

Scuola di Ingegneria Civile Ambientale e Territoriale  
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile  
- Or. Infrastrutture di Trasporto -



**POLITECNICO**  
MILANO 1863

*Analisi del livello di stress del conducente  
durante la guida in truck platooning*

Tesi di Laurea magistrale di:  
Marta Zecchini 944685

Relatore: Prof. Ing. Luca Studer

Correlatore: Prof. Ing. Paolo Gandini

Anno accademico 2020/2021



## *Ringraziamenti*

Giunta ormai alla fine di questo viaggio ci tengo a ringraziare le persone che mi hanno accompagnata e hanno reso possibile tutto ciò.

Ringrazio il mio relatore, prof. Luca Studer per la disponibilità e la professionalità con cui mi ha seguita in questo percorso. Un ringraziamento speciale per il Prof. Paolo Gandini che mi ha costantemente supportata e sopportata durante tutto il lavoro, per avermi portata sul campo e avermi permesso di prendere parte ad un'esperienza unica; sono stata davvero fortunata. Grazie all'Ing. Paolo Perego per aver pazientemente colmato le mie lacune nel campo biomedico, permettendomi di appassionarmi ad una materia del tutto nuova. Grazie all'Ing. Valerio Liga per avermi accolta e fatto toccare con mano quello che fino a quel momento nella mia testa era solo un mucchio di nozioni.

Grazie mamma, grazie papà per avermi accompagnata fino a qui, per aver creduto in me quando pensavo di non farcela e avermi trasmesso la tenacia, la caparbità e la passione per il proprio lavoro. Siete i miei più grandi esempi e oggi mi voglio augurare di diventare anche solo la metà di quello che siete voi.

Un grazie a tutti i miei amici e futuri colleghi, Antonio, Davide, Fabio, Filippo, Matteo, Paolo, dal primo giorno siamo stati una squadra e sono davvero tanto felice di farne parte. Grazie Arianna, Elena e Giulia, siete state delle splendide compagne di studi ma soprattutto di vita.



# SOMMARIO

Il mondo dei trasporti e della logistica sta assistendo a cambiamenti importanti e anche i *truck manufacturers* stanno investendo in soluzioni innovative come il *truck platooning*, inteso come prodromo della guida autonoma per i veicoli pesanti. Tale sistema porta a benefici in termini di efficienza del traffico, sicurezza e consumo di carburante.

È riconosciuto che l'utente fruisce di un sistema solamente se non lo percepisce come una minaccia o fastidio, ma al contrario ne ha fiducia. Prove su strada hanno monitorato lo stato psicofisico del conducente in guida manuale; anche per quanto riguarda la guida automatica (e il truck platooning) esiste una vasta letteratura, con test in ambiente simulato. Il presente elaborato approfondisce questo aspetto, ad oggi meno investigato, indagando lo stato psicofisico dei conducenti durante reali test di guida in truck platooning.

Secondo la letteratura di settore, i picchi nel parametro LF/HF possono essere associati a sensazioni di disagio: il loro verificarsi può indicare se lo stato psicofisico dei conducenti sia influenzato dalle diverse fasi della guida in platoon o da particolari situazioni. Si è definito un metodo speditivo e replicabile per monitorare ed elaborare il parametro fisiologico HRV (*Heart Rate Variability*) e il rapporto LF/HF, basato sull'utilizzo di smartwatches commerciali con costi contenuti.

Un'attività sperimentale, effettuata nell'ambito del progetto europeo C-Roads, ha permesso la raccolta dei parametri fisiologici dei due driver e dei dati tecnici relativi alla condizione dei veicoli in platoon.

In generale la correlazione tra i due gruppi di dati ha rivelato come entrambi i conducenti non abbiano risentito negativamente della guida in platoon. Il monitoraggio del conducente Follower, rispetto al Leader, ha evidenziato un maggior livello di stress, riconducibile al mancato controllo longitudinale del veicolo e alle decelerazioni imposte dal sistema. Sempre riferendosi al Follower, l'80% dei picchi è stato associabile a situazioni specifiche: variazione della distanza interveicolare, tracciato plano-altimetrico, manovra di formazione/disaggregazione del platoon.

Il metodo si è rivelato affidabile e può trovare applicazione nell'indagare l'influenza dei C-ITS sul conducente o in un'ampia raccolta dati per un'analisi di sicurezza.



# ABSTRACT

The world of transport and logistics is witnessing major changes and truck manufacturers are also investing in innovative solutions such as truck platooning, as a prodrome of autonomous driving for heavy vehicles. Such a system leads to benefits in terms of traffic efficiency, safety and fuel consumption.

It is recognized that the user benefits from a system only if he does not perceive it as a threat or as a inconvenience, but on the contrary trusts it. Road tests monitored the psychophysical state of the driver in manual driving; also with regard to automatic driving (and truck platooning) there is a vast literature, with tests in a simulated environment. The present paper deepens this aspect, to date less investigated, investigating the psychophysical state of drivers during real driving tests in truck platooning.

According to the industry literature, the peaks in the LF/HF parameter can be associated with feelings of discomfort: their occurrence may indicate whether the psychophysical state of the drivers is influenced by the different phases of driving in platoon and by particular situations. A fast and replicable method was defined to monitor and process the HRV (Heart Rate Variability) physiological parameter and the LF/HF ratio, based on the use of commercial smartwatches with low costs.

An experimental activity, carried out as part of the European project C-Roads, allowed the collection of the physiological parameters of the two drivers and the technical data relating to the condition of the vehicles in platoon.

In general, the correlation between the two data sets revealed that both drivers were not negatively affected by driving in platoon. The monitoring of the Follower driver, compared to the Leader, showed a higher level of stress, due to the lack of longitudinal control of the vehicle and the decelerations imposed by the system. Always referring to the Follower, 80% of the peaks were associated with specific situations: variation of the intervehicular distance, plano-altimetric trace, maneuver of formation/disaggregation of the platoon.

The method has proven to be reliable and can be applied in investigating the influence of C-ITS on the driver or in extensive data collection for a safety analysis.





# INDICE

INDICE DELLE FIGURE .....	viii
INDICE DELLE TABELLE.....	xiii
INTRODUZIONE.....	1
CAPITOLO 1 - STATO DELL'ARTE.....	5
1.1 <i>TRUCK PLATOONING</i> .....	7
1.1.1 MANOVRE E INTERAZIONE CON IL TRAFFICO CIRCOSTANTE	9
1.1.2 POTENZIALI BENEFICI	11
1.1.3 LIMITAZIONI	15
1.1.4 INTERFACCIA UOMO – MACCHINA	41
1.1.5 ELEMENTI DI SICUREZZA	22
1.2 <i>MONITORAGGIO DEL LIVELLO DI STRESS</i> .....	25
1.2.1 PROVE SU STRADA	26
1.2.2 GUIDA AUTOMATICA AL SIMULATORE	30
1.3 <i>PROGETTO C-ROADS</i> .....	40
CAPITOLO 2 - METODO.....	45
2.1 <i>DESCRIZIONE DELLA PROCEDURA</i> .....	47
2.2 <i>MISURAZIONE E ANALISI DEI PARAMETRI BIOMEDICI</i> .....	49
2.2.1 VALIDAZIONE DEL METODO PER UN CONDUCENTE IN GUIDA MANUALE	57
2.3 <i>DATI PLATOON</i> .....	61
CAPITOLO 3 – SPERIMENTAZIONE.....	65
3.1 <i>START UP</i> .....	67
3.2 <i>ANALISI DEI PARAMETRI BIOMEDICI</i> .....	70
3.2.1 CALIBRAZIONE	74
3.2.2 RAPPRESENTAZIONE IN QGIS	76
3.3 <i>ELABORAZIONE DATI PLATOON – IVECO</i> .....	77
3.4 <i>CORRELAZIONE STATO PSICOFISICO – GUIDA IN TRUCK PLATOONING</i> .....	79
3.4.1 SVINCOLI AUTOSTRADALI	88

3.4.2 MANOVRA DI CUT - IN	94
3.4.3 FORMAZIONE E DISAGGREGAZIONE DEL PLATOON	107
<i>3.5 ULTERIORI ANALISI DEI DATI PLATOON.....</i>	<i>114</i>
CONCLUSIONI E POSSIBILI SVILUPPI .....	121
BIBLIOGRAFIA .....	127
ALLEGATO A.....	131
ALLEGATO B.....	137
ALLEGATO C.....	147
ALLEGATO D .....	149

# INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1 - gruppo di veicoli in platoon [3] .....	8
Figura 1.2 - numero di cambiamenti di stato al variare del raggio di trasmissione [3] .....	8
Figura 1.3 - numero di cambiamenti di stato al variare del tempo trascorso [3] .....	9
Figura 1.4 - manovra di cut-in [4].....	10
Figura 1.5 - aumento del tempo di guida consecutivo e quindi delle distanze percorribili [4] .....	11
Figura 1.6 - risparmio di carburante in funzione della distanza inter-veicolare [4].....	12
Figura 1.7 - aerodinamica del platoon [4].....	13
Figura 1.8 - massima capacità della corsia al variare del raggio di trasmissione [3].....	14
Figura 1.9 - rappresentazione e spiegazione dell'interfaccia conducente - veicolo.....	19
Figura 1.10 - attivazione del platoon [7] .....	20
Figura 1.11 - interruzione del platoon [7] .....	20
Figura 1.12 - posizione del veicolo nel platoon [7] .....	20
Figura 1.13 - frenata di emergenza [7] .....	21
Figura 1.14 - cambiamento nei punteggi SSSQ per le condizioni del test 4 e test 3 [9] .....	25
Figura 1.15 - confronto dei parametri fisiologici misurati per ogni partecipante, b) frequenza respiratoria, d) HRV LF/HF [10] .....	26
Figura 1.16 - il soggetto indossa 5 sensori: elettrocardiogramma sul petto, elettromiografia sulla spalla sinistra, sensore dell'espansione della cassa toracica e due sensori di conduttività della pelle. I sensori sono collegati al computer sul retro del veicolo [12] .....	27
Figura 1.17 - illustrazione dei parametri fisiologici registrati: respirazione, frequenza cardiaca, conduttività della pelle ed elettromiografia [12].....	27
Figura 1.18 - EDA e frequenza cardiaca durante un test di guida. La linea punteggiata corrisponde ad un passo livello di stress, quella tratteggiata ad un livello medio e quella continua ad uno alto [13] .....	28
Figura 1.19 - esempio di punto di interesse [14] .....	29
Figura 1.20 - esempio: gli incidenti sono identificati in rosso, i punti di stress in blu (elaborazione QGIS e Google Maps) [15].....	29
Figura 1.21 - rappresentazione di un evento di stress in Google Heart. L'altezza delle tracce corrisponde alla velocità del bus [16] .....	30
Figura 1.22 - sviluppo della fiducia nell'ACC [17] .....	31
Figura 1.23 - sviluppo del modello mentale quando si usa l'ACC (1=totalmente in disaccordo, 6=totalmente d'accordo) [18] .....	32

Figura 1.24 - sviluppo della fiducia nell'ACC [18] .....	33
Figura 1.25 - Inter-Beat-Interval in funzione del 'sistema' e della 'fase' [19] .....	33
Figura 1.26 - Rating Scale Mental Effort in funzione di 'visibilità' e del 'sistema' [19].....	34
Figura 1.27 - accettazione verso il Congestion Assistant, in generale e in tre funzioni specifiche [19] .....	34
Figura 1.28 - simulatore di guida dell'Università di Southampton durante un esperimento [21]...	35
Figura 1.29 - quadrante raffigurante l'analisi verbale per ognuna delle tre condizioni. verde: Low Task Demand, blu: Medium Task Demand, rosso: High Task Demand [23].....	36
Figura 1.30 - a) rappresenta il cambiamento nel tasso di sudorazione, b) iTTC [24].....	37
Figura 1.31 - variabili registrate durante un esperimento in platoon: c) velocità relativa, d) distanza tra due camion, e) iTTC, f) cambiamento nel tasso di sudorazione [24] .....	38
Figura 1.32 - Intensità dello stress stimata dalla sudorazione del palmo [25] .....	38
Figura 1.33 - valutazione soggettiva del comfort del conducente per diverse condizioni di guida [25] .....	39
Figura 1.34 - funzionamento del platoon quando arriva un riceve un avviso di chiusura di una corsia [4] .....	42
Figura 2.1 - descrizione schematica della procedura adottata .....	48
Figura 2.2 - distanza RR [8].....	49
Figura 2.3 - frequenza cardiaca (bpm) del guidatore e del passeggero [28] .....	50
Figura 2.4 - Applicazioni utilizzate.....	51
Figura 2.5 - impostazioni App Tools & Mi Band .....	52
Figura 2.6 - elaborazione dei dati.....	53
Figura 2.7 - elaborazione dei dati.....	53
Figura 2.8 - andamento della frequenza cardiaca nel tempo .....	54
Figura 2.9 - calcolo del parametro RR .....	54
Figura 2.10 - andamento del parametro RR nel tempo .....	55
Figura 2.11 - andamento del parametro LF/HF nel tempo, calcolato su un intervallo di 10 secondi .....	56
Figura 2.12 - andamento del parametro LF/HF nel tempo, calcolato su un intervallo di 30 secondi .....	56
Figura 2.13 - individuazione dei picchi nell'andamento del parametro LF/HF, calcolato su un intervallo di 10 secondi .....	57
Figura 2.14 - rappresentazione della traccia GPS in Google Earth.....	58
Figura 2.15 - localizzazione del primo picco.....	58
Figura 2.16 - localizzazione del secondo picco.....	59

Figura 2.17 - localizzazione del terzo picco .....	59
Figura 2.18 - localizzazione del terzo picco – zoom .....	60
Figura 3.1 - veicoli IVECO utilizzati per i test .....	67
Figura 3.2 - visione dell'autista del veicolo Follower durante la guida in platoon.....	68
Figura 3.3 - visione dell'autista del veicolo Leader durante la guida in platoon.....	69
Figura 3.4 - dispositivo indossato dall'autista .....	69
Figura 3.5 - esempio dell'andamento del parametro LF/HF nel tempo.....	72
Figura 3.6 - PSD (Power Spectral Density) in caso di LF/HF basso .....	73
Figura 3.7 - PSD (Power Spectral Density) in caso di LF/HF elevato .....	73
Figura 3.8 - esempio della rappresentazione del livello di stress in QGIS.....	76
Figura 3.9 – esempio della rappresentazione dello stato del platoon in QGIS .....	78
Figura 3.10 - esempio della rappresentazione contemporanea del livello di stress nel conducente e dello stato del platoon .....	79
Figura 3.11 - Aggiunta dell'etichetta 'orario'.....	80
Figura 3.12 - Tempo trascorso in platoon e in guida manuale.....	83
Figura 3.13 - confronto tra il livello di stress in guida manuale e in platoon.....	87
Figura 3.14 - relazione tra picco nel livello di stress e distanza interveicolare.....	85
Figura 3.15 - veicolo Follower, livello di stress elevato in corrispondenza degli svincoli autostradali .....	89
Figura 3.16 - veicolo Leader, livello di stress medio in corrispondenza degli svincoli autostradali.....	90
Figura 3.17 - veicolo Follower, livello di stress elevato in corrispondenza dello svincolo autostradale.....	92
Figura 3.18 - veicolo Leader, livello di stress medio in corrispondenza dello svincolo autostradale .....	93
Figura 3.19 - veicolo Follower, livello di stress elevato in corrispondenza dell'intrusione da parte di un veicolo esterno.....	95
Figura 3.20 - veicolo Leader, livello di stress elevato in corrispondenza dell'intrusione da parte di un veicolo esterno.....	96
Figura 3.21 - rappresentazione del Time to Collision durante la manovra di Cut-in .....	97
Figura 3.22 - rappresentazione del Time to Collisione e dell'accelerazione subita dal veicolo .....	98
Figura 3.23 - rappresentazione della decelerazione subita dal veicolo e del LF/HF.....	98
Figura 3.24 - numero di veicoli che formano il platoon nel tempo .....	99

Figura 3.25 - veicoli che effettuano la manovra di Cut-in .....	99
Figura 3.26 - andamento del parametro LF/HF nel tempo .....	100
Figura 3.27 - zoom sull'andamento del parametro LF/HF durante la manovra di Cut-in in relazione alla decelerazione subita dal veicolo.....	101
Figura 3.28 – veicolo Follower, livello di stress elevato in corrispondenza della manovra dell'intrusione da parte di un veicolo esterno .....	102
Figura 3.29 - veicolo Leader, livello di stress elevato in corrispondenza dell'intrusione da parte di un veicolo esterno .....	103
Figura 3.30 - codici Front Status che si scambiano i veicoli durante la manovra di Cut-in.....	105
Figura 3.31 - QGIS, utilizzo delle etichette per scorrere più facilmente il file .csv.....	106
Figura 3.32 - veicolo Follower, elevato livello di stress durante la formazione/disaggregazione del platoon .....	107
Figura 3.33 - veicolo Leader, livello di stress elevato in corrispondenza della formazione/disaggregazione del platoon .....	108
Figura 3.43 - veicolo Follower, livello di stress elevato in corrispondenza della formazione/disaggregazione del platoon .....	114
Figura 3.34 - veicolo Leader, picco di stress in corrispondenza della disaggregazione del platoon all'imbocco della galleria .....	110
Figura 3.35 - 9 luglio, veicolo Follower, livello di stress elevato in corrispondenza della disaggregazione del platoon all'imbocco della galleria.....	111
Figura 3.36 – 9 luglio, veicolo Leader, livello di stress elevato in corrispondenza dello scioglimento del platoon all'imbocco della galleria.....	112
Figura 3.37 - 9 luglio, veicolo Leader, livello di stress elevato in corrispondenza dello scioglimento del platoon all'imbocco della galleria.....	113
Figura 3.38 - grafico riportante il numero di veicoli che formano il platoon nel tempo.....	114
Figura 3.39 - disaggregazione del platoon in galleria.....	115
Figura 3.40 - codici che si scambiano i veicoli nel tempo, indicano lo stato in cui si trova il platoon.....	116
Figura 3.41 - andamento del Time Headway nel tempo.....	116
Figura 3.42 - andamento del Time To Collision (TTC) nel tempo.....	117
Figura 3.43 - andamento della velocità istantanea nel tempo.....	118
Figura 3.44 - andamento del consumo di carburante nel tempo.....	118

Figura 3.45 - differenza nel consumo di carburante tra veicolo Leader e veicolo Follower.....119

Figura 3.46 - variazione della distanza del veicolo precedente nel tempo.....119

Figura 4.1 - messaggio C-ITS, cantiere stradale.....124

Figura 4.2 - relazione tra messaggio di attenzione e LF/HF.....125

Figura C.1 – avvio App Mi Fit ed accoppiamento con il dispositivo.....147

Figura C.2 – guida per impostare correttamente l’App Tools & Mi Band ..... 148

Figura C.3 – Esportazione del file .csv e invio. .... 148





## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1.1 - matrice di correlazione tra i risultati dei parametri fisiologici e il questionario [12] ..	28
Tabella 1.2 - matrice di correlazione tra stato psicofisico e tasso di incidentalità [15] .....	29
Tabella 2.1 - impostazione dell'Adaptive Cruise Control.....	63
Tabella 3.1 - esempio dell'andamento del parametro LF/HF nel tempo.....	71
Tabella 3.2 - Camion Leonardo, risultato della calibrazione per ogni giornata di test.....	75
Tabella 3.3 - Camion Michelangelo, risultato della calibrazione per ogni giornata di test.....	75
Tabella 3.4 - Camion Leonardo, numero di picchi del livello di stress nel tempo.....	81
Tabella 3.5 - camion Michelangelo, numero di picchi del livello di stress nel tempo.....	81
Tabella 3.6 - Confronto tra guida in platoon (Follower) e guida manuale.....	83
Tabella 3.7 - Confronto tra guida in platoon (Leader) e guida manuale.....	84
Tabella 3.8 - confronto tra conducente del veicolo Leader e Follower.....	84
Tabella 3.9 - 6 luglio, circostanze che inducono nel conducente un maggiore livello di stress.....	86
Tabella 3.10 - 5 luglio, circostanze che inducono nel conducente un maggiore livello di stress.....	87
Tabella 4.1 - confronto tra conducente del veicolo Leader e Follower.....	122
Tabella 4.2 - circostanze che inducono un maggior numero di picchi.....	123
Tabella D.1 - elaborazione dati IVECO riguardanti lo stato del veicolo.....	153
Tabella D.2 - correlazione temporale tra parametro LF/HF e dati platoon.....	154
Tabella D.3 - identificazione del picco nel parametro LF/HF.....	155



## INTRODUZIONE

Il mondo dei trasporti negli ultimi anni è stato interessato da significativi sviluppi e le numerose innovazioni, gestionali e tecnologiche, che hanno interessato sia il veicolo che l'infrastruttura si sono largamente diffuse. Il percorso che appare tracciato porta ad un sempre maggiore intervento del veicolo nell'attività di guida fino al completo abbandono, in ambienti controllati in prima fase, della guida manuale. In questo contesto, in particolare nell'ambito della logistica, è opportuno menzionare il sistema *truck platooning*, il quale permette di incrementare la produttività e la sicurezza ma anche ridurre l'impatto dei trasporti sull'ambiente.

*“Il settore dei trasporti su mezzi pesanti come lo conosciamo oggi richiede una considerevole quantità di manodopera e i conducenti disponibili, invece, scarseggiano. A questo proposito, le tecnologie per la guida in platooning di autocarri ci offrono l'opportunità di incrementare la produttività sia nel settore portuale che in quello dei veicoli pesanti. Permetteranno inoltre ai conducenti di ambire a ruoli che richiedono maggiori competenze, come operatori e gestori di flotte”, spiega Pang Kin Keong, Segretario permanente ai trasporti e Presidente del Committee on Autonomous Road Transport in Singapore (CARTS). Proprio a Singapore platoon composti da 4 veicoli permetteranno di automatizzare completamente i processi di carico e scarico delle merci aumentando così la produttività del porto.*

Nonostante quanto esposto, il fattore umano ad oggi ricopre ancora un ruolo centrale e anche in un futuro prossimo non sarà totalmente estromesso; da ciò consegue la necessità di indagare l'accettabilità dei sistemi da parte dell'utente. Numerosi studi hanno riportato come ogni utente usufruirà a pieno del sistema solamente nel caso non lo percepisca come una minaccia o fastidio, ma al contrario ne abbia fiducia. La componente umana è ad oggi una delle principali cause, o concausa, di sinistri stradali: l'ISTAT stima che gli incidenti stradali in cui il fattore umano sia, anche parzialmente, coinvolto costituiscano il 94,7% del totale [1]. Per questa ragione l'introduzione della guida autonoma sulle strade pubbliche potrebbe essere particolarmente efficace per la riduzione dell'incidentalità e quindi un incremento della sicurezza. Alla luce di queste considerazioni si è scelto di indagare lo stato psicofisico ed in particolare la sua caratterizzazione attraverso l'analisi del livello di stress di un conducente durante la guida in truck platooning. Il monitoraggio dello stress alla guida è un tema che ha sollevato crescente interesse; si tratta di un argomento complesso in quanto è frutto dell'interazione tra il guidatore stesso, l'ambiente che lo circonda ed il veicolo, ad esempio le condizioni dell'infrastruttura o il comportamento degli altri utenti della strada. Negli ultimi anni numerose pubblicazioni hanno studiato delle possibili metodologie per quantificare il livello di stress grazie al monitoraggio dei parametri vitali o fisiologici di un individuo,

quali ad esempio il battito cardiaco. Solitamente le misurazioni vengono eseguite grazie all'uso di apparecchiature biomedicali ma le recenti evoluzioni tecnologiche hanno permesso anche l'utilizzo di smartwatch, i quali trovano tipicamente applicazione nel controllo dell'attività sportiva.

Se il monitoraggio del livello di stress di un conducente in guida manuale è già stato indagato in alcuni test svolti su strada, per quanto riguarda invece la guida automatica (e in particolare il truck platooning) le prove sono state condotte principalmente in un ambiente protetto, al simulatore di guida. L'elaborato di tesi si inserisce in questa tematica di ricerca, indagando quindi lo stato psicofisico di un guidatore durante una reale sessione di guida in truck platooning. Gli obiettivi che la tesi si propone di perseguire sono di seguito dettagliati:

- Definizione di un metodo speditivo e replicabile che consenta un'efficace raccolta dati dei parametri fisiologici, in particolare la frequenza cardiaca. Il proposito è quello di non avvalersi di un'apparecchiatura medica ma di uno smartwatch commerciale. È necessario uno scouting tecnologico per individuare lo strumento e l'applicazione più adatti per la raccolta e il trasferimento dei dati e definire il processo efficiente per l'elaborazione degli stessi.

È opportuno procedere anche alla validazione della procedura di raccolta ed elaborazione dati, testando il dispositivo durante una sessione di guida manuale.

- Al fine di ricercare possibili connessioni tra picchi di stress e le condizioni in cui si trova il platoon è necessario reperire i dati relativi al platoon stesso. La tesi si propone di raccogliere tali dati nell'ambito del progetto C-Roads, con il coinvolgimento di IVECO. Si propone quindi di effettuare una doppia correlazione, sia spaziale che temporale, tra livello di stress, posizione del veicolo e situazione in cui si trova il platoon.

Un ultimo obiettivo sarà il confronto tra lo stress percepito dai conducenti che si trovano in posizioni differenti (veicolo Leader o Follower). Infine, si vuole indagare se esista una differenza tra il comportamento del guidatore in platoon piuttosto che in guida manuale.

Si illustra ora sinteticamente lo schema dell'elaborato, sottolineando gli elementi più significativi di ogni capitolo.

**Capitolo 1 – Stato dell'arte:** si illustra la situazione attuale sia riguardo al truck platooning che ai metodi per monitorare il livello di stress; in ultimo si presenta il progetto europeo C-Roads all'interno dal quale si inserisce la sperimentazione in oggetto.

**Capitolo 2 – Metodo:** viene presentato il metodo definito e il procedimento nella sua interezza per poi descrivere le singole fasi. Si illustra la procedura adottata per la registrazione e l'elaborazione

della frequenza cardiaca; dalla sua analisi viene ricavato il parametro LF/HF, indicato da numerosi studi come rappresentativo dello stato psicofisico di un individuo. Parallelamente si identificano i dati relativi al platoon ritenuti indispensabili per la caratterizzazione dello stato del platoon stesso. In ultimo si vuole fornire evidenza della validità del metodo, riportando i risultati di alcune prove effettuate durante una reale prova su strada in guida manuale.

**Capitolo 3 – Sperimentazione:** viene descritta la fase di start up della sperimentazione effettuata su A22 Autostrada del Brennero, che ha previsto la consegna dei dispositivi ai conducenti, la loro formazione in merito alle operazioni da compiere e l'installazione di tutte le applicazioni necessarie. Gradualmente gli autisti invieranno i file di esportazione in modo da procedere con l'elaborazione dei dati, sia riguardanti la frequenza cardiaca che la condizione del veicolo. Entrambi i gruppi di dati sono processati con il software QGIS per analizzare le correlazioni spaziali e temporali.



## CAPITOLO 1 - STATO DELL'ARTE

In questo capitolo viene proposta una panoramica del sistema truck platooning, il suo funzionamento e i benefici che esso comporta. Vengono poi illustrati i diversi metodi ad oggi utilizzati per monitorare alcuni parametri fisiologici atti a classificare lo stato psicofisico di un individuo, in particolare si distinguerà tra prove su strada in guida manuale e prove al simulatore in guida autonoma. Tale distinzione è conseguenza delle conclusioni di numerosi studi, che prospettano la possibilità di risultati anche molto diversi tra sperimentazioni con guida al simulatore e test su strada, proprio a causa delle diverse condizioni di traffico reale.

Viene poi presentato il progetto europeo C-Roads all'interno del quale si inserisce la sperimentazione.





## 1.1 TRUCK PLATOONING

Il truck platooning viene definito da A. Al Alam et al. [2] come un insieme di veicoli pesanti che viaggiano in modo coordinato comunicando tra loro. Tramite l'uso del CACC (Cooperative Adaptive Cruise Control) il veicolo Leader trasmette ai veicoli Followers le informazioni riguardo il proprio regime di guida: accelerazione, decelerazione, localizzazione, frenata improvvisa e velocità. Conoscendo questi dati il CACC installato sui veicoli Followers può adattare la guida facendo in modo che non avvengano collisioni, nonostante la distanza tra i veicoli sia ridotta. Il CACC, ricevendo informazioni riguardo l'accelerazione e decelerazione del veicolo precedente, inizia a frenare praticamente nello stesso istante in cui il pedale del freno del veicolo precedente viene premuto: per questo motivo è possibile aggirare il tempo di reazione umano e quindi ridurre la distanza da mantenere per avere una frenata in sicurezza. Il fattore umano inoltre produce perturbazioni e instabilità del flusso di traffico ma questo aspetto risulta migliorabile sia grazie alla comunicazione V2V (Vehicle to Vehicle) che alla ridotta distanza inter-veicolare. Il CACC però può mitigare alcuni comportamenti umani e assorbire la generazione di shockwave, ritardando la congestione e favorendo un regime di traffico efficiente.

Grazie al CACC quindi il controllo longitudinale del veicolo è affidato all'automazione ma l'autista è ancora responsabile del movimento laterale, del monitoraggio della carreggiata e delle operazioni di sicurezza e dovrebbe essere disponibile a riprendere il controllo, anche con un breve preavviso. Si tratta quindi di un livello di automazione L2, secondo la classificazione NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration).

Una modalità di funzionamento del truck platooning è il mantenimento della distanza tra i veicoli costante, indipendentemente dal valore della velocità. Un importante vantaggio di questa legge di controllo è la migliore stabilità del platoon e di conseguenza un maggiore smorzamento delle shockwaves. È noto però come la configurazione ottimale preveda l'adattamento della distanza inter-veicolare in funzione della situazione e delle condizioni dell'infrastruttura: una distanza maggiore sarebbe richiesta quando il platoon si avvicina ad una rampa (per incrementare la sicurezza), ma una volta oltrepassata può essere ridotta nuovamente per diminuire le resistenze aerodinamiche e risparmiare il carburante. L'algoritmo del CACC garantisce che ogni veicolo abbia la stessa velocità e accelerazione in ogni punto della strada, in questo modo il camion ha la certezza di avere il regime di guida corretto per percorrere ad esempio le curve presenti sull'itinerario.

Il veicolo Leader (LV) è responsabile della creazione, gestione e trasmissione delle informazioni ai veicoli che seguono: ad esempio può decidere se un veicolo può aggiungersi al platoon, quando due platoon possono unirsi o quando un platoon deve dividersi in due. I veicoli Follower (FV) devono

invece modificare la velocità e la distanza in funzione delle informazioni che ricevono dal LV: ogni veicolo calcola di quanto si discostano la propria velocità e posizione dai valori medi e modifica così il proprio stato.

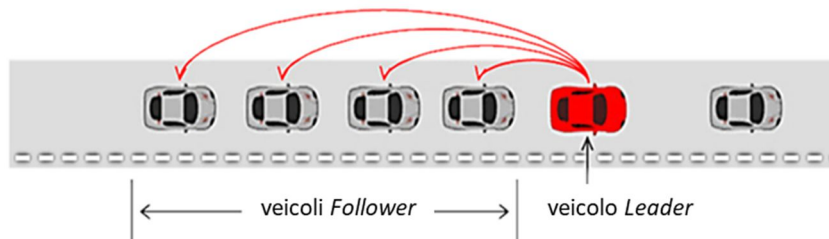


Figura 1.1 - un gruppo di veicoli in platoon [3]

Per la scelta del veicolo leader viene proposto di utilizzare informazioni relative alla velocità dei mezzi, fornite dai sensori. In particolare, viene indicato l'APLS (Autonomous Platoon Leader Selection) il quale si basa su informazioni *in-vehicle*, come posizione e velocità: ad esempio un veicolo che si trova davanti ad altri e si muove a velocità costante ha alta probabilità di diventare il leader.

I test hanno stabilito come un intervallo temporale di 0,7 secondi consenta la stabilità della stringa.

La stabilità del platoon è valutata sommando il numero dei cambi di stato dei veicoli durante il tempo totale della simulazione. Lo studio condotto da D.su e S.Ahn [3] evidenzia come la stabilità del veicolo leader sia uno dei fattori più critici: è bene che il Leader del platoon non muti spesso, a meno che esso lasci la formazione.

La figura 1.2 mostra come la stabilità del platoon aumenti al crescere del *transmission range* (raggio di trasmissione), poiché un veicolo con un range di trasmissione maggiore può scambiare messaggi con più veicoli vicini aumentando così la probabilità di diventare leader. È riportato inoltre come il numero di cambi di stato tenda a stabilizzarsi dopo circa 50 secondi.

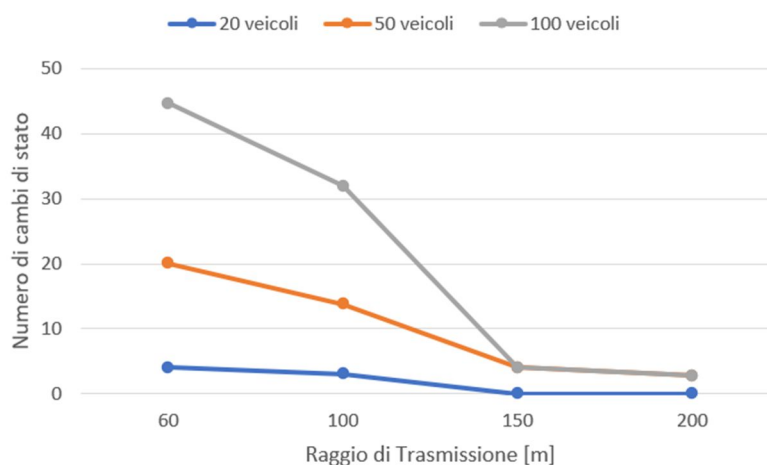


Figura 1.2 - numero di cambiamenti di stato al variare del raggio di trasmissione [3]

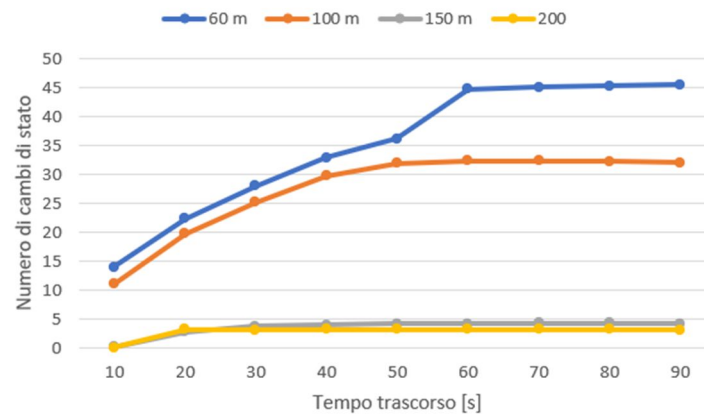


Figura 1.3 - numero di cambiamenti di stato al variare del tempo trascorso [3]

### 1.1.1 MANOVRE E INTERAZIONE CON IL TRAFFICO CIRCOSTANTE

Un platoon che circola su strade pubbliche deve affrontare numerose sfide riguardo l'interazione con il normale traffico circostante: la formazione, disaggregazione, il cambio corsia e la manovra di sorpasso. Le interazioni hanno diverse conseguenze: se da un lato il platoon impatta sulla stabilità e la fluidità del traffico bisogna ricordare come un maggior numero di manovre per la sua formazione/disaggregazione fa sì che sia attuabile per un minore numero di chilometri, riducendo così tutti i benefici in seguito descritti.

È importante che il conducente del veicolo Leader, prima di iniziare una manovra, abbia piena consapevolezza della lunghezza del platoon. Le indagini dell'European Truck Platooning Challenge Experience [4] riportano come la principale differenza percepita dai camionisti tra la guida in platoon e la guida di un singolo camion sia la consapevolezza di essere parte di una singola entità e della sua posizione nel traffico.

Le principali manovre sono:

- Formazione del platoon

Per formare un platoon è necessario che i conducenti dei due mezzi pesanti riducano la distanza interveicolare fino a raggiungere quella di obiettivo. Quando ci sono dei veicoli interposti il veicolo Follower deve aspettare fino a che questi non hanno cambiato corsia: più è congestionato il tratto stradale e più tempo è richiesto affinché il veicolo trovi uno spazio sufficiente per cambiare corsia aumentando così il ritardo nella formazione del platoon. Il tempo di formazione ideale è:

$$t = \frac{d}{v_2 - v_1}$$

dove  $d$  è la distanza iniziale tra i due camion,  $v_2$  è la velocità del veicolo Follower e  $v_1$  è la velocità del veicolo Leader.

Va sottolineato come la riduzione di velocità del veicolo guida non riduca il tempo necessario alla formazione del platoon poiché porterebbe alla creazione di un collo di bottiglia; al contrario le simulazioni hanno mostrato che se un platoon impiega più tempo nella formazione allora la velocità media è maggiore.

- Dissoluzione

Avviene grazie alla decelerazione del veicolo Follower. Ha sicuramente un impatto sul traffico circostante, i conducenti esterni al platoon saranno a loro volta indotti a frenare andando a diminuire la capacità dell'infrastruttura. La dissoluzione del platoon però permette agli altri utenti di trovare uno spazio per cambiare corsia e lasciare il tratto stradale: a preoccupare è infatti la formazione di un 'muro di camion' che in prossimità di una rampa potrebbe nascondere e ostacolare l'uscita.

- Cut-in

È definito come il momento in cui un'auto oltrepassa la linea di demarcazione della corsia e si inserisce tra due veicoli in platoon.

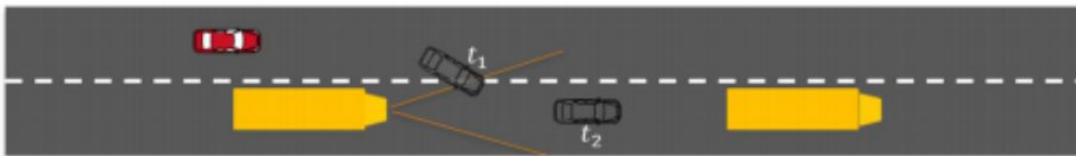


Figura 1.4 - manovra di cut-in [4]

Uno dei fattori che limita il massimo numero di camion in platoon è la difficoltà nel sorpasso da parte degli altri utenti: viene suggerito di cambiare dinamicamente la distanza inter-veicolare consentendo al convoglio di separarsi in due in modo da lasciare uno spazio abbastanza grande per permettere alle auto di eseguire la manovra di sorpasso in più passaggi. Se la densità del traffico aumenta è consigliabile incrementare la distanza interveicolare senza però raggiungere il valore massimo per il quale si avrebbe la dissoluzione del platoon.

Il plotone deve dissolversi quando un veicolo effettua la manovra di cut-in per evitare situazioni in cui la comunicazione subisca ritardi che potrebbero rilevarsi pericolosi. Questo approccio però presuppone che ogni camion sia equipaggiato per assumere il ruolo di veicolo-guida.

