	2944	< .001	0.611	0.576
	47	-0.021	1.585	2944	0.113	1.000	1.000
	48	-0.045	3.585	2944	< .001	0.371	0.356
	49	-0.057	3.684	2944	< .001	0.252	0.245
	50	-0.029	1.657	2944	0.098	1.000	1.000

Tabella A.21: Confronti Post Hoc

Il test di Friedman ha mostrato differenze significative tra le popolazioni ($\chi^2(46) = 149.6, p < .001$). Le analisi Post hoc di Conover hanno mostrato una differenza significativa delle popolazioni dal ventottesimo minuto dall'inizio della prova. Non sono state utilizzate le correzioni di Bonferroni, perché ritenute troppo restrittive.

A.6.5.2 Scostamento "fuori corsia". Campione ridotto

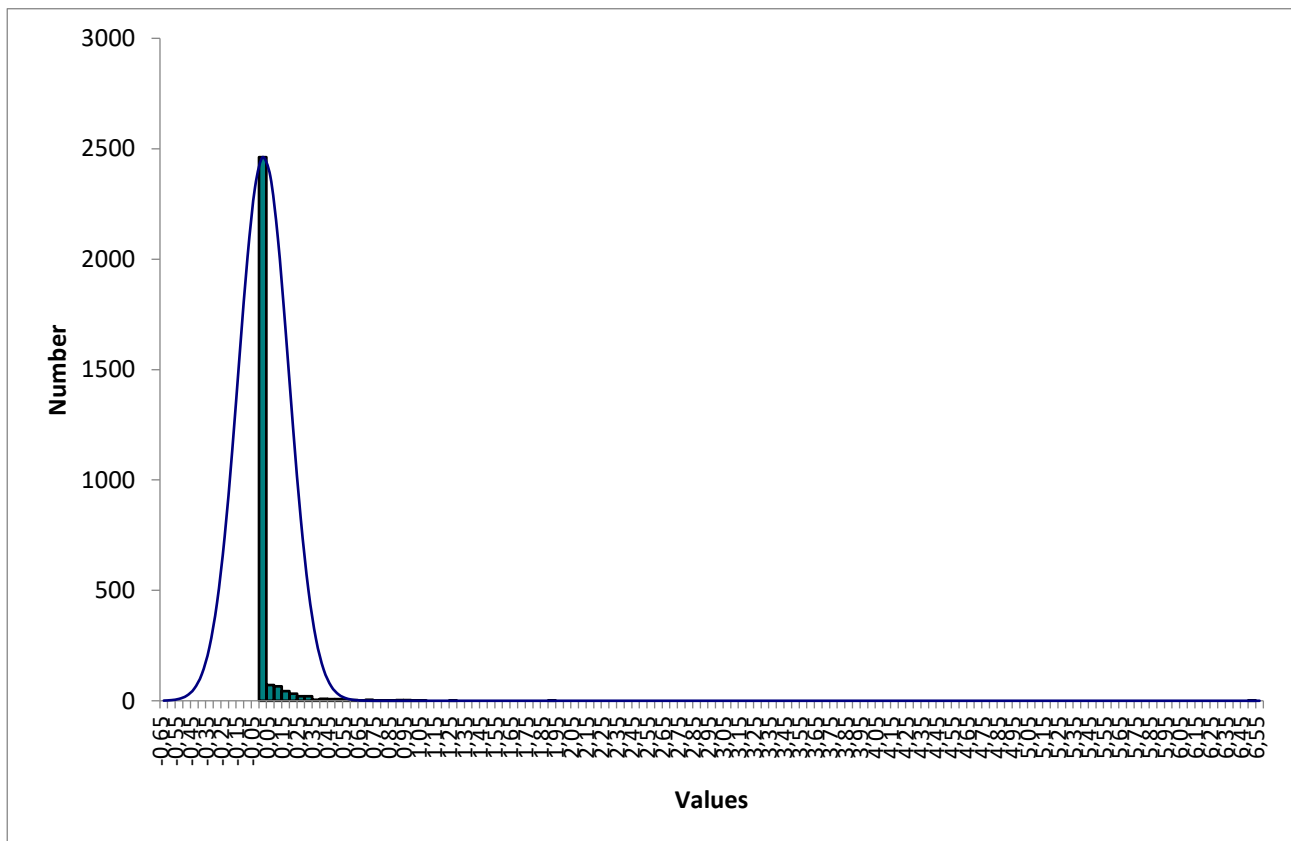


Grafico A.24 Distribuzione dei valori della distanza dei 59 soggetti

INDIPENDENZA DELLE MISURE	Chi-Sq	1178.94
	p	1
	α	0.05
DISTRIBUZIONE NORMALE	W	0.161
	p-value (Two-tailed)	<0.0001
	α	0.05
UGUALI VARIANZE	Test	1.531
	p	0.013
	α	0.05

Tabella A.22: Verifica delle tre condizioni

Risulta che:

- le variabili sono indipendenti;
- le varianze non sono uguali;
- la distribuzione non è normale.

Non è quindi possibile procedere con delle analisi parametriche.

Conover's Post Hoc Comparisons - RM Factor 1							
		Mean Difference	T-Stat	df	p	p bonf	p holm
4	5	-0.015	0.856	2668	0.392	1.000	1.000
	6	-0.01	0.695	2668	0.487	1.000	1.000
	7	-0.019	0.161	2668	0.872	1.000	1.000
	8	0.002	0.118	2668	0.906	1.000	1.000
	9	-0.003	0.478	2668	0.633	1.000	1.000
	10	-0.014	1.458	2668	0.145	1.000	1.000
	11	-0.003	0.099	2668	0.921	1.000	1.000
	12	0.004	0.161	2668	0.872	1.000	1.000
	13	-0.006	0.633	2668	0.527	1.000	1.000
	14	-3.517e -4	0.428	2668	0.669	1.000	1.000
	15	-0.004	0.701	2668	0.483	1.000	1.000
	16	-6.210e -4	0.434	2668	0.664	1.000	1.000
	17	-0.005	1.148	2668	0.251	1.000	1.000
	18	-0.016	1.440	2668	0.150	1.000	1.000
	19	-0.02	1.086	2668	0.278	1.000	1.000
	20	-0.003	0.403	2668	0.687	1.000	1.000
	21	-0.013	1.303	2668	0.193	1.000	1.000
	22	-0.015	1.204	2668	0.229	1.000	1.000
	23	-0.016	0.919	2668	0.358	1.000	1.000
	24	-0.005	0.770	2668	0.442	1.000	1.000
	25	-0.004	0.552	2668	0.581	1.000	1.000
	26	-0.01	1.353	2668	0.176	1.000	1.000
	27	-0.031	1.899	2668	0.058	1.000	1.000
	28	-0.034	2.371	2668	0.018	1.000	1.000

	29	-0.034	3.091	2668	0.002	1.000	1.000
	30	-0.014	1.477	2668	0.140	1.000	1.000
	31	-0.024	1.961	2668	0.050	1.000	1.000
	32	-0.038	1.887	2668	0.050	1.000	1.000
	33	-0.015	1.974	2668	0.049	1.000	1.000
	34	-0.062	3.134	2668	0.002	1.000	1.000
	35	-0.043	2.731	2668	0.006	1.000	1.000
	36	-0.16	3.550	2668	< .001	0.424	0.421
	37	-0.029	2.607	2668	0.009	1.000	1.000
	38	-0.043	2.911	2668	0.004	1.000	1.000
	39	-0.029	2.780	2668	0.005	1.000	1.000
	40	-0.02	1.856	2668	0.064	1.000	1.000
	41	-0.045	2.203	2668	0.028	1.000	1.000
	42	-0.028	1.707	2668	0.088	1.000	1.000
	43	-0.029	2.389	2668	0.017	1.000	1.000
	44	-0.049	3.351	2668	< .001	0.881	0.864
	45	-0.059	3.873	2668	< .001	0.119	0.119
	46	-0.044	3.078	2668	0.002	1.000	1.000
	47	-0.009	1.142	2668	0.254	1.000	1.000
	48	-0.034	3.264	2668	0.001	1.000	1.000
	49	-0.043	3.556	2668	< .001	0.414	0.411
	50	-0.009	0.968	2668	0.333	1.000	1.000

Tabella A.23: Confronti Post Hoc

Il test di Friedman ha mostrato differenze significative tra le popolazioni ($\chi^2(46) = 111.8, p < .001$). Le analisi Post hoc di Conover hanno mostrato una differenza significativa delle popolazioni dal ventottesimo minuto dall'inizio della prova. Non sono state utilizzate le correzioni di Bonferroni, perché ritenute troppo restrittive.