### 1.1.2 POTENZIALI BENEFICI

Il movimento di veicoli pesanti ravvicinati porta a potenziali benefici economici, sociali e ambientali. Numerosi studi riportano tra i più importanti benefici del platooning l'incremento della sicurezza, del comfort di guida e della capacità dell'infrastruttura ma anche la riduzione del consumo di carburante, grazie alle minori resistenze aerodinamiche. Tra gli elaborati più significativi si trovano i testi di A. Al Alam et al. [2] e di C. Berghem et al. [5]. È chiaro che questi benefici sono tanto maggiori quanto è minore la distanza tra i veicoli che compongono il platoon. Si riportano di seguito alcuni dei maggiori miglioramenti raggiungibili:

- Maggiori percorrenze giornaliere.

Nello studio condotto da S. Agriesti et al. [4] viene illustrato come in Europa il tempo massimo di guida, interrotto da brevi soste, sia 9 ore: supponendo una velocità media di 80 km/h questo corrisponde a 720 km; per percorrere una distanza maggiore sono necessari due autisti a bordo. Durante la formazione del platoon il tempo di guida del conducente di un FV incide del 50%, quindi, ipotizzando che in un platoon di 2 camion gli autisti si scambino di posizione ogni 3 ore, in 9 ore complessive possono percorrere una distanza di 960 km ognuno.

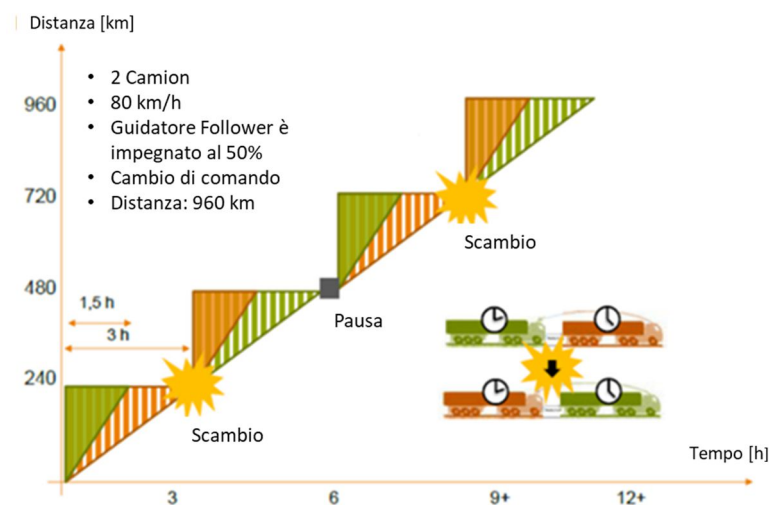


Figura 1.5 - aumento del tempo di guida consecutivo e quindi delle distanze percorribili [4]

- Consumo di carburante

Uno dei maggiori benefici della ridotta distanza inter-veicolare è la riduzione delle resistenze aerodinamiche, dal momento che si interrompe la creazione di vortici. La resistenza che il motore deve superare è minore e così anche il consumo di carburante; questo porta con sé inferiori emissioni. Questo dovrebbe fungere da stimolo anche per le diverse società di trasporto in quanto il costo del carburante rappresenta un terzo del costo operativo per un veicolo pesante.

Se da un lato la ridotta distanza tra i veicoli diminuisce le resistenze aerodinamiche, dall'altro causa un riscaldamento del liquido refrigerante, obbligando il sistema di ventole di raffreddamento ad un maggior lavoro e quindi un maggior consumo di energia. La temperatura del liquido refrigerante è un parametro rilevante da considerare nella scelta della distanza interveicolare ottimale.

Sempre nel testo di S. Agriesti et al. [4] vengono riportati dei valori percentuali di riduzione del carburante: facendo riferimento ad un platoon di 2 veicoli, il veicolo leader risparmia circa 5,3%, il secondo circa l'8,7%, ovvero 2-3,3 litri ogni 100 km. Bisogna notare come questi valori cambiano in funzione del numero di veicoli che compongono il platoon, velocità, distanza e condizioni ambientali.

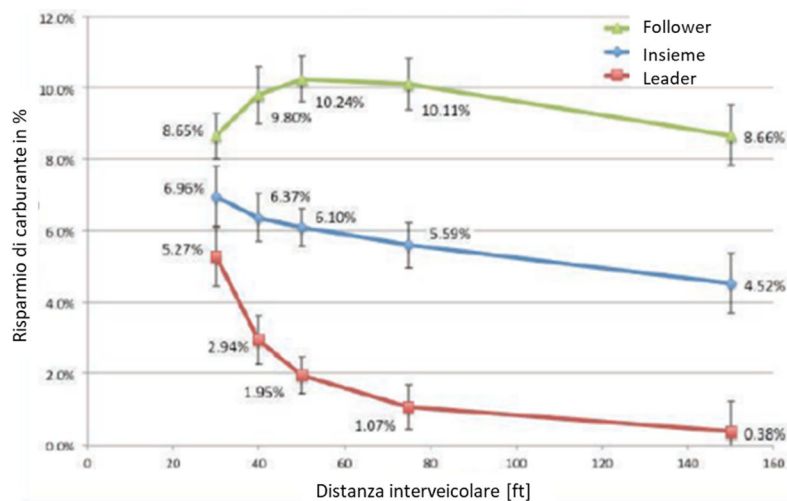


Figura 1.6 - Risparmio di carburante in funzione della distanza inter-veicolare [4]

Si osserva come la curva del risparmio di carburante del veicolo che segue non sia monotona, in funzione della distanza.

La maggior parte degli studi ha assunto una riduzione delle resistenze aerodinamiche del 10% anche se questo valore dipende dalla distanza, numero di veicoli e condizioni ambientali. Ciò che più incide è inoltre dalla posizione del camion nel platoon: il veicolo Leader riceve un beneficio minore rispetto a quelli che seguono. Anche il primo veicolo beneficia della formazione del platoon, anche se in parte minore, poiché si interrompe la zona di ricircolo nella parte posteriore; ad ogni modo è consigliabile che il primo veicolo sia quello con le migliori prestazioni aerodinamiche.

In un platoon di 3 veicoli il veicolo che si trova nel mezzo riceve il beneficio maggiore grazie alla diminuzione delle turbolenze sia nella parte anteriore che posteriore.

È necessario che i veicoli si scambino di posizione in modo che non ci siano disuguaglianze; questo potrebbe essere controllato dal Platooning Service Provider, il quale potrebbe occuparsi anche di comunicare al camion la velocità da tenere per raggiungere un'intersezione nello stesso istante di un altro veicolo disponibile per formare un platoon.

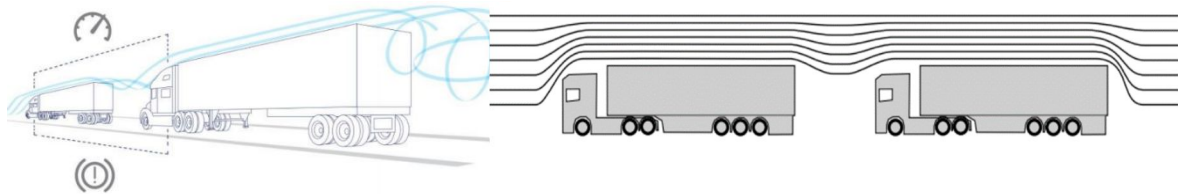


Figura 1.7 - Aerodinamica del platoon [4]

Un altro fattore da tenere in considerazione è l'effetto del non allineamento tra la traiettoria del veicolo guida e coloro che seguono. I veicoli trainati subiscono gli effetti peggiori: le superficie esposte vengono investite dal flusso indisturbato e quindi si generano pressioni asimmetriche; questo impatta negativamente sulle prestazioni aerodinamiche. È stato osservato come il tempo per il quale la distanza laterale è maggiore di 0,3 metri si riduce con il decrescere della distanza tra i veicoli: ciò suggerisce che il conducente, che è per ora ancora responsabile del controllo laterale, trova più facile seguire la traiettoria quando i veicoli sono più vicini.

Un risultato interessante è che una maggiore percentuale di veicoli che si muovono in platoon sembra migliorare anche il consumo di carburante degli altri veicoli esterni probabilmente grazie ad un minore numero di manovre di cambio corsia, con conseguenti minori accelerazioni e decelerazioni (poiché un veicolo può sorpassare più veicoli pesanti nella stessa manovra, piuttosto che singolarmente).

La manovra di formazione richiede l'accelerazione del veicolo, in modo da raggiungere il veicolo leader; al contrario per dissolvere il platoon è richiesta una decelerazione. L'intrusione di veicoli esterni (cut-ins) comporta decelerazioni e talvolta la dissoluzione del platoon con effetti negativi sul consumo di carburante.

- Aumento della massima capacità della corsia, fino a 4500 veicoli/ora.

Sarebbe un risultato importante, poiché si tratta di un sistema a basso costo che non richiede grandi modifiche dell'infrastruttura. Uno dei benefici più rilevanti, infatti, è la possibilità di implementare il sistema Truck Platooning senza grandi investimenti per adattare l'infrastruttura, anche se deve essere verificato che il tratto stradale percorso da un platoon sia effettivamente attrezzato per garantire la sicurezza di tutti gli utenti.

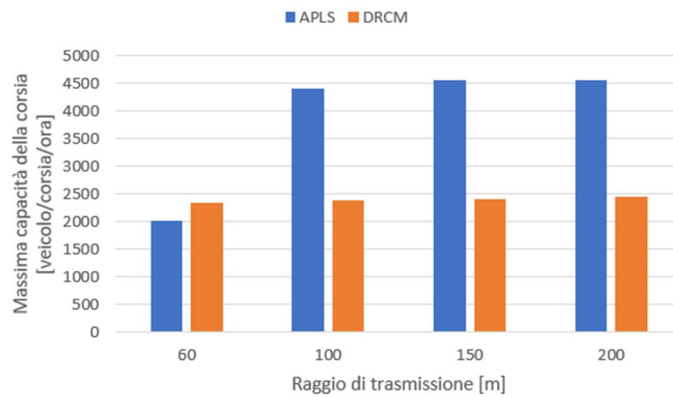


Figura 1.8 - massima capacità della corsia al variare del raggio di trasmissione [3]

- Mitigazione delle Shockwaves.

Nello studio di C.F. Caruntu et al. [6] emerge come il controllo della marcia longitudinale del veicolo in platoon sia utile per la mitigazione delle *stop-and-go waves*. Quando un veicolo cambia corsia e si interpone tra altri due, il conducente del veicolo che segue è istintivamente indotto a frenare; questa frenata si propaga a coloro che seguono fino a raggiungere un punto in cui il flusso sarà nullo. Questo meccanismo porta ad alcuni problemi in quanto, rispetto ad un flusso uniforme, si verifica un maggior rischio di incidente, un più alto consumo di carburante (e quindi costi di viaggio più alti), più inquinamento e maggior stress e discomfort sia per il guidatore che i passeggeri. Questo potrebbe essere mitigato usando AHS (Automated Highway System) il quale permette di sostituire il comportamento umano usando un dispositivo per i platoon di veicoli: i veicoli seguiranno i leader mantenendo la distanza di sicurezza. È chiaro come la marcia sia più regolare e che si potrebbero riscontrare molti vantaggi quali la riduzione del consumo di carburante, minor incidentalità e maggior capacità dell'infrastruttura.

- Efficienza del traffico.

Si riportano di seguito alcune domande alle quali viene data risposta nello studio di S. Agriesti et.al [4] e che, facendo riferimento a quanto già illustrato, possono aiutare a capire meglio l'interazione tra platoon e traffico circostante.

- Come le manovre di formazione del platoon impattano sul flusso di traffico? Come il traffico circostante impatta sulla manovra di formazione?

Per formare un platoon due veicoli pesanti devono trovarsi vicini e sulla stessa corsia; questo può essere ottenuto tramite accelerazione del veicolo Follower, mentre non è consigliabile che il veicolo Leader freni poiché andrebbe a creare un collo di bottiglia. Se la densità del traffico è elevata allora tra i due camion si possono trovare degli altri



veicoli ed è necessario aspettare che cambino corsia, cosicché il tempo di formazione aumenta.

- Come la manovra di sgancio impatta sul traffico circostante?

Lo sgancio può avvenire un veicolo alla volta oppure più veicoli possono decelerare allo stesso tempo, uno con decelerazione doppia rispetto all'altro. La decelerazione imposta ha un impatto sul traffico circostante: l'impatto aumenta al crescere della decelerazione. Le automobili che seguono i veicoli pesanti normalmente non mantengono una grande distanza di sicurezza dai veicoli pesanti a causa della ridotta velocità e in vista di un sorpasso; gli utenti non sono quindi pronti ad una decelerazione da parte del camion e quindi potrebbero frenare in modo brusco, generando una shockwave sul flusso di traffico.

- Come il platoon influenza i veicoli che si stanno per immettere dalla corsia di accelerazione?

Un platoon che si muove sulla prima corsia vicino alla rampa potrebbe impedire l'entrata di veicoli che potrebbero non trovare uno spazio disponibile per inserirsi, prima della fine della corsia di accelerazione. Se un veicolo si ferma sulla corsia di accelerazione causa una grande perturbazione sul flusso di traffico dal momento che deve inserirsi con una velocità molto bassa e gli altri veicoli potrebbero essere obbligati a frenare.

- Come il platoon influenza i veicoli che sono in approccio alla corsia di decelerazione?

Un platoon potrebbe rappresentare un 'muro di camion' per coloro che vogliono uscire dall'autostrada i quali potrebbero essere obbligati a decelerare in attesa di uno spazio disponibile

### 1.1.3 LIMITAZIONI

Di seguito verranno presentati alcuni aspetti critici sui quali è necessario focalizzarsi affinché il truck platooning possa svilupparsi a pieno.

I veicoli pesanti, a seconda del tonnellaggio con cui sono caricati, hanno capacità di frenata diverse. Per far fronte a ciò viene proposto di impostare come Leader il veicolo che ha meno capacità di frenata, oppure di limitare la sua forza frenante in modo che coincida con quella del veicolo meno performante. Lo stesso discorso vale per la capacità di accelerazione: se il veicolo-guida accelera

più dei veicoli che seguono la distanza inter-veicolare aumenta rendendo possibile l'inserimento di un veicolo esterno (manovra di cut-in) o la dissoluzione del platoon.

Riguardo la sicurezza dell'impianto tecnologico è necessario che il sistema operi in 'fail safe' e che ci sia una certa ridondanza tra i dispositivi elettronici. L'European Union General Safety Regulation 661/2009 impone che, dal 2015, i nuovi veicoli pesanti siano equipaggiati con i dispositivi Autonomous Emergency Braking e Lane Departure Warning System. Potrebbe accadere che avvenga un guasto tecnico per quanto concerne i sensori, gli attuatori, la comunicazione inter-veicolare o addirittura un attacco hacker alla rete di comunicazione. Si è provato quindi a stabilire un set di strumenti minimi, in modo da avere sempre una certa ridondanza. Ad esempio, si propone di installare due attuatori di frenata e due attuatori di sterzata, oppure l'utilizzo sia della comunicazione interveicolare tramite sia un segnale radio che con gli infrarossi, o addirittura con la comunicazione vocale.

Il livello di sicurezza del sistema è L2, secondo lo standard ISO 26262: ogni camion ha due canali di comunicazione che lavorano su differenti piattaforme, l'output dei due dispositivi viene confrontato e validato solo se le due informazioni sono sufficientemente simili. In realtà sarebbero necessarie tre piattaforme, per permettere al sistema di funzionare anche in caso se ne guastasse una.

Nel documento redatto da V. Liga et al. [7] vengono evidenziati alcuni problemi sia dal punto di vista ingegneristico che legale che si potrebbero presentare nel momento in cui il sistema platoon verrà implementato su una scala internazionale. La comunicazione verbale tra i conducenti potrebbe non essere applicabile in un panorama internazionale in quanto conducenti di nazionalità diverse potrebbero avere difficoltà nel capirsi, a causa della diversa lingua. È chiaro quindi che la comunicazione verbale dovrà essere sostituita con altri mezzi e soprattutto che la sicurezza e il mantenimento della formazione non possa dipendere da essa. Un'altra questione aperta in un'ottica di maggior diffusione nell'uso di questo sistema è come i conducenti possano riconoscere quali camion sulla strada fanno parte della formazione. Inoltre, un'ulteriore tema potrebbe essere se e come gli altri utenti della strada debbano essere informati della presenza di un platoon. Un punto aperto invece dal punto di vista giuridico potrebbe essere la definizione della responsabilità del conducente piuttosto che del sistema platoon qualora si dovesse verificare un incidente.

#### **1.1.4 INTERFACCIA UOMO – MACCHINA**

In un auspicabile scenario futuro in cui il platooning sarà parte integrante del sistema di trasporto su strada, i conducenti dovranno ricoprire molteplici ruoli: guidare sia come singolo individuo che come parte del platoon con entrambe le funzioni di veicolo Leader e di Veicolo Follower. Si può

presupporre che i conducenti si scambieranno frequentemente di posizione e assumeranno diversi ruoli durante uno stesso percorso. L'obiettivo è fare in modo che le transizioni tra le differenti attività richiedano un impegno minimo dal punto di vista cognitivo e che queste operazioni non rappresentino un elemento di criticità. Infatti, un aspetto fondamentale per l'adozione del sistema è la fiducia che il conducente ripone nel sistema stesso; è importante specificare come sia l'eccessivo affidamento che la scarsa fiducia nel sistema siano ugualmente pericolosi. È necessario che ogni autista sia cosciente di cosa il sistema può o non può fare e che l'esperienza non sia percepita come una minaccia al proprio lavoro. Inoltre, deve essere tenuto in considerazione che viaggiare con una ridotta distanza inter-veicolare comporta un angolo di visuale libera ridotto per i conducenti che seguono. Affinché il conducente si senta pienamente a suo agio e si affidi al sistema è necessaria un'ottima comunicazione uomo-macchina e che l'interfaccia tra i due sia chiara e efficace. Le più comuni informazioni che vengono comunicate dall'interfaccia sono:

- Sistema inserito/disinserito
- Informazioni inviate dal Road Side Unit, dal Traffic Control Center e dal Platooning Service Provider
- Messaggi tra camion
- Manovra di formazione del platoon

Nel documento redatto da V. Liga et al. [7] emerge il problema dell'interoperabilità: al fine di implementare il sistema truck platooning è necessario un approccio integrale multimarca. Per accelerare lo sviluppo di questa tecnologia l'Unione Europea ha istituito il progetto Ensemble con lo scopo di realizzare degli standard per l'interoperabilità tra camion e consentire l'armonizzazione dei quadri giuridici dei diversi stati membri.

Di questo testo ciò che risulta fondamentale ai fini dell'elaborato sono le interviste sottoposte a 20 camionisti che hanno guidato in condizioni di traffico reale: si è utilizzato un platoon composto da tre veicoli che si muovevano con una velocità di crociera tra 80 e 100 km/h e con una distanza temporale di circa 1 secondo. Da sottolineare come solo il controllo longitudinale fosse affidato al sistema mentre il conducente era ancora responsabile del controllo laterale, manualmente. Le dichiarazioni raccolte hanno riguardato le prime impressioni dei conducenti e spesso hanno evidenziato la loro scarsa familiarità con il concetto di "platoon": "Molto diverso da quello a cui si è abituato", "faceva paura all'inizio", "non sapevo se potessi fidarmi del sistema". In un secondo momento però i piloti si sono abituati alla guida in platoon riportando affermazioni come "mi sono abituato" oppure "ho visto che funzionava, il che mi ha fatto sentire sicuro".

Il fattore chiave per l'accettazione del sistema è proprio la fiducia, la quale si basa su tre elementi:

- La qualità del sistema stesso, che soddisfi le aspettative e funzioni come desiderato
- Il tempo e il chilometraggio in platoon
- Conoscenza degli altri conducenti presenti nella formazione, il modo in cui gestiscono situazioni di cut-in, cambi corsia e comunicazioni radio

Le situazioni riconosciute critiche dai piloti sono state:

- Cut-ins: talvolta si è verificato l'inserimento di auto ma anche alcuni camion non appartenenti alla formazione sono rimasti nel platoon, probabilmente per beneficiare dei vantaggi (risparmio di carburante).
- Entrate e Uscite di lunghezza limitata: difficoltà nel sincronizzarsi con altri veicoli che entravano nell'autostrada
- Ostacoli sulla corsia, non visibili ad un veicolo Follower; per questo il conducente del veicolo Leader utilizzava la comunicazione radio per allertare gli altri piloti.
- Traffico intenso, in quanto rende le situazioni già elencate ancora più critiche.

I conducenti avevano accesso alla comunicazione verbale via radio e questa è stata percepita come importante per la sicurezza del platoon e il mantenimento della sua formazione. Il conducente del veicolo Leader veniva informato su eventi come la presenza di veicoli lenti, code o ostacoli, mentre i conducenti dei veicoli Follower venivano informati riguardo a veicoli che sorpassavano il platoon, o cut-ins. Anche durante il giro di prova effettuato nel corso della trasferta di Trento (capitolo 3.1) si è potuto constatare che la comunicazione via radio è utilizzata molto frequentemente per informarsi a vicenda riguardo al percorso.

È necessario prendere consapevolezza però che la comunicazione verbale tra i conducenti potrebbe non essere fattibile in un sistema internazionale in quanto conducenti di nazionalità diverse potrebbero avere difficoltà nel capirsi, a causa della diversa lingua. È chiaro quindi che la comunicazione verbale dovrà essere sostituita con altri mezzi e che la sicurezza e il mantenimento della formazione non possa dipendere dalla comunicazione verbale tra i conducenti.

Vengono lasciate aperte anche domande legate agli effetti a lungo termine della guida in platoon, ad esempio:

- Accettazione e fiducia da parte dei conducenti e di altri utenti della strada nel tempo
- Conformità dei conducenti
- Uso improprio del plotone da parte dei conducenti, della gestione della flotta, di altri veicoli
- Attenzione del conducente, distrazione, affaticamento, attività non legate alla guida, ecc.

Si riporta un esempio dell'interfaccia uomo macchina riportata nel medesimo testo [7] del 2019, in cui si specifica come non sia ancora stata valutata e convalidata con prove su strada e quindi potrebbe avere bisogno di modifiche sia dal punto di vista tecnico che dell'uso da parte dell'utente. L'interfaccia è molto simile a quella utilizzata nel progetto C-Roads.

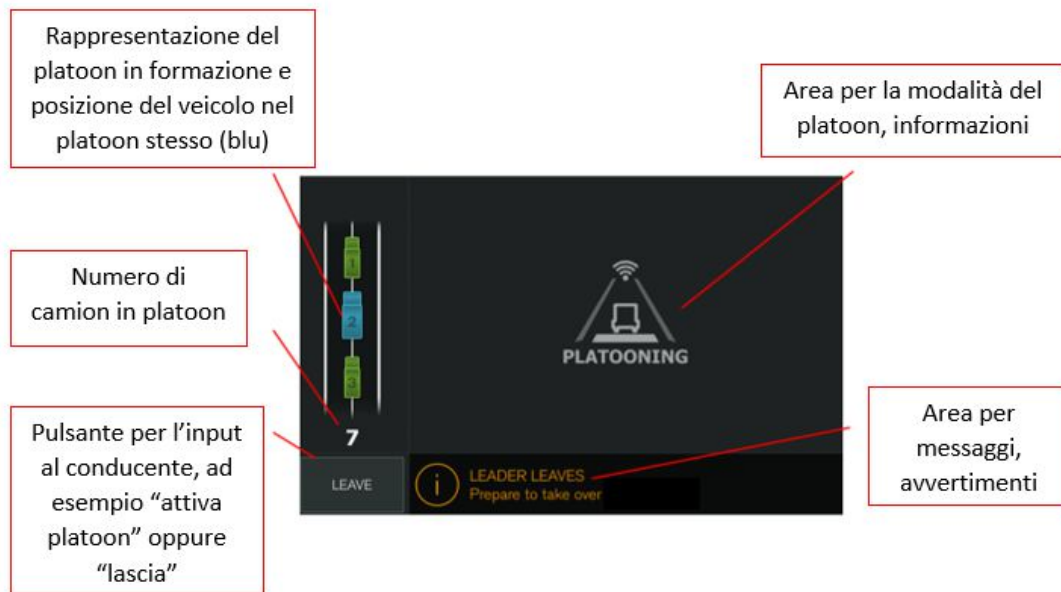


Figura 1.9 - Rappresentazione e spiegazione dell'interfaccia conducente-veicolo

L'interfaccia si occupa di acquisire degli input dall'utente e trasferirli al sistema e di restituire degli output che al contrario trasmettono le informazioni dal sistema al conducente. Di seguito si riporta un esempio riguardante l'atto di formazione del platoon. Gli input da parte del conducente sono:

- Controllo laterale manuale
- Attivazione dell'ACC (Adaptive Cruise Control), il quale attiva la modalità platoon.

Il conducente può attivare il platoon in ogni momento, sarà il sistema a determinare se e quando vengono rispettati i parametri necessari per la ricerca di altri veicoli disponibili.

Gli output restituiti dal sistema possono essere di diverso tipo, ad esempio: platoon attivato oppure la ricerca di altri camion disponibili per formare il platoon; quando viene rilevato un veicolo disponibile allora compare il messaggio "Engage/Join".



Figura 1.10 – Attivazione del platoon [7]

Il conducente può annullare il processo di formazione premendo il pulsante dedicato; in questo modo viene inattivato il sistema di controllo longitudinale.

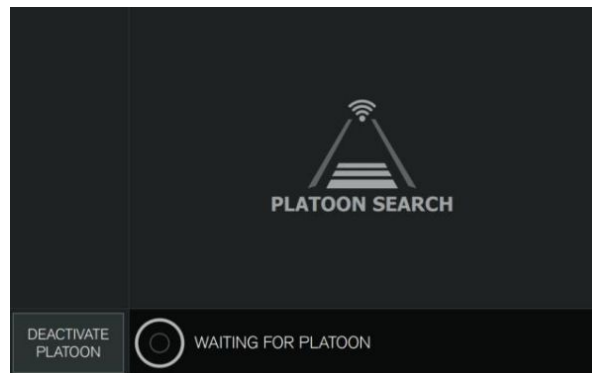


Figura 1.11 – Interruzione del platoon [7]

Il conducente viene informato della sua posizione nella formazione, sia tramite descrizione che con un colore differente (blu), e del numero di veicoli da cui è composto il platoon stesso, nei casi in esempio 7 e 3.

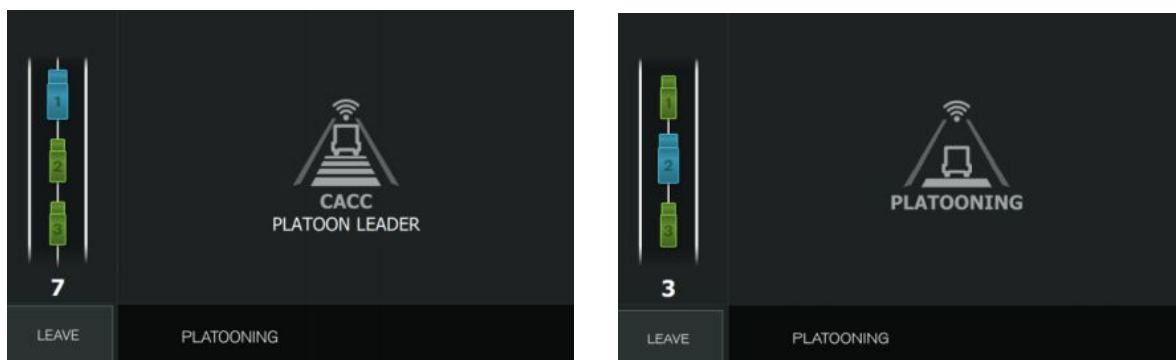


Figura 1.12 – Posizione del veicolo nel platoon [7]

Il conducente deve essere informato sulle procedure imminenti e in corso (Formazione, stato stazionario, cambi di velocità e gap, cut-ins, freno di emergenza, avvisi di sistema). Nell'esempio si riporta una situazione in cui è stata attivata la frenata di emergenza e quindi il platoon è stato

disattivato (infatti i veicoli sulla sinistra risultano opacizzati); il conducente può decidere se riattivare il platoon premendo il pulsante "Activate platoon".

Allo stesso modo il conducente viene informato riguardo alle ragioni delle modifiche di velocità e distanza interveicolare.



Figura 1.13 – Frenata di emergenza [7]

Nel documento redatto da S. Agriesti et al. [4] viene fornito un ulteriore esempio di interfaccia uomo-macchina: il dispositivo PlatoonPal, utilizzato nel progetto C-Roads. In particolare, è posizionato nel quadro strumenti dietro al volante. PlatoonPal supporta quattro fasi: connessione, guida in Platoon, intrusione di un veicolo esterno e sgancio. È importante che le informazioni mostrate siano essenziali, chiare e fornite al momento opportuno: troppe informazioni possono persino causare la percezione di mancanza di controllo. Il problema principale è che i partecipanti al platooning possono percepire una mancanza di fiducia nel conducente del veicolo Leader, nell'affidabilità della tecnologia, il tutto aggravato dal limitato campo visivo. L'obiettivo è quindi creare un senso di fiducia nell'automazione e ridurre il senso di paura dei conducenti mentre guidano con distanze ravvicinate.

Nello medesimo studio [4] il PlatoonPal è stato valutato attraverso l'uso di questionari sottoposti agli autisti dopo un reale test di guida. I risultati mostrano un incremento della consapevolezza della situazione tra gli autisti e reazioni veloci tra gli autisti. Un problema sorto durante i test riguarda la manovra di aggancio durante la quale il conducente ha la sensazione di perdere il controllo e, se nel punto di aggancio sono presenti più camion, non è facile distinguere il veicolo-guida.

### 1.1.5 ELEMENTI DI SICUREZZA

All'incirca il 15-20% degli incidenti stradali avviene a causa della stanchezza del conducente; quindi, dare una completa concessione all'automazione per i FV potrebbe ridurre la fatica e il carico di lavoro, mantenendo comunque elevata la produttività. La letteratura evidenzia chiaramente come il platoon porti ad una significativa riduzione del tasso di incidentalità ma è doveroso fare alcune considerazioni riguardo la sicurezza e il rischio, specialmente per quanto riguarda la robustezza del sistema.

Nel truck platooning la distanza inter-veicolare è ridotta di una quantità pari allo spazio percorso dal veicolo durante il tempo di reazione del conducente. Questo può essere raggiunto senza compromettere la sicurezza grazie al CACC ma il sistema può essere soggetto a guasti e/o ritardi nella comunicazione. Nel momento in cui il veicolo Leader debba far intervenire la frenata di emergenza il veicolo che segue frena anch'esso immediatamente per evitare la collisione: il criterio di sicurezza si basa sul fatto che il veicolo Follower non tamponi il precedente quando questo applica la massima frenata fino a fermarsi. Infatti, grazie al CACC se l'azione frenante del veicolo Leader fosse applicata nello stesso istante anche a coloro che seguono allora l'intervallo temporale rimarrebbe costante ma questo scenario è difficilmente realizzabile a causa dei ritardi di comunicazione. Si ricorda come sia necessario limitare la capacità di frenata in modo che sia pari a quella del veicolo meno performante; in ogni caso aumentare la distanza tra i veicoli potrebbe essere una misura di mitigazione, a favore di sicurezza. Poiché il tempo di risposta umano ad un eventuale guasto del CACC è molto maggiore rispetto alla risposta tecnologica, il conducente non può essere ritenuto responsabile del comportamento longitudinale del camion.

Gli indicatori di sicurezza sono:

- Accelerazione prevista del camion precedente
- Brake Threat Number (BTN): si basa sull'accelerazione prevista per evitare una collisione, assumendo per il veicolo che precede la peggiore azione frenante.
- Time to Collision (TTC): si basa invece sull'assunzione di velocità costante. Si calcola come il rapporto tra la distanza iniziale e la differenza di velocità tra i due veicoli.

Il primo richiede la comunicazione V2V mentre gli altri due si basano sui segnali di bordo. Alcuni test sono stati condotti in Belgio e in Olanda, dove è stato definito il tasso totale di guasto come la somma di falsi positivi (avvio del freno di emergenza quando non necessario) e falsi negativi (non avvio del freno di emergenza quando necessario). Per raggiungere il livello B, secondo lo standard ISO 26262, il tasso di guasto totale deve essere inferiore a  $4 \cdot 10^{-7}$  km. È risultato però che sia BTN



che TTC non sono in grado di distinguere tra situazioni minacciose o sicure e hanno fatto registrare un alto numero di falsi positivi.

Un minore intervallo temporale tra i veicoli corrisponde ad un maggiore risparmio di carburante ma ad un minore TTC, questo porta ad alcune considerazioni:

- L'intervallo temporale tra due veicoli pesanti senza CACC è tra 1,2 e 1,5 secondi, perciò, un intervallo maggiore di 1 secondo andrebbe a nullificare i benefici caratteristici del platooning.
- In alcuni Paesi europei una distanza temporale di 0,8 s non è sufficiente per evitare il cut-in
- Il numero di veicoli che compongono il platoon e l'intervallo tra essi va a determinare il tempo necessario affinché il platoon si dissolva.

In bibliografia, in particolare nello studio condotto da S. Agriesti et al. [4] i valori consolidati sono tra 0,5 e 1 secondi, in Italia IVECO ha pianificato di utilizzare un intervallo pari a 0,8 secondi.

Inoltre, è stato osservato come i tunnel rappresentino un punto critico poiché la probabilità di perdita del segnale aumenta leggermente; per poter far fronte ad un eventuale ritardo nella comunicazione è più sicuro aumentare leggermente la distanza tra i veicoli. Altri punti critici per il platooning sono rampe, rotonde, ponti. Dovrebbe inoltre essere anche approfondita la risposta dei guardrails rispetto allo scenario più critico.

È chiaro che il fattore umano gioca un ruolo fondamentale nella sfera della sicurezza. Un platoon di veicoli pesanti che viaggiano così vicini può generare paura negli altri utenti della strada, i quali tenderanno a mantenere una distanza maggiore o a eseguire una manovra di sorpasso in modo più prudente. Inoltre, anche i conducenti di camion non equipaggiati per il Truck Platoon potrebbero essere bendisposti nell'accodarsi alla formazione incrementando la sua lunghezza e i rischi associati; al contrario altri conducenti potrebbero trovare la velocità di 80 km/h troppo restrittiva e sorpassare il platoon: si tratterebbe di una manovra che richiede parecchio tempo e potrebbe ostacolare il flusso di traffico. Segnalare la presenza di un platoon potrebbe aiutare gli altri utenti della strada a identificare chiaramente la situazione e a prendere decisioni in modo più sicuro ed efficiente. I conducenti che sono parte del platoon devono cedere la loro autorità al veicolo guida, quindi, è importante che il passaggio del controllo non sia percepito come una minaccia ma al contrario ci sia un buon livello di fiducia. Essere parte di un platoon significa che il controllo longitudinale non è più affidato ai singoli conducenti, che quindi dovranno trovare accettabile la velocità mantenuta e percepire le manovre come sicure ed efficienti. Una ridotta distanza può indurre nel conducente un senso di discomfort o addirittura di pericolo. Questo potrebbe ridurre il

livello di accettazione da parte dell'utente, ostacolando fortemente la diffusione del sistema. È importante che il sistema sia percepito come confortevole e sicuro specialmente dagli autisti più esperti poiché potrebbero avere più fiducia in se stessi che non nell'automazione. Il conducente non deve percepire il sistema come una minaccia ma al contrario deve essere motivato nello sfruttare le sue potenzialità: un'ottima comprensione del funzionamento del sistema dovrebbe portare ad una migliore consapevolezza, che si tradurrebbe in un maggiore livello di accettazione. L'autista dovrebbe essere sempre consapevole dell'inserimento o meno del sistema e anche rimanere cosciente riguardo al traffico che lo circonda: tutti e due questi temi possono essere risolti grazie all'interfaccia uomo-macchina o tramite segnali acustici.

Nel progetto SARTRE, illustrato nell'elaborato [4], il quale considera platoon composti sia da automobili che da camion, il fattore umano in guida semi-automatica viene analizzato. Oltre all'accettazione e al comfort, gli altri problemi identificati sono il livello di consapevolezza, di carico mentale e la transizione tra il regime di guida normale e quello autonoma-automatizzata e viceversa. Da analizzare anche la prontezza del conducente nel reagire alle carenze del sistema. Se le manovre programmate dagli utenti (ad esempio lo sgancio dal platoon) dovrebbero essere meno critiche dal punto di vista della sicurezza, al contrario un guasto nel sistema richiede tempi di reazione irraggiungibili da un conducente distratto, specialmente per una distanza di sicurezza ridotta. In questa situazione l'interfaccia potrebbe aiutare l'autista nel riprendere il controllo.

Alcune prove sono state eseguite al simulatore per indagare sia lo stato psico-fisico di un conducente in prossimità di un platoon che l'opinione di un autista in Platoon. Il sistema infatti deve essere accettato sia dai conducenti in platoon ma anche dagli altri autisti che si troveranno ad interagire con esso. Lo studio è stato effettuato con una distanza inter-veicolare variabile: per distanze minori di 16,9 metri i conducenti percepiscono un disagio mentre per distanze minori di 7,5 metri gli autisti avvertono un pericolo. Il 73% dei conducenti ha dichiarato che una distanza di 10 metri potrebbe essere adeguata; questa percentuale scende a 54,55% per una distanza di 7,5 m.

## 1.2 MONITORAGGIO DEL LIVELLO DI STRESS

Lo stress è uno sgradevole stato mentale che può provocare incidenti stradali e di conseguenza un elevato numero di feriti e morti ogni anno; indagare il livello di stress del conducente è fondamentale per ridurre il rischio di incidenti e aumentare la sicurezza.

Nello studio condotto da L. Wang et al. [8]. Il livello di stress può essere monitorato in diversi modi: analizzando alcuni parametri fisiologici oppure sottoponendo al conducente del veicolo un questionario. Un'altra suddivisione che si può fare è tra i metodi basati sul contatto (ECG, conduttanza della pelle) oppure senza contatto (movimento degli occhi indagato tramite una videoregistrazione). Nello stesso studio i piloti sono stati sottoposti a ECG e EEG durante una sessione di prova su strada; questo ha permesso di classificare la fatica secondo 4 livelli: allarme, affaticamento lieve, affaticamento profondo e sonnolenza.

Al contrario, nello studio condotto da W. S. Helton [9] viene proposto un *Short Stress State Questionnaire (SSSQ)* basato sul *Dundee Stress State Questionnaire (DSSQ)*. Questo perché al momento il DSSQ è composto da 90 domande da sottoporre sia prima della prova che in seguito e quindi il suo utilizzo in esperimenti pratici risulta complicato. Il campione utilizzato per validare il test è stato un gruppo di studenti, posti di fronte ad un esame decisivo per la carriera universitaria: coloro che sostengono il test 3 potranno ripetere la prova, mentre il test 4 è l'ultima possibilità. L'analisi ha differenziato tre aspetti dello stress soggettivo: coinvolgimento nelle attività, angoscia e preoccupazione. I partecipanti del test 4, consci di non avere una seconda possibilità, hanno provato più apprensione rispetto a coloro che hanno sostenuto il test 3.

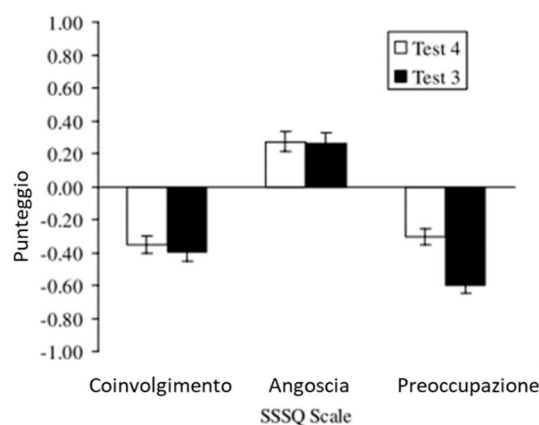


Figura 1.14 - Cambiamento nei punteggi SSSQ per le condizioni del test 4 e test 3 [9]

Ad oggi esistono centinaia di studi nei quali viene dimostrata la correlazione tra alcuni parametri fisiologici e il livello di stress al quale la persona, o più nello specifico il guidatore, è sottoposta.

Un importante parametro per conoscere lo stato di stress del guidatore è HVR (Heart Rate Variability) e per monitorarlo in modo ottimale bisognerebbe eseguire un elettrocardiogramma. Uno studio condotto dal Massachusetts Institute of Technology [10] ha dimostrato che la *fotoplethysmografia (PPG)*, usando una fonte luminosa, rappresenta una valida alternativa, a basso costo e non invasiva, per misurare l'HVR. Per validare questo metodo è stata utilizzata anche una telecamera posizionata a 3 m dal soggetto. Durante la prima fase dell'esperimento si è monitorato il partecipante in una condizione di riposo mentre, nella seconda fase, è stato chiesto di svolgere delle operazioni aritmetiche, incrementando così il carico mentale. Il 90% dei partecipanti ha riscontrato una frequenza respiratoria maggiore durante lo stato di stress rispetto alla condizione di riposo. Anche la correlazione tra il livello di stress e un alto rapporto LF/HF è evidente.

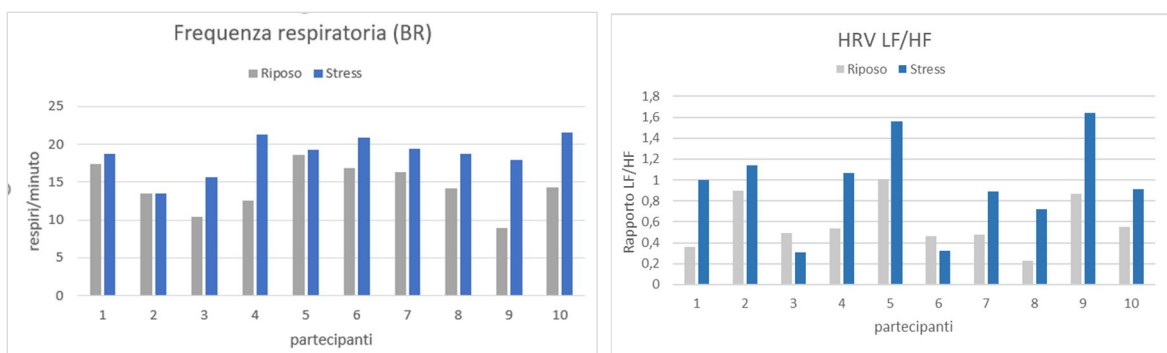


Figura 1.15 - confronto dei parametri fisiologici misurati per ogni partecipante, b) frequenza respiratoria d) HRV LF/HF [10]

In ultimo, nello studio condotto da M.N. Rastgoo et al. [11] viene proposta una classificazione del livello di stress del conducente usando un modello *'multimodal deep learning'*. Questo metodo si differenzia principalmente per l'uso contemporaneo degli input provenienti dai sensori fisiologici (ECG), dal veicolo (sterzo, pedale del freno e acceleratore) e dall'ambiente (distanza tra i veicoli, numero di corsie, visibilità). 27 partecipanti hanno guidato ad un simulatore, con diversi scenari durante i quali è stato chiesto di rispondere ad un questionario riguardo al livello di stress percepito (basso, medio e alto). Tra i fattori di stress si hanno il traffico, la configurazione plano-altimetrica del tracciato (presenza di curve), il comportamento degli altri piloti (sorpasso) e le condizioni ambientali. Sicuramente si riesce ad ottenere un modello più dettagliato ed efficiente ma meno semplice da calibrare e gestire.

### 1.2.1 PROVE SU STRADA

Molto spesso i parametri fisiologici vengono valutati in una situazione protetta, usando un simulatore, mentre solo in casi più sporadici si è effettuata una prova su strada. Nello studio condotto da J.A Healey e R.W.Picard [12] sono presentati dei metodi per analizzare i parametri fisiologici di un guidatore, in modo da determinare il livello di stress.

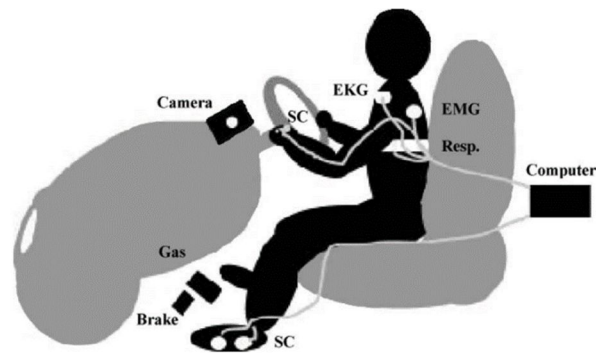


Figura 1.16 - il soggetto indossa 5 sensori: un elettrocardiogramma sul petto, un'elettromiografia sulla spalla sinistra, sensore dell'espansione della cassa toracica e due sensori di conduttività della pelle, uno sulla mano e l'altro sul piede sinistro. I sensori sono collegati ad un computer nel retro del veicolo [12]

Sono state eseguite alcune prove sulle strade di Boston in cui sono state registrati l'elettrocardiogramma, l'elettromiografia, la conduttività della pelle e la respirazione. In particolare, è stato dimostrato come la conduttività e la frequenza cardiaca siano i parametri più strettamente legati allo stress. Contemporaneamente si è proceduto anche con un filmato.

La registrazione dei parametri è avvenuta durante un periodo di riposo, in città e in autostrada in modo da indurre rispettivamente un basso, medio e alto livello di stress. Guidare in città risulta essere più stressante in quanto si hanno continue fermate/ripartenze e l'interazione con le utenze deboli.

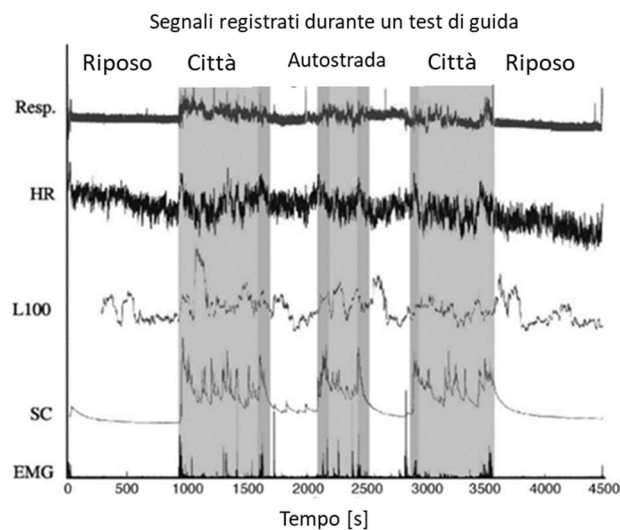


Figura 1.17 - illustrazione dei parametri fisiologici registrati: respirazione, frequenza cardiaca, conduttività della pelle ed elettromiografia [12]

Per validare questa analisi ci si è appoggiati all'uso di questionari, calibrati su due scale diverse:

- 'Free Scale': è stato chiesto al conducente di valutare gli eventi su una scala da 1 (no stress)

a 5 (alto livello di stress).

- 'Forced-Scale': è stato chiesto di classificare gli eventi su una scala da 1 (per l'evento meno stressante) a 7.

In un secondo momento è stato sviluppato un algoritmo in grado di riconoscere il livello di stress.

Di seguito è riportata una matrice dalla quale si può osservare l'affidabilità del metodo.

Riconosciuto come	Risultati del riconoscimento etichettati come:			Tasso
	Basso	Medio	Alto	
Basso	36	0	0	100 %
Medio	0	36	1	94.7 %
Alto	0	2	37	97.4 %

Tabella 1.1 - matrice di correlazione tra i risultati dei parametri fisiologici e il questionario [12]

Anche nello studio condotto da G. Rigas et al. [13] è stata eseguita una reale prova su strada, in modo da stimare il livello di stress nel guidatore prodotto da alcuni specifici eventi. Oltre ai sensori, è stata usata una registrazione video e un'auto-valutazione del livello di stress da parte del conducente (basso, medio, alto). È stato evidenziato uno sfasamento temporale tra l'istante in cui si verifica l'evento e il cambiamento dei parametri fisiologici (in particolare ECG e EDA (Electrodermal Activity)).

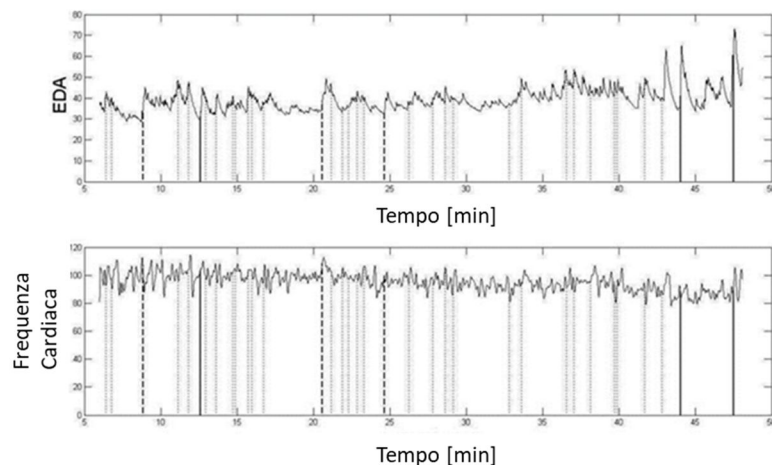


Figura 1.18 - EDA e frequenza cardiaca durante un test di guida. La linea punteggiata corrisponde a un basso livello di stress, quella tratteggiata a un livello medio e quella continua ad uno alto. [13]

Due prove fondamentali sono state eseguite nelle città di Genova da S. De Nadai et al. [14] e di Milano da L. Studer et al. [15]. Grazie all'uso di t-shirt equipaggiate con alcuni sensori è stato possibile registrare il parametro LF/HF, ovvero il rapporto tra basse e alte frequenze, e localizzarle sulla mappa. In particolare, il rosso corrisponde ad alti livelli di LF/HF e perciò si può dedurre come un incremento del parametro LF/HF è frequente in aree come incroci, semafori o attraversamenti.

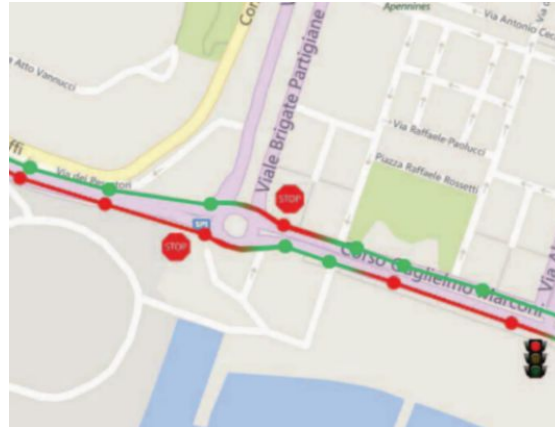


Figura 1.19 - esempio di punto di interesse [14]

Nell'articolo curato da L. Studer et al. [15] l'analisi dei parametri fisiologici è stata affiancata alla geolocalizzazione degli eventi incidentali forniti da AMAT. Per quanto riguarda i picchi di stress si sono ritenuti validi solamente quelli individuati contemporaneamente dall'analisi di LF e GSR, in modo da minimizzare gli errori dovuti alla strumentazione. Il risultato di questo confronto è stata una matrice, in cui le percentuali maggiori si trovano sulla diagonale: uno stato di stress psicofisico corrisponde ad un alto tasso di incidenti, mentre uno stato rilassato del conducente corrisponde ad un tasso di incidentalità basso.

		Tasso di incidentalità			
		Alto	Medio - alto	Medio - alto	Basso
Stato psicofisico	Stress	38.67%	20.99%	18.78%	21.55%
	Stress-neutro	20.62%	30.93%	21.65%	26.80%
	Neutro-relax	20.33%	24.39%	30.89%	24.39%
	Relax	14.29%	18.37%	26.53%	40.82%

Tabella 1.2 - matrice di correlazione tra stato psicofisico e tasso di incidentalità [15]

Dividendo il percorso in sezioni omogenee si è riscontrato come delle 15 sezioni con un maggior livello di stress, l'80% erano state rilevate come punti ad alto tasso di incidentalità dimostrando così l'affidabilità del metodo.



Figura 1.20 - esempio. Gli incidenti sono identificati in rosso, i punti di stress in blu. (elaborazione QGIS su Google Maps) [15]

Nella città di Porto è stata condotta uno studio per indagare lo stress dei conducenti dei bus per il servizio pubblico [16]. Essi sono esposti a diverse fonti di stress, dall'ambiente fisico (rumore, condizioni atmosferiche e traffico) alla responsabilità per la sicurezza dei passeggeri e il controllo dei biglietti. Utilizzando Google Earth è stato georeferenziato il profilo di velocità, rappresentato dall'altezza della linea gialla, mentre le ellissi rappresentano dei punti in cui si è verificato un potenziale evento stressante.

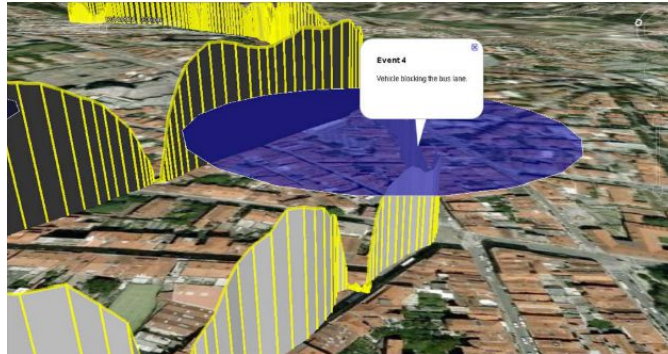


Figura 1.21 - rappresentazione di un evento di stress in Google Earth; l'altezza delle tracce corrisponde alla velocità del bus [16]

Processati i dati, per ogni ellisse è stato chiesto al conducente di ricordare il luogo e l'evento e valutare l'intensità dello stress in modo da poterlo associare ai dati fisiologici (dall'ECG utilizzando il software Physionet si è ottenuto HRV e LF). È stato però riscontrato una forte correlazione tra gli anni di esperienza e la variazione dei parametri: gli autisti più esperti hanno infatti una risposta minore alle fonti di stress. Le sorgenti di stress più riportate sono associate al comportamento degli altri piloti o dei pedoni ma anche a strade particolarmente strette o incroci/attraversamenti con visibilità scarsa.

### 1.2.2 GUIDA AUTOMATICA AL SIMULATORE

Con il diffondersi di nuove tecnologie sempre più all'avanguardia e l'arrivo di strumenti di assistenza alla guida sulla maggior parte dei veicoli, alcuni studi hanno deciso di indagare il carico mentale, la fiducia e l'accettazione degli utenti nei confronti di alcuni strumenti di supporto alla condotta: l'Adaptive Cruise Control (ACC) e Congestion Assistant.

L'ACC è in grado di mantenere una velocità di crociera prestabilita e di ridurla nel momento in cui, sulla stessa corsia, ci si avvicina ad un altro veicolo che viaggia a velocità minore, mantenendo così la distanza di sicurezza. Sono stati registrati però alcuni problemi ad esempio riguardanti l'identificazione di motorini o biciclette e anche un possibile malfunzionamento della frenata di emergenza in situazioni di *cut-in* improvvise. L'ACC non può gestire tutte le situazioni ed è



necessario che l'autista assuma il controllo manuale del veicolo. Per usare questo strumento in modo sicuro è fondamentale che il conducente sia a conoscenza delle limitazioni e impari come affrontare le diverse circostanze. L'uso concreto di questo sistema dipende dalla fiducia, in particolare nel momento in cui l'automazione fallisce. Nello studio condotto da M. Beggiato [17] è stato osservato come l'esperienza migliori la fiducia secondo una curva non lineare:

$$Performance = a + bN^c$$

dove  $N$  è la sessione di prova al simulatore,  $a$  l'asintoto,  $b$  la differenza tra performance iniziale e l'asintoto,  $c$  la curvatura (ovvero il tasso di apprendimento).

Durante la prima sessione i partecipanti hanno guidato senza l'uso dell'ACC in modo da familiarizzare con il simulatore; la decisione di usare il sistema è spettata interamente ai partecipanti, nel momento in cui si sono sentiti sufficientemente sicuri e a proprio agio. Prima di iniziare e alla fine di ogni sessione, i partecipanti hanno compilato un questionario in cui venivano sottoposte 12 affermazioni a cui rispondere con una scala da 1 (completamente disaccordo) a 7 (totalmente d'accordo).

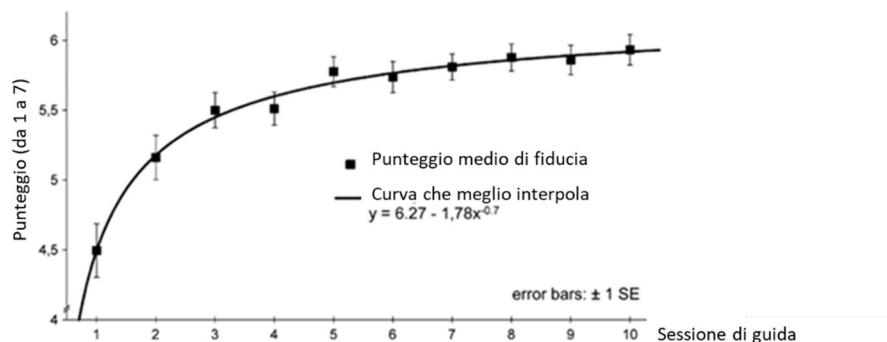


Figura 1.22 - sviluppo della fiducia nell'ACC [17]

Anche l'accettazione e l'apprendimento hanno una forma simile a questa curva: il primo tratto risulta però più ripido e rimane poi stabile per le sessioni rimanenti.

Gli stessi autori, nel testo [18] hanno indagato la fiducia e l'accettazione in 3 diverse situazioni:

- Gruppo 1: hanno ricevuto una corretta descrizione di ACC
- Gruppo 2: hanno ricevuto una descrizione incompleta, idealizzando lo strumento e omettendo i limiti
- Gruppo 3: hanno ricevuto una descrizione non corretta, includendo anche problemi non realmente riscontrati.

Anche in questo caso l'indagine è stata condotta sottoponendo ai partecipanti un questionario, prima e dopo ogni sessione di guida.

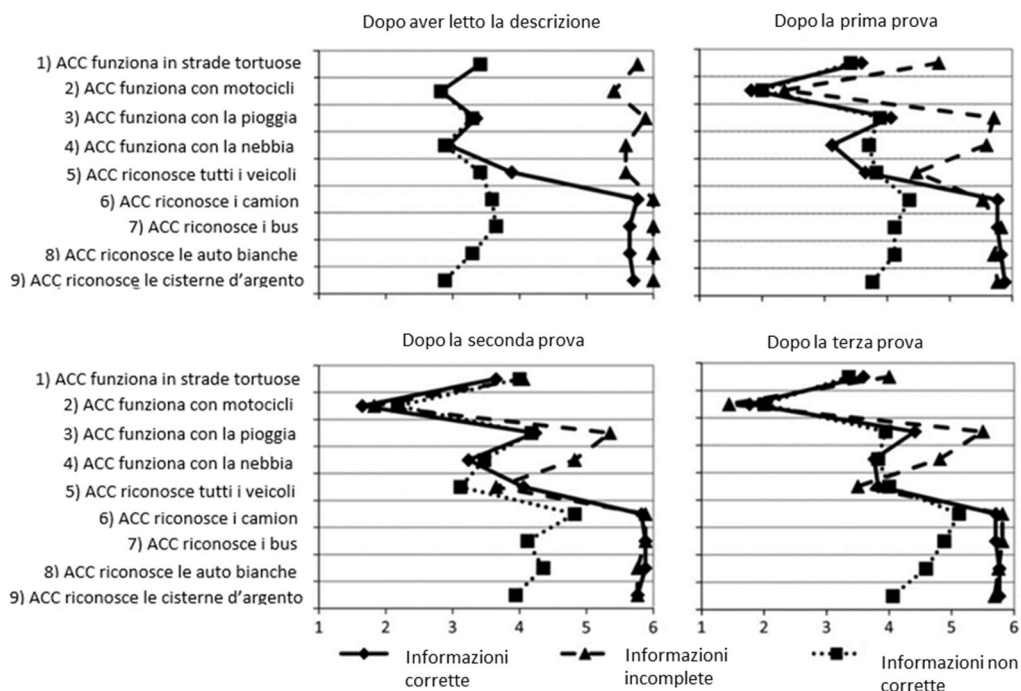


Figura 1.23 - sviluppo del modello mentale quando si usa l'ACC (1=totalmente in disaccordo, 6=totalmente d'accordo) [18]

La prima immagine mostra la differenza di valutazione delle affermazioni 1-5 per coloro che hanno ricevuto informazioni incomplete dagli altri due gruppi: essi non sono a conoscenza dei problemi legati ad un tracciato tortuoso piuttosto che a scarse condizioni di visibilità. Nelle affermazioni 6-9 è netta la differenza tra coloro che hanno ricevuto informazioni non corrette: essi credono ad esempio che l'ACC non riesca a identificare i veicoli bianchi a causa della riflessione dei raggi. Dopo aver completato le prove al simulatore le curve sono traslate avvicinandosi alla valutazione del gruppo 1: ad esempio il gruppo 2 ha preso consapevolezza dei problemi con le curve e i motociclisti. La figura 1.24 mostra come il gruppo 3 parta da un livello di fiducia più basso, ma si può osservare una rapida crescita. Al contrario il gruppo 2 parte da un livello di fiducia maggiore ma poi diminuisce. Si può quindi concludere che coloro che hanno ricevuto le informazioni corrette tendono ad avere più fiducia, grazie alla corrispondenza tra informazioni e realtà. Gli errori del sistema non influiscono negativamente sulla fiducia, purché siano noti in anticipo.

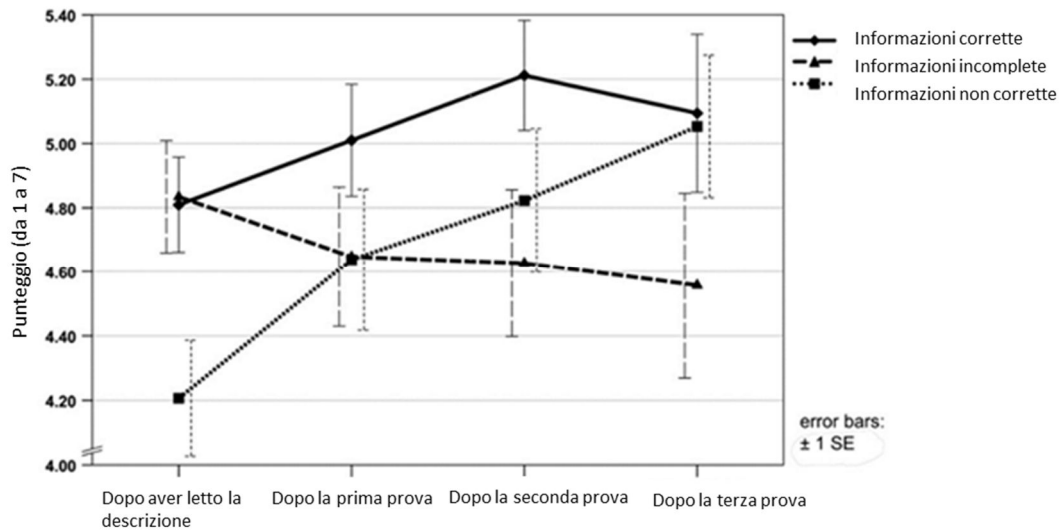


Figura 1.24 - sviluppo della fiducia nell'ACC [18]

Lo studio condotto da L. A. Brookhuis et al. [19] è finalizzato ad investigare gli effetti del Congestion Assistant sul comportamento, sul carico mentale e sull'accettazione da parte del conducente. I partecipanti hanno condotto delle simulazioni di guida usando questo sistema in diverse condizioni di visibilità (sereno o nebbia). Al fine di misurare il carico mentale si sono valutati dei parametri fisiologici (ECG) ed è stato proposto un questionario in cui l'autista doveva esprimere la propria sensazione da 'nessun sforzo' a 'sforzo estremo'. Il carico mentale si è rivelato minore rispetto a quando il sistema non viene usato, ma solo nella situazione di congestione. Sulle ordinate è rappresentato il parametro IBI (inter-beat-interval): è inversamente proporzionale ad HR (Heart Rate); perciò, un più alto IBI rappresenta un HR minore.

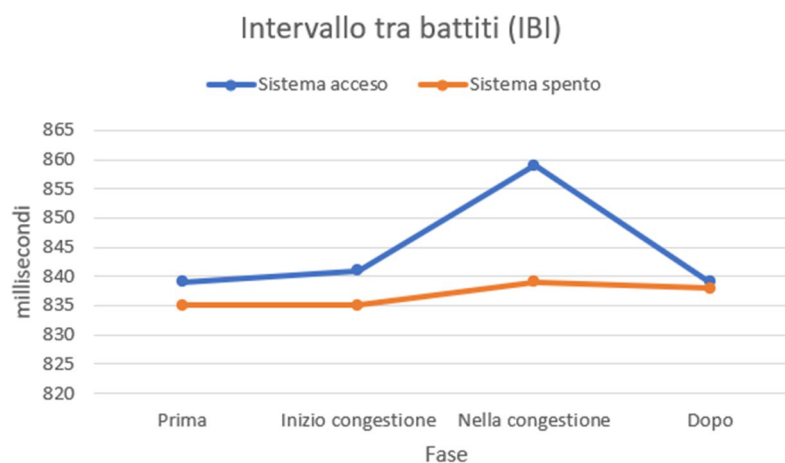


Figura 1.25 - Inter-Beat-Interval in funzione del 'sistema' e della 'fase' [19]

Per quanto riguarda i risultati dei questionari la maggior differenza nel carico percepito si è verificata nel caso di nebbia.

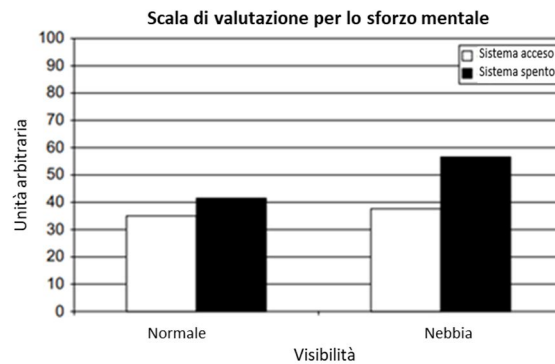


Figura 1.26 - Rating Scale Mental Effort in funzione di 'visibilità' e del 'sistema' [19]

Anche l'accettazione da parte dell'utente risulta piuttosto elevata, addirittura incrementata dopo il test di guida.

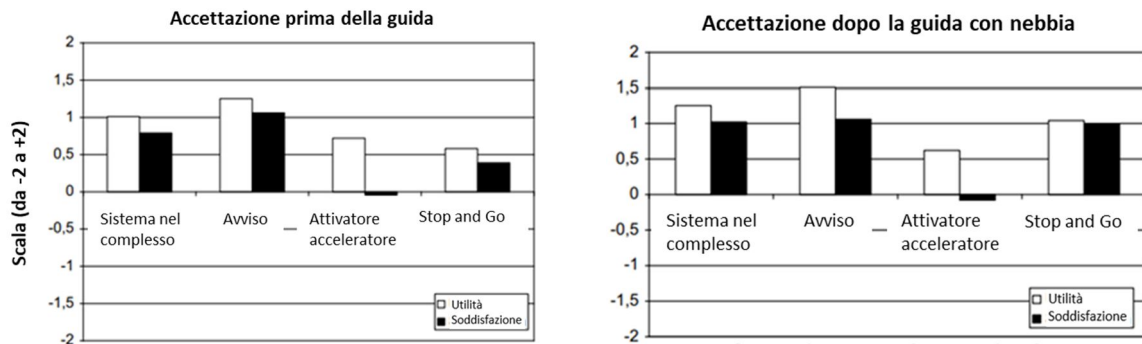


Figura 1.27 - Accettazione verso il Congestion Assistant (in generale e in tre funzioni specifiche) [19]

Numerosi studi hanno indagato il cambiamento della fiducia del conducente nel veicolo in regime di guida autonoma ma sarebbe interessante capire le condizioni del guidatore in una situazione di *truck platooning*. Infatti, il livello di fiducia influenza l'interazione tra veicolo e conducente: l'autista tende ad usare l'automazione solo se ne ha piena fiducia, altrimenti la rigetta. Bisogna notare come non è da indagare solo il livello di stress del pilota ma è necessario anche valutare il rischio di sottocarico mentale e di sonnolenza. Si pensa che nonostante il regime di guida autonoma sia un'esperienza 'senza sforzo', il pilota sia sotto pressione perché è necessario che rimanga vigile al fine di intervenire in ogni momento. Si potrebbe obiettare che se il conducente è impegnato nell'uso dello smartphone o nella lettura, sarà impossibilitato nel reagire in tempo nel caso in cui si verifichi un'emergenza, compromettendo così la sicurezza. Il livello di stress, come ampiamente illustrato precedentemente, può essere indagato usando dei questionari oppure degli indicatori fisiologici. Nello studio condotto da S. Sheng et al. [20] è stata individuata una variabile dipendente (fiducia) e tre variabili indipendenti: tipo di allarme, condizioni meteo e modalità di guida (semi-automatico o completamente autonomo). Per indagare le situazioni di guida autonoma o platooning si sono usati degli avanzati simulatori di guida, in quanto ambiente protetto.

Nello studio condotto da D. D. Heikoop et al. [21] infatti 22 partecipanti hanno usato un simulatore di guida così da trovarsi in un ambiente sicuro e in condizioni di traffico uguali per tutti. Sono state eseguite delle sessioni da 40 minuti in condizioni di platoon a velocità costante. In particolare, i partecipanti si trovano nella terza macchina all'interno di un platoon composto da 5 veicoli.



Figura 1.28 - Simulatore di guida dell'università di Southampton durante un esperimento [21]

Inoltre, sono state proposte tre diverse condizioni:

- No Task: i partecipanti devono monitorare la strada
- Voluntary Task: i partecipanti possono fare quello che preferiscono
- Detection Task: i partecipanti devono individuare delle macchine rosse.

Ci si aspetterebbe che la condizione DT porti ad un livello di stress e di carico mentale massimo, mentre VT ad uno minimo. Il livello di stress è stato indagato con il questionario DSSQ e, in un secondo momento, con misure cardiovascolari: nello studio condotto da A. Arza et al. [22] è stato infatti provato come la variazione della frequenza cardiaca sia un indicatore del carico mentale. In aggiunta è stato anche usato uno strumento in grado di determinare la percentuale di chiusura degli occhi come indicatore del coinvolgimento nell'attività. Il questionario DSSQ ha indicato che la guida in *platooning* risulta essere meno stressante in un regime di Voluntary Task piuttosto che le altre due condizioni. In accordo con questo, i parametri fisiologici hanno evidenziato un rapporto LF/HF minore in regime di *Voluntary Task* rispetto alla condizione di *Detection Task*. In conclusione, si può affermare che i partecipanti sono stati in grado di mantenere l'attenzione in modo prolungato e che lo stato psicologico del guidatore è intrinsecamente influenzato dal monitoraggio richiesto.

Inoltre, D.D. Heikoop et al. [23] hanno voluto indagare il cambiamento nella consapevolezza della situazione quando il conducente viene sottoposto ad un'attività mentalmente impegnativa; è stato chiesto ai conducenti uno sforzo di memorizzazione di una lettera dell'alfabeto.

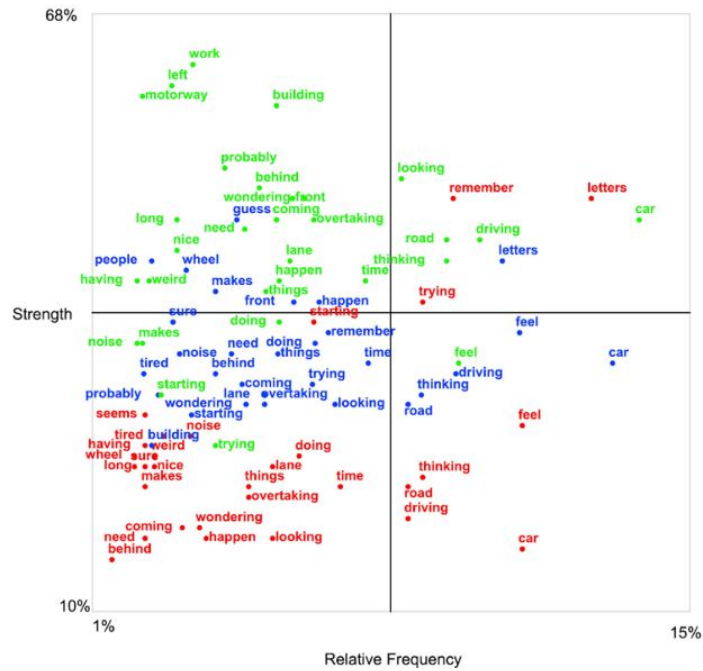


Figura 1.29 - quadrante raffigurante l'analisi verbale con Leximancer for ognuna delle tre condizioni. Verde: Low Task Demand, blu: Medium Task Demand, Rosso: High Task Demand [23]

Le affermazioni riguardanti il ricordo delle lettere sono state forti e più frequenti durante MDT (Medium Task Demand) e HTD (High Task Demand), mentre le affermazioni riguardo l'ambiente circostante sono state più frequenti nella situazione LTD (Low Task Demand). In generale i conducenti, con l'aumento del carico mentale, hanno rilasciato meno dichiarazioni: potrebbe essere causato dall'impegno nella memorizzazione delle lettere. Poiché le dichiarazioni relative alla guida (veicolo, strada) sono state prevalenti nella condizione di LTD, si può concludere quindi che, nonostante il dialogo combatta la sonnolenza, non avere ulteriori richieste di attività è meglio al fine di mantenere la consapevolezza della situazione. Si suggerisce di richiedere al conducente almeno un certo livello di domanda mentale (ad esempio, quello stimato nella condizione MTD), al fine di mantenere un livello elevato di consapevolezza della situazione. Durante la condizione MTD, i partecipanti hanno rilasciato dichiarazioni riguardanti 'indovinare' e 'ricordare' accanto a dichiarazioni riguardanti la guida; questo è indice di un buon equilibrio. Ciò suggerisce che non solo il tipo di attività, ma anche il tempo per il quale perdura, dovrebbero avere un ruolo nella futura ricerca; vengono inoltre suggeriti esperimenti in *platooning* su strada in cui i conducenti devono riprendere il controllo manuale.

In generale si può affermare che da un lato esiste il rischio di sonnolenza e sotto-carico mentale ma probabilmente l'autista è sotto pressione poiché è richiesto che rimanga vigile al fine di intervenire in ogni momento.

Per migliorare il comfort di guida è importante individuare il momento in cui il conducente avverte un senso di pericolo. Il preambolo fondamentale ai dati dello studio condotto da H. Nakamura et al. [24] è che per motivi di sicurezza, un simulatore di guida è preferito al traffico reale in esperimenti in situazioni pericolose; tuttavia, così facendo, non viene realmente ricercato in che misura i conducenti sperimentano un senso di pericolo. Il parametro fisiologico preso in considerazione è la sudorazione emotiva: la sudorazione sui palmi delle mani e piedi, infatti, aumenta quando si percepisce un pericolo. Inoltre, è stato introdotto l'indicatore TTC (Time To Collision) e iTTC, ovvero il suo inverso, il quale è anche inversamente proporzionale all'angolo di visuale libera.

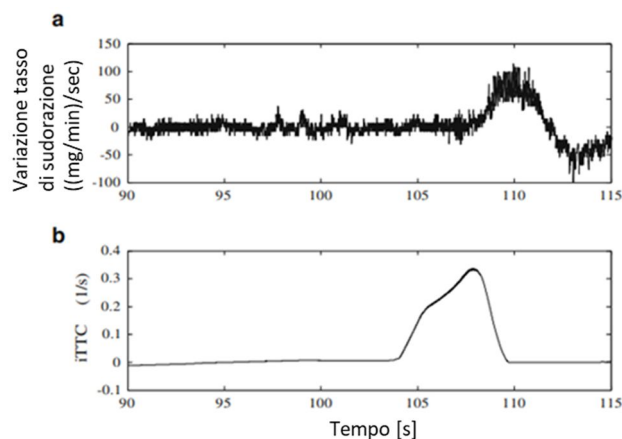


Figura 1.30 - a) rappresenta il cambiamento nel tasso di sudorazione, b) iTTC [24]

È stato dimostrato come il 78% dei soggetti ha provato paura nel momento in cui il veicolo precedente ha frenato.

Nello stesso articolo è stato riportato un secondo esperimento in un platoon di due veicoli e in assenza di traffico. L'esperimento è stato condotto in modo da mantenere la distanza tra i due camion costante: i grafici in figura 1.31 fanno riferimento ad una distanza interveicolare di 4 metri. Il risultato più rilevante è la correlazione tra iTTC e il senso di pericolo nel conducente, il quale istintivamente preme sul pedale del freno: quando iTTC cambia molto i soggetti si sentono più a rischio. Nelle conclusioni viene lasciata aperta la possibilità che le reali condizioni di traffico potrebbero influenzare il comfort di guida più di quanto rilevato al simulatore.

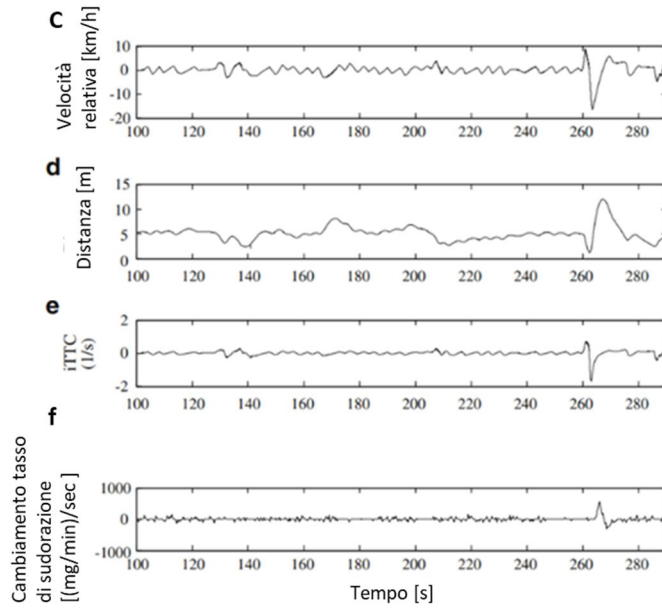


Figura 1.31 - Variabili registrate durante un esperimento in platoon: c) velocità relativa, d) distanza tra due camion e) iTTC e f) cambiamento nel tasso di sudorazione [24]

Anche nello studio condotto da R. Zheng et al. [25] l'analisi dei bio-segnali è stata utilizzata per indagare lo stress mentale del conducente in condizioni di guida automatica. 10 partecipanti hanno utilizzato un simulatore di guida, con una distanza dal veicolo precedente di 4, 8 e 12 metri. È stato dimostrato come lo stress aumenti significativamente quando la distanza tra i veicoli diminuisce. Inoltre, è stato attestato che lo stress aumenta in un regime di guida con distanziamento variabile, rispetto a quello costante.