A.6.5.3 Scostamento “fuori corsia” a destra. Campione ridotto

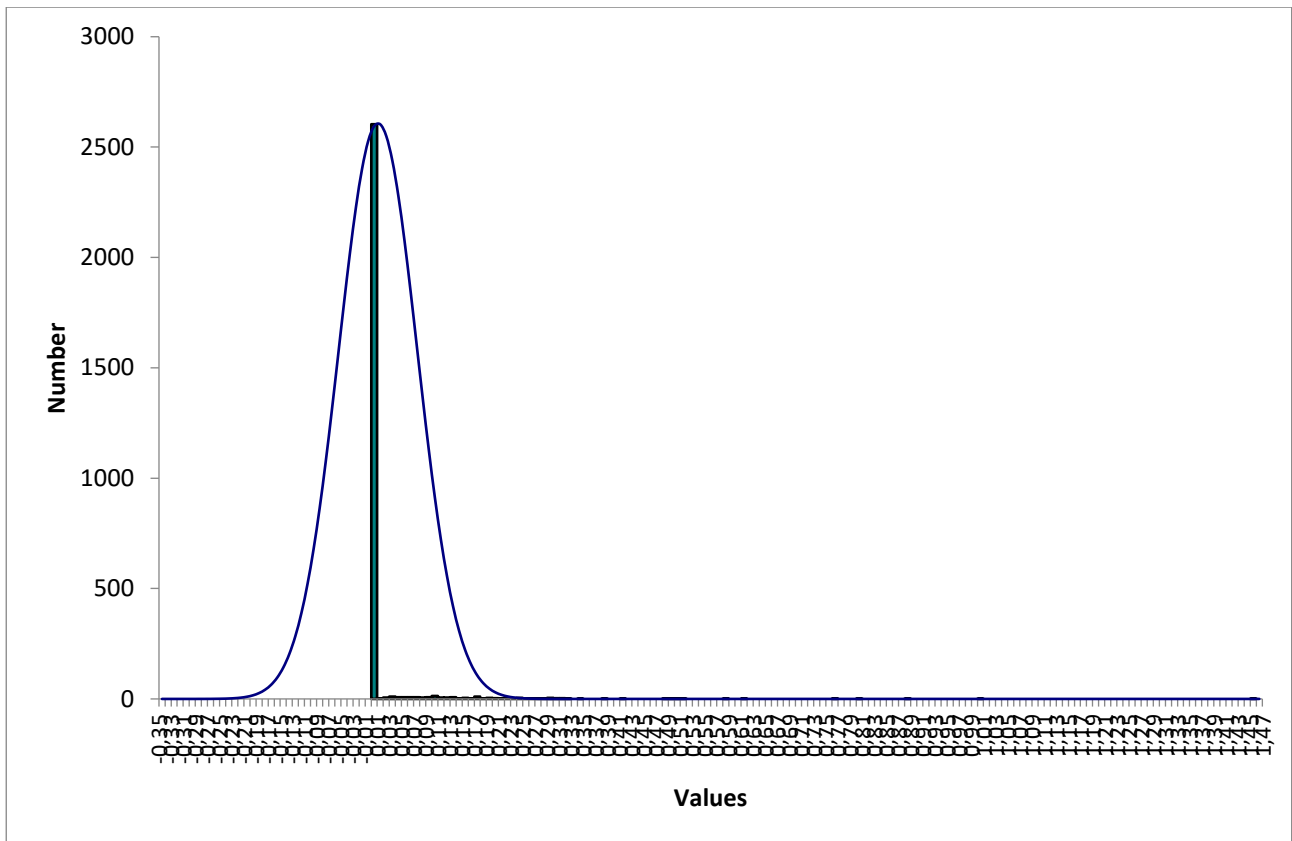


Grafico A.25 Distribuzione dei valori della distanza di invasione dei 59 soggetti

INDIPENDENZA DELLE MISURE	Chi-Sq	987.32
	p	1
	α	0.05
DISTRIBUZIONE NORMALE	W	0.1680
	p-value (Two-tailed)	<0.0001
	α	0.05
UGUALI VARIANZE	Test	1.383
	p	0.045
	α	0.05

Tabella A.24: Verifica delle tre condizioni

Risulta che:

- le variabili sono indipendenti;
- le varianze non sono uguali;
- la distribuzione non è normale.

Non è quindi possibile procedere con delle analisi parametriche.

Connover's Post Hoc Comparisons - RM Factor 1							
		Mean Difference	T-Stat	df	p	p bonf	p holm
4	5	0	0.000	2668	1.000	1.000	1.000
	6	0	0.000	2668	1.000	1.000	1.000
	7	-0.003	0.408	2668	0.683	1.000	1.000
	8	-8.981e -4	0.382	2668	0.702	1.000	1.000
	9	-0.005	0.426	2668	0.670	1.000	1.000
	10	-0.008	1.277	2668	0.202	1.000	1.000
	11	-0.003	0.660	2668	0.509	1.000	1.000
	12	0	0.000	2668	1.000	1.000	1.000
	13	-0.009	0.417	2668	0.677	1.000	1.000
	14	-0.005	1.207	2668	0.227	1.000	1.000
	15	-9.309e -4	0.304	2668	0.761	1.000	1.000
	16	-0.004	1.103	2668	0.270	1.000	1.000
	17	-0.004	0.990	2668	0.322	1.000	1.000
	18	-0.02	1.390	2668	0.165	1.000	1.000
	19	-0.006	0.886	2668	0.376	1.000	1.000
	20	-0.004	1.068	2668	0.285	1.000	1.000
	21	-0.015	2.093	2668	0.036	1.000	1.000
	22	-0.001	0.373	2668	0.709	1.000	1.000
	23	-0.004	1.407	2668	0.160	1.000	1.000
	24	-0.001	0.400	2668	0.690	1.000	1.000
	25	-0.006	0.921	2668	0.357	1.000	1.000
	26	-0.008	1.919	2668	0.055	1.000	1.000
	27	-0.008	1.529	2668	0.126	1.000	1.000
	28	-0.019	1.225	2668	0.221	1.000	1.000
	29	-0.017	2.797	2668	0.055	1.000	1.000
	30	-0.011	1.737	2668	0.083	1.000	1.000
	31	-0.007	1.025	2668	0.306	1.000	1.000
	32	-0.014	1.885	2668	0.060	1.000	1.000
	33	-0.011	1.607	2668	0.108	1.000	1.000
	34	-0.015	2.223	2668	0.026	1.000	1.000
	35	-0.011	1.320	2668	0.187	1.000	1.000
	36	-0.041	2.866	2668	0.004	1.000	1.000
	37	-0.019	3.465	2668	< .001	0.581	0.579
	38	-0.009	1.615	2668	0.106	1.000	1.000
	39	-0.008	1.615	2668	0.106	1.000	1.000
	40	-0.016	1.650	2668	0.099	1.000	1.000
	41	-0.017	2.024	2668	0.043	1.000	1.000
	42	-0.004	0.443	2668	0.658	1.000	1.000
	43	-0.019	1.798	2668	0.072	1.000	1.000
	44	-0.032	3.413	2668	< .001	0.704	0.695
	45	-0.027	3.361	2668	< .001	0.851	0.833
	46	-0.039	3.422	2668	< .001	0.682	0.676

	47	-0.013	1.806	2668	0.071	1.000	1.000
	48	-0.024	3.066	2668	0.002	1.000	1.000
	49	-0.025	3.804	2668	< .001	0.157	0.157
	50	-0.015	2.067	2668	0.039	1.000	1.000

Tabella A.25: Confronti Post Hoc

Il test di Friedman ha mostrato differenze significative tra le popolazioni ($\chi^2(46) = 96.85, p < .001$). Le analisi Post hoc di Conover hanno mostrato una differenza significativa delle popolazioni dal trentaquattresimo minuto dall'inizio della prova. Non sono state utilizzate le correzioni di Bonferroni, perché ritenute troppo restrittive.

A.6.5.4 Scostamento “fuori corsia” a sinistra. Campione ridotto

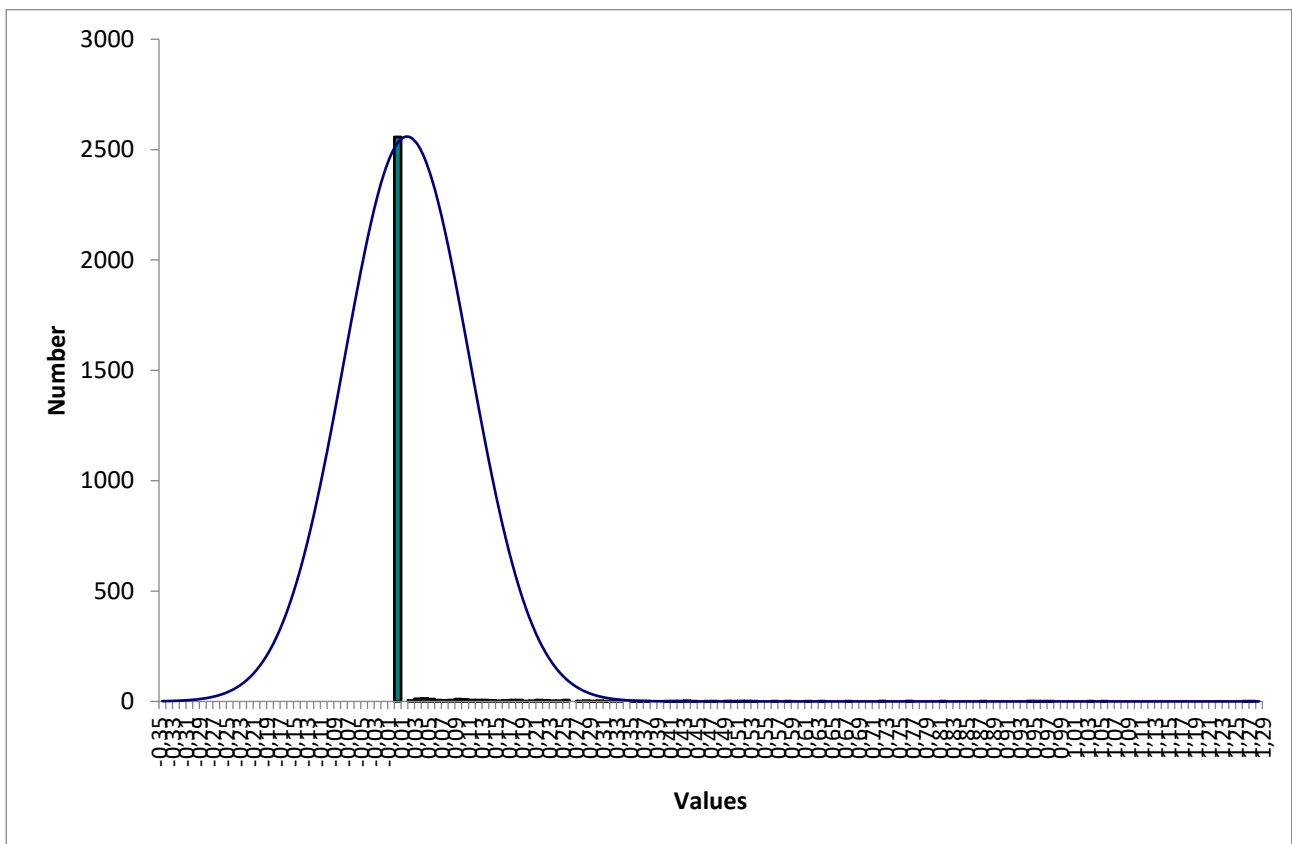


Grafico A.26 Distribuzione dei valori della distanza di invasione dei 59 soggetti

INDIPENDENZA DELLE MISURE	Chi-Sq	959.98
	p	1
	α	0.05
DISTRIBUZIONE NORMALE	W	0.207
	p-value (Two-tailed)	<0.0001
	α	0.05
UGUALI VARIANZE	Test	41.531
	p	0.000
	α	0.05

Tabella A.26: Verifica delle tre condizioni

Risulta che:

- le variabili sono indipendenti;
- le varianze non sono uguali;
- la distribuzione non è normale.

Non è quindi possibile procedere con delle analisi parametriche.

Conover's Post Hoc Comparisons - RM Factor 1							
		Mean Difference	T-Stat	df	p	p bonf	p holm
4	5	-0.015	1.082	2668	0.279	1.000	1.000
	6	-0.01	0.835	2668	0.404	1.000	1.000
	7	-0.016	0.131	2668	0.895	1.000	1.000
	8	0.001	0.178	2668	0.859	1.000	1.000
	9	0.002	0.247	2668	0.805	1.000	1.000
	10	-0.006	0.688	2668	0.491	1.000	1.000
	11	-2.263e -5	0.433	2668	0.665	1.000	1.000
	12	0.004	0.147	2668	0.883	1.000	1.000
	13	0.002	0.255	2668	0.799	1.000	1.000
	14	0.004	0.456	2668	0.648	1.000	1.000
	15	-0.003	0.603	2668	0.547	1.000	1.000
	16	0.003	0.379	2668	0.705	1.000	1.000
	17	-1.011e -4	0.603	2668	0.547	1.000	1.000
	18	0.003	0.580	2668	0.562	1.000	1.000
	19	-0.014	0.673	2668	0.501	1.000	1.000
	20	0.001	0.456	2668	0.648	1.000	1.000
	21	-0.001	0.255	2668	0.799	1.000	1.000
	22	-0.014	1.229	2668	0.219	1.000	1.000
	23	-0.004	0.209	2668	0.835	1.000	1.000
	24	-0.004	0.580	2668	0.562	1.000	1.000
	25	0.002	0.147	2668	0.883	1.000	1.000
	26	-0.002	0.062	2668	0.951	1.000	1.000
	27	-0.023	1.051	2668	0.293	1.000	1.000
	28	-0.016	1.778	2668	0.075	1.000	1.000

	29	-0.016	1.492	2668	0.136	1.000	1.000
	30	-0.002	0.302	2668	0.763	1.000	1.000
	31	-0.021	1.848	2668	0.065	1.000	1.000
	32	-0.024	0.727	2668	0.467	1.000	1.000
	33	-0.003	0.974	2668	0.330	1.000	1.000
	34	-0.032	2.559	2668	0.011	1.000	1.000
	35	-0.032	2.265	2668	0.024	1.000	1.000
	36	-0.046	2.327	2668	0.020	1.000	1.000
	37	-0.014	0.711	2668	0.477	1.000	1.000
	38	-0.034	2.180	2668	0.029	1.000	1.000
	39	-0.021	1.956	2668	0.051	1.000	1.000
	40	-0.005	1.082	2668	0.279	1.000	1.000
	41	-0.03	1.283	2668	0.199	1.000	1.000
	42	-0.021	1.825	2668	0.068	1.000	1.000
	43	-0.01	1.291	2668	0.197	1.000	1.000
	44	-0.031	1.801	2668	0.072	1.000	1.000
	45	-0.052	2.768	2668	0.006	1.000	1.000
	46	-0.018	1.322	2668	0.186	1.000	1.000
	47	0.003	0.224	2668	0.823	1.000	1.000
	48	-0.01	1.392	2668	0.164	1.000	1.000
	49	-0.023	1.786	2668	0.074	1.000	1.000
	50	0.007	0.456	2668	0.648	1.000	1.000

Tabella A.27: Confronti Post Hoc

Il test di Friedman ha mostrato differenze significative tra le popolazioni ($\chi^2(46)=71.89, p<.009$). Le analisi Post hoc di Conover hanno mostrato una differenza significativa delle popolazioni dal trentaquattresimo minuto dall'inizio della prova. Non sono state utilizzate le correzioni di Bonferroni, perché ritenute troppo restrittive.

A.6.6 Deviazione standard dell'angolo di sterzata (SDSE)