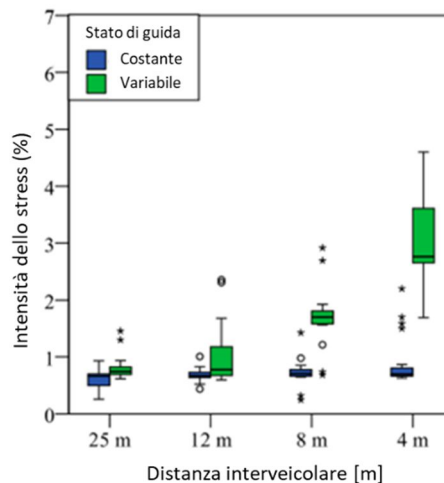


Figura 1.32 - Intensità di stress stimata dalla sudorazione del palmo [25]



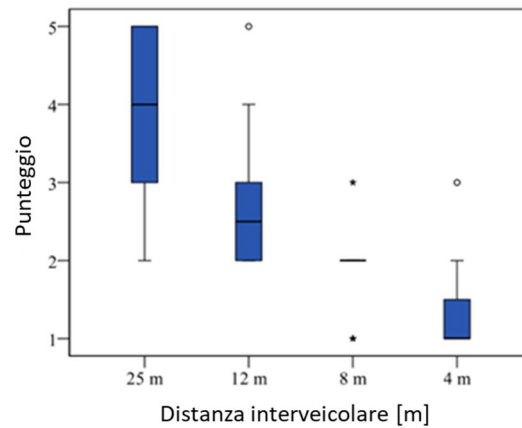


Figura 1.33 - Valutazione soggettiva del comfort del conducente per diverse condizioni di guida [25]

Lo stress rilevato è stato confermato anche dalla sensazione dell'utente, al quale è stato chiesto di esprimere un punteggio riguardo al comfort di guida: si nota come il comfort diminuisca al diminuire della distanza tra i veicoli. Con un *gap* pari a 4 metri l'utente ha percepito un discomfort, a 8 metri un 'piccolo discomfort', a 12 metri una situazione 'normale' e infine a 25 metri un 'piccolo comfort'.

Per riassumere, la ricerca ha quindi evidenziato come l'analisi dei parametri fisiologici per individuare il livello di stress del conducente sia stata spesso utilizzata. Alcune prove su strada sono state svolte in situazioni di guida manuale, con notevoli risultati. Lo stato psicofisico del pilota in regime di guida autonoma o *platooning* è stato investigato solo utilizzando dei simulatori di guida ma è emerso che i risultati potrebbero essere anche molto diversi in condizioni di traffico reale.

### 1.3 PROGETTO C-ROADS

Il progetto C-Roads è stato lanciato nel 2017 dall'Unione Europea e ad oggi esistono molti siti pilota in Francia, Germania, Austria o Paesi Bassi. Grazie all'attività di C-Roads il primo Truck Platoon sulle strade pubbliche europee è probabile che circolerà nel 2020; in Italia il lancio è pianificato nello stesso periodo sull'Autostrada del Brennero A22. Il passaggio successivo è l'Highway Chaffeur, un sistema di guida automatizzato che opera sulle autostrade il quale, a seconda delle condizioni di traffico e del percorso, modifica la velocità del veicolo e sceglie la corsia più adatta. Nel testo redatto da S. Agriesti et al. [4] vengono indicati alcuni obiettivi: rendere le strade europee più sicure, il traffico più scorrevole e ridurre le emissioni nocive.

La comunicazione I2V (Infrastructure to Vehicle) ha l'obiettivo di informare l'utente della strada riguardo la segnaletica effettiva, statica o dinamica. Le informazioni trasmesse dai C-ITS a bordo del veicolo riguardano la localizzazione, la posizione della coda e, se possibile, la durata dell'evento. Tra i benefici si hanno l'adattamento della velocità e l'aumento della consapevolezza e dell'attenzione dell'utente e quindi una maggiore sicurezza: evitare di accelerare e quindi raggiungere la fine della coda con una velocità già moderata riduce il numero di collisioni.

La combinazione di truck platooning e C-ITS ha due impatti principali sull'efficienza del traffico: conoscere la posizione della coda permette di ritardare la fermata del platoon prolungando così l'effetto del CACC sul flusso di traffico; similmente segnalare la corsia compromessa in anticipo rende la manovra di cambio corsia più fluida. Il fatto che venga suggerita al veicolo Leader la velocità da tenere in funzione delle reali condizioni di traffico che si trovano a valle significa che si ha un adattamento quasi immediato rispetto a quanto si può raggiungere con i soli pannelli a messaggio variabile. Questo dovrebbe impedire al platoon di trovarsi bloccato nel traffico (o almeno ritardato) sfruttando così più a lungo i vantaggi del CACC. Va notato che i veicoli pesanti in genere hanno meno capacità di decelerazione rispetto alle automobili quindi con distanze fortemente ridotte si ha maggior rischio di tamponamento, specialmente quando si raggiunge un ingorgo e si frena improvvisamente. Il rischio di tamponamento aumenta particolarmente quando la coda è nascosta ad esempio da una curva ma il platoon sarà dotato di dispositivi (Forward Collision Warning e Emergency Brake Assist) in grado di evitare il tamponamento o almeno di ridurre le conseguenze. Ciò che è importante ribadire è che se i veicoli che seguono sono a conoscenza della situazione che sta per sopraggiungere allora avranno una maggiore consapevolezza e sarà possibile prevenire tali incidenti.

Un'altra informazione che può essere trasmessa riguarda le condizioni meteo, ad esempio la presenza di ghiaccio o folate di vento. Ci si aspetta un aumento dell'attenzione e la diminuzione

della velocità con conseguenze sull'efficienza del traffico e sulla sicurezza. Il platoon può reagire a tali segnali aumentando la distanza oppure sciogliendo la formazione; in particolare il platoon deve dissolversi nel momento in cui la visibilità è talmente scarsa da impedire ai sensori di percepire l'ambiente circostante. Sia la diminuzione di aderenza che di visibilità causano una decelerazione la quale, come detto più volte, avrà un impatto minore sul flusso di traffico solo se svolta con fluidità.

Si riporta ora un esempio del messaggio che può essere trasmesso al platoon: avviso di chiusura di una corsia o di cantiere mobile. L'informazione dovrebbe essere trasmessa sia sul veicolo Leader che a coloro che seguono in modo che tutti i conducenti siano a conoscenza del motivo della manovra di cambio corsia. Il cantiere stradale rappresenta un punto critico in quanto i veicoli devono ridurre la velocità portando al sorgere di congestioni. Elementi lunghi come il platoon potrebbero addirittura peggiorare il livello di congestione ed essere costretti a dissolversi. Avvisare gli utenti dovrebbe portare ad un aumento della sicurezza, una riduzione del numero di collisioni in corrispondenza del cantiere stradale e un miglioramento nell'efficienza del traffico. Ricevere informazioni riguardo la chiusura di una corsia e specialmente il limite di velocità promuove una guida più fluida per il platoon che riesce a limitare il suo impatto sul traffico circostante, riducendo il numero di frenate. I camion generalmente hanno una capacità di accelerazione limitata, perciò, una manovra di sorpasso che coinvolge l'intero platoon, specialmente partendo da velocità quasi nulle, potrebbe essere impattante per i veicoli che sorraggiungono, i quali saranno indotti a frenare. Conoscendo in anticipo la presenza del cantiere, il conducente del veicolo Leader può cercare in anticipo uno spazio sull'altra corsia in modo da incrementare la possibilità di trovarne uno abbastanza ampio da permettere all'intero platoon di effettuare la manovra in sicurezza. Una manovra più fluida induce una minore perturbazione e permette di ridurre accelerazioni e decelerazioni, risparmiando anche del carburante. Inoltre, mantenere il platoon prima e dopo il collo di bottiglia permette al CACC di svolgere la sua funzione di smorzatore della shockwave e favorire un più veloce ritorno ad uno stato di non congestione. Se invece il platoon non è in grado di cambiare corsia deve dissolversi prima di entrare nell'area del cantiere: questo ha un impatto negativo sul flusso di traffico (in quanto ogni camion deve cambiare corsia autonomamente) ma è preferibile rispetto ad avere 3 o 4 camion incolonnati appena prima dell'inizio del cantiere.

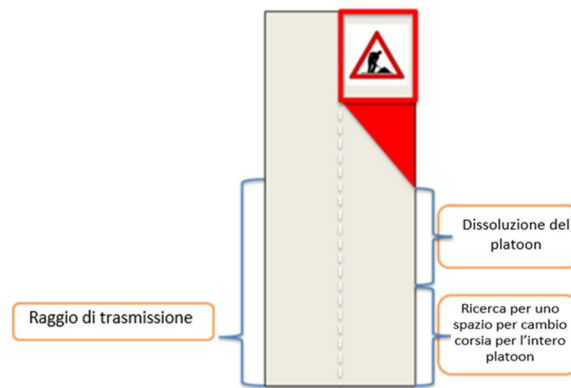


Figura 1.34 - funzionamento del platoon quando riceve un messaggio di chiusura di una corsia [4]

Guidare con una distanza ravvicinata può ostacolare il campo visivo dei conducenti che seguono: una soluzione potrebbe essere la trasmissione di ciò che vede la telecamera frontale sul veicolo Leader. Un cambio di corsia più fluido può migliorare la sensazione di sicurezza mentre le informazioni riguardo a cosa c'è davanti, trasmesse dai servizi C-ITS, migliorano la consapevolezza della situazione. È importante che il messaggio che viene trasmesso ai veicoli non generi confusione nei conducenti: deve essere chiaro se solo l'autista del veicolo Leader è chiamato ad agire oppure anche gli autisti dei veicoli Followers. Dovrebbe essere valutato quali informazioni sono rilevanti solo per il veicolo Leader oppure per tutti: per esempio il limite di velocità dinamico può essere utile anche per i veicoli Followers cosicché possano capire il motivo per cui si sta viaggiando più lentamente del previsto.

Ad oggi quindi il Truck Platoon deve ancora diventare realtà sulle strade pubbliche e quindi non è ancora presente un quadro giuridico. Attualmente la tecnologia sembra essere molto più avanti rispetto alla legislazione nazionale ed anche rispetto all'accettazione da parte degli autisti e dell'opinione pubblica. Un altro importante aspetto è il coinvolgimento di diverse parti, ognuna con i propri interessi: i costruttori di camion, i costruttori dell'equipaggiamento, gli spedizionieri, i camionisti, gestori ed autorità stradali, autorità politiche e compagnie di assicurazione. È importante che le case produttrici superino i conflitti di interesse e adottino tecnologie comuni. Ad oggi non è realistico pensare delle intere corsie riservate per i platoon oppure immaginare a platoon composti da più di 2/3 veicoli in quanto potrebbero avere difficoltà nell'effettuare la manovra di cambio corsia oppure essere un ostacolo per gli altri veicoli in prossimità delle rampe. È però da specificare come l'unico limite tecnologico alla lunghezza sia il raggio di comunicazione pari a 300 metri, nel caso tutti i veicoli ricevano informazioni direttamente dal veicolo Leader (al contrario se il veicolo riceve informazioni dal veicolo che lo precede allora la lunghezza potrebbe essere

potenzialmente infinita). In USA la prima generazione di platoon sarà composta da soli 2 camion, mentre l'attività di C-Roads e IVECO ne prevede 3.

Il progetto C-ROADS, in particolare nella sua applicazione sull'Autostrada del Brennero, e la collaborazione con IVECO si prestano ad essere un'ottima via per poter investigare lo stato psicofisico del conducente in truck platooning. Dalla ricerca letteraria, infatti, è emerso che questo aspetto è stato indagato più volte solamente al simulatore, ma mai durante reali prove su strada. Si può presumere che i risultati al simulatore e su strada siano anche molto diversi in quanto gli autisti si troveranno ad una distanza molto ravvicinata senza avere il controllo longitudinale del veicolo. Come illustrato, affinché una nuova tecnologia venga accettata e utilizzata dagli utenti, è fondamentale che non la percepiscano come una minaccia ma al contrario ci sia un senso di fiducia.



## CAPITOLO 2 - METODO

In questo capitolo viene descritto il metodo utilizzato per la raccolta dei due gruppi di dati (parametri fisiologici e dati dei veicoli) e la loro elaborazione con il fine di trovare una possibile correlazione tra lo stato psicofisico del conducente e le diverse condizioni del platoon. Dopo aver riportato uno schema riassuntivo che mostri il procedimento nella sua interezza, si procede con la descrizione delle singole fasi e l'impiego di trial preventivi con il fine di validare il metodo.

Vengono inizialmente presentati i parametri fisiologici individuati come più opportuni: la variabilità della frequenza cardiaca verrà elaborata per ricavare il rapporto LF/HF; ci si concentrerà poi sulla campagna di raccolta degli stessi, sullo sforzo nel ricercare il dispositivo più adatto e nel redigere una procedura che potesse essere standardizzata e utilizzata in eventuali sviluppi futuri. Si è trattato di una fase cruciale nello sviluppo dell'elaborato in cui si è stati affiancati dal laboratorio *Sensilab*, del Dipartimento di Design del Politecnico di Milano.

Secondariamente si sono individuati i dati riguardanti i camion in platoon che sono stati necessari per poter capire se lo stato psicofisico del conducente risenta della condizione in cui si trova il veicolo. Si è voluto fornire un'analisi generica, senza fare riferimento a marchi specifici, in quanto la maggior parte dei parametri descritti in questa fase sono universalmente riconosciuti per la caratterizzazione del platoon, ad esempio il TTC (Time to Collision).

Per ultimo si vuole dare evidenza della validità del metodo. Vengono riportati i risultati dei trial propedeutici alla attività di sperimentazione sui camion in truck platooning; alcune prove sono infatti state effettuate su strada in guida manuale.





## 2.1 DESCRIZIONE DELLA PROCEDURA

Come emerso dallo stato dell'arte esistono diversi studi che hanno come oggetto il monitoraggio dello stress alla guida tramite l'uso di strumenti tecnologici. Al fine di valutare il livello di stress si è scelto di utilizzare un dispositivo indossabile, il quale permette di rilevare la frequenza cardiaca a intervalli ravvicinati e fissati. Ciò è necessario dal momento che la ricerca bibliografica ha messo chiaramente in evidenza il parametro fisiologico più adatto, e quindi quello che verrà analizzato nell'elaborato: l'HRV (Heart Rate Variability). Esso rappresenta la naturale variabilità dell'intervallo tra i battiti cardiaci e risulta essere particolarmente adatto in quanto generalmente è proprio la frequenza cardiaca a reagire prontamente alle emozioni provate da un individuo quali stress, ansia o rilassamento.

Normalmente si potrebbe pensare al cuore come ad un metronomo e quindi che, ad esempio, una frequenza cardiaca di 60 battiti per minuto corrisponda ad un battito ogni secondo; al contrario la frequenza cardiaca è una media del numero di battiti del cuore in un minuto: il cuore infatti batte in maniera non regolare e tra un battito e l'altro possono trascorrere 900, poi 850 e infine 980 ms. L'HRV è da sempre oggetto di studio da parte degli esperti e indice di un cuore sano, infatti nel *Trattato di Medicina Tradizionale Cinese (Wang Shune, 200 d.C.)* viene scritto:

*“se il battito cardiaco diventa regolare come il ticchettio del picchio o il gocciolio della pioggia sul tetto, il paziente morirà entro quattro giorni”*

In un secondo momento è stato possibile eseguire delle prove su strada al fine di indagare lo stato psicofisico e il livello di stress del conducente durante la guida in platoon. I dati raccolti durante le reali sessioni di guida verranno quindi integrati utilizzando i dati che pervengono dai camion, ad esempio distanza interveicolare, velocità e localizzazione GPS. Proprio la localizzazione GPS e l'istante temporale in cui si verifica una determinata condizione risultano fondamentali per la correlazione con i picchi di stress. In un secondo momento, infatti, i due gruppi di dati verranno comparati per capire se effettivamente esiste una relazione tra essi: dallo stato dell'arte ci si aspetta che al ridursi della distanza tra i veicoli corrisponda un aumento dello stress del conducente.

Dallo Stato dell'arte è emerso inoltre come risultati molto precisi siano già stati ottenuti in un ambiente simulato, grazie all'utilizzo di dispositivi biomedicali, ma la forza di questo studio sta nel fatto di essere riusciti a portare questo tipo di test su strada, in situazioni di guida e traffico reali.

Il diagramma ha lo scopo di rendere il più chiaro possibile il procedimento seguito per indagare una possibile correlazione tra livello di stress del conducente e la condizione del pl

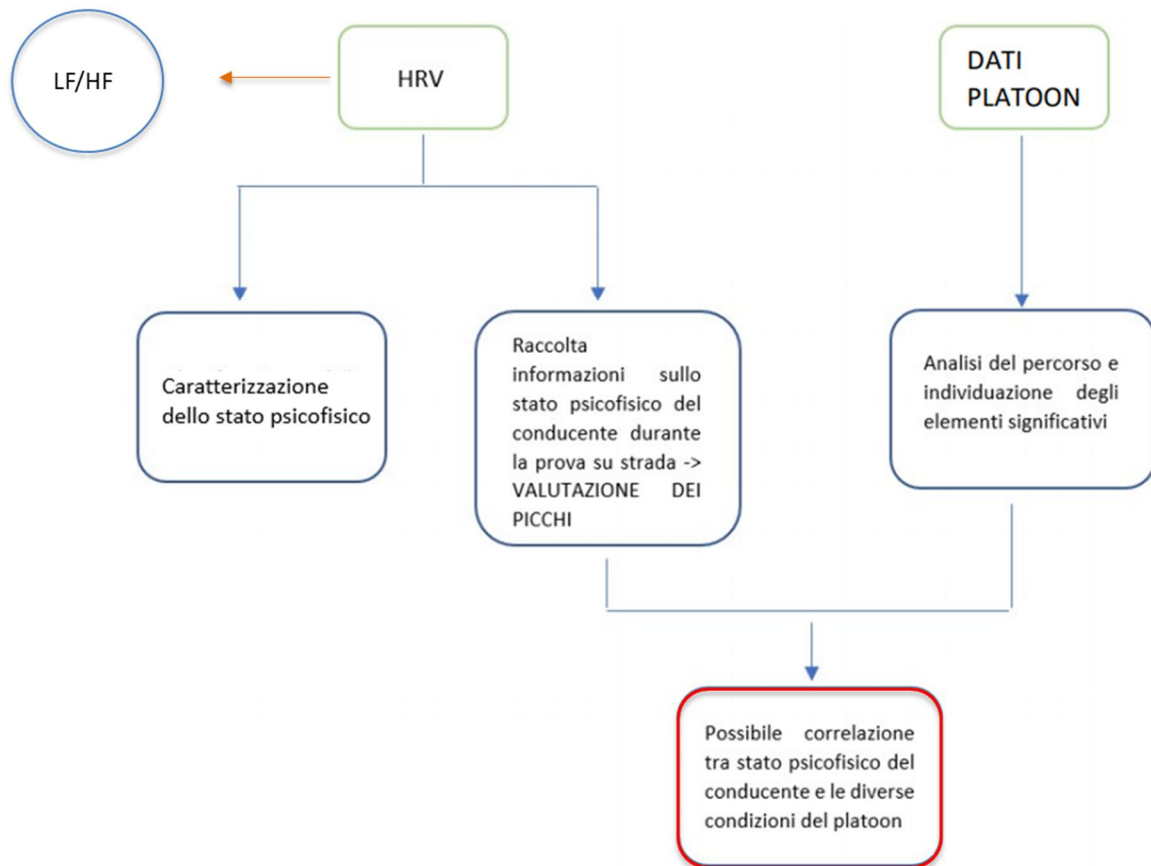


Figura 2.1 - Descrizione schematica della procedura adottata

Per riassumere, i parametri fisiologici dovrebbero fornire i picchi di stress mentre i dati platoon la condizione del veicolo e la sua localizzazione tramite coordinate GPS. Ciò che permette la correlazione in prima battuta è l'orario: si sa che in un determinato istante il monitoraggio ha rilevato un elevato livello di stress e inoltre si è a conoscenza della condizione e posizione del veicolo nello stesso momento.

Ulteriore prova potrebbe essere nella visione delle riprese, le quali permetterebbero di avere un riscontro di quanto sta succedendo e di cosa effettivamente stia osservando il conducente.

Sarebbe quindi interessante riuscire a identificare la distanza interveicolare che permetta di beneficiare di tutti i vantaggi del platoon, ad esempio la riduzione del consumo di carburante, senza però inficiare il comfort e il senso di sicurezza del conducente; nello Stato dell'Arte viene infatti sottolineato come l'essere umano utilizzerà una nuova tecnologia solamente se ne ha fiducia.

## 2.2 MISURAZIONE E ANALISI DEI PARAMETRI BIOMEDICI

Per quanto riguarda l'analisi dei parametri fisiologici e la scelta del dispositivo più adatto si è stati gentilmente affiancati dall'Ing. Paolo Perego, il quale si è reso molto disponibile nel colmare le mancanze riguardo alle tematiche più tecniche e di carattere biomedico.

Dallo stato dell'arte è emerso come uno dei parametri più affidabili e significativi per l'analisi dello stress sia il rapporto LF/HF. Nello studio condotto da D. McDuff et al. [10] è stato riscontrato come questo parametro riesce ad identificare il diverso carico mentale a cui è soggetto una persona, ad esempio se gli vengono sottoposte delle operazioni aritmetiche. Nello studio condotto da S. De Nadai et al. [14] è stato utilizzato proprio per indagare lo stress di un conducente. In numerose pubblicazioni, infatti, si evidenzia come l'incremento del rapporto LF/HF sia evidente in una situazione di stress, quindi in aree come incroci, semafori o attraversamenti pedonali. Il parametro LF/HF deriva dall'analisi della variabilità della frequenza cardiaca, la quale in particolare avviene nel dominio delle frequenze. La misura dell'HRV normalmente avviene grazie all'utilizzo di un apparecchio elettrocardiografico e poi viene elaborata da un software specifico, il quale restituisce un tacogramma, ovvero la distanza R-R (distanza tra due picchi dell'ECG) in funzione del numero di battiti cardiaci.

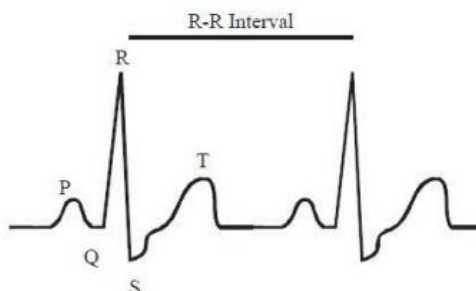


Figura 2.2 - Distanza RR [8]

È stato difficoltoso individuare il dispositivo più adatto per la ricerca oggetto dell'elaborato. In un primo momento si era scelto lo smartwatch modello Infrared Temperature + SpO2 Smart Watch non ancora in commercio ma fornito direttamente dall'azienda cinese Joint Chinese Ltd, ma una volta effettuate alcune prove ci si è resi conto di come mancasse un'applicazione di supporto che permettesse di personalizzare le impostazioni e registrare in continuo la frequenza cardiaca. Il dispositivo, infatti, permetteva il monitoraggio di numerosi parametri biomedici con grande precisione, ad esempio temperatura corporea, saturazione di ossigeno e pressione sanguinea ma solamente quando veniva chiesto manualmente, cosa chiaramente impossibile per una persona alla guida. Una successiva ricerca bibliografica ha portato alla luce alcuni studi in cui i dispositivi indossabili del marchio Xiaomi, anche se in un modello antecedente a quello utilizzato in questo elaborato, sono stati utilizzati con il fine di indagare il livello di stress di un individuo.

Nello studio condotto da P. Concheiro-Moscoso et al. [26] i partecipanti hanno indossato Xiaomi Mi Band 3 per la durata di sei mesi, con il fine di indagare lo stress sul posto di lavoro. Anche nello studio portoghese condotto da C. Queiròs et al. [27] si sono valutati le ore di sonno, la frequenza cardiaca e il numero di passi, sempre utilizzando il dispositivo Xiaomi Mi Band 3, con il fine di monitorare lo stress nei lavoratori di aziende differenti.

Nello studio condotto da S. Attaur-rasool [28] è stata utilizzato il bracciale Xiaomi Mi Band 3 per monitorare la frequenza cardiaca sia dei conducenti che dei passeggeri a bordo di un minivan con una cadenza di 30 minuti, dall'inizio alla fine del viaggio. È stata osservata una crescita della frequenza cardiaca media, specialmente nel conducente del veicolo.

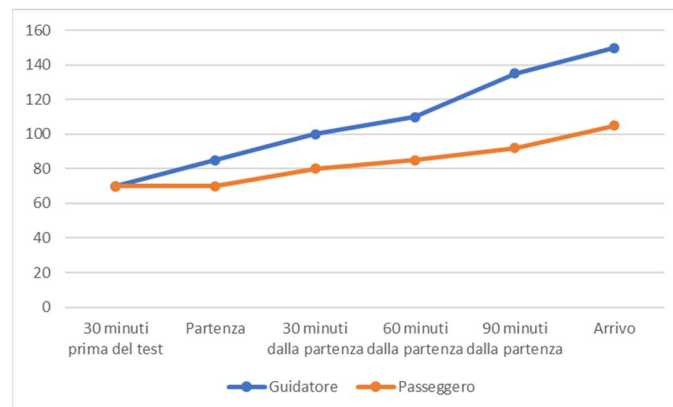


Figura 2.3 - Frequenza cardiaca (bpm) del guidatore e del passeggero [28]

Il fatto che il marchio Xiaomi fosse già stato utilizzato per fini simili a quello proposto in questo elaborato, in aggiunta alla verosimiglianza dei dati ottenuti durante una prima fase di test dimostrata in seguito, ha fatto propendere per la scelta e l'acquisto del bracciale Xiaomi Mi Band 5. Si tratta di un dispositivo che determina la frequenza cardiaca utilizzando la fotoplestimografia: quando il cuore si contrae e dilata la pressione viene trasmessa come un'onda nei vasi sanguinei e viene rilevata dalla luce LED. I parametri fisiologici verranno quindi registrati utilizzando questo dispositivo indossabile, una strumentazione non invasiva, dal costo moderato e facilmente accessibile a tutti.

Si è consapevoli della minor precisione dei dati, rispetto all'uso di fasce cardiache (che possono registrare direttamente l'ECG) ma si è preferito scegliere un dispositivo facilmente utilizzabile da chiunque, anche dagli utenti meno esperti in quanto si è ritenuto fondamentale che gli autisti fossero autonomi durante le successive fasi di test. Sarà infatti sufficiente che il conducente indossi il bracciale nel momento dell'accessione del camion, e quindi del Tablet ad esso collegato. Inoltre, si pensa che il monitoraggio in continuo, non interferirà in alcun modo con la guida e che quindi si avrà una reale lettura dello stato del conducente. Ancora in riferimento al paragone con strumenti biomedicali, si è consapevoli della minore frequenza di campionamento dei dati, in

particolare della frequenza cardiaca, ma si pensa possa essere sufficiente in quanto la condizione di guida in platoon, compresa la sua formazione e dissoluzione, è assimilabile ad una condizione statica in cui non si verificano cambi repentini e inaspettati. Queste ipotesi sono state confermate nel Capitolo 3, in cui viene descritta la trasferta a Trento.

L'Heart Rate Variability (HRV) è una misura legata all'attività del Sistema Nervoso Automatico (ANS) [10]; viene chiamato in questo modo perché regola le attività degli organi indipendentemente dalla volontà dell'individuo. Questo sistema è suddiviso in due rami: il Sistema Nervoso Simpatico (SNS), il quale interviene in situazioni di emergenza e si manifesta con tachicardia e aumento della pressione, e il Sistema Nervoso Parasimpatico (PNS) che invece agisce negli attimi di riposo e si manifesta con il rallentamento della frequenza cardiaca e ipotensione arteriosa.

Il parametro LF/HF indica il rapporto tra le basse frequenze e le alte frequenze e in particolare la relazione esistente tra Sistema Nervoso Simpatico e Parasimpatico. Le attività del Sistema Parasimpatico sono caratterizzate dalla potenza spettrale della banda HF mentre quelle del Simpatico dalla banda LF. I valori delle frequenze che delimitano le bande sono:

- Banda LF (low frequency): 0.04 – 0.15 HZ
- Banda HF (high frequency): 0.15 – 0.40 HZ

In particolare, la componente LF è modulata dall'attività del sistema sia parasimpatico che simpatico mentre la componente HF è legata solamente all'attività parasimpatica. Nello studio condotto da D. McDuff et al. [10] è stato dimostrato come le persone sotto stress mostrino una componente HF ridotta rispetto a coloro che sono a riposo e quindi in corrispondenza di un evento stressante si dovrebbe osservare un picco nel parametro LF/HF.

L'analisi dell'HRV viene eseguita grazie allo smartwatch Xiaomi Mi Band 5, il quale permette di registrare la frequenza cardiaca, con un intervallo di campionamento prefissato. Per la raccolta dei dati è necessario effettuare il download delle applicazioni *Mi Fit* e *Tools & Mi Band*.

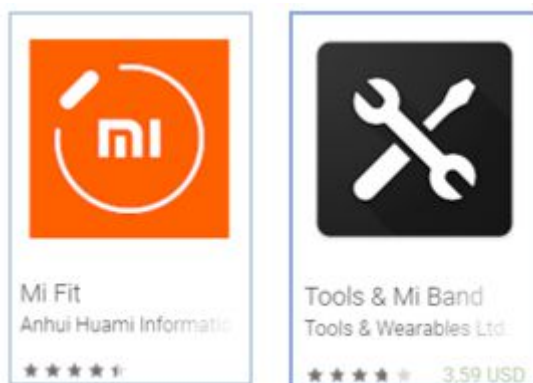


Figura 2 4 - Applicazioni utilizzate

L'app Tools & Mi Band è disponibile a pagamento solo per Android e permette di personalizzare maggiormente le impostazioni del cardiofrequenzimetro. Ad esempio, la frequenza di campionamento viene aumentata passando da 1 minuto a 15 secondi, anche se in realtà (come si vede dalla terza immagine) il battito viene registrato con intervalli temporali minori.

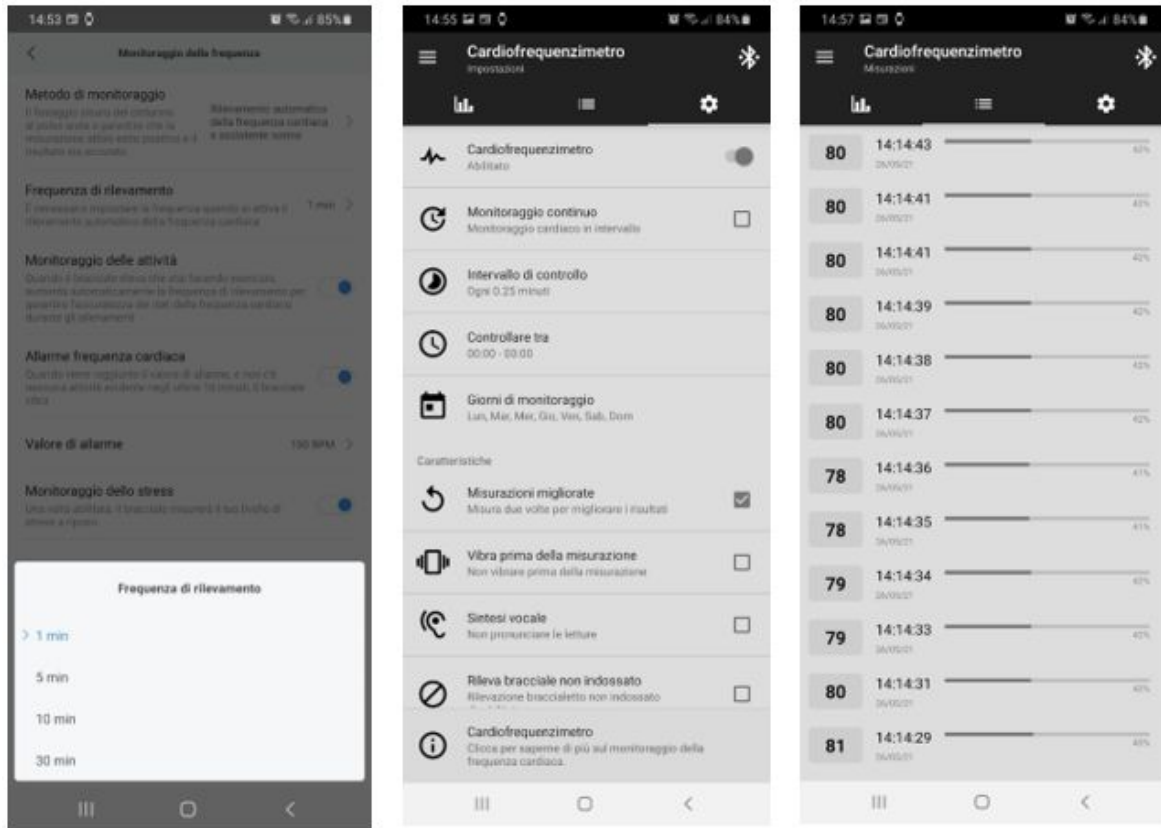


Figura 2.5 - Impostazioni App Tools & Mi Band

Entrambe le applicazioni permettono di esportare dei file in formato .csv, i quali diventeranno la base per l'analisi del parametro LF/HF. Si elenca la procedura adottata per l'analisi dei dati:

- Dati -> Da testo/CSV-> Carica. I dati, in questo modo, vengono visualizzati in colonne differenti e si procede quindi ordinando i dati dal meno recente al più recente.
- La colonna 'dateTime' viene riscritta in modo da avere solamente l'orario e non più la data. Viene utilizzata la seguente formula = `ORARIO(ORA());MINUTO();SECONDO()`. Il formato dell'intera colonna viene poi impostato su Ora.
- Mentre da una parte ci si ha il tempo in cui è stata effettuata la registrazione del battito e dall'altra invece si ha lo scorrere del tempo ogni secondo. Viene effettuato poi il confronto

- tra la colonna L e G, e nel caso in cui i due valori coincidano allora viene assegnato alla cella il valore della frequenza cardiaca rilevata in quell'istante temporale.

SOMMA    X    ✓    fx    =INDICE(H\$2:H\$1048576;CONFRONTA(L2:\$G\$2:\$G\$338;0))

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	dateTime	rate	rateZone		Orario	Delta T	tempo [ms]	HR			tempo [s]	tempo [m	HR reg.
2	30/05/2021 18:34	79	0,41		18:34:16		0,00	79		18:34:16	0	0	79
3	30/05/2021 18:34	78	0,41		18:34:17	00:00:01	1000,00	78		18:34:17	1	1000	78
4	30/05/2021 18:34	79	0,41		18:34:18	00:00:01	2000,00	79		18:34:18	2	2000	79
5	30/05/2021 18:34	80	0,42		18:34:23	00:00:05	7000,00	80		18:34:19	3	3000	#N/D
6	30/05/2021 18:34	82	0,43		18:34:30	00:00:07	14000,00	82		18:34:20	4	4000	#N/D
7	30/05/2021 18:34	82	0,43		18:34:33	00:00:03	17000,00	82		18:34:21	5	5000	#N/D
8	30/05/2021 18:34	80	0,42		18:34:41	00:00:08	25000,00	80		18:34:22	6	6000	#N/D
9	30/05/2021 18:34	79	0,41		18:34:47	00:00:06	31000,00	79		18:34:23	7	7000	80
10	30/05/2021 18:34	78	0,41		18:34:48	00:00:01	32000,00	78		18:34:24	8	8000	#N/D
11	30/05/2021 18:34	76	0,4		18:34:53	00:00:05	37000,00	76		18:34:25	9	9000	#N/D
12	30/05/2021 18:35	79	0,41		18:35:00	00:00:07	44000,00	79		18:34:26	10	10000	#N/D
13	30/05/2021 18:35	79	0,41		18:35:03	00:00:03	47000,00	79		18:34:27	11	11000	#N/D
14	30/05/2021 18:35	78	0,41		18:35:09	00:00:06	53000,00	78		18:34:28	12	12000	#N/D
15	30/05/2021 18:35	80	0,42		18:35:15	00:00:06	59000,00	80		18:34:29	13	13000	#N/D
16	30/05/2021 18:35	80	0,42		18:35:18	00:00:03	62000,00	80		18:34:30	14	14000	82
17	30/05/2021 18:35	81	0,42		18:35:23	00:00:05	67000,00	81		18:34:31	15	15000	#N/D
18	30/05/2021 18:35	80	0,42		18:35:30	00:00:07	74000,00	80		18:34:32	16	16000	#N/D

Figura 2.6 - elaborazione dei dati

Viene poi assegnata una frequenza cardiaca anche per i secondi in cui non è stata rilevata direttamente dal dispositivo; si è ipotizzato di mantenerla costante fino alla misurazione successiva. Questa scelta è dettata dal modo in cui è stato costruito il codice Python e la successiva restituzione del parametro LF/HF.

M6    X    ✓    fx    =INDICE(H\$2:H\$1048576;CONFRONTA(L6;\$G\$2:\$G\$338;0))

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	dateTime	rate	rateZone		Orario	Delta T	tempo [ms]	HR			tempo [s]	tempo [m	HR reg.	HR interpolat
2	#####	79	0,41		18:34:16		0,00	79		18:34:16	0	0	79	79
3	#####	78	0,41		18:34:17	00:00:01	1000,00	78		18:34:17	1	1000	78	78
4	#####	79	0,41		18:34:18	00:00:01	2000,00	79		18:34:18	2	2000	79	79
5	#####	80	0,42		18:34:23	00:00:05	7000,00	80		18:34:19	3	3000	#N/D	79
6	#####	82	0,43		18:34:30	00:00:07	14000,00	82		18:34:20	4	4000	#N/D	79
7	#####	82	0,43		18:34:33	00:00:03	17000,00	82		18:34:21	5	5000	#N/D	79
8	#####	80	0,42		18:34:41	00:00:08	25000,00	80		18:34:22	6	6000	#N/D	79
9	#####	79	0,41		18:34:47	00:00:06	31000,00	79		18:34:23	7	7000	80	80
10	#####	78	0,41		18:34:48	00:00:01	32000,00	78		18:34:24	8	8000	#N/D	80
11	#####	76	0,4		18:34:53	00:00:05	37000,00	76		18:34:25	9	9000	#N/D	80
12	#####	79	0,41		18:35:00	00:00:07	44000,00	79		18:34:26	10	10000	#N/D	80
13	#####	79	0,41		18:35:03	00:00:03	47000,00	79		18:34:27	11	11000	#N/D	80
14	#####	78	0,41		18:35:09	00:00:06	53000,00	78		18:34:28	12	12000	#N/D	80
15	#####	80	0,42		18:35:15	00:00:06	59000,00	80		18:34:29	13	13000	#N/D	80
16	#####	80	0,42		18:35:18	00:00:03	62000,00	80		18:34:30	14	14000	82	82
17	#####	81	0,42		18:35:23	00:00:05	67000,00	81		18:34:31	15	15000	#N/D	82
18	#####	80	0,42		18:35:30	00:00:07	74000,00	80		18:34:32	16	16000	#N/D	82
19	#####	74	0,38		18:35:33	00:00:03	77000,00	74		18:34:33	17	17000	82	82
20	#####	76	0,4		18:35:39	00:00:06	83000,00	76		18:34:34	18	18000	#N/D	82
21	#####	76	0,4		18:35:47	00:00:08	91000,00	76		18:34:35	19	19000	#N/D	82

Figura 2.7 - elaborazione dei dati

## METODO

Si ottiene la seguente restituzione grafica, riguardante una sessione di guida di prova eseguita con l'unico scopo di verificare il funzionamento del dispositivo e validare il metodo:

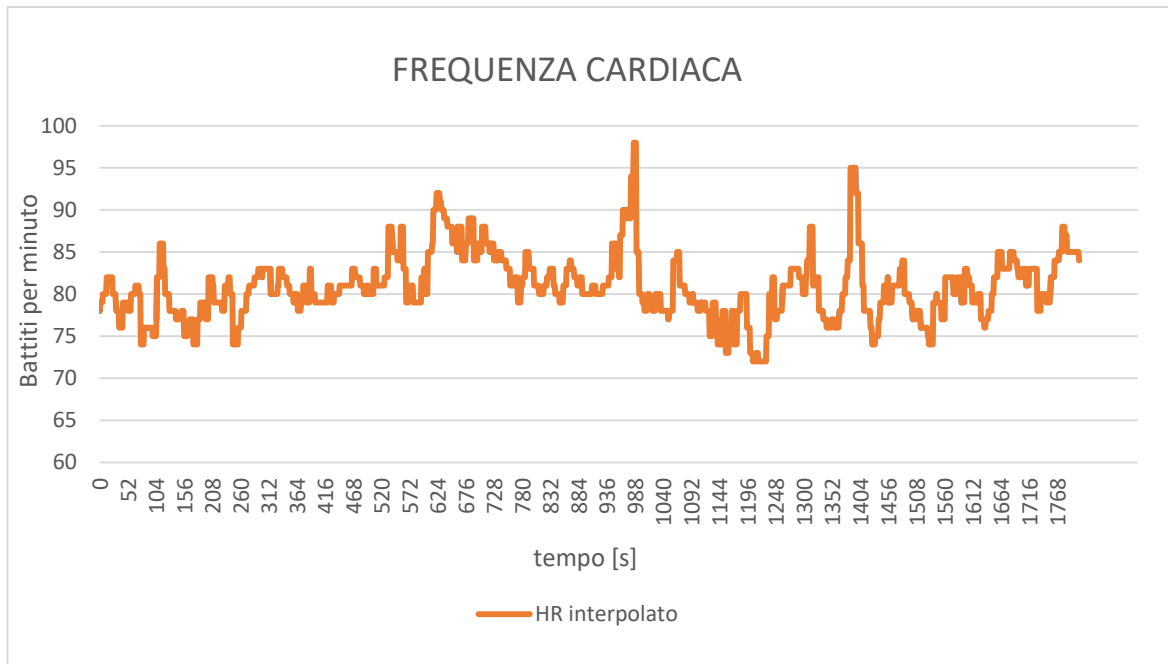


Figura 2.8 - andamento della frequenza cardiaca nel tempo

Per ricavare poi il parametro RR si è scritto il rapporto  $60/HR$ . Come illustrato precedentemente, RR è la distanza temporale tra due picchi R.

SOMMA		X		✓		fx		=60/N4						
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	dateTime	rate	rateZone	Orario	Delta T	tempo [ms]	HR		tempo [s]	tempo [m]	HR reg.		HR interpolat	RR
2	30/05/2021 18:34	79	0,41	18:34:16		0,00	79		18:34:16	0	0	79	79	0,75949
3	30/05/2021 18:34	78	0,41	18:34:17	00:00:01	1000,00	78		18:34:17	1	1000	78	78	0,76923
4	30/05/2021 18:34	79	0,41	18:34:18	00:00:01	2000,00	79		18:34:18	2	2000	79	79	=60/N4
5	30/05/2021 18:34	80	0,42	18:34:23	00:00:05	7000,00	80		18:34:19	3	3000	#N/D	79	0,75949
6	30/05/2021 18:34	82	0,43	18:34:30	00:00:07	14000,00	82		18:34:20	4	4000	#N/D	79	0,75949
7	30/05/2021 18:34	82	0,43	18:34:33	00:00:03	17000,00	82		18:34:21	5	5000	#N/D	79	0,75949
8	30/05/2021 18:34	80	0,42	18:34:41	00:00:08	25000,00	80		18:34:22	6	6000	#N/D	79	0,75949
9	30/05/2021 18:34	79	0,41	18:34:47	00:00:06	31000,00	79		18:34:23	7	7000	80	80	0,75
10	30/05/2021 18:34	78	0,41	18:34:48	00:00:01	32000,00	78		18:34:24	8	8000	#N/D	80	0,75
11	30/05/2021 18:34	76	0,4	18:34:53	00:00:05	37000,00	76		18:34:25	9	9000	#N/D	80	0,75
12	30/05/2021 18:35	79	0,41	18:35:00	00:00:07	44000,00	79		18:34:26	10	10000	#N/D	80	0,75
13	30/05/2021 18:35	79	0,41	18:35:03	00:00:03	47000,00	79		18:34:27	11	11000	#N/D	80	0,75
14	30/05/2021 18:35	78	0,41	18:35:09	00:00:06	53000,00	78		18:34:28	12	12000	#N/D	80	0,75
15	30/05/2021 18:35	80	0,42	18:35:15	00:00:06	59000,00	80		18:34:29	13	13000	#N/D	80	0,75
16	30/05/2021 18:35	80	0,42	18:35:18	00:00:03	62000,00	80		18:34:30	14	14000	82	82	0,73171
17	30/05/2021 18:35	81	0,42	18:35:23	00:00:05	67000,00	81		18:34:31	15	15000	#N/D	82	0,73171
18	30/05/2021 18:35	80	0,42	18:35:30	00:00:07	74000,00	80		18:34:32	16	16000	#N/D	82	0,73171
19	30/05/2021 18:35	74	0,38	18:35:33	00:00:03	77000,00	74		18:34:33	17	17000	82	82	0,73171
20	30/05/2021 18:35	76	0,4	18:35:39	00:00:06	83000,00	76		18:34:34	18	18000	#N/D	82	0,73171
21	30/05/2021 18:35	76	0,4	18:35:47	00:00:08	91000,00	76		18:34:35	19	19000	#N/D	82	0,73171
22	30/05/2021 18:35	76	0,4	18:35:48	00:00:01	92000,00	76		18:34:36	20	20000	#N/D	82	0,73171
23	30/05/2021 18:35	75	0,39	18:35:55	00:00:07	99000,00	75		18:34:37	21	21000	#N/D	82	0,73171

Figura 2.9 - calcolo del parametro RR



Si ottiene la seguente restituzione grafica. Si può osservare come risalti immediatamente il crollo del parametro RR, in corrispondenza delle frequenze cardiache maggiori.

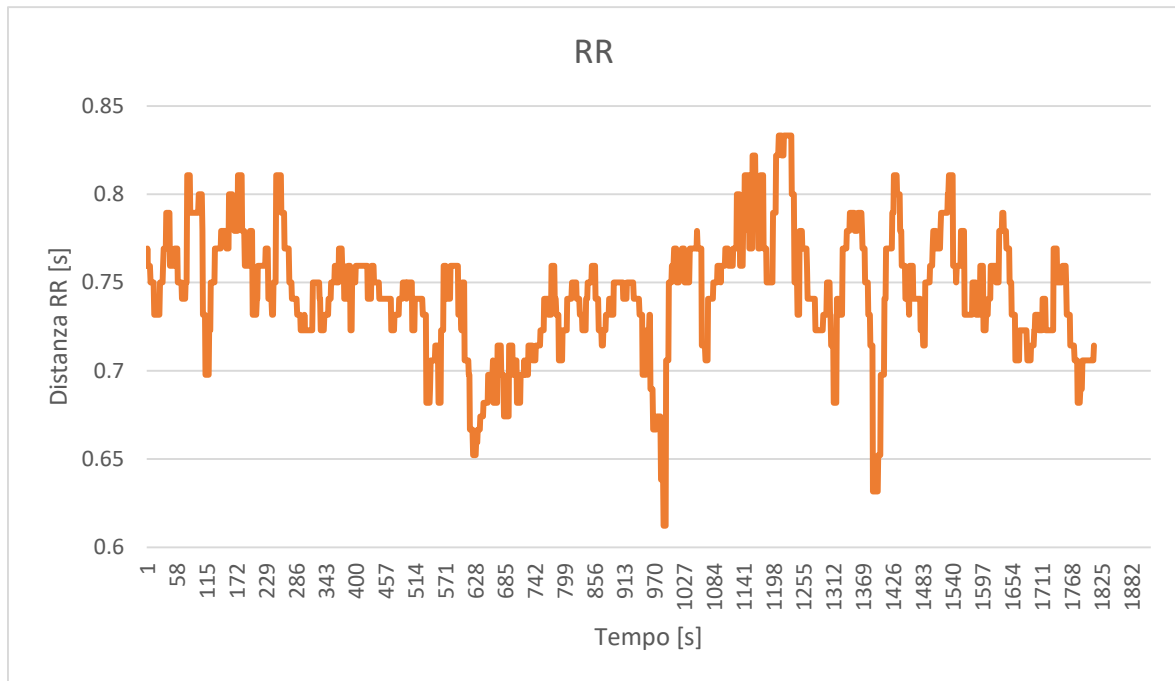


Figura 2.10 - andamento del parametro RR nel tempo

La colonna RR viene poi importata in un nuovo file .csv, cambiando il separatore decimale dalla virgola al punto [Trova -> sostituisci]. Nel nuovo file la prima colonna sarà RR e la seconda il tempo. Questo sarà l'input del codice scritto su Spyder (Anaconda) con linguaggio Python. In particolare, è stata utilizzata la libreria <https://pyhrv.readthedocs.io/en/latest/> e la funzione "fft\_ratio" che si trova nella sezione 2.4 Frequency Domain Module. Ho chiesto alla funzione di estrapolare il parametro LF/HF ogni 10 secondi, sfruttando un ciclo for.

Da ricordare come la funzione vada a buon fine solo se vengono inserite delle registrazioni della durata minima di 6 minuti; di questo bisognerà tenerne conto nella misurazione a riposo.

Anche il codice Python restituisce un file .csv da cui si può estrapolare l'andamento del parametro LF/HF nel tempo. Si riporta la restituzione grafica:

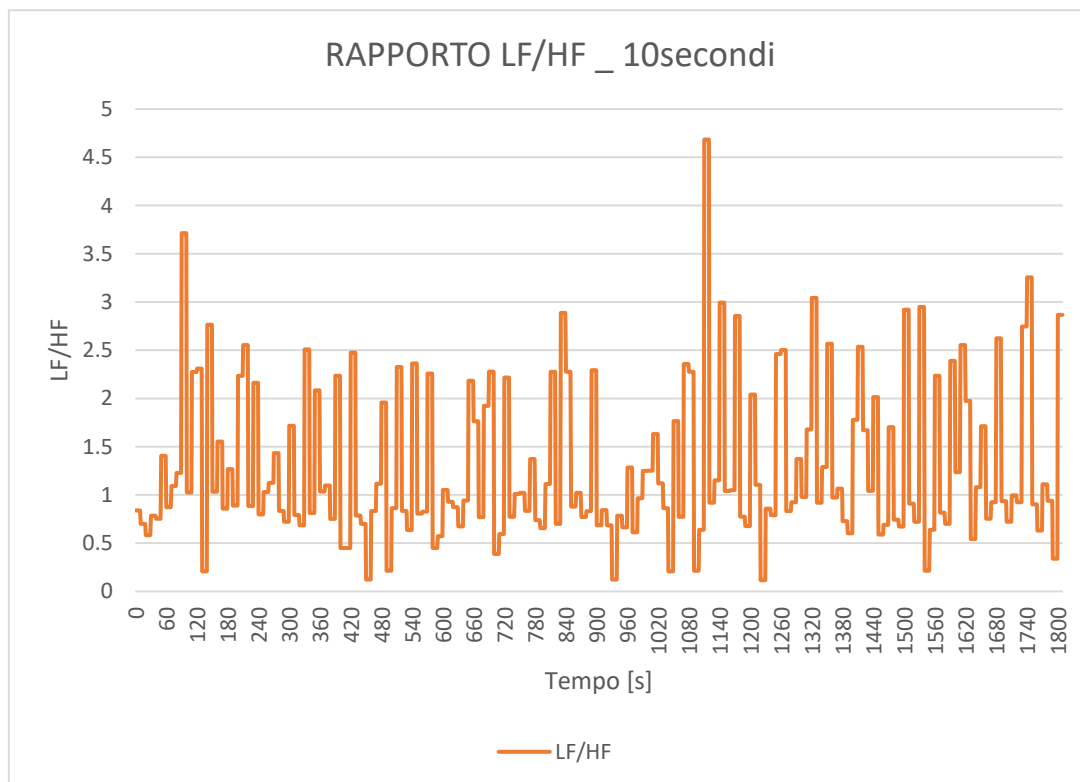


Figura 2.11 - andamento del parametro LF/HF nel tempo, calcolato su un intervallo di 10 secondi

Si è provato a cambiare l'intervallo sul quale viene calcolato il valore del parametro LF/HF da 10 secondi a 30 secondi e la restituzione grafica è abbastanza differente. Si osserva come il picco nella parte finale sia più marcato mentre la prima parte risulta smorzata; come se la funzione fungesse da filtro bassa-basso.

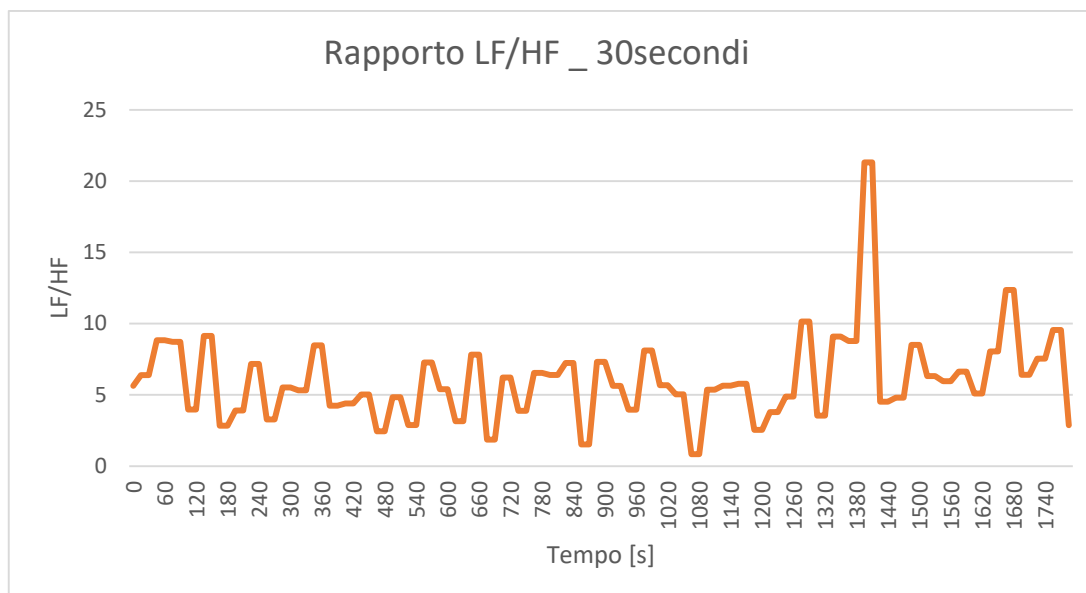


Figura 2.12 - andamento del parametro LF/HF nel tempo, calcolato su un intervallo di 30 secondi.

Ad ogni modo si è ritenuto più opportuno adottare un intervallo pari a 10 secondi in quanto è stato osservato che la frequenza cardiaca non viene rilevata mai con un intervallo maggiore appunto a 10 secondi.

## 2.2.1 VALIDAZIONE DEL METODO PER UN CONDUCENTE IN GUIDA MANUALE

Nelle settimane precedenti ai test in platoon sono state necessarie diverse simulazioni al fine di capire come sfruttare al meglio i dispositivi e soprattutto verificare il loro corretto funzionamento. Si è trattata di una fase impegnativa in quanto il metodo ha avuto bisogno di continui aggiornamenti con l'intento di evitare ogni tipo di intoppo durante la trasferta a Trento e la consegna dei dispositivi agli autisti.

Per questo motivo il dispositivo è stato utilizzato per alcuni giorni da conducenti in guida manuale e, durante il percorso, sono state registrate simultaneamente sia la frequenza cardiaca che la traccia .gpx. Quest'ultima è stata importata in Google Heart in modo da poter verificare la posizione del veicolo negli orari in cui si sono registrati i picchi nel parametro LF/HF.

I dati analizzati di seguito sono stati registrati il 30 maggio e il tragitto si è svolto su una stradale provinciale in condizioni di traffico modesto.

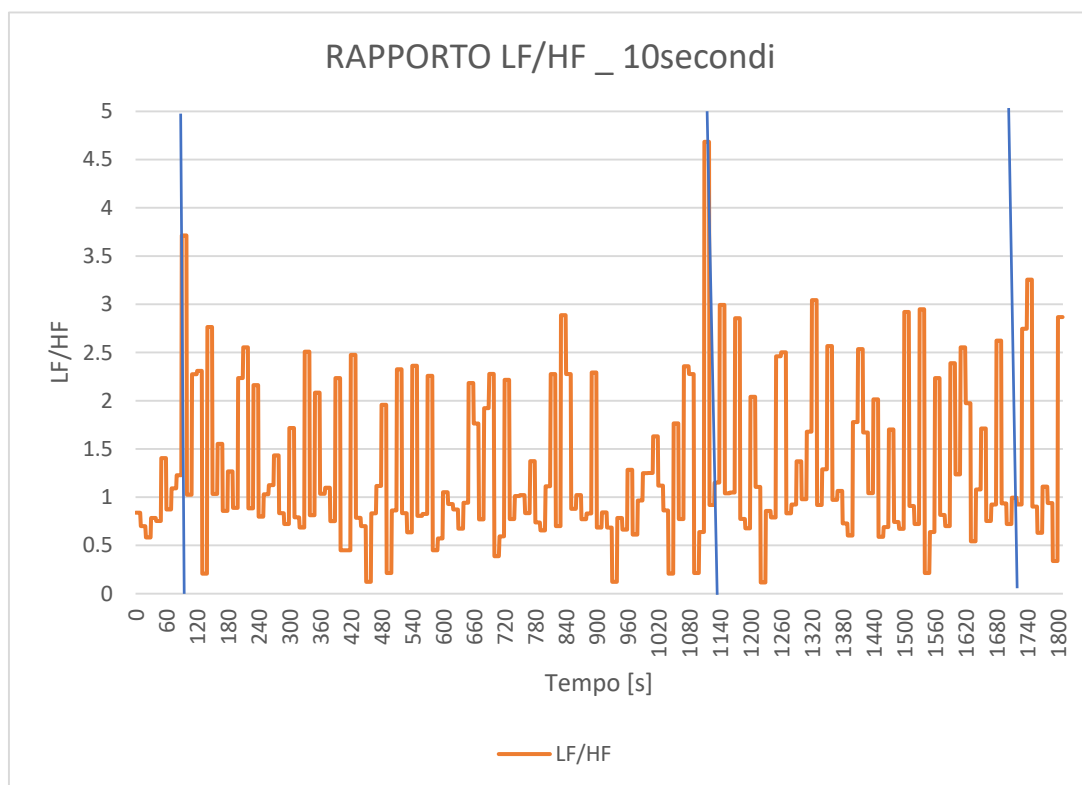


Figura 2.13 - individuazione dei picchi nell'andamento del parametro LF/HF, calcolato su un intervallo di 10 secondi

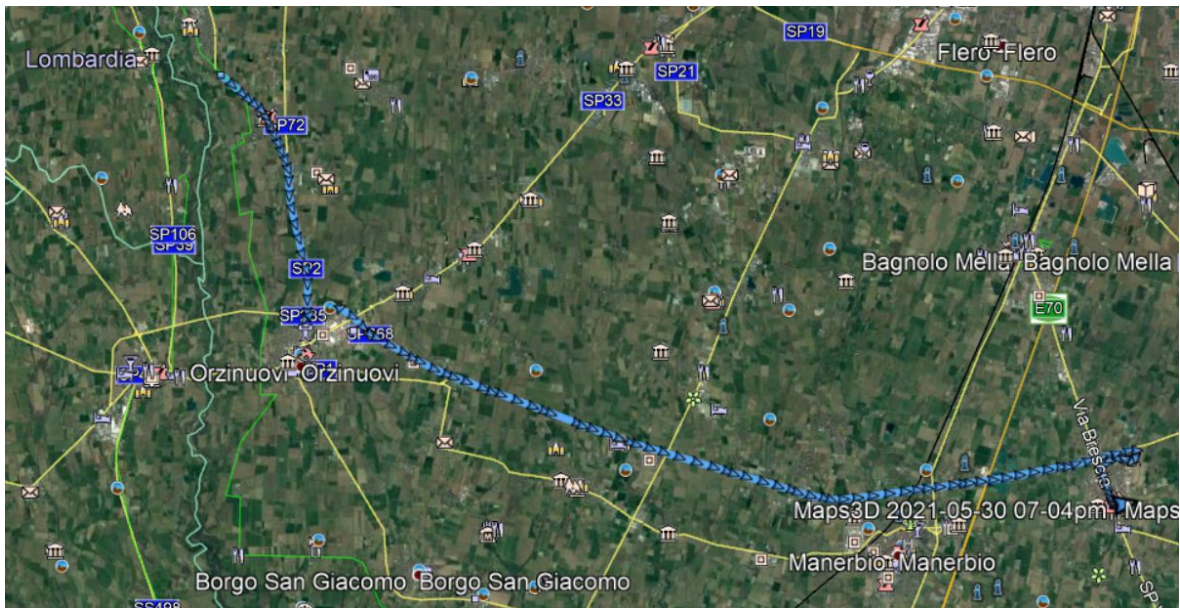


Figura 2.14 - rappresentazione della traccia GPS in Google Earth

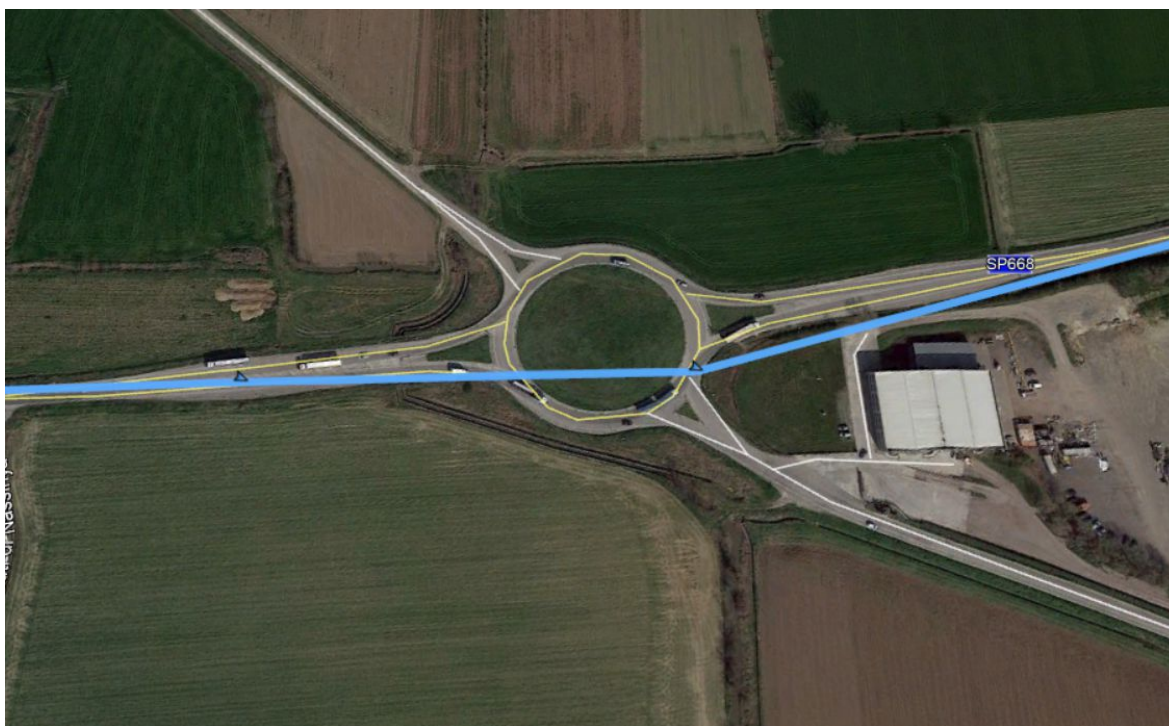
All'incirca al secondo 90, quindi alle ore 18:35:50 il veicolo ha appena effettuato una rotatoria per entrare nel centro abitato; è possibile osservare un numero elevato di intersezioni con le strade laterali.



Figura 2.15 - localizzazione del primo picco

Un picco molto marcato è registrato al secondo 1100 che corrisponde all'orario 18:52:46. In questo momento l'autista stava effettuando una rotatoria. Inoltre, in fase di debriefing del test, il driver ha riferito un sorpasso molto pericoloso da parte di un motociclista, in approccio ad una rotatoria.

Il picco marcato può essere ascrivibile alla situazione appena descritta.



*Figura 2.16 - localizzazione del secondo picco*

Un ultimo picco del rapporto LF/HF, cui potrebbe essere associato uno stato di stress, è registrato al secondo 1740, che corrisponde all'orario 19:03:20. Il veicolo si trovava nel centro della città di Leno; in particolare in fase di test, nel punto dove sono presenti le piante è stato costruito un dehor e spesso i clienti del bar (nell'immagine identificabile, sulla sinistra, in corrispondenza della tenda rossa) attraversano tipicamente senza prestare attenzione.



*Figura 2.17 - localizzazione del terzo picco*



*Figura 2.18 - localizzazione del terzo picco - zoom*

## 2.3 DATI PLATOON

I dati pervenuti dagli automezzi sono file di esportazione .csv in cui sono contenute molte informazioni, talvolta anche ridondanti e sovrabbondanti per quanto riguarda lo scopo dell'elaborato. È stato pertanto necessario identificare i dati fondamentali che permettono di caratterizzare lo stato in cui si trova il platoon, senza far riferimento a marchi specifici ma piuttosto usando parametri universali.

Si vuole inoltre restituire una breve guida al fine di poter leggere e comprendere al meglio i dati che vengono inviati dai camion, di cui nell'Allegato D (tabella D.1) si riporta un estratto a scopo esemplificativo.

I dati vengono forniti con la dicitura che riporta in ordine "CAN - tipo di messaggio – segnale – unità di misura" quindi ogni colonna rappresenta il segnale all'interno del messaggio.

I dati vengono suddivisi in 5 settori:

1. IVECO Platooning
2. HMI, riguardante i servizi C-ITS quali il limite di velocità dinamico, condizioni meteo, la presenza di veicoli fermi e di cantieri stradali, in aggiunta a quale corsia sarà interessata dai lavori.
3. OSI (Other Signage Information): si tratta sempre di servizi C-ITS ma comunicano informazioni riguardo ad un eventuale divieto di sorpasso oppure una corsia chiusa, con la distanza a cui si trova l'evento.
4. Remote Vehicle: qui vengono fornite le informazioni che i veicoli si scambiano a vicenda, sia da camion IVECO che con CRF (Centro Ricerche Fiat), comunicando sul canale 180. Il tipo di veicolo viene identificato grazie alla presenza della sua lunghezza, se è pari a 1650 cm allora si tratterà di un camion. Non si è particolarmente interessati a questo tipo di dato.
5. Platoon: i valori cambiano in funzione di cosa sta succedendo al platoon e ad uno specifico veicolo nel platoon.

Ci si concentra ora sulla prima categoria di dato. I parametri più significativi per gli scopi della ricerca risultano pertanto i seguenti, identificati con i seguenti campi informativi:

- Tempo. Il passo con cui vengono forniti i dati è di 25 ms.

Il tempo, in particolare l'orario, è il parametro fondamentale che permette la correlazione tra i dati riguardati il camion e lo stress del conducente. Attraverso la variabile tempo si è quindi in grado di analizzare e correlare le due sorgenti di informazioni: dati biometrici e dati platoon.

- GNSS\_Latitude
- GNSS\_Longitudine

I dati riguardanti latitudine e longitudine verranno importati sul software QGIS, permettendo così la localizzazione del veicolo e la correlazione spaziale con il parametro LF/HF.

- Accelerazione longitudinale [ $m/s^2$ ]: alle celle viene assegnata una formattazione condizionale secondo uno stile graduato in modo da avere una restituzione visiva immediata e quindi comprendere se il camion sta accelerando/frenando più o meno bruscamente.
- Velocità istantanea [km/h]
- Angolo di sterzata [rad]; anche in questo caso alle celle viene assegnata una formattazione condizionale.

La correlazione tra angolo di sterzata e velocità, assieme all'informazione riguardo l'inserimento dell'indicatore di direzione, permettono di capire se è in corso un sorpasso, un cambio di corsia o l'uscita dalla carreggiata autostradale.

- Consumo istantaneo di carburante [l/h] e varia tra 0 e 80. Questo dato sarà utilizzato per confrontare il consumo di carburante durante la guida in platoon rispetto al periodo in cui il veicolo si muove autonomamente; interessante sarebbe comparare i consumi dei Camion Leader e Follower.
- Tempo prima di avere la collisione, nel caso in cui nessuna reazione venisse esercitata. Se due veicoli si muovono alla stessa velocità il parametro TTC (Time to Collision), già citato nello Stato dell'Arte, indica il tempo che deve trascorrere prima che si possa avere la collisione; se il valore nella casella è 12,5 secondi allora la probabilità che si verifichi un incidente è bassa mentre se questo parametro dovesse diminuire significherebbe che il veicolo precedente sta frenando mentre quello seguente non ancora.
- Distanza dal veicolo che precede. Questo parametro viene calcolato dividendo la distanza dal veicolo precedente in secondi, ovvero il Time Gap pervenuto dal radar, per la velocità del veicolo; assume il valore 255 quando il segnale dal veicolo precedente viene perso. Si tratta di un dato fondamentale per capire se il conducente, in particolare quello del veicolo Follower, si senta minacciato da una distanza interveicolare ravvicinata.
- THW[s]; Time Headway. È la distanza temporale dal veicolo che precede e viene calcolata direttamente dal sistema Platooning; è un parametro disponibile solamente se i dati provengono da un veicolo diverso dal Leader



Il 'Time Gap' può essere modificato in funzione del valore che assume il parametro 'ACC Set Distance'; quest'ultimo indica la modalità di funzionamento dell'Adaptive Cruise Control, ovvero 'quanto è cauto'; ogni valore corrisponde a dei valori di distanze minime da rispettare riportate sul prontuario, ad esempio:

Modalità ACC	#1	#3	#4
THW impostato [s]	3,8	3,4	3,2
THW minimo [s]	2,7	1,6	1,4
Distanza minima [m]	5	5	5
Distanza massima [m]	70	48	43

*Tabella 2.1 – Impostazione dell'Adaptive Cruise Control*

I due parametri che descrivono il processo associativo del camion mentre si sta muovendo sono Back Status e Front Status. Se i parametri descritti fino ad ora sono universalmente riconosciuti, i successivi possono assumere una denominazione e dei valori differenti in funzione della casa automobilistica che si sta trattando. È importante specificare come il dato Front Status non abbia senso per il veicolo Leader mentre il dato Back Status perde di significato per l'ultimo veicolo del platoon.

- Back Status, indica il rapporto che il camion in questione ha con un eventuale veicolo che segue. Ad esempio, il valore 6 è associato alla posizione di leader, il valore 7 alla formazione del platoon mentre il valore 8 alla disaggregazione della formazione.
- Front Status, indica il rapporto che il camion in questione ha con un eventuale veicolo che precede; anche in questo caso i valori 7 e 8 hanno lo stesso significato esplicito al punto appena precedente.
- Posizione: posizione del veicolo nel platoon, in questo modo si conosce se il veicolo è il Leader oppure Follower.
- Dimensione del platoon: indica da quanti veicoli è composto il platoon; se è pari a 1 allora significa che il platoon non è formato.
- Intruder: indica la presenza di un veicolo che sta svolgendo la manovra di cut-in. Infatti, le auto per poter imboccare l'uscita autostradale potrebbero dover inserirsi tra due veicoli in platoon, che quindi si allontaneranno con il rischio che la formazione si dissolva; ad oggi però questo scenario rappresenta un problema minore per il platoon è composto al massimo da 4 camion.

Nel secondo gruppo di dati, identificato con il codice HMI, vengono riportati tutti i segnali riguardanti i C-ITS (Cooperative Intelligence Transport Systems): i veicoli possono comunicare tra loro e con l'infrastruttura aiutando il conducente a prendere decisioni in determinate situazioni, con lo scopo di aumentare la sicurezza stradale e l'efficienza del traffico. I C-ITS non sono oggetto di trattazione dell'elaborato ma sarebbe possibile approfondire questo aspetto con ulteriori studi, senza dover raccogliere ulteriori dati.

- Cantiere stradale, in particolare riporta la distanza in metri del veicolo dal cantiere stradale, quale corsia è interessata dal cantiere e il limite di velocità imposto.

Le medesime informazioni vengono inviate al veicolo per quanto riguarda un automezzo fermo, incidenti, traffico intenso e condizioni meteo avverse. Il conducente, quindi, è informato su ciò che incontrerà lungo il percorso ma anche la distanza a cui si trova.

La costruzione dei dati permette di associare un evento, ad esempio la disaggregazione del platoon, ad un preciso istante temporale e alla posizione GPS. Proprio questo passaggio risulterà essere fondamentale per incrociare questi elementi con quelli relativi allo stress del conducente.

## CAPITOLO 3 – SPERIMENTAZIONE

Questo capitolo viene dedicato all'applicazione sperimentale della procedura descritta nel Capitolo 2.

Viene descritto il momento di start up della sperimentazione, utile a fornire indicazioni operative per l'inizializzazione dei dispositivi.

A valle della raccolta dati, si descrive l'elaborazione effettuata sugli stessi: in primo luogo si ricavano i valori del parametro LF/HF, calcolato per un intervallo di tempo di 10 secondi, e lo si classifica sulla base dei valori medi e di deviazione standard emersi dalle misurazioni a riposo. I dati vengono poi importati sul software QGIS servendosi anche delle informazioni pervenute dai veicoli, ovvero la posizione e gli istanti di inizio e di fine della sessione di guida.

Si è scelto di partire analizzando separatamente i due gruppi di dati; inizialmente si sono considerati i dati riguardanti il livello di stress in quanto meno densi e di più facile lettura, mentre solo in un secondo momento si procede con l'analisi dei dati riguardanti la situazione del platoon. Solo in un ultimo momento verrà svolta la correlazione.



### 3.1 START UP

Il 21 giugno 2021, ci si è recati nella sede IVECO a Trento, dove si è stati accolti dall'ing. Valerio Liga. L'attività di sperimentazione ha previsto un momento di start up, in cui i dispositivi sono stati consegnati, si sono svolte le operazioni di accoppiamento tra smartwatch e camion e sono state espletate tutte le formalità relative al trattamento dei dati ai sensi dell'art. 13 del regolamento UE n. 679/2016. Nell'allegato B sono presenti i moduli riguardo il consenso informato e l'informativa al trattamento dei dati personali: entrambi sono stati firmati dai conducenti e partecipanti alla sperimentazione in una versione tradotta in inglese.

Per prima cosa si sono creati degli account Google in modo da non dover utilizzare le e-mail personali dei conducenti e tutelarne il più possibile l'anonimato; infatti, in nessun modo si è in grado di ricondurre i dati esportati (frequenza cardiaca) ad una specifica persona fisica. Per lo scambio dei dati si sono appositamente create delle e-mail, riprendono i nomi assegnati ai camion, ad esempio [camionraffaello@gmail.com](mailto:camionraffaello@gmail.com), così da facilitare in un secondo momento il confronto con i dati IVECO.

Ai camion IVECO era già stato precedentemente collegato un tablet Huawei al fine di registrare i dati prettamente riguardanti il platoon, quindi, accedendo a Google Play con le e-mail appena create, si sono installate le applicazioni menzionate nel capitolo 2.2, seguendo la procedura nell'allegato C.



Figura 3.1 - Veicoli IVECO utilizzati per i test

È stato possibile affiancare il conducente durante un tragitto in truck platooning da Trento a Rovereto e viceversa. Durante la prova erano presenti anche delle autovetture Maserati in guida

autonoma, anch'esse parte delle sperimentazioni nell'ambito C-Roads, che provavano delle possibili situazioni di cut-in, ovvero l'intrusione tra due veicoli in platoon.

Il confronto diretto con il driver ha permesso di ottenere informazioni in merito alle sue sensazioni: il camion a bordo del quale mi trovavo ha assunto sia la posizione di Follower che di Leader e in entrambe le situazioni il guidatore ha riportato di sentirsi a suo agio e non preoccupato o minacciato dalla situazione di non controllo sul veicolo. L'immagine mostra la vista e la percezione del conducente mentre il platoon è in formazione, in particolare in una posizione di veicolo Follower; effettivamente la distanza interveicolare non sembra essere critica.



*Figura 3.2 - visione dell'autista del veicolo Follower durante la guida in platoon*

La figura 3.3 mostra invece il camion nella posizione di Leader e anche in questo caso si può osservare come i veicoli seguenti non siano eccessivamente vicini.



Figura 3.3 - visione dell'autista del veicolo Leader durante la guida in platoon

Inizialmente gli smartwatch sono stati posizionati sui camion Leonardo e Raffaello; a partire da Lunedì 28 giugno il dispositivo originariamente installato sul camion Raffaello è stato trasferito sul camion Michelangelo.

Durante i giorni successivi è stato sufficiente che il conducente indossasse il braccialetto prima di iniziare la sessione di guida. I conducenti si sono resi molto disponibili nell'inviare i dati, verificare prontamente il corretto funzionamento del monitoraggio e nell'informare i responsabili di qualsiasi cambiamento.



Figura 3.4 - dispositivo indossato dall'autista

### 3.2 ANALISI DEI PARAMETRI BIOMEDICI

I driver hanno proceduto al regolare invio dei dati registrati, sottoforma di file di esportazione .csv, con cadenza settimanale; in questo modo è stato possibile verificare il corretto funzionamento dei dispositivi e iniziare gradualmente l'elaborazione dei dati. Sul camion Raffaello si è infatti riscontrato un errore nell'impostazione dell'applicazione installata a causa del quale la misurazione della frequenza cardiaca avveniva con un intervallo troppo ampio per lo scopo dell'elaborato. Per questo motivo l'analisi dei dati riguardanti il veicolo appena citato (in realtà camion Michelangelo), ha come inizio il 1 luglio.