A.6.6.1 Analisi della SDSE. Campione ridotto

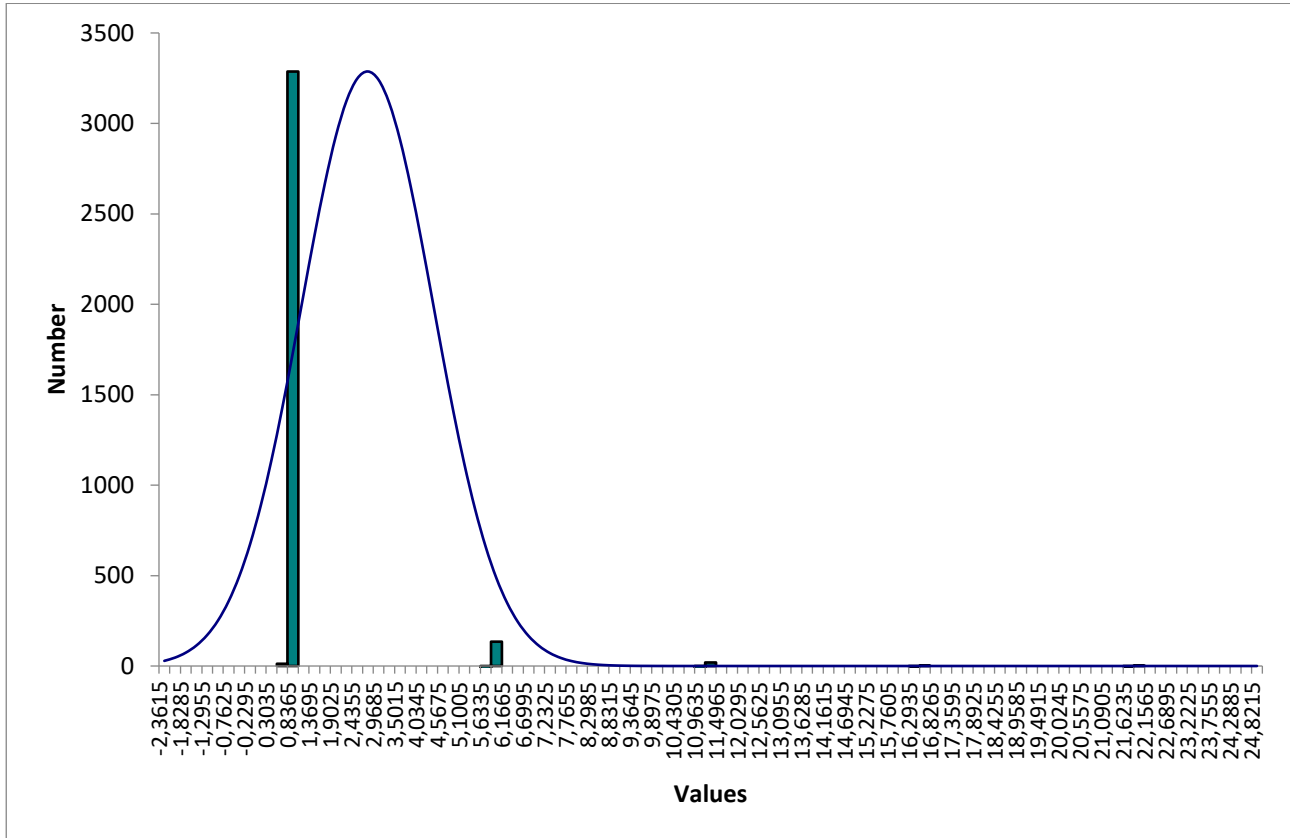


Grafico A.27 Distribuzione dei valori della SDSE dei 59 soggetti

INDIPENDENZA DELLE MISURE	Chi-Sq	1258.99
	p	1
	α	0.05
DISTRIBUZIONE NORMALE	W	0.737
	p-value (Two-tailed)	<0.0001
	α	0.05
UGUALI VARIANZE	Test	1.909
	p	0.000
	α	0.05

Tabella A.28: Verifica delle tre condizioni

Risulta che:

- le variabili sono indipendenti;
- le varianze non sono uguali;
- la distribuzione non è normale.

Non è quindi possibile procedere con delle analisi parametriche.

Connover's Post Hoc Comparisons - RM Factor 1							
		Mean Difference	T-Stat	df	p	p bonf	p holm
4	5	-0.134	0.871	2668	0.384	1.000	1.000
	6	-0.137	0.799	2668	0.424	1.000	1.000
	7	-0.197	0.684	2668	0.494	1.000	1.000
	8	-0.049	0.490	2668	0.625	1.000	1.000
	9	-0.103	0.634	2668	0.526	1.000	1.000
	10	-0.159	1.231	2668	0.218	1.000	1.000
	11	-0.138	0.569	2668	0.570	1.000	1.000
	12	-0.179	1.217	2668	0.224	1.000	1.000
	13	-0.248	1.929	2668	0.054	1.000	1.000
	14	-0.271	1.865	2668	0.062	1.000	1.000
	15	-0.293	1.915	2668	0.056	1.000	1.000
	16	-0.223	1.101	2668	0.271	1.000	1.000
	17	-0.396	2.772	2668	0.006	1.000	1.000
	18	-0.351	2.505	2668	0.012	1.000	1.000
	19	-0.356	2.548	2668	0.011	1.000	1.000
	20	-0.36	2.642	2668	0.008	1.000	1.000
	21	-0.363	2.404	2668	0.016	1.000	1.000
	22	-0.432	3.506	2668	< .001	0.500	0.346
	23	-0.598	4.024	2668	< .001	0.064	0.048
	24	-0.383	2.721	2668	0.007	1.000	1.000
	25	-0.497	3.484	2668	< .001	0.542	0.374
	26	-0.642	4.852	2668	< .001	0.001	0.001
	27	-0.47	3.168	2668	0.002	1.000	1.000
	28	-0.563	3.477	2668	< .001	0.557	0.383
	29	-0.693	5.147	2668	< .001	< .001	< .001
	30	-0.743	5.399	2668	< .001	< .001	< .001
	31	-0.744	5.514	2668	< .001	< .001	< .001
	32	-0.811	5.882	2668	< .001	< .001	< .001
	33	-0.745	5.500	2668	< .001	< .001	< .001
	34	-0.77	5.586	2668	< .001	< .001	< .001
	35	-0.803	5.694	2668	< .001	< .001	< .001
	36	-0.999	5.622	2668	< .001	< .001	< .001
	37	-0.761	5.666	2668	< .001	< .001	< .001
	38	-0.882	6.436	2668	< .001	< .001	< .001
	39	-0.78	5.867	2668	< .001	< .001	< .001
	40	-0.809	5.961	2668	< .001	< .001	< .001
	41	-0.851	5.860	2668	< .001	< .001	< .001
	42	-0.773	5.190	2668	< .001	< .001	< .001
	43	-0.791	5.255	2668	< .001	< .001	< .001
	44	-1.081	7.688	2668	< .001	< .001	< .001
	45	-1.098	6.918	2668	< .001	< .001	< .001
	46	-1.016	5.846	2668	< .001	< .001	< .001

	47	-0.846	6.393	2668	< .001	< .001	< .001
	48	-0.972	7.393	2668	< .001	< .001	< .001
	49	-0.9	6.069	2668	< .001	< .001	< .001
	50	-0.8	6.076	2668	< .001	< .001	< .001

Tabella A.29: Confronti Post Hoc

Il test di Friedman ha mostrato differenze significative tra le popolazioni ($\chi^2(46) = 393.3, p < .001$). Le analisi Post hoc di Conover hanno mostrato una differenza significativa delle popolazioni dal diciassettesimo minuto. Non sono state utilizzate le correzioni di Bonferroni, perché ritenute troppo restrittive.

A.6.7 High Frequency (HF)

A.6.7.1 Analisi della HF (57 soggetti)

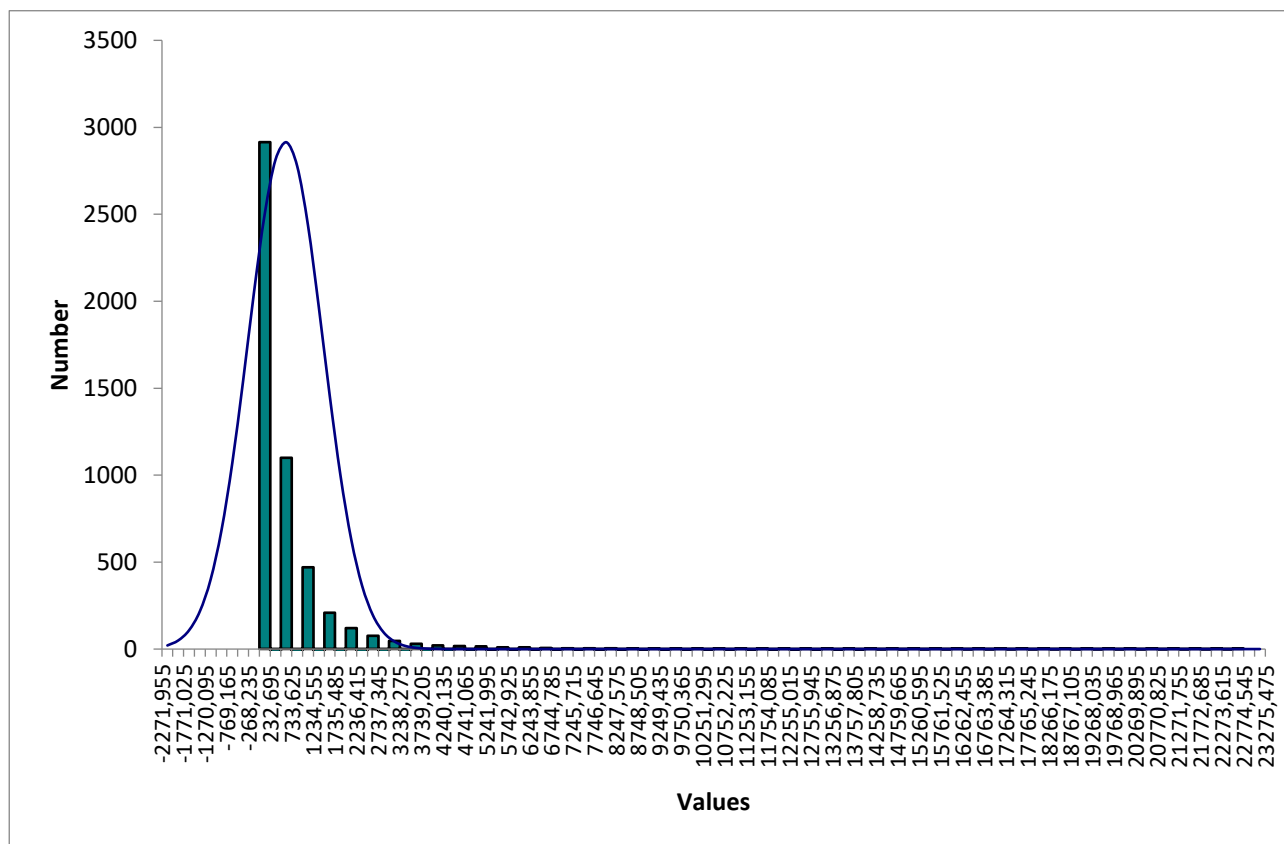


Grafico A.28 Distribuzione dei valori della SDSE dei 59 soggetti

INDIPENDENZA DELLE MISURE	Chi-Sq	1235.32
	p	1
	α	0.05
DISTRIBUZIONE NORMALE	W	0.494
	p-value (Two-tailed)	<0.0001
	α	0.05
UGUALI VARIANZE	Test	0.537
	p	0.996
	α	0.05

Tabella A.30: Verifica delle tre condizioni

Risulta che:

- le variabili sono indipendenti;
- le varianze sono uguali;
- la distribuzione non è normale.

Non è quindi possibile procedere con delle analisi parametriche.

Connover's Post Hoc Comparisons - RM Factor 1							
		Mean Difference	T-Stat	df	p	p bonf	p holm
4	5	-0.156	0.007	2576	0.995	1.000	1.000
	6	-0.011	0.849	2576	0.396	1.000	1.000
	7	-0.175	1.295	2576	0.196	1.000	1.000
	8	-0.229	0.349	2576	0.727	1.000	1.000
	9	-0.062	0.747	2576	0.455	1.000	1.000
	10	-0.148	0.500	2576	0.617	1.000	1.000
	11	-0.079	0.322	2576	0.747	1.000	1.000
	12	-0.15	0.274	2576	0.784	1.000	1.000
	13	-0.203	0.521	2576	0.603	1.000	1.000
	14	-0.264	0.096	2576	0.924	1.000	1.000
	15	0.01	0.808	2576	0.419	1.000	1.000
	16	-0.207	1.247	2576	0.213	1.000	1.000
	17	-0.162	0.075	2576	0.940	1.000	1.000
	18	-0.199	0.390	2576	0.696	1.000	1.000
	19	-0.248	0.445	2576	0.656	1.000	1.000
	20	-0.222	0.849	2576	0.396	1.000	1.000
	21	-0.295	1.247	2576	0.213	1.000	1.000
	22	-0.082	1.521	2576	0.128	1.000	1.000
	23	-0.19	1.267	2576	0.205	1.000	1.000
	24	-0.09	1.130	2576	0.258	1.000	1.000
	25	-0.153	1.514	2576	0.130	1.000	1.000
	26	0.067	1.576	2576	0.115	1.000	1.000
	27	-0.202	1.007	2576	0.314	1.000	1.000
	28	-0.18	1.589	2576	0.112	1.000	1.000
	29	-0.34	0.267	2576	0.789	1.000	1.000
	30	-0.288	1.089	2576	0.276	1.000	1.000
	31	-0.272	0.610	2576	0.542	1.000	1.000
	32	-0.259	0.712	2576	0.476	1.000	1.000
	33	-0.257	1.356	2576	0.175	1.000	1.000
	34	-0.174	1.151	2576	0.250	1.000	1.000
	35	-0.15	2.432	2576	0.015	1.000	1.000
	36	-0.236	2.220	2576	0.027	1.000	1.000
	37	0.057	1.473	2576	0.141	1.000	1.000
	38	-0.338	1.302	2576	0.193	1.000	1.000
	39	-0.219	1.295	2576	0.196	1.000	1.000
	40	-0.233	1.233	2576	0.218	1.000	1.000
	41	-0.251	0.493	2576	0.622	1.000	1.000
	42	-0.185	1.384	2576	0.167	1.000	1.000
	43	-0.207	2.117	2576	0.034	1.000	1.000
	44	-0.258	1.589	2576	0.112	1.000	1.000
	45	-0.304	1.302	2576	0.193	1.000	1.000
	46	-0.038	1.603	2576	0.109	1.000	1.000

	47	0.046	0.822	2576	0.411	1.000	1.000
	48	-0.013	1.171	2576	0.242	1.000	1.000
	49	-0.042	1.439	2576	0.150	1.000	1.000
	50	-0.189	1.665	2576	0.096	1.000	1.000

Tabella A.31: Confronti Post Hoc

Il test di Friedman non ha mostrato differenze significative tra le popolazioni ($\chi^2 (46) = 60.93$, $p=0.069$).

TABELLA ACRONIMI

Acronimo	Significato
EEG	Elettroencefalogramma
ECG	Elettrocardiogramma
EOG	Elettrooculografia
SR	Sleep related
TR	Task related
PVT	Compito di vigilanza psicomotoria
ABS	Antilock Braking System
ESP	Electric Power Steering
TCS	Traction Control System
ISA	Intelligent Speed Adaptation
ADAS	Advanced Driver Assistance System
ACC	Adaptive Cruise Control
AEB	Autonomous Emergency Braking
ALC	Adaptive Light Control
APS	Automatic Parking System
BSM	Blind Spot Monitor
CMS	Camera Monitor System
CTA	Cross Traffic Alert
DAA	Driving Attention Assist
EDA	Emergency Driver Assistant
HDC	Hill Descent Control
LCA	Lane Change Assist
LKA	Lane Keeping Assist
NVA	Night View Assit
TJA	Traffic Jam Assistant
TSR	Traffic Sign Recognition
CAS	Collision avoidance system warnings
DDDS	Driver Drowsy Detection System
M.E.Q.-r	Morning-eveningness questionnaire reduced version
BDI-II	Beck's Depression Inventory
PSQI	Pittsburg Sleep Quality Index
STAI-Y2	State-Trait Anxiety Inventory Y2
ESS	Scala delle Sonnolenza di Epworth
MSQ	Motion Sickness Questionnaire
SSQ	Simulator Sickness Questionnaire
SDSE	Standard Deviation Steer Error
HF	Hight Frequency

INDICE FIGURE, GRAFICI E TABELLE

Figura 0.1: Report Incidenti stradali ISTAT 2017 (ISTAT 2018)	11
Tabella 1.1: Definizioni di fatica presenti in letteratura (Ross 2015)	20
Figura 1.2: I 3 tipi di fatica, le loro cause, conseguenze ed interazioni (May 2009).	26
Tabella 1.2: Principali differenze tra fatica attiva e passiva	27
Figura 2.1: I sistemi <i>Advanced Driver Assistance System</i> (ADAS) (Pini 2018).....	31
Figura 2.2: Adaptive Cruise Control (ACC) - Mantenimento della velocità di crociera e della distanza. (Vai 2018).....	31
Figura 2.3: <i>Autonomous Emergency Braking</i> (AEB) - Frenata automatica di emergenza (Vai 2018)	32
Figura 2.4: Automatic Parking System (APS)- Sistema di parcheggio automatizzato (Vai 2018)	33
Figura 2.5: Blind Spot Monitor - Monitoraggio dell'angolo cieco (Vai 2018)	33
Figura 2.6: Camera Monitor System (CMS) - Monitoraggio con videocamere (Vai 2018).....	34
Figura 2.7: Driving Attention Assist (DAS)- Monitoraggio dell'attenzione del conducente (Vai 2018)	34
Figura 2.7: Lane Keeping Assist (LKA)- Assistente al mantenimento di corsia (Vai 2018).....	35
Figura 2.8: Night View Assist (NVA) - Assistente alla visione notturna (Vai 2018)	36
Figura 2.9: TJA - Traffic Jam Assist - Assistente alla guida in coda (Vai 2018)	36
Figura 2.10: Traffic Sign Recognition (TSR) - Riconoscimento dei segnali stradali (Vai 2018)	37
Figura 2.11: Schema di un sedile con cella di carico. (Malvasi 2007).....	42
Tabella 2.1: Sistemi che analizzano i segnali del sistema veicolo.....	43
Figura 2.12: Correzioni dell'angolo dello sterzo con conducente riposato e affaticato. (Sayed 2000)	44
Figura 2.13: Nuovi sistemi di sicurezza nelle automobili (Quotidiano motori 2019)	45
Tabella 3.1: Misure di prevenzione da adottare prima e durante il compito	47
Figura 4.1: Struttura di un simulatore	50
Figura 4.2: Primo simulatore di guida Volkswagen	50
Figura 4.3: Struttura esapodale di Gough-Stewart. (D'ambrosio 2011).....	51
In Tabella 4.1 sono riportati i principali vantaggi e gli svantaggi.....	52
Tabella 4.1: Vantaggi e svantaggi dei simulatori di guida.....	53
Figura 4.4: Simulatore di guida statico del Laboratorio di Trasporti del DICEA	55
Figura 4.5: Simulatore di guida dinamico del Laboratorio di Trasporti del DICEA	55
Figura 4.6: Dettaglio dell'abitacolo del simulatore di guida.....	56
Figura 4.7: Dettaglio dei sistemi di guida del simulatore	56
Figura 4.8: Configurazione di rete del simulatore di guida (STSoftware 2007).....	57
Figura 4.9: Schema di funzionalità del pacchetto software (STSoftware 2007).....	58
Figura 4.10: Interfaccia grafica del software stControl (STSoftware 2007).....	60
Figura 5.1: Visualizzazione modello in 2D del tracciato	62