Per completezza si riportano i periodi temporali analizzati, per ogni autista. Si sono registrati saltuari eventi di interruzione della registrazione per alcuni minuti, ad esempio, per un mancato contatto con il polso del conducente o perché il veicolo è stato spento (e quindi è venuta meno l'alimentazione del tablet); tuttavia risultato limitati nel tempo e non inficiano la raccolta dati. Tale condizione attesta una sostanziale e confortante affidabilità degli strumenti utilizzati per gli scopi della ricerca.

Camion Leonardo:

- 23 giugno: dalle ore 09:18:00 alle 11:50:07
- 24 giugno: dalle ore 07:59:28 alle 11:21:56, dalle ore 11:26:04 alle 11:40:42 e infine dalle 11:41:31 alle 15:56:59
- 25 giugno: dalle ore 07:53:30 alle 11:16:53, dalle ore 11:20:13 alle 11:30:28 e infine dalle 12:21:53 alle 15:28:18
- 28 giugno: dalle ore 12:04:32 alle 15:28:18
- 29 giugno: dalle ore 08:04:15 alle 11:00:00 e dalle ore 11:27:08 alle 15:21:06
- 30 giugno: dalle ore 08:03:29 alle 11:16:37 e dalle ore 11:32:36 alle 13:50:00
- 1 luglio: dalle ore 07:59:30 alle ore 11:26:39 alle ore 11:54:37 alle 15:18:35
- 5 luglio: dalle ore 07:56:22 alle ore 11:20:00 e dalle ore 11:52:19 alle 15:19:24
- 6 luglio: dalle ore 12:00:10 alle 15:20:00
- 7 luglio: dalle ore 07:57:23 alle 11:20:40 e dalle ore 12:09:32 alle 15:27:07
- 8 luglio: dalle ore 08:03:14 alle 11:24:21
- 9 luglio: dalle ore 11:22:17 alle 15:20:41



Camion Michelangelo (in quanto, come accennato nel capitolo precedente, il tablet inizialmente posizionato sul camion Raffaello è stato trasferito):

- 1 luglio: dalle ore 14:15:29 alle 15:28:56
- 2 luglio: dalle ore 08:04:12 alle 11:22:28 e dalle ore 11:24:28 alle 15:39:56
- 5 luglio: dalle ore 08:00:23 alle 11:31:59 e dalle ore 11:54:24 alle 15:20:10
- 6 luglio: dalle ore 08:01:27 alle 11:22:32 e dalle ore 11:26:28 alle 15:20:00
- 7 luglio: dalle ore 08:18:30 alle 12:05:17 e dalle ore 12:09:09 alle 15:00:00
- 8 luglio: dalle ore 08:03:27 alle 11:23:16
- 9 luglio: dalle ore 11:20:28 alle 15:39:14

L'analisi per i dati provenienti dal camion Leonardo è stata di circa 69 ore mentre per il camion Michelangelo di 39 ore. Complessivamente sono state analizzate 108 ore.

È stato pertanto elaborato un file .csv in cui vengono riportati orario, frequenza cardiaca (heart rate, HR), distanza RR e parametro LF/HF. Nella tabella 3.1 un breve estratto:

ORARIO	TEMPO [s]	HR	RR	LF/HF
11:24:28	12016	101	0,59406	1,04535
11:24:29	12017	101	0,59406	1,04535
11:24:30	12018	101	0,59406	1,04535
11:24:31	12019	101	0,59406	1,04535
11:24:32	12020	101	0,59406	1,04535
11:24:33	12021	101	0,59406	1,04535
11:24:34	12022	101	0,59406	1,04535
11:24:35	12023	101	0,59406	1,04535
11:24:36	12024	100	0,60000	1,04535
11:24:37	12025	100	0,60000	1,04535
11:24:38	12026	100	0,60000	0,344055
11:24:39	12027	100	0,60000	0,344055
11:24:40	12028	100	0,60000	0,344055
11:24:41	12029	100	0,60000	0,344055
11:24:42	12030	100	0,60000	0,344055
11:24:43	12031	99	0,60606	0,344055
11:24:44	12032	99	0,60606	0,344055

Tabella 3.1 - esempio dell'andamento del parametro LF/HF nel tempo

Per comprendere l'andamento del parametro LF/HF è necessario rappresentarne lo sviluppo nel tempo. Si riporta a scopo esplicativo la restituzione grafica del parametro LF/HF risultato dell'analisi della frequenza cardiaca raccolta in data 25 giugno, durante la prima ora della mattinata; in particolare il dispositivo è stato indossato dal conducente del camion Leonardo, il quale si trova nella posizione di veicolo Follower.

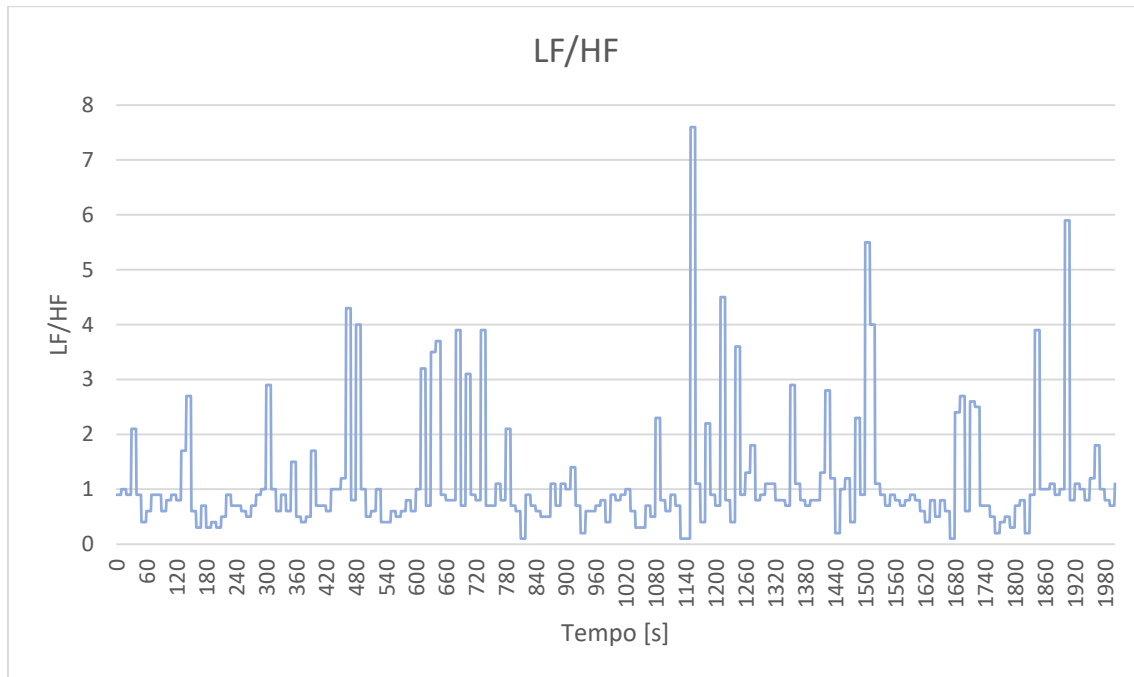


Figura 3.5 - esempio dell'andamento del parametro LF/HF nel tempo

La funzione in python utilizzata per ricavare il parametro LF/HF restituisce anche il termine PSD (Power Spectral Density), ovvero la densità spettrale di potenza del segnale, in funzione della frequenza. La funzione utilizza il metodo di Welch il quale si basa sulla FFT (Fast Fourier Transform) appunto per stimare la potenza di un segnale a frequenze diverse.

La figura 3.6 fa il riferimento al parametro LF/HF dopo 90 secondi, ovvero all'orario 08:07:00. Si può osservare come il termine HF (High Frequency) sia dominante e infatti il rapporto LF/HF risulta essere molto basso. La figura 3.7 si riferisce invece al tempo 1900 s, ovvero all'orario 08:25:10. Si può osservare come ad essere dominante in questo caso sia la componente LF (Low Frequency) e di conseguenza il rapporto LF/HF risulta essere molto maggiore, variando addirittura di un ordine di grandezza.

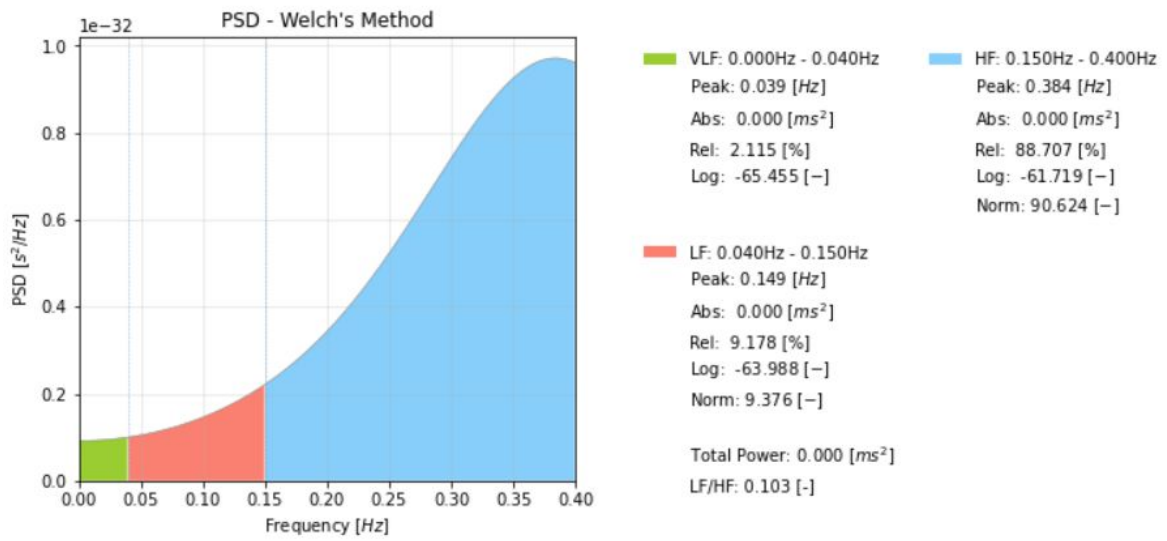


Figura 3.6 - PSD (Power Spectral Density) in caso di LF/HF basso

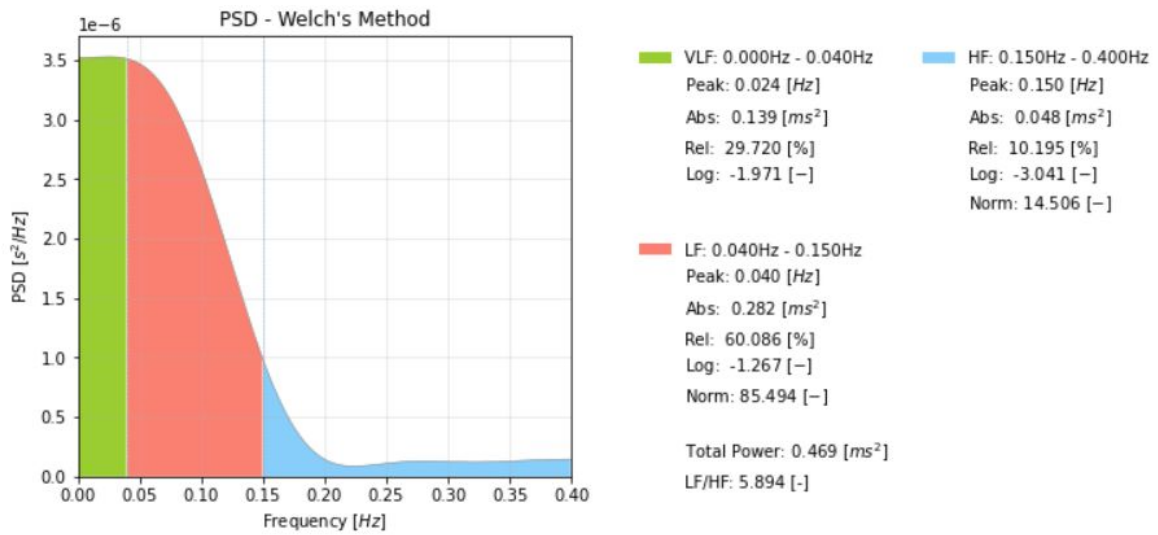


Figura 3.7- PSD (Power Spectral Density) in caso di LF/HF elevato

### 3.2.1 CALIBRAZIONE

In letteratura non sono riportati dei valori di riferimento del parametro LF/HF al fine di caratterizzare lo stato psicofisico del conducente; quindi, risulta necessario compiere una calibrazione per ciascun guidatore, eseguendo delle misurazioni a riposo per la durata minima di 6 minuti. L'intervallo di misurazione minimo è dettato dal modo in cui è stata costruita la funzione utilizzata nel codice Python.

Per evitare qualsiasi tipo di problema dovuto ad uno scambio nei conducenti durante i giorni di prova successivi questa calibrazione viene effettuata per ogni giornata. Si è deciso di prendere in considerazione i primi 10 minuti delle registrazioni in quanto ogni conducente si trova sul veicolo fermo, in attesa della partenza. Si è a conoscenza di questa informazione in quanto si è in possesso della registrazione della frequenza cardiaca e dello stato del veicolo, il quale durante tutto l'intervallo temporale risulta nella stessa posizione, con velocità e accelerazione nulla.

La misurazione a riposo risulta quindi necessaria per suddividere lo stato psicofisico del pilota in 3 classi [14].

Per ogni giornata di prova e per ogni conducente viene quindi calcolato il valore medio ( $x_m$ ) e la deviazione standard ( $\sigma$ ), definendo così 3 fasce:

- Livello di stress Alto

$$\left(\frac{LF}{HF}\right)_i \geq x_m + \sigma$$

- Livello di stress Medio

$$x_m - \sigma < \left(\frac{LF}{HF}\right)_i < x_m + \sigma$$

- Livello di stress Basso, associabile ad uno stato di rilassamento

$$\left(\frac{LF}{HF}\right)_i \leq x_m - \sigma$$

Ognuna di queste fasce sarà caratterizzata da un colore differente nella restituzione grafica sul software QGIS, in modo da rendere la lettura più intuitiva. La legenda viene descritta nel capitolo 3.2.2.

Nelle tabelle 3.2 e 3.3 si riportano i valori medio del parametro LF/HF e le deviazioni standard per l'intervallo scelto per effettuare la misurazione a riposo. In questo modo si ottengono i valori limite

per l'individuazione di un livello di stress elevato, medio piuttosto che basso. Ovviamente la calibrazione viene eseguita in modo separato per i conducenti dei diversi veicoli.

Camion Leonardo - Follower				
	$x_m$	$\sigma$	$x_m + \sigma$	$x_m - \sigma$
23-giu	1,10	1,03	2,13	0,07
24-giu	0,96	0,76	1,72	0,20
25-giu	0,85	0,59	1,43	0,26
28-giu	0,81	0,70	1,51	0,11
29-giu	1,01	0,80	1,81	0,20
30-giu	1,07	0,91	1,99	0,16
01-lug	0,83	0,42	1,25	0,42
05-lug	0,75	0,39	1,15	0,36
06-lug	1,11	0,98	2,09	0,13
07-lug	0,75	0,63	1,38	0,12
08-lug	1,05	0,65	1,69	0,40
09-lug	0,75	0,51	1,26	0,23

Tabella 3.2 - Camion Leonardo, risultato della calibrazione per ogni giornata di test

Camion Michelangelo - Leader				
	$x_m$	$\sigma$	$x_m + \sigma$	$x_m - \sigma$
01-lug	1,26	1,02	2,28	0,23
02-lug	0,84	0,73	1,57	0,11
05-lug	1,03	0,90	1,93	0,12
06-lug	0,93	0,85	1,79	0,08
07-lug	0,86	0,56	1,41	0,30
09-lug	0,99	0,89	1,88	0,10

Tabella 3.3 – Camion Michelangelo, risultato della calibrazione per ogni giornata di test

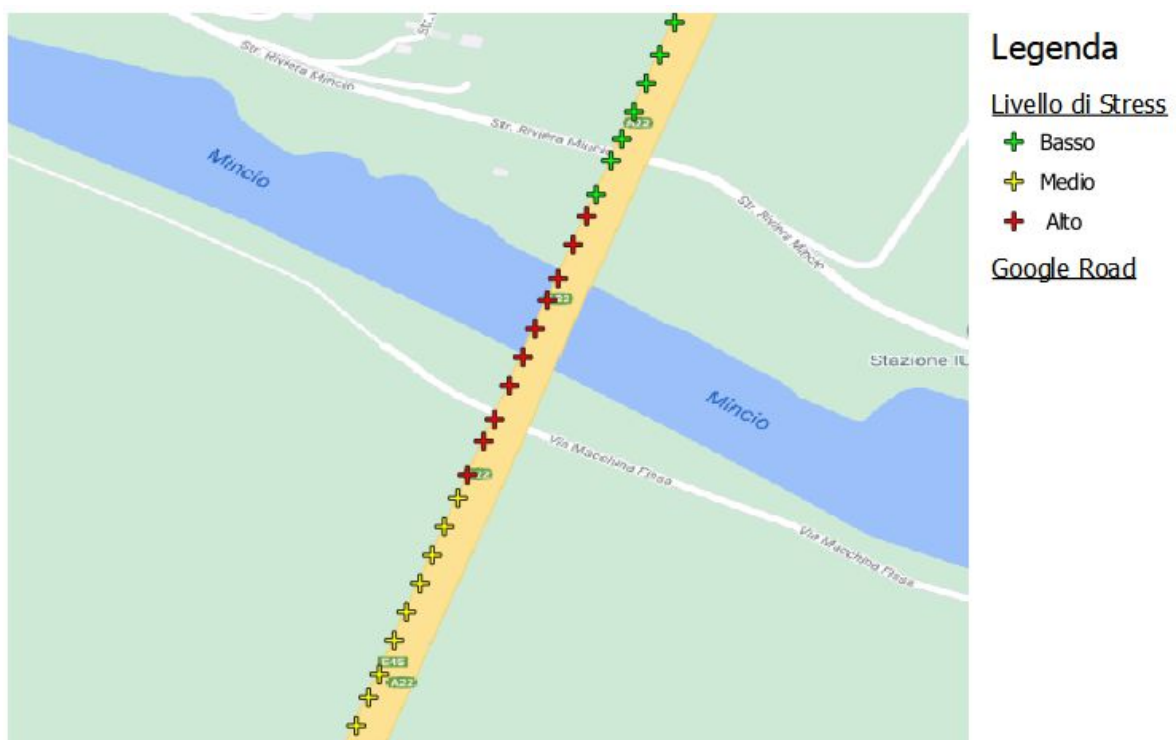
Si può notare come durante i primi giorni di prova si sia utilizzato un solo dispositivo per poi, dal 1 luglio, utilizzarne due in contemporanea. In questo modo si è in grado di osservare eventuali similitudini o diversità nel comportamento e nello stato psicofisico dei conducenti, sia del veicolo Leader e del veicolo Follower nello stesso platoon.

### 3.2.2 RAPPRESENTAZIONE IN QGIS

Dall'analisi della frequenza cardiaca si è ottenuto l'andamento del parametro LF/HF nel tempo. Grazie alla sovrapposizione con gli istanti temporali riportati dal veicolo è possibile ricondurre ogni valore LF/HF ad una precisa posizione GPS, riuscendo a farne anche una mappatura. In questo modo è quindi possibile sviluppare una correlazione sia in termini temporali che spaziali.

Nell'allegato D (tabella D.2) viene riportato un estratto del file .csv rimportato in QGIS: si può notare come ad un istante temporale sia infatti associata la posizione (tramite latitudine e longitudine) e il parametro LF/HF.

In funzione dei valori ottenuti dalla calibrazione a riposo si è scelto di graduare la colorazione del simbolo utilizzando la scala di colori abitualmente riconosciuta per la classificazione del rischio: il colore verde è associato ad un livello di stress basso, il colore giallo ad un livello medio e infine il colore rosso ad un livello di stress alto. Anche la forma è stata scelta in modo da rendere la sovrapposizione con l'informazione riguardante lo stato del platoon il più chiara e leggibile possibile.



Scala 1:2500

Figura 3.8 - esempio della rappresentazione del livello di stress in QGIS

### 3.3 ELABORAZIONE DATI PLATOON – IVECO

IVECO mette a disposizione la posizione dei camion con l'istante temporale di percorrenza ad un passo di 25 ms.

Anche in questo caso in QGIS viene importato il file .csv dell'allegato D, attraverso le coordinate GPS (latitudine e longitudine). Questo permette di avere una restituzione visiva immediata della condizione in cui si trova il platoon.

Particolare attenzione è stata prestata ai parametri '*PlatoonSize*' e '*THW*', che si ricorda essere la distanza temporale dal veicolo che precede calcolata direttamente dal sistema Platooning. In realtà la graduazione del colore verrà effettuata utilizzando come parametro la distanza interveicolare in metri, poiché di più facile intuizione.

Si è quindi deciso di graduare sia la dimensione dei simboli che la colorazione:

- La dimensione vuole indicare il numero di veicoli che compongono il platoon, in particolare il pallino viene associato ad un platoon di 2 veicoli mentre nessun simbolo viene riportato quando il platoon non è attivo.
- La colorazione è rappresentativa della distanza spaziale tra due veicoli consecutivi, in particolare un colore più scuro indica una distanza minore e quindi una situazione più critica mentre un colore più chiaro indica una distanza interveicolare maggiore.

Si precisa che i punti su QGIS hanno un passo di 1 secondo (e non 25 ms come i dati originali) in quanto si pensa che non vengano perse informazioni essenziali ma al contrario la densità dei dati avrebbe compromesso la leggibilità del grafico.

In tutte le rappresentazioni successive si è scelto di posizionare i punti sulla mappa di Google Satellite per conferire maggiore leggibilità al disegno. Nelle successive tavole verrà anche riportato un particolare con una scala di riduzione in modo da permettere al lettore di orientarsi nel territorio.

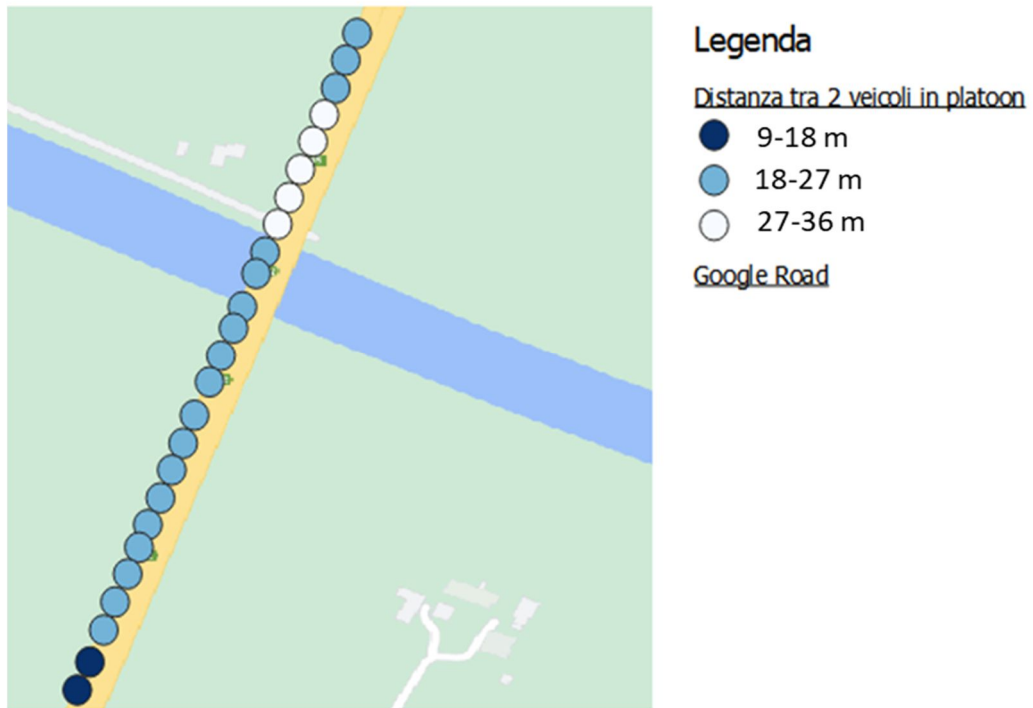


Figura 3.9 – esempio della rappresentazione dello stato del platoon in QGIS



### 3.4 CORRELAZIONE STATO PSICOFISICO – GUIDA IN TRUCK

#### PLATOONING

Il metodo più efficace per la rappresentazione della grande mole di dati pervenuta è quello cartografico in quanto non solo permette di usufruire di una grande potenza di calcolo ma restituisce anche un'interpretazione visiva immediata. Si è utilizzato quindi il software QGIS, con l'obiettivo di svolgere una prima scrematura dei dati, e in un secondo momento si è analizzata la particolare situazione nel dettaglio.

Si sono sovrapposti i layer rappresentanti il livello di stress e la condizione del platoon, come illustrato rispettivamente nel capitolo 3.2.2 e 3.3. Grazie alla georeferenziazione è quindi possibile effettuare un confronto tra i punti in cui è stato registrato un elevato livello di stress e la situazione in cui si trova il veicolo. Questo dovrebbe permettere di evidenziare eventuali situazioni critiche per il conducente e apportare delle successive migliorie al sistema.

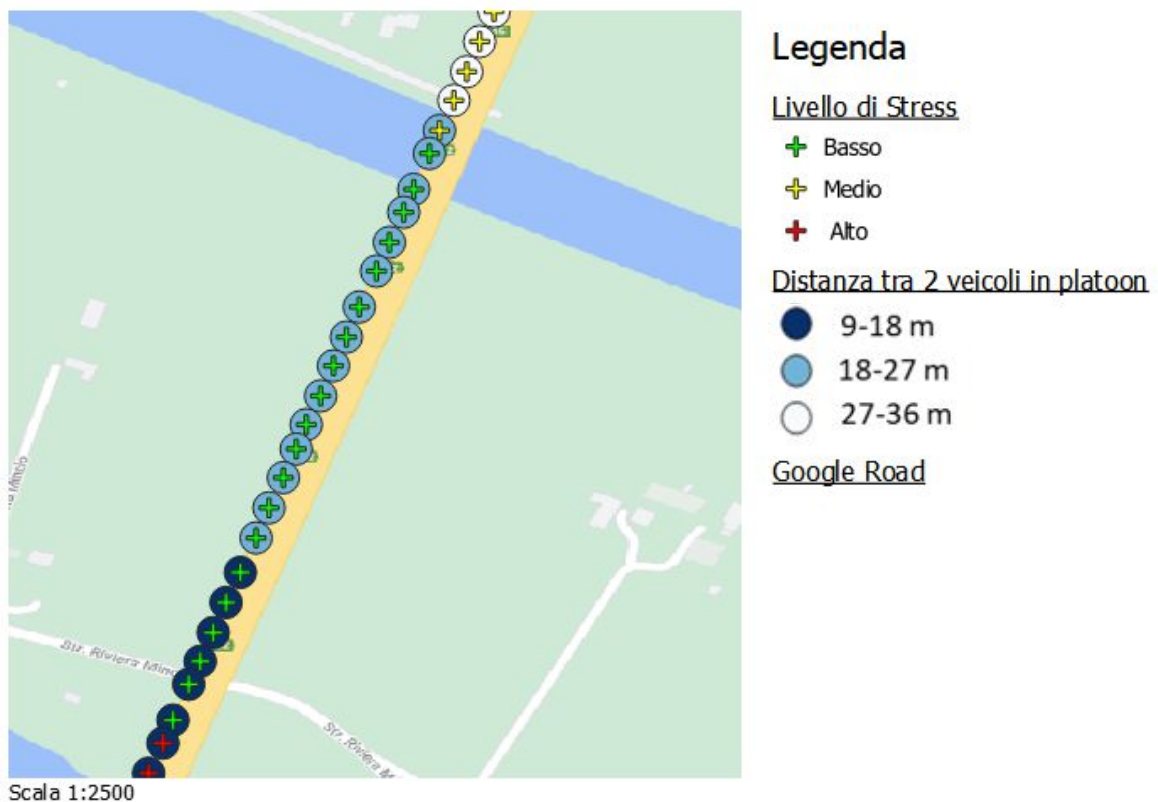


Figura 3.10 - esempio della rappresentazione contemporanea del livello di stress nel conducente e dello stato del platoon

Una volta individuato un picco nel livello di stress, identificato quindi con la croce rossa, è possibile risalire all'istante temporale in cui si è verificato sfruttando le funzioni di QGIS, in particolare gli attributi e le etichette.



Figura 3.11 - Aggiunta dell'etichetta 'orario'

Conoscendo l'istante temporale risulta essere più facile leggere il file Excel per analizzare la situazione del platoon nella sua interezza e capire se oltre ad un'ordinaria formazione/disaggregazione si possa essere verificata una situazione di cut-in da parte di un veicolo esterno oppure la presenza di un cantiere.

Si riporta ora l'analisi di alcune giornate di test con il fine di rispondere ad alcune domande:

- Lo stato psicofisico del conducente è influenzato dalla guida in platoon?
- In quali situazioni è stato registrato un livello di stress classificato come 'alto'?

Si è scelto di analizzare le giornate 5,6,7,9 luglio in quanto si è in possesso dei dati relativi ad entrambi i conducenti e veicoli.

Per rispondere al primo quesito si è scelto come parametro rappresentativo il numero di picchi (ovvero un elevato livello di stress) nel tempo, scindendo il periodo in cui i veicoli sono in formazione da quando invece si muovono autonomamente.

Camion Leonardo - Follower					
		Platoon attivo		Platoon non attivo	
		N° picchi	tempo [s]	N° picchi	tempo [s]
05-lug		45	3185	6	255
06-lug		118	10452	16	1412
07-lug		89	7135	26	1565
09-lug		120	7966	22	1322

Tabella 3.4 – Camion Leonardo, numero di picchi del livello di stress nel tempo

Camion Michelangelo - Leader					
		Platoon attivo		Platoon non attivo	
		N° picchi	tempo [s]	N° picchi	tempo [s]
05-lug		27	3998	5	417
06-lug		16	10452	0	1412
07-lug		80	8564	15	1565
09-lug		120	7966	25	1439

Tabella 3.5 – Camion Michelangelo, numero di picchi del livello di stress nel tempo

Immediatamente si può notare come in tutte le giornate di test il tempo trascorso in platoon sia notevolmente maggiore rispetto al tempo in guida manuale; generalmente durante un tragitto di 3 ore, i veicoli si muovono autonomamente per solamente 20 minuti. Nella figura 3.12 si può osservare come i veicoli si muovono in modo coordinato per poco meno del 90% dell'intero tempo di percorrenza. Da qui nasce la necessità di non prendere in considerazione il numero di volte in cui si è registrato un livello di stress elevato ma di normalizzarlo sul rispettivo tempo.

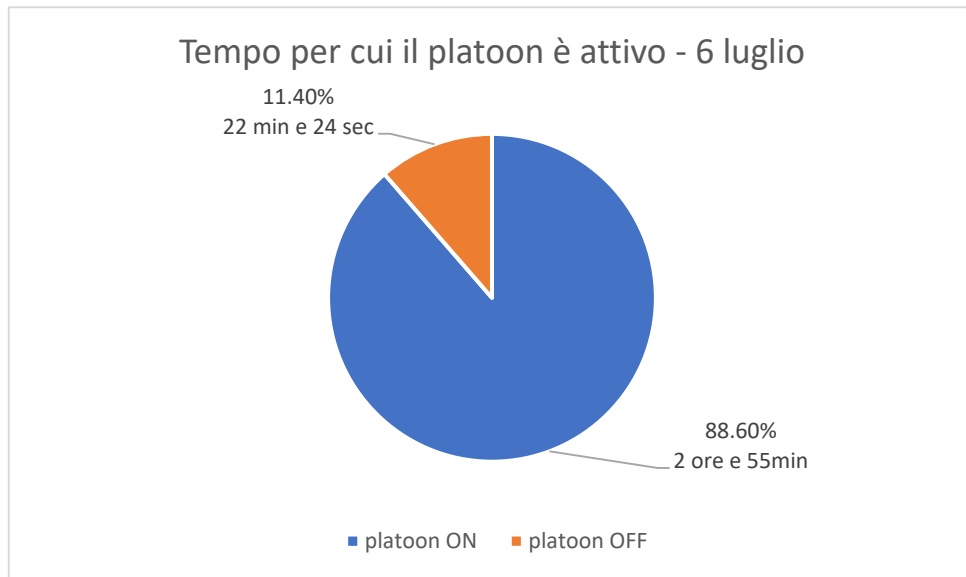


Figura 3.12 – Tempo trascorso in platoon e in guida manuale

Lo scioglimento della formazione solitamente avviene in corrispondenza degli svincoli autostradali, spesso percorsi per effettuare la manovra di inversione, della galleria (poiché viene perso il segnale GPS) oppure a causa dell'inserimento da parte di veicoli esterni. Risulta quindi abbastanza naturale che il livello di stress di un guidatore sia intrinsecamente più elevato rispetto all'ordinaria guida sulla carreggiata autostradale, a causa della diversa tipologia di strada che sta percorrendo.

Al fine di effettuare un confronto più equo possibile tra lo stato psicofisico durante la guida in platoon e manuale si è scelto di depurare il periodo in cui il platoon non è attivo sia dal tempo che dai picchi nel livello di stress rilevati durante la percorrenza dello svincolo stesso. Sono stati considerati quindi solamente i tragitti dell'itinerario autostradale.

La figura 3.13 vuole mettere in luce la presenza di numerosi picchi (in rosso) proprio durante la percorrenza dello svincolo autostradale, in particolare Trento Nord; è evidente la differenza rispetto alla regolare percorrenza della A22 durante la quale si registra un costante livello di stress medio. Proprio questi picchi non sono stati conteggiati nelle successive elaborazioni.

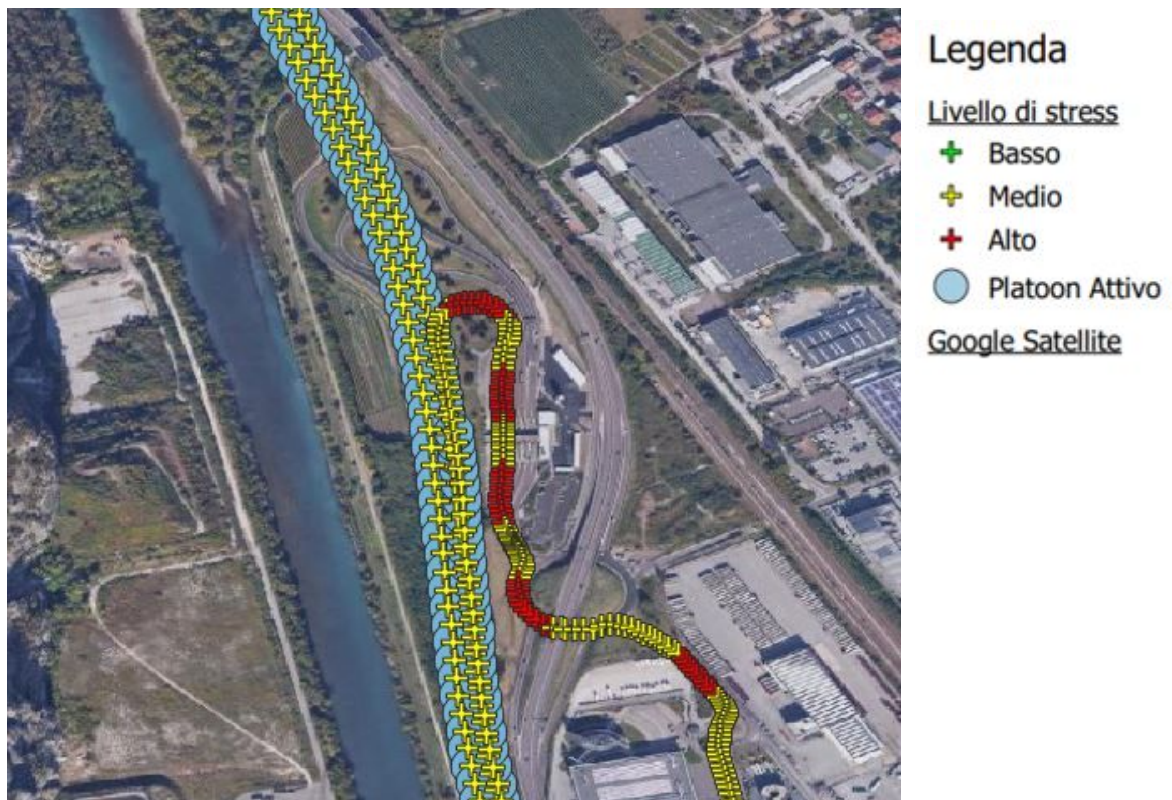


Figura 3.13 - confronto tra il livello di stress in guida manuale e in platoon

Nelle successive tabelle per entrambi i veicoli viene quindi riportato il rapporto:

$$\frac{\text{NUMERO DI PICCHI}}{\text{TEMPO}}$$

La tabella 3.6 si vuole mettere in evidenza come per il conducente del veicolo Follower, in proporzione, si siano registrati meno picchi di stress (ovvero del parametro LF/HF) quando il veicolo si trova a far parte di un platoon.

Camion Leonardo - Follower									
		05-lug		06-lug		07-lug		09-lug	
		Platoon attivo	Platoon non attivo	Platoon attivo	Platoon non attivo	Platoon attivo	Platoon non attivo	Platoon attivo	Platoon non attivo
$\frac{N^{\circ} \text{ picchi}}{\text{tempo}}$		1,57E-02	1,96E-02	1,13E-02	1,25E-02	1,53E-02	1,57E-02	1,54E-02	1,96E-02
Variazione %		24,90%		10,97%		2,85%		26,84%	

Tabella 3.6 – Confronto tra guida in platoon (Follower) e guida manuale

Anche la tabella 3.7 vuole dare evidenza della medesima informazione, ovvero che anche per il conducente del veicolo Leader si siano registrati meno picchi di stress durante la guida in platoon rispetto alla guida manuale.

Camion Michelangelo - Leader								
05-lug		06-lug		07-lug		09-lug		
	Platoon attivo	Platoon non attivo	Platoon attivo	Platoon non attivo	Platoon attivo	Platoon non attivo	Platoon attivo	Platoon non attivo
$\frac{N^{\circ} \text{ picchi}}{\text{tempo}}$	8,63E-03	9,58E-03	1,83E-03	0,00	1,32E-02	1,34E-02	1,48E-02	1,73E-02
Variazione %	10,95%				1,15%		16,46%	

Tabella 3.7 – Confronto tra guida in platoon (Leader) e guida manuale

Queste informazioni potrebbero portare alla conclusione che, nel complesso, entrambi i conducenti (sia in posizione di Leader che di Follower) siano meno tesi e nervosi rispetto ad una normale sessione di guida in manuale

Generalmente la variazione percentuale risulta minore per il conducente che si trova nella posizione di Leader. Quest'ultimo dovrebbe trovare la guida in platoon piuttosto simile alla guida manuale mentre il conducente in posizione di Follower dovrebbe risentirne maggiormente.

A conferma di questa ipotesi si propone la comparazione del parametro "numero di picchi nel tempo" per i guidatori di veicoli in posizioni differenti, ma sempre mentre il platoon è attivo: immediatamente si nota come i valori siano sempre inferiori per il conducente del veicolo Leader.