Figura 5.2: Visualizzazione 3D ambiente virtuale	62
Tabella 5.1: Variabili di output del simulatore	64
Tabella 5.2: Dati anagrafici	65
Grafico 5.1: Età partecipanti	65
Tabella 5.3: Dati anagrafici	66
Grafico 5.2: Anni patente.....	66
Tabella 5.4: Dati anagrafici	67
Tabella 5.5: Questionario SSQ. Pesì per sintomi.....	69
Figura 5.3: Posizione elettrodi di elettrocardiogramma.....	71
Figura 6.1: Tipologia di test statistici definiti secondo la distribuzione gaussiana o non.	73
Figura 6.2: Esempio di rappresentazione grafica di modalità di misura della SDLP. (Verster 2013).	75
Grafico 6.1: Media dei valori di SDLP dell'intero campione. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari ad un minuto.	76
Grafico 6.2: Boxplot dei valori di SDLP intero campione. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari ad un minuto	76
Grafico 6.3: Boxplot dei valori di SDLP intero campione con limitazione di 0,7 m e individuazione soggetti "critici" in rosso. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari ad un minuto.....	78
Grafico 6.4: Media dei valori di SDLP (m) campione ridotto. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari ad un minuto.	78
Grafico 6.5: Boxplot dei valori di SDLP campione ridotto. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari ad un minuto.	79
Figura 6.3: Rappresentazione schematica della strada e della larghezza della vettura. a) l'auto è al centro della corsia; b) l'auto sta attraversando la linea di fine careggiata.....	80
Grafico 6.6: Media della percentuale, dei 65 soggetti, di tempo trascorso dai veicoli esternamente la linea di demarcazione della corsia. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari ad un minuto.	81
Grafico 6.8: Media dello scostamento, dei 65 soggetti, rilevato dai veicoli esternamente la linea di demarcazione della corsia. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari ad un minuto.....	83
Grafico 6.9: Media dello scostamento, del campione ridotto, rilevato dai veicoli esternamente la linea di demarcazione della corsia. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari ad un minuto.....	84
Grafico 6.11: Media dei valori di SDSE (gradi) confrontati con i valori medi di SDLP (m) del campione ridotto. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari ad un minuto.....	86
Grafico 6.12: Media dei valori logaritmo naturale di HF dei 57 soggetti. Intervallo base di osservazione di ampiezza pari ad un minuto.	87
Figura 7.1: Dati demografici e informazioni sullo screening del nostro campione finale. Le linee rosse rappresentano il taglio standard. a) distribuzione della densità dell'età dei partecipanti; b) Epworth Sleepiness Scale (ESS, sonnolenza diurna); c) Distanza di guida	

annuale: 1 = circa 2500 km, 2 = tra 2500 e 5000 km, 3 = tra 5000 e 7500 km, 4 = tra 5000 e 7500 km, 5 = più di 10000 km; d) Indice di qualità del sonno di Pittsburgh (PSQI, difficoltà del sonno); e) versione ridotta del questionario Morningness-Eveningness (rMEQ, tipologia circadiana); f) Beck Depression Inventory II (BDI-II, sintomatologia depressiva).	89
Figura 7.2: Sonnolenza e fatica autovalutate prima e dopo il compito di guida.....	91
Figura A.1: Scelta test statistico (Sampson 2018).....	93
Grafico A.1: Istogramma SDLP per i 66 soggetti	94
Tabella A.1: Verifica delle tre condizioni	95
Tabella A.2: Verifica normalità sull'intervallo 2-3.....	95
Grafico A.2: Verifica normalità della distribuzione.....	95
Figura A.2: Verifica normalità su tutti gli intervalli	96
Figura A.3: Normalizzazione dei dati modello BoxCox	97
Figura A.4: Normalizzazione dei dati (Pastore 2015).....	97
Grafico A.3: Istogramma SDLP per i 66 soggetti con normalizzazione BoxCox.....	98
Grafico A.4: Confronto dati iniziali con dati normalizzati.....	99
Tabella A.3: Verifica delle tre condizioni	99
Grafico A.5: Istogramma SDLP per i 66 soggetti con normalizzazione BoxCox.....	100
Grafico A.6: Confronto dati iniziali con dati normalizzati.....	100
Tabella A.4: Verifica delle tre condizioni	101
Grafico A.7: Istogramma SDLP per i 66 soggetti con normalizzazione BoxCox.....	101
Grafico A.8: Confronto dati iniziali con dati normalizzati.....	102
Tabella A.5: Verifica delle tre condizioni	102
Grafico A.9: Istogramma SDLP per i 66 soggetti con normalizzazione BoxCox.....	103
Grafico A.10: Confronto dati iniziali con dati normalizzati.....	103
Tabella A.6: Verifica delle tre condizioni	104
Grafico A.11: Istogramma SDLP per i 66 soggetti con normalizzazione BoxCox.....	104
Grafico A.12: Confronto dati iniziali con dati normalizzati.....	105
Tabella A.7: Verifica delle tre condizioni	105
Grafico A.13: Istogramma SDLP per i 66 soggetti con normalizzazione BoxCox.....	106
Grafico A.14: Confronto dati iniziali con dati normalizzati.....	106
Tabella A.8: Verifica delle tre condizioni	107
Grafico A.15: Istogramma SDLP per i 66 soggetti con normalizzazione BoxCox.....	107
Grafico A.16: Confronto dati iniziali con dati normalizzati.....	108
Tabella A.9: Verifica delle tre condizioni	108
Grafico A.17: Istogramma SDLP per i 66 soggetti con normalizzazione BoxCox.....	109
Grafico A.18: Confronto dati iniziali con dati normalizzati.....	109
Tabella A.10: Verifica delle tre condizioni	110
Tabella A.11: Riassunto verifica delle tre condizioni	110
Tabella A.12: Confronti Post hoc	111
Grafico A.19: Distribuzione dei valori di SDLP per i 66 soggetti	112
Grafico A.20: Distribuzione dei valori di SDLP per i 59 soggetti	113

Tabella A.13: Verifica delle tre condizioni	113
Tabella A.14: Confronti Post hoc	114
Tabella A.15: Verifica delle tre condizioni	115
Grafico A.21 Distribuzione dei valori di percentuale dei 65 soggetti	116
Tabella A.16: Verifica delle tre condizioni	116
Tabella A.17: Confronti Post Hoc	118
Grafico A.22 Distribuzione dei valori di percentuale dei 59 soggetti	118
Tabella A.18: Verifica delle tre condizioni	119
Tabella A.19: Confronti Post Hoc	120
Grafico A.23 Distribuzione dei valori della distanza dei 65 soggetti	121
Tabella A.20: Verifica delle tre condizioni	121
Tabella A.21: Confronti Post Hoc	123
Grafico A.24 Distribuzione dei valori della distanza dei 59 soggetti	123
Tabella A.22: Verifica delle tre condizioni	124
Tabella A.23: Confronti Post Hoc	125
Grafico A.25 Distribuzione dei valori della distanza di invasione dei 59 soggetti	126
Tabella A.24: Verifica delle tre condizioni	126
Tabella A.25: Confronti Post Hoc	128
Grafico A.26 Distribuzione dei valori della distanza di invasione dei 59 soggetti	128
Tabella A.26: Verifica delle tre condizioni	129
Tabella A.27: Confronti Post Hoc	130
Grafico A.27 Distribuzione dei valori della SDSE dei 59 soggetti.....	131
Tabella A.28: Verifica delle tre condizioni	131
Tabella A.29: Confronti Post Hoc	133
Grafico A.28 Distribuzione dei valori della SDSE dei 59 soggetti.....	134
Tabella A.30: Verifica delle tre condizioni	134
Tabella A.31: Confronti Post Hoc	136

RINGRAZIAMENTI

Giunto al termine della mia tesi, desidero spendere qualche riga per dei doverosi ringraziamenti.

Desidero ringraziare il mio relatore il Professor Riccardo Rossi, per avermi affidato questo progetto, per le sue enormi conoscenze che ha messo a mia disposizione. Grazie a lui ho avuto modo di superare me stesso, acquisendo un preziosissimo bagaglio di conoscenze che mi aiuteranno nel mio futuro.

Ringrazio il Dott. Nicola Cellini, correlatore della mia tesi, sempre pronto e disponibile ad aiutarmi per qualsiasi cosa.

Ringrazio il Professor Giuseppe Maschio, Presidente del corso di Laurea magistrale in Ingegneria della Sicurezza Civile e Industriale, per aver creato questo nuovo corso di laurea e la Professoressa Chiara Vianello per essere sempre stata disponibile a risolvere qualsiasi tipo di problema.