	$\frac{N^{\circ} \text{ picchi}}{\text{tempo}}$ — Platoon attivo	
	Camion Leader	Camion Follower
05-lug	8,63E-03	1,57E-02
06-lug	1,83E-03	1,13E-02
07-lug	1,32E-02	1,53E-02
09-lug	1,48E-02	1,54E-02

Tabella 3.8 – confronto tra conducente del veicolo Leader e Follower

Ciò porta a concludere che il guidatore del veicolo Leader è meno nervoso rispetto a quello in posizione di Follower. Ciò potrebbe essere attribuito al fatto che il secondo guidatore non ha il controllo longitudinale del veicolo ed è costretto a subire le accelerazioni e decelerazioni imposte dal sistema, in funzione anche delle azioni compiute dal guidatore che lo precede.

Ora si prosegue analizzando ogni singolo picco nel livello di stress rilevato dal monitoraggio del conducente in posizione di Follower. In questo frangente si è preso in analisi unicamente il periodo riguardante la guida in platoon con il fine di trovare una correlazione con ciò che si trova nell'intorno o una particolare situazione del platoon. Per far questo è stato fondamentale l'interpolazione tra la rappresentazione in QGIS e i dati IVECO (Allegato D).

Si sono identificate alcune circostanze particolari che si presuppone possano generare un senso di incertezza e nervosismo nel conducente. In particolare:

- Variazione della distanza interveicolare, quindi l'avvicinamento o l'allontanamento tra diversi veicoli in platoon.

Si riporta un estratto dell'analisi in cui si possono osservare diversi picchi nel parametro LF/HF proprio in corrispondenza dei minimi e dei massimi della curva arancione. Quest'ultima, infatti, rappresenta proprio la distanza interveicolare e si può osservare come vari da 48 metri fino ad un minimo di 25 metri.

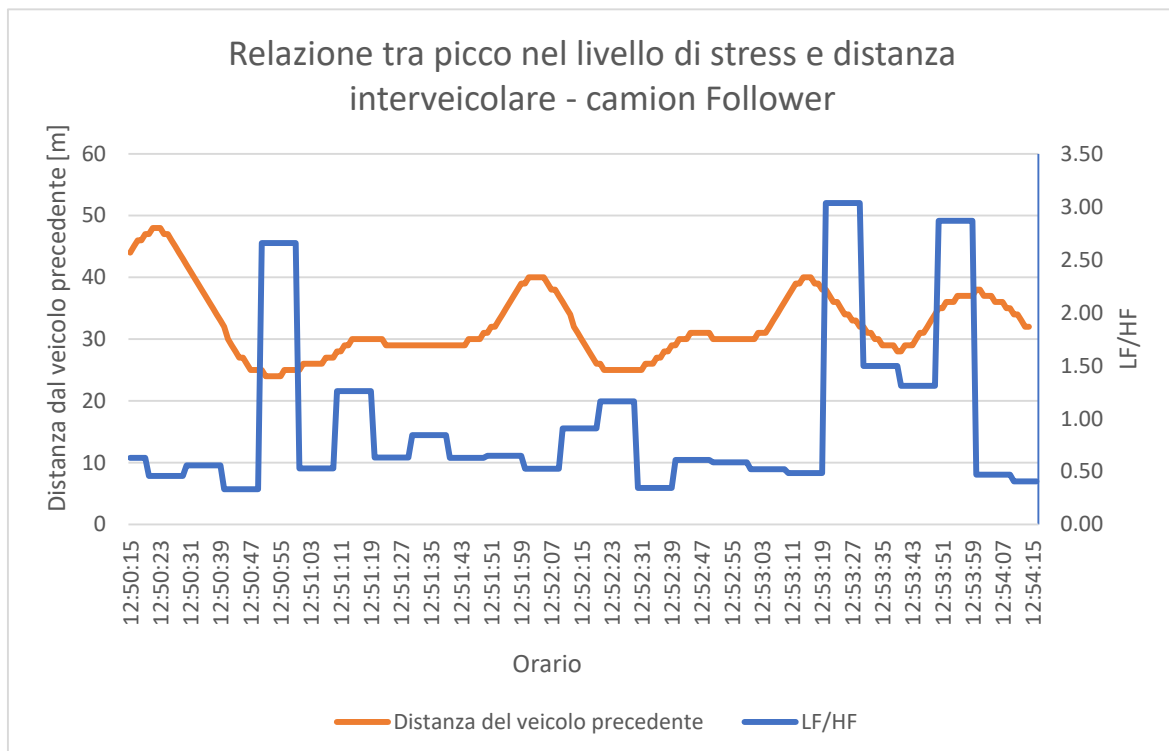


Figura 3.14 – relazione tra picco nel livello di stress e distanza interveicolare

- Tracciato: in particolare si fa riferimento alla presenza di opere d'arte come sottopassi, ponti o curve più marcate. Un'attenzione particolare viene riservata alla percorrenza della galleria, analizzata in modo più approfondito nel capitolo 3.4.3.
- Manovre di formazione e disaggregazione del platoon.
- Presenza della corsia di decelerazione o accelerazione per l'uscita o l'immissione in A22.

Nella tabella 3.9 si riporta l'incidenza di ogni situazione sul numero totale di picchi. In particolare, si fa riferimento alla giornata di test del 6 luglio per il veicolo Follower, in cui si erano registrati in totale 118 picchi nel livello di stress durante un percorso di all'incirca tre ore.

	N° picchi	%
Variazione della distanza interveicolare	48	41
Tracciato	32	27
Rampa	11	9
Formazione/disaggregazione	6	5

Tabella 3.9 - 6 luglio, circostanze che inducono nel conducente un maggiore livello di stress

Si è stato in grado quindi di ricondurre l'elevato livello di stress a una delle circostanze descritte nell'82% dei casi. Il rimanente 18% potrebbe essere legato a eventi esterni al platoon che non si è stati in grado di rilevare e localizzare; per far ciò in futuro potrebbe essere installata una videocamera sul veicolo. Una seconda ipotesi potrebbe essere legata all'osservazione già riportata nel capitolo 2.2: si è consapevoli della minore precisione nei risultati rispetto all'uso di apparecchiature mediche ma si è ritenuto opportuno l'utilizzo di questo dispositivo per la fattibilità nel controllo da remoto.

Un risultato importante può essere riscontrato applicando l'analisi contraria, ovvero identificando tutti i momenti in cui era in atto la manovra di formazione o disaggregazione del platoon. Su 20 manovre totali, il metodo ha registrato un livello di stress elevato in 16 di essi, che equivale all'80%. Questo aspetto verrà approfondito nel capitolo 3.4.3. La percentuale è molto simile tra la manovra di formazione, con una percentuale dell'83%, e la manovra di disaggregazione, con una percentuale del 75%.

A conferma dei risultati appena riportati si analizza la giornata di test del 5 luglio. Anche in questo caso si riporta l'incidenza di ogni situazione sul numero totale di picchi, pari a 45. Si è stato in grado quindi di ricondurre l'elevato livello di stress a una delle circostanze descritte nell'87% dei casi.



	N° picchi	%
Variazione della distanza interveicolare	16	36
Tracciato	14	31
Rampa	5	11
Formazione/disaggregazione	4	9

*Tabella 3.10 - 5 luglio, circostanze che inducono nel conducente un maggiore livello di stress*

Scorrendo i dati IVECO, in alcune giornate è presente l'informazione riguardo all'inserimento dell'indicatore di direzione da parte del veicolo Leader. In 4 casi su 6, ovvero nel 67% dei casi, il monitoraggio del conducente del veicolo Follower ha rilevato un livello di stress elevato. Si specifica come la freccia inserita fosse quella sinistra il che fa presupporre un cambio di corsia da parte dell'intero platoon. Si può facilmente intuire come si tratti di una manovra abbastanza delicata a causa dell'interazione con il traffico circostante, specialmente dal momento che l'A22 è caratterizzata da solamente due corsie per senso di marcia.

Nei capitoli successivi si è scelto di analizzare alcune circostanze peculiari quali la corrispondenza con svincoli autostradali, la manovra di formazione e disaggregazione del platoon e la manovra di cut-in. In particolare, l'analisi sarà concentrata nella differenza del comportamento tra i conducenti in diverse posizioni (veicolo Leader e Follower).

### 3.4.1 SVINCOLI AUTOSTRADALI

Si è scelto di monitorare il comportamento dei conducenti durante la guida in platoon durante il pomeriggio del 1 luglio.

In un primo momento si è analizzato il comportamento del conducente del camion Leonardo, il quale si trova in una posizione di veicolo Follower riscontrando così un particolare atteggiamento in corrispondenza delle rampe di entrata e di uscita dall'autostrada.

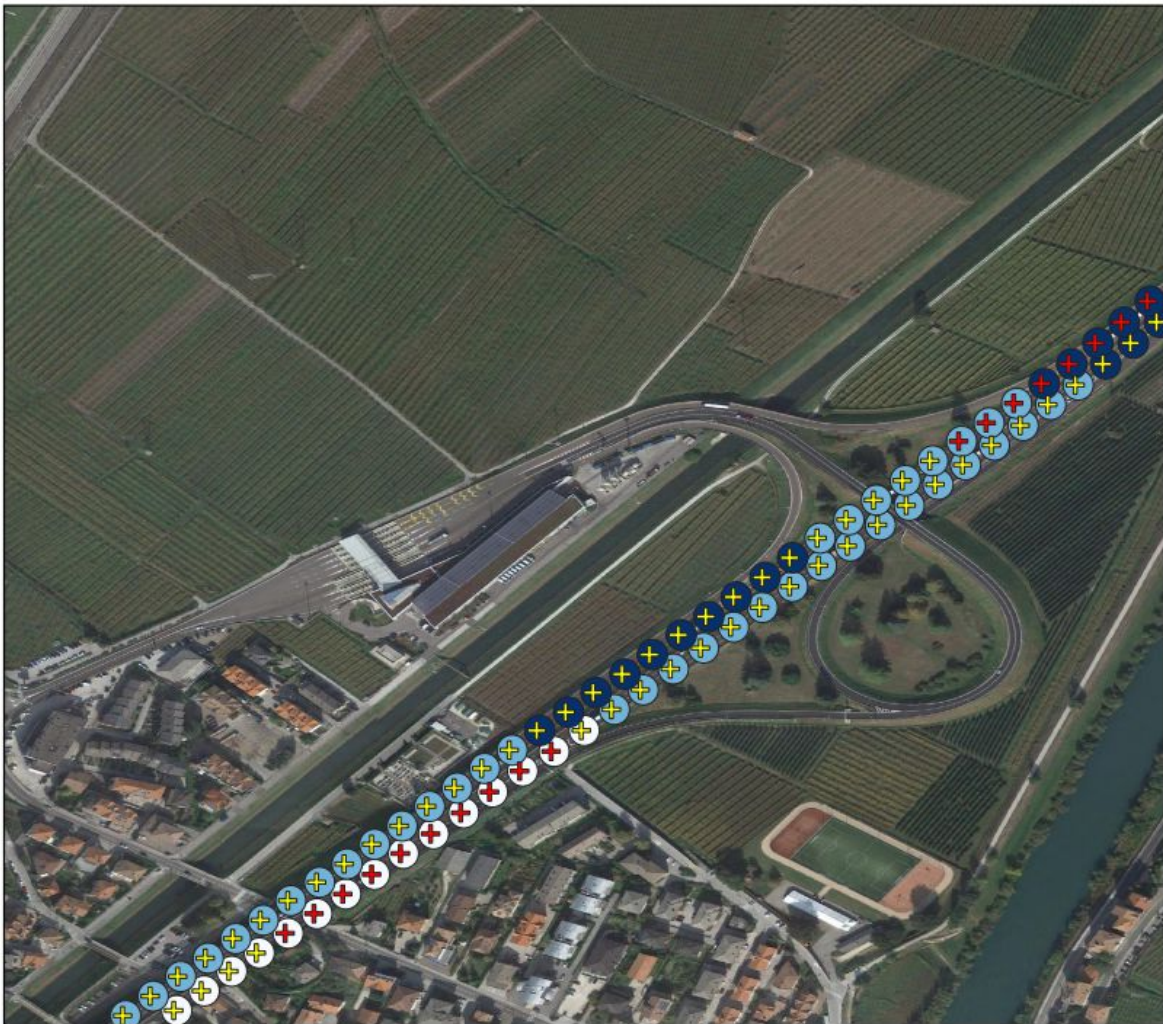
Di seguito, nella figura 3.15 si riporta la rappresentazione della situazione del platoon e del livello di stress. In particolare, i pallini corrispondono ad una situazione in cui il platoon è in formazione; questi assumono una colorazione diversa in funzione della distanza che sussiste tra veicolo Leader e Follower (il blu scuro corrisponde ad una distanza più ravvicinata).

Si osserva che in entrambi i sensi di marcia si è registrato un elevato livello di stress in corrispondenza della rampa di uscita e indipendentemente dalla distanza interveicolare. Si può interpretare questo dato presupponendo che il conducente provi un senso di disagio legata alla non conoscenza dell'itinerario e alla possibile manovra che il conducente del veicolo Leader potrebbe effettuare, ad esempio potrebbe imboccare l'uscita senza aver effettivamente inserito l'indicatore di direzione. Un'altra spiegazione potrebbe essere nel timore del verificarsi di una manovra di cut-in, ovvero l'intrusione di un veicolo esterno che si trova in attesa sulla corsia di accelerazione. Effettivamente questa circostanza si è verificata e verrà analizzata nel capitolo 3.4.2.

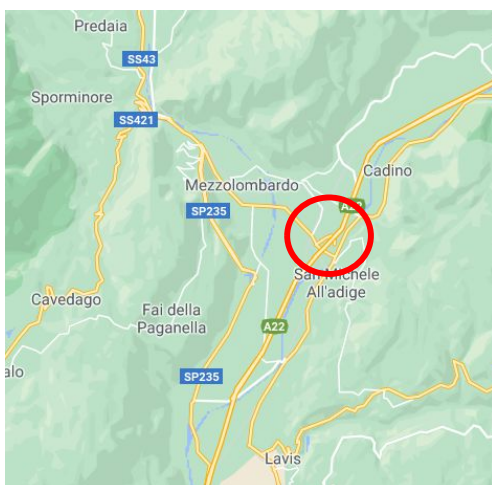
Avendo osservato questa situazione nel conducente del veicolo Follower ci si è domandati come si stesse evolvendo il monitoraggio del livello di stress nel guidatore del veicolo Leader. Si è scelto quindi di osservare e di analizzare i dati pervenuti dal conducente del camion Michelangelo (Leader), posizionandosi nelle stesse coordinate dello svincolo oggetto dello studio.

Come si può osservare nella figura 3.16 non si è registrato nessun picco nel livello di stress e quindi questo porterebbe a pensare che il conducente del veicolo Leader sia nel complesso tranquillo e, al contrario, che solamente il conducente del veicolo Follower si trovi in una situazione di disagio.

Camion Leonardo - Follower



Scala 1:2500



Legenda

Livello di stress

- + Basso
- + Medio
- + Alto

Distanza tra 2 veicoli in platoon

- 22 - 31 m
- 31 - 40 m
- 27 - 50 m

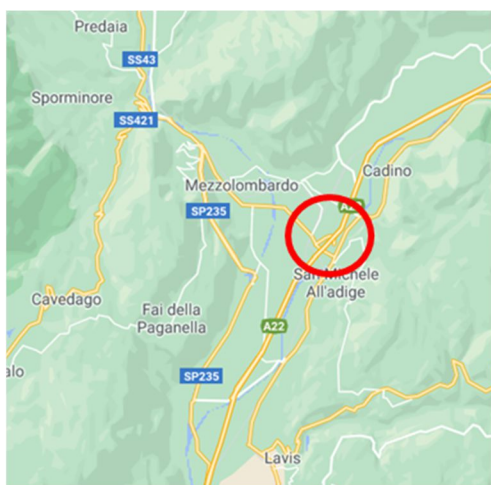
Google Satellite

Figura 3.15 - veicolo Follower, livello di stress elevato in corrispondenza degli svincoli autostradali

Camion Michelangelo - Leader



Scala 1:2500



Legenda

Livello di stress

+ Basso

+ Medio

+ Alto

● Platoon Attivo

Google Satellite

Figura 3.16 - veicolo Leader, livello di stress medio in corrispondenza degli svincoli autostradali

È importante capire se la presenza delle corsie di accelerazione e decelerazione per l'immissione o l'uscita dall'autostrada possano indurre uno stato di stress psicofisico nel conducente, dal momento che si tratta di una situazione che si verifica molto spesso durante un tragitto autostradale.

Si è voluto quindi approfondire questa analisi anche per la giornata di test del 5 luglio, ancora concentrandosi sulla differenza nel comportamento dei conducenti dei veicoli Follower e Leader. Anche in questo caso si osserva la medesima situazione, ovvero che il monitoraggio nel conducente del veicolo Follower fa registrare un picco nel parametro LF/HF e quindi nel livello di stress; al contrario il monitoraggio del conducente del veicolo Leader rivela sempre un livello di stress medio. Si riportano anche in questo caso le rappresentazioni della circostanza appena descritta: nella figura 3.17 si può osservare lo stato del conducente e del veicolo Follower, mentre nella figura 3.18 quello del guidatore del veicolo Leader.



## Camion Michelangelo - Leader



Scala 1:2500



## Legenda

Livello di stress

+ Basso

+ Medio

+ Alto

● Platoon Attivo

Google Satellite

Figura 3.18 - veicolo Leader, livello di stress medio in corrispondenza dello svincolo autostradale

### 3.4.2 MANOVRA DI CUT - IN

Dall'analisi dei dati IVECO del 5 luglio pervenuti dal Camion Leonardo, il quale si trova nella posizione di veicolo Follower, è emersa una manovra di inserimento da parte di un veicolo esterno tra due camion in platoon.

Nella figura 3.19 si riporta la rappresentazione dello stato del platoon e del rispettivo livello di stress del guidatore. Anche in questo caso i pallini corrispondono ad una situazione in cui il platoon è ancora in formazione, mentre nel momento in cui i veicoli proseguono in modo autonomo non viene riportato nessun simbolo ma si può continuare ad osservare la restituzione grafica del livello di stress, il quale a sua volta è rappresentato con delle croci di colorazioni differenti. In particolare, i pallini rosa corrispondono al momento in cui un veicolo esterno sta effettuando la manovra di cut – in, ovvero si è inserito tra due veicoli in platoon portandoli così ad allontanarsi fino allo scioglimento della formazione.

Si è a conoscenza della cessata formazione del platoon in quanto in corrispondenza della fine della manovra di cut - in (pallini rosa) non si ha la prosecuzione dei pallini azzurri, i quali invece indicano che il Platoon è attivo e assumono diverse colorazioni in funzione della puntuale distanza interveicolare.

Nella figura 3.19 si può osservare la registrazione di alto nel livello di stress, rappresentato con le croci rosse, nel conducente del veicolo Follower. È interessante osservare come il picco di stress si verifichi in corrispondenza sia dell'inizio e della fine della manovra di cut – in. Se il primo può essere ricondotto dall'inserimento del veicolo, discorso diverso deve essere fatto per il secondo picco di stress: potrebbe essere dovuto alla disaggregazione del platoon, manovra che nel capitolo 3.4 è stata individuata come sorgente di disagio.

Si sceglie quindi di analizzare il comportamento del conducente del veicolo Leader nella medesima situazione e posizione. Anche nella figura 3.20 si possono osservare due momenti in cui il livello di stress è riconosciuto come 'Alto'.

Si può quindi concludere che la manovra di cut-in genera un elevato livello di stress in entrambi i conducenti, indipendentemente dalla loro posizione nel platoon.

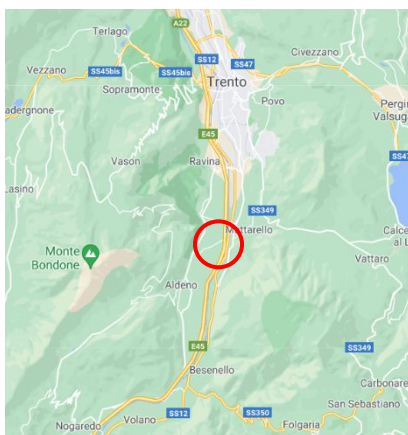
La causa può essere ricondotta alla variazione della distanza interveicolare, accompagnata dalla diminuzione del TTC (Time to Collision) e da una brusca frenata imposta. Un'ulteriore causa potrebbe essere trovata nell'interruzione del platoon stesso.



Camion Leonardo - Follower



Scala 1:5000



Legenda

Livello di stress

- + Basso
- + Medio
- + Alto
- Cut-in

Distanza tra 2 veicoli in platoon

- 14 - 26 m
- 26 - 38 m
- 38 - 50 m

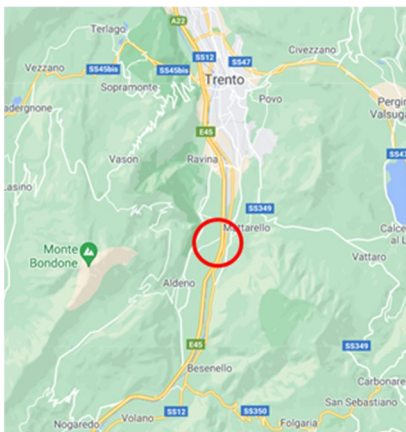
Google Satellite

Figura 3.19 - veicolo Follower, livello di stress elevato in corrispondenza dell'intrusione da parte di un veicolo esterno

Camion Michelangelo - Leader



Scala 1:5000



Legenda

Livello di stress

+ Basso

+ Medio

+ Alto

● Platoon Attivo

Google Satellite

Figura 3.20 - veicolo Leader, livello di stress elevato in corrispondenza dell'intrusione da parte di un veicolo esterno

Con il fine di comprendere meglio il fenomeno si rappresenta l'andamento del TTC durante l'intera durata della manovra di cut-in. Si osserva come in corrispondenza dell'inserimento del veicolo si sia rilevata una netta diminuzione, da 12,5 (valore che caratterizza un platoon stabile) fino a 9 secondi.

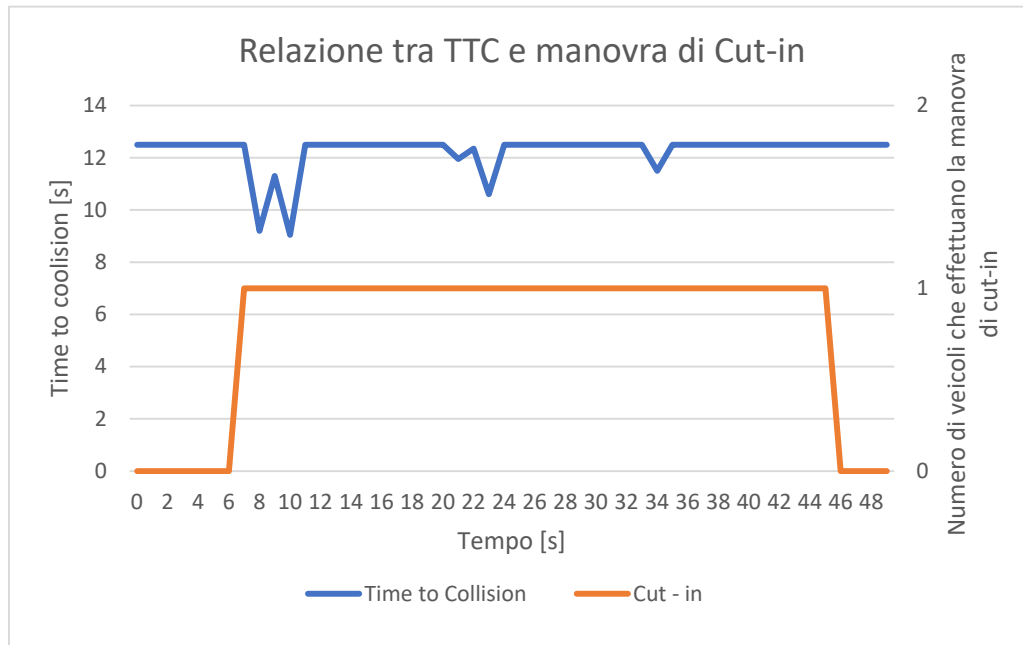


Figura 3.21 - rappresentazione del Time to Collision durante la manovra di Cut-in

Nella figura 3.22 si propone anche la rappresentazione dell'andamento dell'accelerazione e decelerazione del veicolo nel momento in cui il veicolo esterno si inserisce. Si nota come all'incirca in corrispondenza della diminuzione del TTC si verifica anche una frenata maggiore di  $1 \text{ m/s}^2$ .

Tutti questi fattori costituiscono una giustificazione all'alto livello di stress registrato nel conducente: nel momento in cui viene svolta una manovra di cut-in il veicolo subisce una decelerazione importante e il Time to Collision diminuisce.

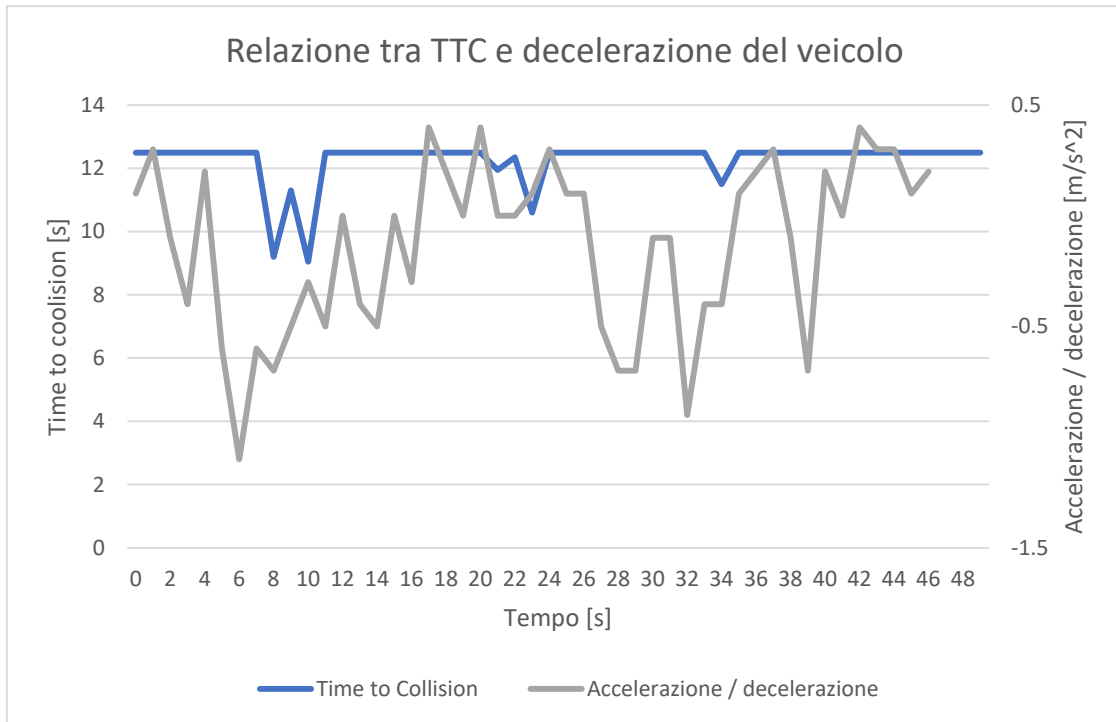


Figura 3.22 - rappresentazione del Time to Collisione e dell'accelerazione subita dal veicolo

La figura 3.23 riporta l'accelerazione e decelerazione che il conducente subisce a causa dell'inserimento di un veicolo esterno. Si osserva un valore più elevato del parametro LF/HF in corrispondenza delle decelerazioni più evidenti.

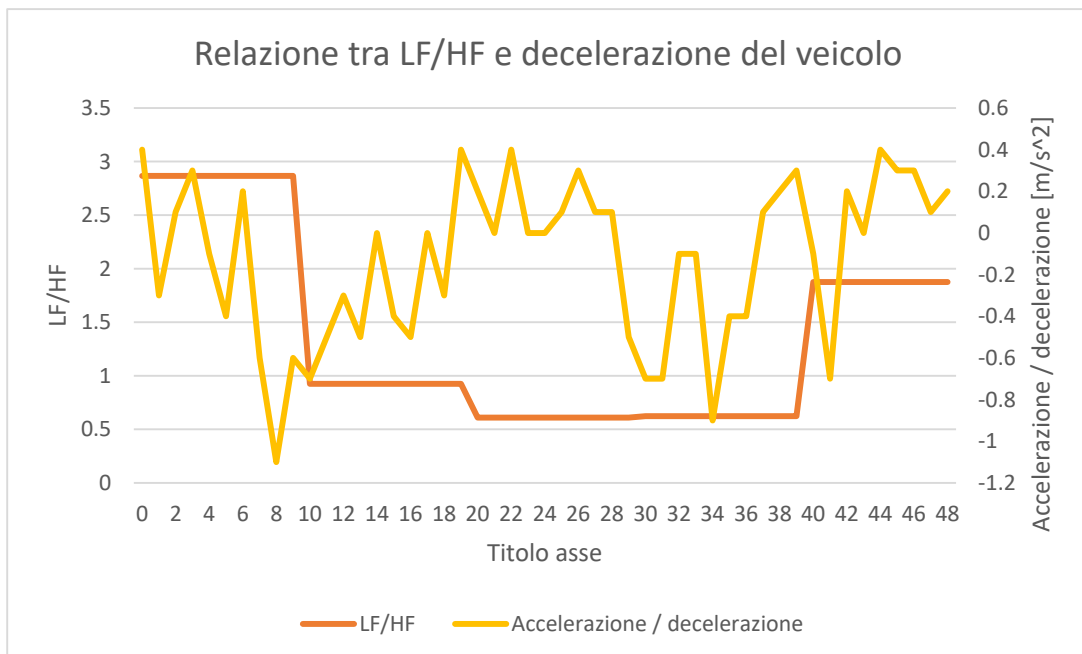


Figura 3.23 - rappresentazione della decelerazione subita dal veicolo e del LF/HF

Ciò che si può comprendere fino ad ora è che la manovra di cut-in sicuramente costituisce una circostanza che induce un elevato di livello di stress nei conducenti di entrambi i veicoli ma si può altrettanto far presente che si tratta di una situazione che si verifica molto raramente: nella totalità dei dati pervenuti si è verificata solamente due volte.

Al fine di verificare il possibile ripetersi nel comportamento degli autisti si è scelto di analizzare altre giornate di test per cercare un'ulteriore manovra di cut-in.

Dall'analisi dei dati IVECO del 9 luglio pervenuti dal camion Leonardo (veicolo Follower) è emerso l'inserimento di un veicolo tra i due camion in platoon, in particolare in corrispondenza della corsia di accelerazione di uno svincolo autostradale

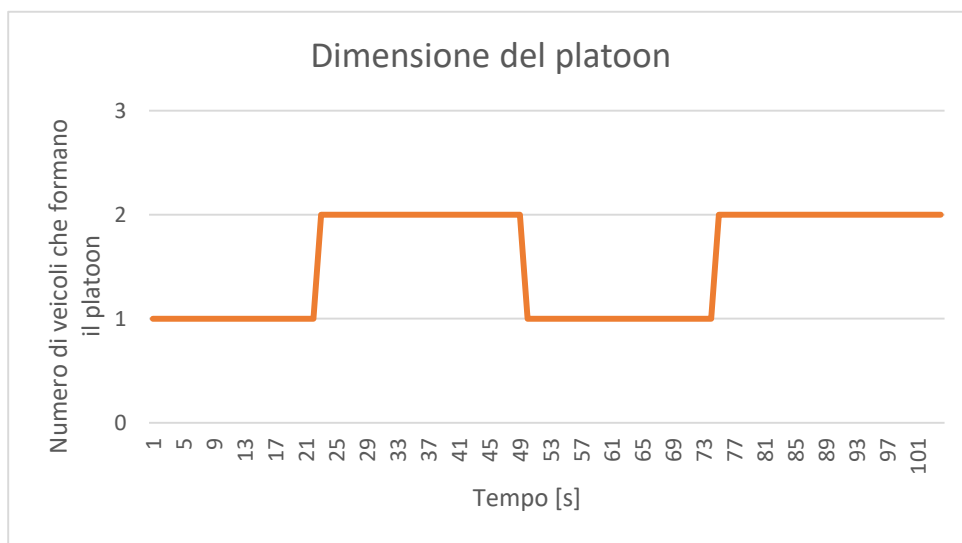


Figura 3.24 - numero di veicoli che formano il platoon nel tempo

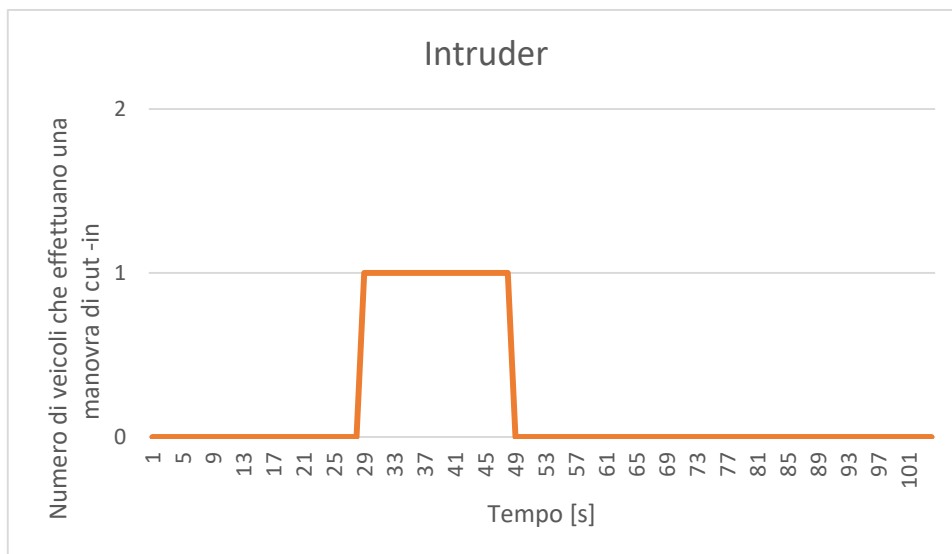


Figura 3.25 - veicoli che effettuano la manovra di Cut-in

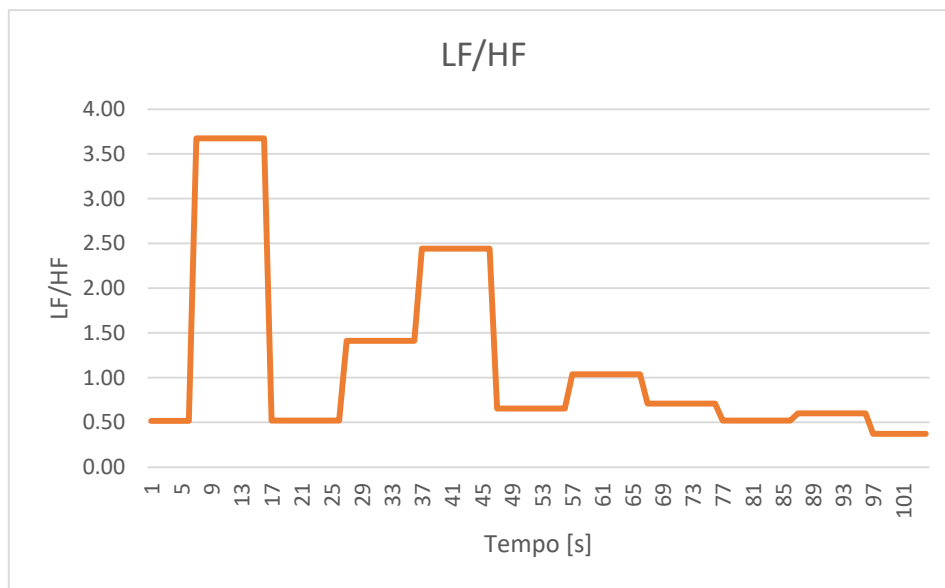


Figura 3.26 - andamento del parametro LF/HF nel tempo

In primo luogo, si può osservare come la manovra di cut-in causi anche in questo caso l'allontanamento dei camion e quindi la disaggregazione del platoon, il quale si riformerà solo in un secondo momento.

Nel grafico in figura 3.26 si può osservare la presenza di due picchi di stress, il primo più marcato si trova in corrispondenza della corsia di decelerazione per l'uscita dall'A22, mentre il secondo si verifica esattamente in corrispondenza dell'inserimento del veicolo esterno. Il secondo picco può risultare meno marcato ma viene comunque identificato come un livello di stress 'alto', in riferimento ai valori risultanti dalla calibrazione, riportati del capitolo 3.2.1.

Si è già discusso in precedenza, nel capitolo 3.4.1, del verificarsi del picco di stress in corrispondenza delle rampe di entrata e uscita dall'autostrada e questa circostanza contribuisce nell'avvalorare il risultato già ottenuto.

Anche durante questo secondo episodio si approfondisce l'analisi riportando l'accelerazione e la decelerazione che il veicolo è costretto ad applicare a causa dell'intrusione di un'automobile esterna. Anche in questo caso si osserva la correlazione tra il picco nel parametro LF/HF e una maggiore decelerazione; per questo motivo l'alto livello di stress risulta giustificato.

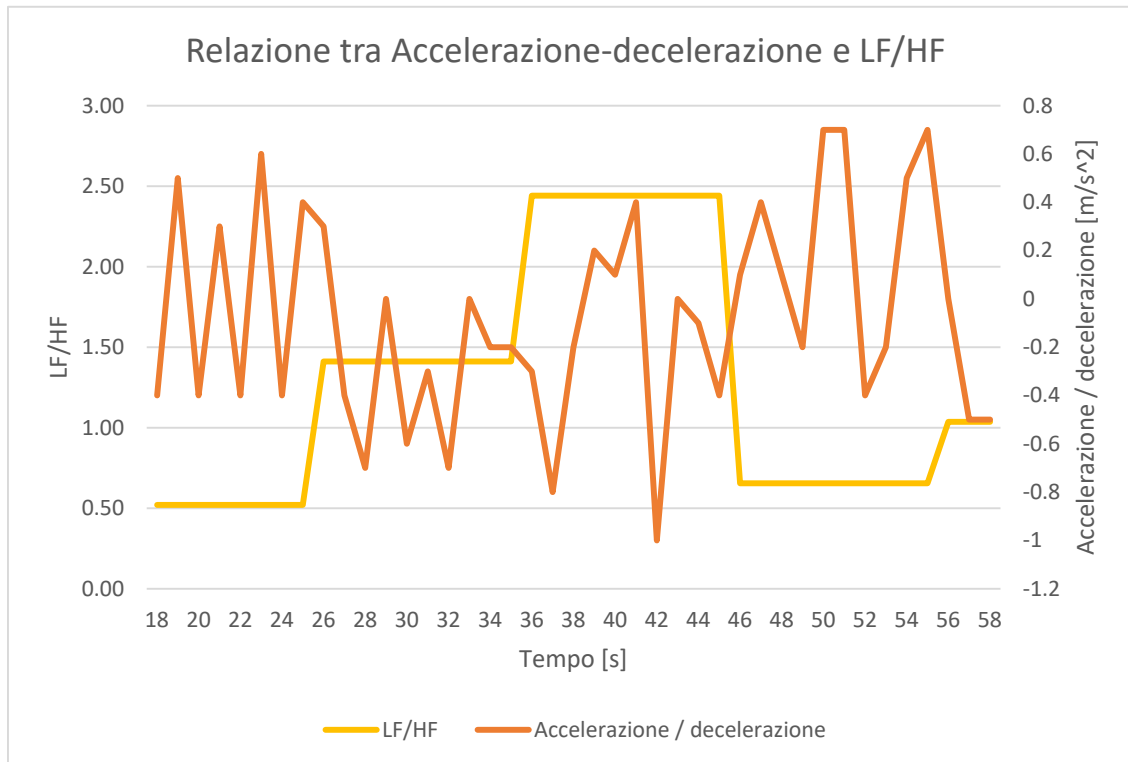


Figura 3.27 - zoom sull'andamento del parametro LF/HF durante la manovra di Cut-in in relazione alla decelerazione subita dal veicolo

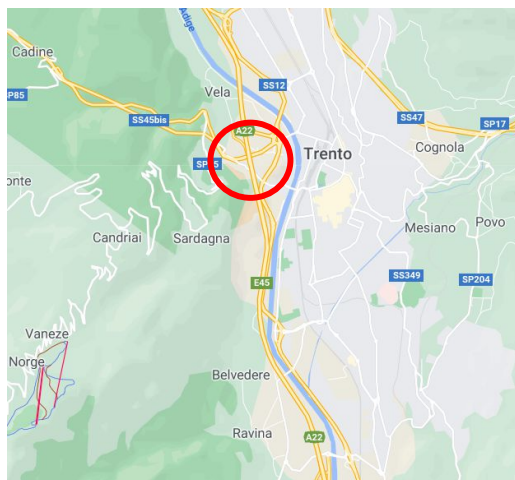
Di seguito, nella figura 3.28 si riporta la rappresentazione dello stato del platoon e del livello di stress seguendo la stessa rappresentazione illustrata all'inizio del capitolo. In particolare, i pallini rosa corrispondono al periodo in cui un veicolo esterno sta effettuando la manovra di cut-in; molto probabilmente si tratta di un veicolo che si è immesso nell'Autostrada A22 dalla corsia di accelerazione.