Ringrazio l'Ingegnere Alberto Sarto, l'Ingegnere Federico Orsini e l'Ingegnere Giulia Gaita per il loro supporto in ufficio; Giovanni e Marco per avermi aiutato a svolgere gli esperimenti al laboratorio e tutti i 66 partecipanti.

Un ringraziamento speciale va sicuramente ai miei genitori, Maura e Umberto, che sono il mio punto di riferimento sempre pronti in ogni momento per ad ascoltarmi e consigliarmi. Grazie per avermi sostenuto sia economicamente che emotivamente, per avermi permesso di percorrere e concludere questo cammino e per il meraviglioso e indimenticabile viaggio. Siete per me certezza, speranza, sorriso e amore.

Ringrazio mio fratello Giulio, che nonostante la vita non sia stata sempre fortuna per lui, è riuscito lo stesso a trovare la gioia e la serenità di vivere.

Ringrazio mia zia Anna Maria per essere sempre stata presente: un faro che ha sempre fatto luce per accogliermi e accoglierci nelle sue acque sicure nei momenti di difficoltà.

Ringrazio i miei Grandi Amici Elisa e Gianmarco compagni di mille avventure, gite, mangiate e bevute, sciare, sagre e interminabili ed indimenticabili notti al mare. Grazie al piccolo ma grande Nicola sempre disponibile ad ascoltarmi e pronto a trovare la frase giusta per strapparmi un sorriso. Grazie a Loris, Carlo ed Anita amici burloni capaci di farmi divertire in ogni situazione.

Ringrazio il mio Amico Umberto, capace di farmi capire che un fratello può anche non essere un amico, ma un Amico sarà sempre un fratello. Grazie per avermi sempre fatto ridere e mai annoiare.

Ringrazio Matteo e Chiara, per la fiducia che hanno sempre avuto nei miei confronti, per avermi fatto crescere professionalmente e per avermi permesso di fare il viaggio. Ringrazio i miei carissimi colleghi Alessio e Davide, per avermi sempre sopportato e ascoltato, Sanchai e tutti i colleghi del Domino.

Ringrazio tutti gli zii, cugini, amici e compagni di università.

Per ultima, ma non certamente per importanza, ringrazio mia morosa Giulia che mi ha sempre supportato e spronato a dare sempre il massimo. Grazie a te sono riuscito ad aprire la mente e gli occhi e vedere le stesse cose con colori diversi. Grazie perché hai sempre creduto in me, e non ti sei mai tirata indietro per aiutarmi e se ho finito questa tesi è anche merito tuo.

Questo lavoro segna la fine di un capitolo, fatto di molte pagine che rimarranno indelebili nella mia memoria, e l'inizio di uno tutto da inventare.

Grazie di cuore a tutti per avermi fatto vivere gli anni, finora, più belli della mia vita!

Padova, 11 settembre 2019

Giovanni Costantini

BIBLIOGRAFIA

- ACI. «L'influenza del sonno negli incidenti stradali.» 2014.
- Adan A., & Almirall, H. «Horne & Ostberg Morningness-Eveningness Questionnaire: a reduced scale.» *Personality and Individual Differences*, 1991: 241-253.
- Akerstedt, T. and Folkard, S. «Intentional and unintentional sleep.» *American Psychological Association*, 1994: 73-87.
- Allen, R. W., Magdaleno, R. E., Rosenthal, T. J., Klyde, D. H., Hogue, J. R.,. «Tire Modelling Requirements for Vehicle Dynamics Simulation.» *SAE 950312*, 1995.
- AssistWare Technology . «Third generation safetrac released.» *from <http://www.assistware.com/Content/>*, 2005.
- Bartlett, F. «Psychological criteria of fatigue.» *W. F. Floyd & A. T. Welford*, 1953: 1-5.
- Bartley, S. H., & Chute, E. *Fatigue and impairment in man*. New York: McGraw-Hill Book Company., 1947.
- Beck, A.T, Steer, R.A., & Brown, G.K. «Beck Depression Inventory-II.» 2006.
- Bills, A. «General experimental psychology.» 1934.
- Blaauw, G. «Driving Experience and Task Demands in Simulator and Instrumented Car: A Validation Study. » *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 1982: 473-486.
- Blum, J. «Driving Simulator Laboratory. Center for Intelligent Systems Research, The George Washington University.» 2002.
- Borbély, A. «A two-process model of sleep regulation.» *Human Neurobiology*, 1982: 195–204.
- Borbély, A. A. «A two-process model of sleep regulation.» *Human Neurobiology*, 1982: 195-204.
- Brekke, M., Sherman, P. «Critical evaluation of factors associated with steering wheel data when used for identifying driver drowsiness.» *Advanced Transport Telematics*, 1994: 223-229.
- Brown, I. «Coping with driver fatigue: Is the long journey over?» 2000.
- Brown, I. «Methodological issues in driver fatigue research.» *L. Hartley (Ed.), Fatigue & driving*, 1995.
- Buyse D. J., Reynolds, C.F., Monk, T. H., Berman, S. R., & Kupfer, D. J. «The Pittsburgh Sleep Quality Index: A new instrument for psychiatric practice and research.» *Psychiatry Research*, 1989: 193–213.
- Cercarelli, R., & Ryan, G.A. «Long distance driving behaviour of Western Australian drivers.» *Paper presented at the proceedings of the international conference on fatigue and transportation*, 1996.
- Chetta, Giovanni. «Postura e benessere un approccio di tipo ergonomico.» 2007.
- Connor, J. «The role of driver sleepiness in car crashes: A systematic review of epidemiological studies. » *Nova Science Publishers Inc.*, 2011.
- Cox, Box and. «An analysis of transformations (with Discussion).» *Journal of the Royal Statistical Society*, 1964: 211-252.

- Craig, A., Tran, Y., & Wijesuriya, N. «Psychophysiological characteristics of driver fatigue.» *Verster & C. F. P. George (Eds.), Sleep, sleepiness and traffic safety.*, 2011.
- Dement, W. C., Hall, J., & Walsh, J. K. «Tiredness versus sleepiness: Semantics or a target for public education? .» *Sleep*, 2003: 485–486.
- Desmond, Hancock & P. A. *Stress, workload and fatigue.* s.d.
- Dinger, David F., e Richard Grace. «A valid psychophysiological measure of alertness as assessed by psychomotor vigilance.» *US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Publication Number FHWA-MCRT-98-006*, 1998.
- Elling, M., Sherman, P. «Evaluation of steering wheel measures for drowsy drivers.» *Advanced Transport Telematics*, 1994: 207-214.
- Frisoli, Antonio, Carlo Alberto Avizzano, e Massimo. Bergamasco. «Simulation of a manual gearshift with a 2-dof force-feedback joystick.» *Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 01CH37164)*, 2001: 1364-1369.
- Fukuda, J., Akutsu, E., Aoki K. «An estimation of driver's drowsiness level using interval of steering adjustment for lane keeping.» *JSAE Review*, 1995: 197-199.
- Gabrielsen, K., Sherman, P. «Drowsy drivers, steering data and random processes.» *Advanced Transport Telematics, 94AT004*, 1994: 231-240.
- Gander, P., Hartley, L., Powell, D., Cabon, P., Hitchcock, E., & Mills, A. «Fatigue risk management: Organizational factors at the regulatory and industry/company level.» *Accident Analysis & Prevention*, 43, , 2011: 573–590.
- Garbarino, S., Lino, N., Beelke, M., Carli, F. D., & Ferrillo, F. «The contributing role of sleepiness in highway vehicle accidents.» *Sleep 24(2)*, 2001: 201-206.
- Gastaldi, et al. «Caffeinated Chewing Gum as Countermeasure to Drivers' Passive Task-Related Fatigue Caused by Monotonous Roadway.» *Transportation research record 2602.1*, 2016: 26-34.
- Gawron, V. J., French, J., & Funke, D. «An overview of fatigue.» *P. A. Hancock & P. A. Desmond (Eds.), Stress, workload and fatigue.*, s.d.: 2000.
- Gimeno, Pilar Tejero, Gemma Pastor Cerezuela, and Mariano Cholz Montanes. «On the conpet and measurement of driver drowsiness, fatigue and inattention: implications for countermeasures.» *International journal of vehicle design*, 2006: 67-86.
- Global Infotech Pune. «No-Nap.» *from <http://www.thenonap.com/>.*, 2006.
- Green. «Standard definitions for driving measures and statistics: overview and status of recommended practice.» *Paper presented at the Proceedings of the 5th international conference on automotive user interfaces and interactive vehicular applications*, 2013.
- Hancock, P. A., & Verwey, W. B. «Fatigue, workload and adaptive driver systems.» *Accident Analysis & Prevention*, 29(4), 1997: 495–506.
- Hartley, LR. «Traffic and transport psychology: Theory and application.» *Fatigue and driving, Elsevier*, 2004: p. 221-229.

- He, J., Choi, W., Yang, Y., Lu, J., Wu, X., & Peng, K. «Detection of driver drowsiness using wearable devices: A feasibility study of the proximity sensor.» *Applied ergonomics*, 2017: 473-480.
- Helland, A., Jenssen, G. D., Lervåg, L.-E., Westin, A. A., Moen, T., Sakshaug, K., . . . Slørdal, L. «Comparison of driving simulator performance with real driving after alcohol intake: A randomised, single blind, placebo-controlled, cross-over trial.» *Accident Analysis & Prevention*, 53, 2013.
- Hirshkowitz, M. «Fatigue, sleepiness and safety. Definitions, assessment, methodology.» *Sleep Medicine Clinics*, 2013: 183-189.
- Hockey, G. R. L. *A motivational control theory of cognitive fatigue*. 2010.
- Hockey, G. Robert J. «Compensatory control in the regulation of human performance under stress and high workload: A cognitive-energetical framework.» *Biological psychology*, 1997: 73-93.
- Hockey, R. «The psychology of fatigue: Work, effort and control.» *Cambridge University Press*, 2013.
- Hoddes, E., Zarcone, V., Smythe, H., Phillips, R., & Dement, W. «Quantification of sleepiness: a new approach.» *Psychophysiology*, 10(4), 1973: 431-436.
- ISTAT. «Incidenti stradali Anno 2017.» 2018.
- JE., ASH. *The blood in inanition*. Arch Intern Med (Chic), 1914.
- Jewett, M. E., Dijk, D., Kronauer, R. E., & Dinges, D. F. «Dose–response relationship between sleep duration and human psychomotor vigilance and subjective alertness.» *Sleep*, 1999: 171–179.
- Johns, M. W. «Rethinking the assessment of sleepiness.» *Sleep Medicine Reviews*, 1998: 3-15.
- Kennedy, R. S., N. E. Lane, S. Kevin, and M. G. Lillenthal. «Simulator Sickness Questionnaire : An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness .» *The International Journal of Aviation Psychology*,, 1993.
- Kennedy, R., Lane, N., Barbaum, K., & Lillenthal, M. « Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness.» *The International Journal of Aviation Psychology*, 2009: 203-220.
- Kerr, J.S. «Driving without attention mode (DWAM): a formalisation of inattentive states in driving.» *Elsevier Science Publishers*, 1991: 473-479.
- Lal, S. K. L., & Craig, A. «Electroencephalography activity associated with driver fatigue: Implications for a fatigue countermeasure device.» *Journal of Psychophysiology*, 2001: 183-189.
- Lastampa. *La stampa*. s.d. <https://www.lastampa.it/2018/05/01/motori/che-cosa-sono-gli-adas-e-perch-i-sistemi-di-assistenza-avanzata-alla-guida-ci-salveranno-la-vita-cY6QInGNjgSFZo0QInoahK/pagina.html>.
- Lee, JD. «Reviews of human factors and.» *Human Factors and Ergonomics Society*, 2006: p. 172-218.
- Lenne, M. G., Triggs, T. J., & Redman, J. R. «Time of day variations in driving performance.» *Accident Analysis and Prevention*, 1997: 431–437.
- Louwerens, J., Gloerich, A., De Vries, G., Brookhuis, K., & O’Hanlon, J. «The relationship between drivers’ blood alcohol concentration (BAC) and actual driving performance during high speed travel. .» *Alcohol Drugs Traffic Saf*, 86, 1987: 183-186.

- Lowden, Arne, et al. « Wakefulness in young and elderly subjects driving at night in a car simulator.» *Accident Analysis & Prevention* 41.5, 2009: 1001-1007.
- May, Baldwin. « The importance of identifying causal factors of fatigue when considering detection and countermeasure technologies.» *Driver fatigue*, 2009.
- Moreno, C., Gou, M., Boukas, E. K., Laberge-Nadeau, C. «Transparent. Drivers Drowsiness Detection: an approach.» *Proceeding of the 27th. ISATA conference*, 1996.
- Mosso, Angelo. «La Fatica.» *F. Ili Treves*, 1891.
- Mulder, G. «The concept and measurement of mental effort.» *Martinus Nijhoff Publishers*, 1986: 175-198.
- Muscio, B. «Is a fatigue test possible? .» *British Journal of Psychology. General Section*, 12(1), 31. , 1921.
- Nilsson, T., Nelson, T. M., & Carlson, D. «Development of fatigue symptoms during simulated driving.» *Accident Analysis & Prevention*, 29(4), 1997: 479-488.
- Oxford. *Oxford Dictionaries* . Oxford , 2013.
- Pack, A. I., Pack, A. M., Rodgman, E., Cucchiara, A., Dinges, D. F., & Schwab, C. W. «Characteristics of crashes attributed to the driver having fallen asleep.» *Accident Analysis and Prevention*, 1995: 769–775.
- Pastore, Massimiliano. *Analisi dei dati in psicologia*. Il mulino, 2015.
- Pini, M. Cianflone e S. «Auto che guidano da sole, i livelli di autonomia e gli Adas: cosa sono e come funzionano.» *Il sole 24ore*, 2018.
- Quotidiano motori. «UE: ADAS obbligatori dal 2022.» *Quotidiano motori*, 2019.
- Rimini-Doering, Maria, et al. «Monitoring driver drowsiness and stress in a driving simulator.» 2001.
- Ross, Phillips. «A review of definitions of fatigue—And a step towards a whole definition.» *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour* 29, 2015: 48-56.
- Sahayadhas, A., Sundaraj, K., & Murugappan, M. «Detecting driver drowsiness based on sensors: a review.» *Sensors*, 12(12), 2012: 16937-16953.
- Samn, S. W., & Perelli, L. P. «Estimating aircrew fatigue: a technique with application to airlift operations. .» *School of Aerospace Medicine Brooks Afb tx.*, 1982.
- Sampson, Mark A Gross. «Statistical Analysis in Jasp: a guide for students.» 2018.
- Saxby, D. J., Matthews, G., Warm, J. S., Hitchcock, E. M., & Neubauer, C. «Active and passive fatigue in simulated driving: Discriminating styles of workload regulation and their safety impacts.» *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 2013: 287-300.
- Sayed, R., Eskandarian, A. «Detecting driver fatigue by monitoring eye and steering activity.» *3rd Intelligent vehicle systems symposium*, 2000.
- Shen, J., Barbera, J., & Shapiro, C. M. «Distinguishing sleepiness and fatigue: Focus on definition and measurement.» *Sleep Medicine Reviews*, 10(1), 2006: 63–76.
- Soames-Job, R. F., & Dalziel, J. «Defining fatigue as a condition of the organism and distinguishing it from habituation, adaptation and boredom.» 2000.

- Spielberger, Charles D., et al. «Assessment of anger: The state-trait anger scale.» *Advances in personality assessment 2*, 1983: 159-187.
- Strober, L. B. & Deluca, I. «Fatigue: Its influence on cognition and assessment.» P. Arnett (Ed.), *Secondary influences on neuropsychological test performance*, 2013: 117.
- Thiffault, P. and Bergeron, J. «Fatigue and individual differences in monotonous.» *Personality and Individual Differences*, 2003b: 159-160.
- Thorndike, E. «Mental fatigue. I. Psychological Review.» *American Psychological Association*, 1900: 547-579.
- Treccani, Enciclopedia. *Treccani Vocabolario*. s.d. <http://www.treccani.it/vocabolario/fatica/>.
- Vai, Alessandro. «Che cosa sono gli “Adas” e perché i sistemi di assistenza avanzata alla guida ci salveranno la vita.» *La Stampa*, 2018.
- Van der Linden, D., Frese, M., & Meijman, T. F. «Mental fatigue and the control of cognitive processes: effects on preservation and planning. .» *Acta Psychologica*, 113, 2003: 45-65.
- van der Sluiszen, N., Vermeeren, A., Jongen, S., Theunissen, E., van Oers, A., Van Leeuwen, C., . . . Ramaekers, J. «On-the-road driving performance after use of the antihistamines mequitazine and l-mequitazine, alone and with alcohol.» *Psychopharmacology*, 233(18), 2016.
- Verwey, Willem B., e David M. Zaidel. «Preventing drowsiness accidents by an alertness maintenance device.» *Accident Analysis & Prevention*, 1999: 199-211.
- Warm, J. S., Parasuraman, R., & Matthews, G. «Vigilance Requires Hard Mental Work and Is Stressful.» *Human Factors*, 2008: 433–441.
- Wertheim, A.H. «Explaining highway hypnosis: experimental evidence for the role of eye movements.» *Accident Analysis and Prevention*, 1978: 11-129.
- Wertheim, A.H. «Highway hypnosis: a theoretical analysis.» *Elsevier Science Publishers* , 1991: 467-472.
- Wyon, D.P., Wyon, I. and Norin, F. «Effects of moderate heat stress on driver vigilance.» *Ergonomics*,, 1996: 61-75.
- Zhou, J., Peng, H., & Gordon, T. J. «Characterization of the lateral control performance by human drivers on highways.» *SAE International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems*, 1(2008-01-0561), 2008.