Anche in questo caso si riporta la rappresentazione per i conducenti in diverse posizioni: nella figura 3.28 si trova il veicolo Follower, mentre nella figura 3.29 il veicolo Leader.

Camion Leonardo - Follower



Scala 1:2500



**Legenda**

**Livello di Stress**

- + Basso
- + Medio
- + Alto
- Cut-in

**Distanza tra 2 veicoli in platoon**

- 25 - 34 m
- 34 - 43 m
- 43 - 53 m

Google Satellite

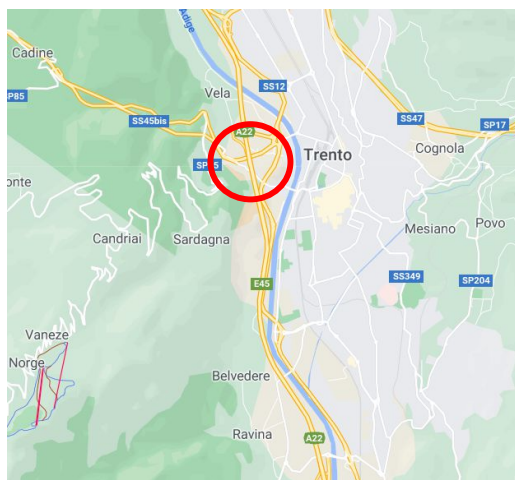
Figura 3.28 - veicolo Follower, livello di stress elevato in corrispondenza dell'intrusione da parte di un veicolo esterno



Camion Leader - Michelangelo



Scala 1:2500



Legenda

Livello di stress

+ Basso

+ Medio

+ Alto

● Platoon Attivo

Google Satellite

Figura 3.29 - veicolo Leader, livello di stress elevato in corrispondenza dell'intrusione da parte di un veicolo esterno

Anche in questo caso si è voluto effettuare il confronto nel comportamento tra i conducenti dei veicoli Follower e Leader. Comparando le due figure (3.37 e 3.38) si può osservare come anche in questo caso il platoon cessi di esistere nel momento in cui termina la manovra di cut-in.

In questo caso l'andamento nel livello di stress appare piuttosto simile a quanto registrato nella giornata del 5 luglio. Si possono dare alcune possibili interpretazioni di questo dato: per quanto riguarda il veicolo Follower non si riesce ad associare con certezza il picco nel livello di stress ad un evento, in quanto potrebbe essere legato sia alla presenza di una rampa di uscita, e quindi al timore di una manovra di cut-in che si è infatti verificata, oppure alla manovra di inserimento stessa. Per quanto riguarda invece il veicolo Leader anche in questo caso risulta difficile associarla alla manovra di cut-in di per sé o piuttosto allo scioglimento del platoon.

Infatti, sia dal grafico in figura 3.30 che dalla restituzione grafica su QGIS si può osservare come in seguito alla manovra di cut-in il platoon si disaggrega, per poi tornare in formazione in un secondo momento.

Nella figura 3.30 infatti si può osservare la rappresentazione di maggiore dettaglio della figura 3.24: non è presente solamente l'informazione riguardo alla formazione o meno del platoon ma si è a conoscenza della fase in cui si trova il veicolo. IVECO ha istituito una serie di codici che indicano il tipo di relazione che sussiste tra i veicoli Leader e Follower; quindi, si può passare da un'informazione globale in cui viene comunicato che il platoon è attivo o non attivo ad una più particolare in cui si può capire se i veicoli si stanno aggregando o disaggregando. Si riporta ora una breve spiegazione dei codici, che saranno riportati sull'asse delle ordinate nel grafico in figura 3.30:

- 3, corrisponde alla fase di allineamento
- 7, corrisponde alla fase di Aggancio tra i due veicoli
- 11, indica il momento in cui il platoon è formato; si tratta di uno stato stazionario che solitamente perdura per molto tempo
- 8, corrisponde alla fase di sgancio in cui i veicoli del platoon si separano per muoversi autonomamente.

In particolare, si sta facendo riferimento ai codici riguardanti un veicolo che si trova in una posizione diversa dal Leader (parametro Front Status nell'allegato D, tabella 1).

Gli stessi codici saranno fondamentali nella correlazione tra livello di stress e le diverse fasi del platoon, illustrata nel capitolo 3.4.3.

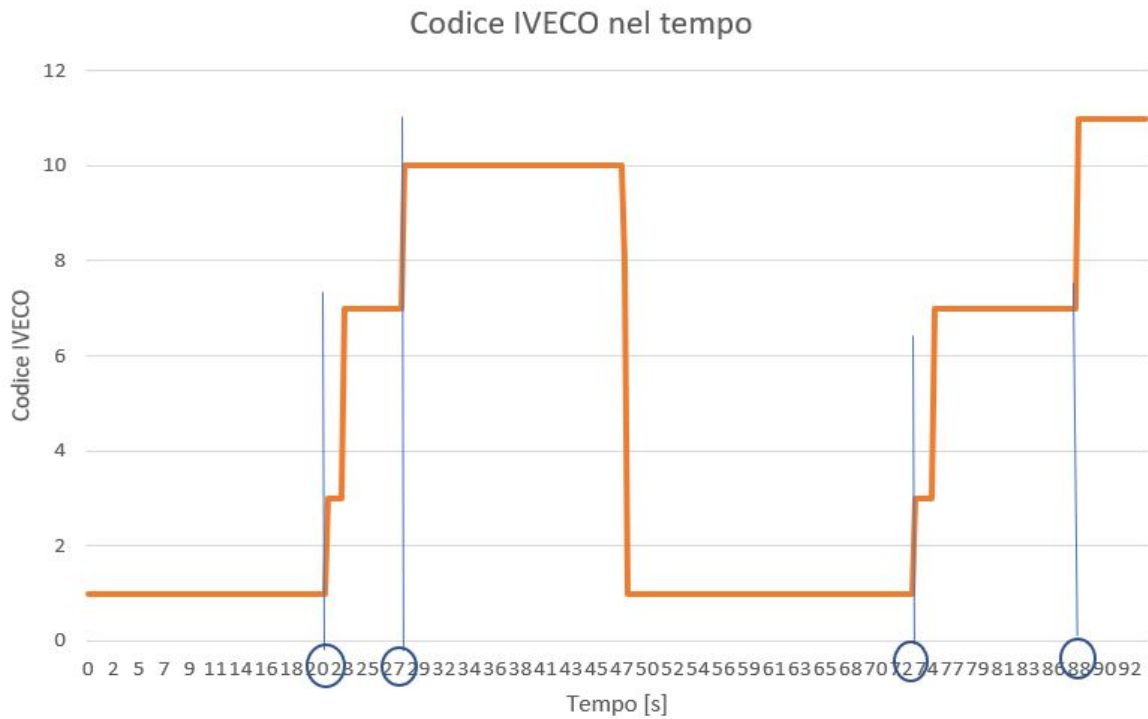


Figura 3.30 – codici Front Status che si scambiano i veicoli durante la manovra di Cut-in

Nella figura 3.30 si può quindi osservare come la fase di formazione perduri dal secondo 20 al 27, ovvero dall'orario 14:05:02 al 14:05:09 e, in un secondo momento, dall'orario 14:05:54 al 14:06:09. Si può osservare come in questo orario si verifichi anche un picco nel livello di stress, rappresentato nella figura 3.31 con delle croci di colore rosso.

Si tratta di un primo risultato significativo che sarà approfondito e supportato nel capitolo 3.4.3.



## Legenda

### Livello di stress

- + Basso
- + Medio
- + Alto

○ Platoon Attivo

Google Satellite

Figura 3.31 - QGIS, utilizzo delle etichette per scorrere più facilmente il file .csv

### 3.4.3 FORMAZIONE E DISAGGREGAZIONE DEL PLATOON

In questo capitolo si vuole indagare il livello di stress dei conducenti durante i momenti di formazione e scioglimento del platoon. Per fare questo non ci si è concentrati sui punti singoli ma si è riportato in QGIS l'intero tragitto registrato, servendosi poi della funzione 'filtro'.

Si procede in prima battuta analizzando il giorno 1 luglio, dalle ore 14:15:30 alle ore 15:18:06 per entrambi i conducenti dei Camion Leonardo e Michelangelo. Il Camion Leonardo si trova nella posizione di veicolo Follower mentre il Camion Michelangelo si trova nel ruolo di veicolo Leader. Analizzando i momenti in cui si è registrato un alto livello di stress (rappresentato dalle croci rosse) si è riscontrata la contemporaneità con l'allineamento, la formazione o lo scioglimento del platoon. Si è a conoscenza della fase in cui si trova il platoon grazie all'utilizzo di specifici codici utilizzati da IVECO per indicare appunto la relazione che sussiste tra i due veicoli.

Camion Leonardo - Follower



Figura 1



Figura 2 - Scioglimento in corrispondenza dell'entrata in galleria

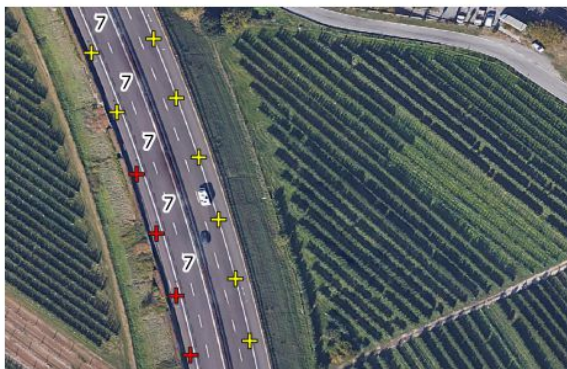


Figura 3



Figura 4

Scala 1:1000

#### Legenda

##### Stato del Platoon

- 3 - Allineamento
- 7 - Aggancio
- 8 - Scioglimento

##### Livello di stress

- + Basso
- + Medio
- + Alto

Google Satellite

Figura 3.32 - veicolo Follower, elevato livello di stress durante la formazione/disaggregazione del platoon

Nella figura 3.32 sono riportati 4 esempi rappresentativi in cui si può osservare la registrazione di un alto livello di stress psicofisico del conducente del veicolo Follower in corrispondenza della formazione e dello scioglimento del platoon. Nella Figura 1 si osserva che nel momento dell'allineamento, rappresentato dal numero 3, non si registra un alto livello di stress, al contrario il parametro LF/HF subisce un incremento nel momento in cui inizia la formazione del platoon, rappresentato dal numero 7. Particolarmente significativo è la situazione riportata nella Figura 2: in corrispondenza dell'imbocco della galleria viene innescato lo scioglimento del platoon e in contemporanea viene registrato un alto livello di stress.

Analizzato quindi il comportamento del conducente del veicolo Follower si è scelto di confrontarlo con quello del conducente del veicolo Leader con il fine di verificare una similitudine piuttosto che la diversità nel rispettivo stato psicofisico dei due guidatori.

Camion Michelangelo - Leader



Figura 1



Figura 2 - Scioglimento in corrispondenza dell'entrata in galleria



Figura 3



Figura 4

Scala 1:1000

## Legenda

### Stato del Platoon

- 3 - Allineamento
- 7 - Aggancio
- 8 - Scioglimento

### Livello di stress

- + Basso
- + Medio
- + Alto

### Google Satellite

Figura 3.33 - veicolo Leader, livello di stress elevato in corrispondenza della formazione/disaggregazione del platoon

Anche per il conducente del veicolo Leader si conferma un alto livello di stress in corrispondenza dell'imbocco della galleria, e quindi dello scioglimento della formazione.

Per le figure 1 e 3 si registra un alto livello di stress e questo porterebbe a pensare che entrambi i conducenti, indipendentemente dalla loro posizione nel platoon, risentano e siano in qualche modo disturbati nel momento in cui il platoon non si trovi in uno stato stabile, stazionario. Nella Figura 4 però si può osservare come lo stato psicofisico del conducente del veicolo Leader non sia in alcun modo influenzato dalla manovra di formazione, facendo registrare sempre un valore medio.

Per questo motivo si sceglie di approfondire l'analisi, proseguendo con altre giornate di test.

Si riportano quindi i risultati dell'analisi della giornata 5 luglio.

Il monitoraggio del livello di stress del conducente del veicolo Follower (Leonardo) ha mostrato anche in questo la presenza di più picchi durante le molteplici manovre di formazione e scioglimento del platoon. In tutte le Figure si osserva un alto livello di stress, sia per quanto riguarda la manovra di scioglimento del platoon, rappresentato dal numero 8, che per quella di formazione, rappresentata dal numero 7.

Si vuole porre l'attenzione sulla Figura 2 in quanto l'alto livello di stress registrato potrebbe essere correlato sia con il segnale di formazione del platoon ma anche con la presenza della rampa e della corsia di decelerazione per l'imbocco dello svincolo autostradale. In riferimento a quanto scritto nel Capitolo 3.4.1, questa seconda ipotesi potrebbe essere avvalorata dal monitoraggio del conducente del veicolo leader, poiché non si è registrato nessun cambiamento significativo nel suo stato psicofisico.

Camion Leonardo - Follower



Figura 1



Figura 2

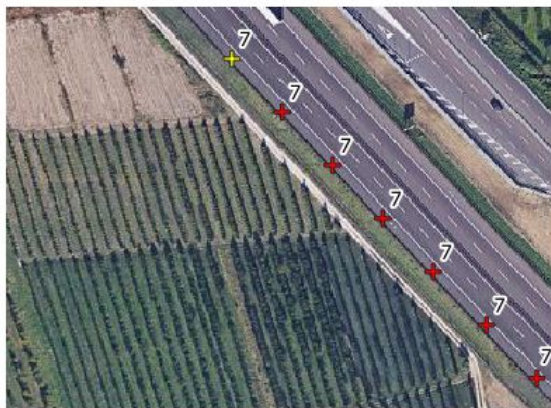


Figura 3

Scala 1:1000

## Legenda

### Stato del Platoon

- 3 - Allineamento
- 7 - Aggancio
- 8 - Scioglimento

### Livello di stress

- + Basso
- + Medio
- + Alto

### Google Satellite

Figura 3.34 - veicolo Follower, livello di stress elevato in corrispondenza della formazione/disaggregazione del platoon



Questa giornata di test ha restituito però delle informazioni leggermente diverse rispetto al caso precedente.

Indagando le medesime situazioni descritte nella figura 3.34, nella giornata del 5 luglio, infatti, il monitoraggio del livello di stress del conducente del veicolo Leader (Michelangelo) ha rilevato un solo picco di stress durante tutto il tragitto, in particolare in corrispondenza della formazione del platoon immediatamente all'uscita della galleria.



*Figura 3.35 - veicolo Leader, picco di stress in corrispondenza della disaggregazione del platoon all'imbocco della galleria*

Si decide di approfondire ulteriormente questo aspetto confrontando lo stato del platoon e lo stato psicofisico del conducente del veicolo Follower (Leonardo) nella giornata del 9 Luglio. Ciò che colpisce nuovamente è la localizzazione di un alto livello di stress in corrispondenza dell'imbocco della galleria, che anche in questo caso coincide con lo scioglimento della formazione. Facendo un breve incrocio tra i dati si può osservare come ciò accada per entrambi i conducenti, indipendentemente dal loro ruolo e posizione.

Camion Leonardo - Follower



Scala 1:1000

Legenda

Stato del Platoon

- 3 - Allineamento
- 7 - Aggancio
- 8 - Scioglimento

Livello di stress

- + Basso
- + Medio
- + Alto

Google Satellite

Figura 3.36 - 9 luglio, veicolo Follower, livello di stress elevato in corrispondenza della disaggregazione del platoon all'imbocco della galleria

## Camion Michelangelo - Leader



Scala 1:1000

## Legenda

Stato del Platoon

- 3 - Allineamento
- 7 - Aggancio
- 8 - Scioglimento

Livello di stress

- + Basso
- + Medio
- + Alto

Google Satellite

Figura 3.37 – 9 luglio, veicolo Leader, livello di stress elevato in corrispondenza dello scioglimento del platoon all'imbocco della galleria

Si può quindi concludere che sicuramente le fasi in cui i due veicoli si uniscono e separano rappresentano una fonte di stress per il conducente ma la diversità nei risultati tra le differenti giornate di test fa pensare ad una guida più rilassata, e quindi un adattamento, man mano che il pilota impara a conoscere il funzionamento. Un'altra osservazione che si può sicuramente fare è l'evidente cambiamento nello stato psicofisico di entrambi i conducenti, indipendentemente dal loro ruolo, in corrispondenza dell'imbocco o dell'uscita della galleria, a cui spesso corrisponde anche lo scioglimento del platoon.

### 3.5 ULTERIORI ANALISI DEI DATI PLATOON

Si propone un breve excursus in cui i dati pervenuti da IVECO vengono analizzati in un'ottica diversa, nella loro interezza e non solo con il fine di individuare le possibili cause di stress per il conducente. Questo capitolo vuole essere di supporto e la dimostrazione dei vantaggi illustrati nel capitolo relativo allo Stato dell'Arte.

In particolare, si è selezionata a scopo esemplificativo una giornata di test, il 5 luglio tra le ore 13 e 14, e si sceglie di far riferimento al veicolo Follower (Leonardo) in quanto dovrebbe beneficiare dei maggiori vantaggi.

Si riporta la figura 3.38, la quale rappresenta l'andamento del platoon nel tempo. Quando i veicoli in platoon sono due allora si ha la formazione del platoon stesso in uno stato stazionario e stabile; quando si ha un solo mezzo allora il platoon si è disaggregato e quindi i conducenti hanno il pieno controllo del veicolo, sia longitudinale che laterale. Si può osservare come i veicoli percorrano dei lunghi tratti in platoon e che la formazione si interrompa solo in due punti, i quali dalla rappresentazione in QGIS (tramite coordinate GPS) corrispondono rispettivamente allo scioglimento in seguito ad una manovra di cut-in e all'entrata in galleria.

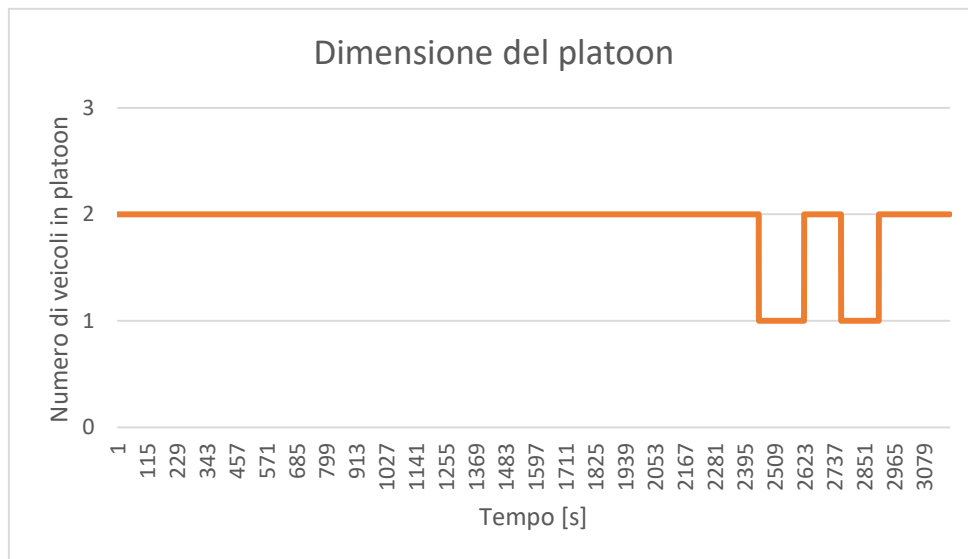


Figura 3.38 - Grafico riportante il numero di veicoli che formano il platoon nel tempo



Figura 3.39 - disaggregazione del platoon in galleria

Nella figura 3.40 viene mostrata un'informazione più dettagliata, ovvero non si ha più l'indicazione riguardo a platoon attivo o spento ma grazie all'utilizzo di diversi codici si riesce a capire in che fase si trovano esattamente i veicoli, ad esempio se si stanno allineando, se si stanno unendo o se la formazione si sta sciogliendo. È chiaro quindi che prima di avere una formazione stabile i diversi veicoli si debbano allineare, avvicinarsi gradualmente ed avviare la comunicazione reciproca; si tratta di fasi che durano all'incirca per una decina di secondi. I seguenti codici sono stati istituiti da IVECO e indicano il rapporto che sussiste tra i due veicoli:

- 3, allineamento
- 7, formazione
- 8, disaggregazione

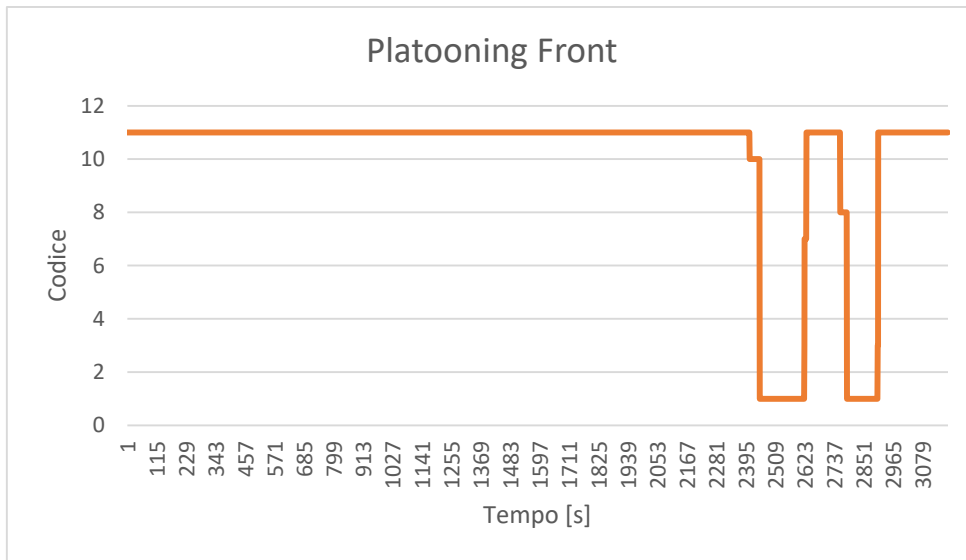


Figura 3.40 - codici che si scambiano i veicoli nel tempo, indicano lo stato in cui si trova il platoon

La conoscenza della fase di formazione o disaggregazione del platoon risulta essere fondamentale nel successivo confronto con la posizione dei picchi del livello di stress in quando si può già presupporre che saranno dei momenti stressanti per il conducente.

Nella figura 3.41 si è rappresentato l'andamento del parametro THW (Time Headway), sempre nello stesso intervallo temporale. Per un lungo tratto il platoon è molto stabile e allora si osserva una linea pressoché orizzontale, corrispondente al valore di 3,5 secondi.

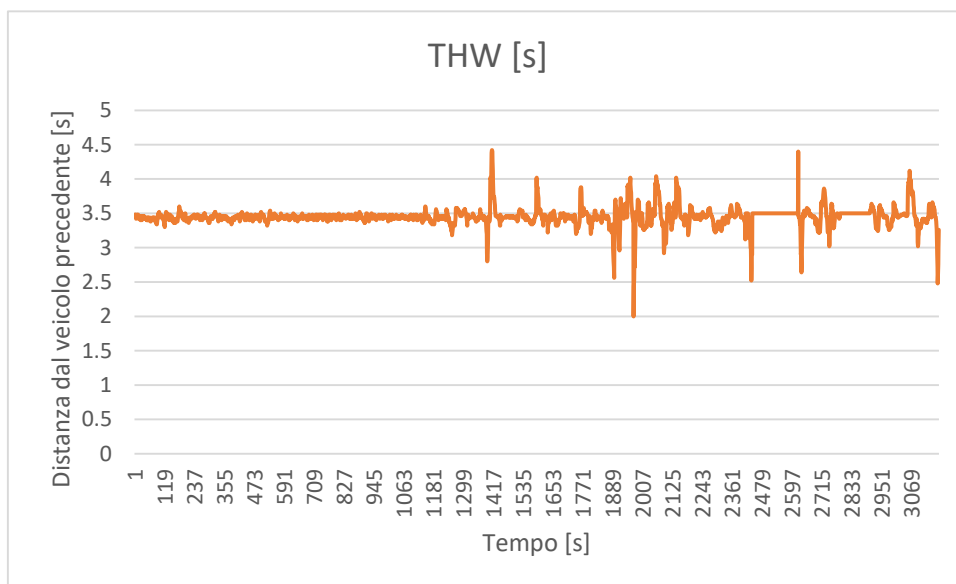


Figura 3.41 - andamento del Time Headway nel tempo

Nella figura 3.42 si rappresenta l'andamento del parametro TTC (Time to Collision) in secondi. Si tratta di un parametro universalmente riconosciuto che indica l'intervallo temporale in cui si avrebbe una collisione, nel caso in cui il veicolo Follower non frenasse. Normalmente durante le fasi in cui il platoon è stabile assume il valore 12,5 secondi.

Nello stato dell'arte la diminuzione del TTC corrisponde ad un picco nel livello di stress ma è necessario ricordare come si stessero considerando distanze interveicolari molto inferiori, anche 7 metri, rispetto a quelle riscontrate durante i test oggetto dell'elaborato

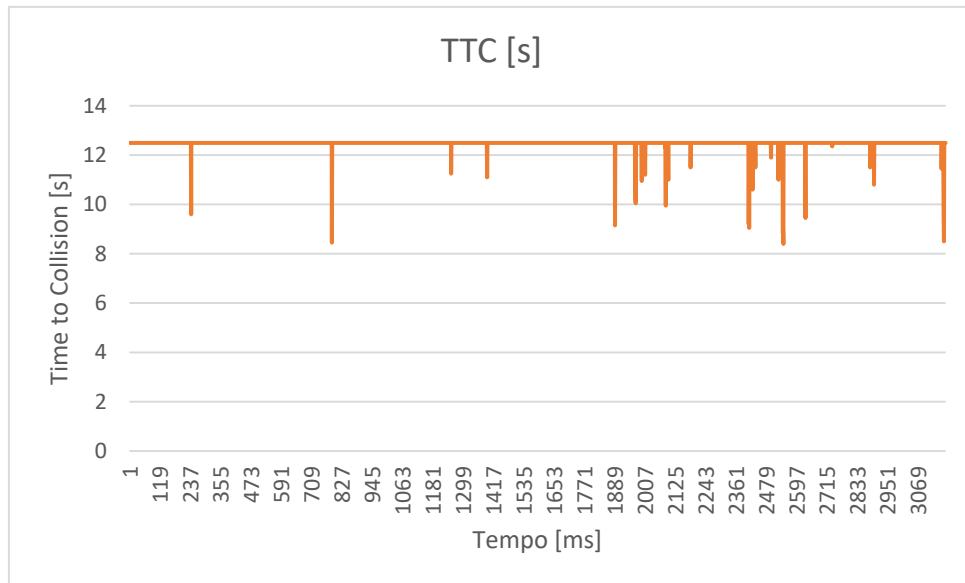


Figura 3.42 - andamento del Time To Collision (TTC) nel tempo

Nella figura 3.43 si rappresenta l'andamento della velocità istantanea nello stesso intervallo temporale. È fondamentale osservare come la velocità sia all'incirca costante fintanto che il platoon è in formazione e si aggira attorno a 84 km/h. Nella seconda parte del grafico in corrispondenza del quale si ha un platoon meno stabile l'andamento della velocità è più altalenante.

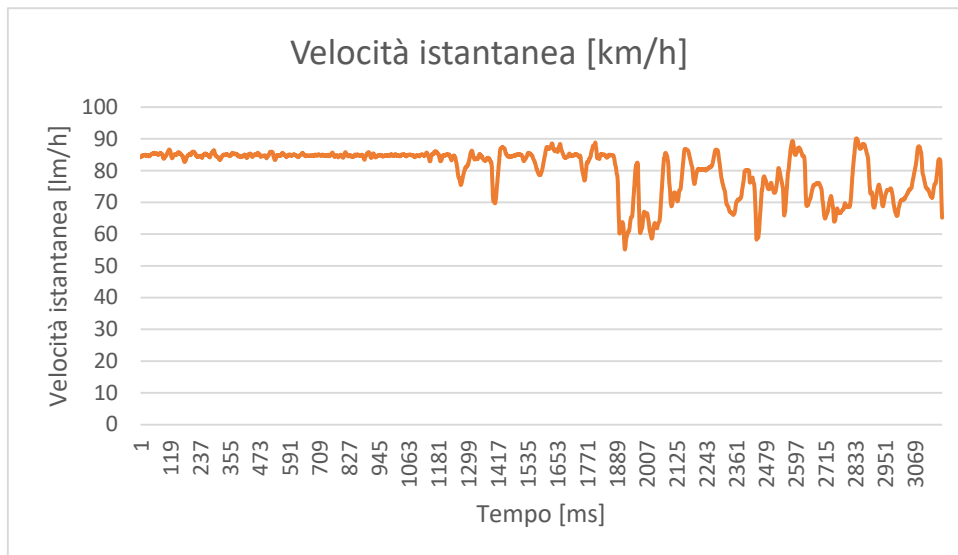


Figura 3.43 - andamento della velocità istantanea nel tempo

Risulta lampante quindi anche il minor consumo di carburante, in quanto le accelerazioni/decelerazioni sono ridotte al minimo e la velocità mantenuta il più costante possibile.

Dal tempo 2000 secondi si osserva un andamento più frastagliato rispetto a quando il platoon è stabile per un lungo periodo, nonostante si tratti sempre di un percorso autostradale.

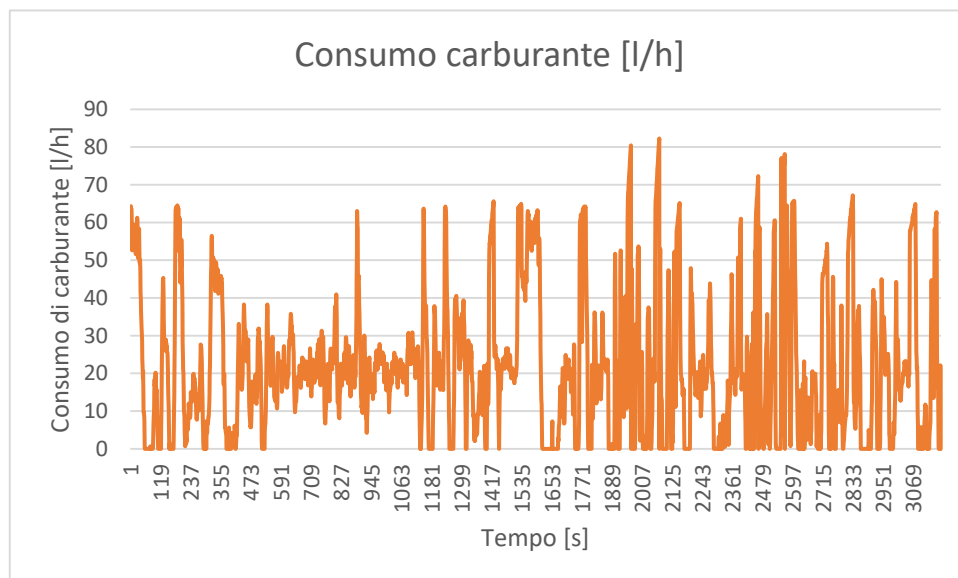


Figura 3.44 - andamento del consumo di carburante nel tempo

Per quanto riguarda il consumo di carburante si è più volte illustrato come il veicolo Follower dovrebbe beneficiare di una riduzione nei consumi, dovuta alla diminuzione delle resistenze aerodinamiche, grazie alla ridotta distanza tra i veicoli. Nella figura 3.45 si vuole dare evidenza di questa affermazione in quanto si può osservare come il consumo di carburante del veicolo Follower sia minore rispetto a quello registrato nel veicolo Leader.



Il picco che si registra all'incirca al secondo 400 in entrambi i veicoli e probabilmente è dovuto ad un tratto in salita.

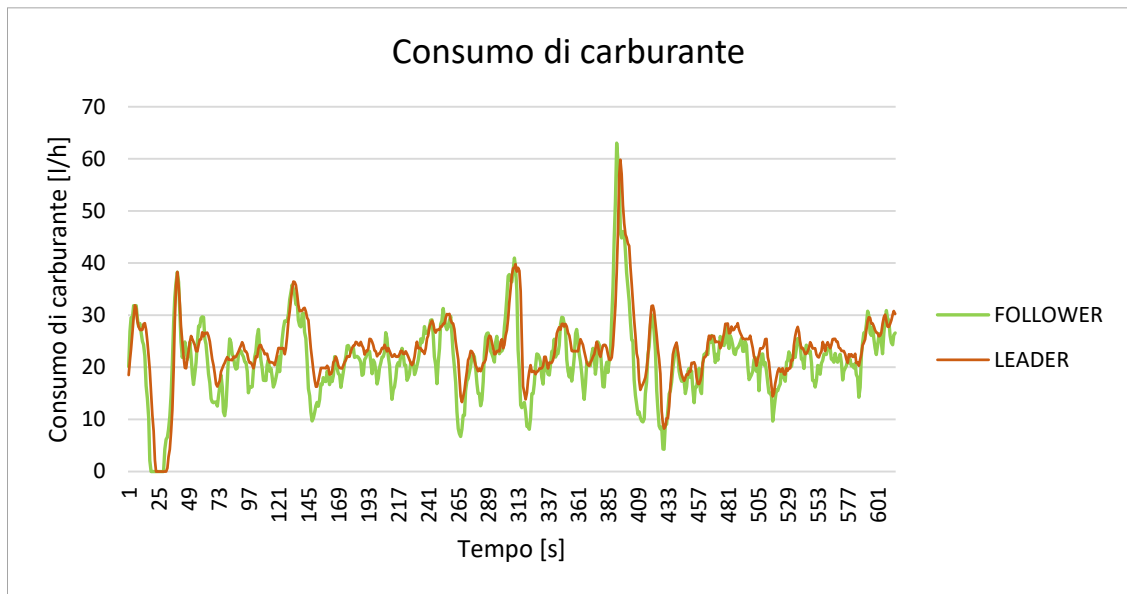


Figura 3.45 - differenza nel consumo di carburante tra veicolo Leader e veicolo Follower

Nella figura 3.46 si rappresenta il cambiamento nella distanza interveicolare nel tempo. Si può osservare che quando il veicolo si trova nel platoon i veicoli distano tra loro di circa 30 metri, in modo costante; non appena il platoon si scioglie la curva inizia ad assumere un andamento molto frastagliato.

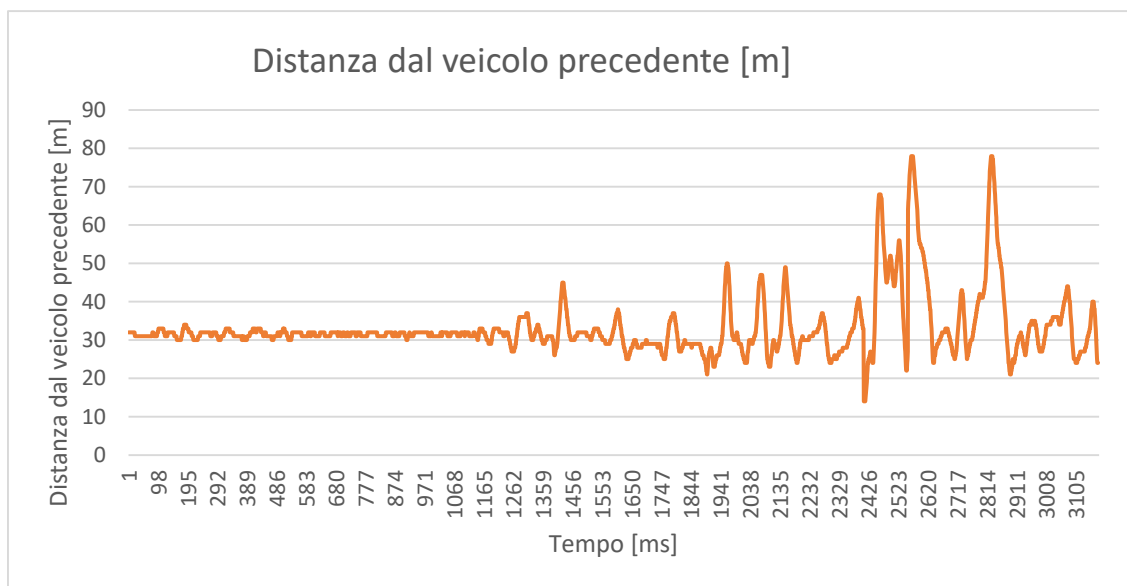


Figura 3.46 - variazione della distanza dal veicolo precedente nel tempo

Si è quindi data evidenza del fatto che l'utilizzo del platoon permette di mantenere una distanza tra i veicoli pressoché costante, riducendo al minimo accelerazioni e decelerazioni e andando quindi a impattare sia sul consumo di carburante ma anche sulla mitigazione delle Shock Waves



## CONCLUSIONI E POSSIBILI SVILUPPI

La rilevante evoluzione tecnologica che negli ultimi anni ha interessato sia il veicolo che l'infrastruttura permette un sempre maggior intervento del veicolo stesso nell'attività di guida, con un progressivo abbandono della guida manuale. Nell'ambito della logistica, come prodromo della guida autonoma, si menziona il sistema *truck platooning* il cui utilizzo però, ad oggi, necessita ancora di una significativa componente umana.

L'analisi della letteratura ha evidenziato uno spazio di ricerca nell'indagine del livello di stress di un conducente in guida semi-automatica, specialmente per quanto riguarda reali test su strada. L'obiettivo dell'elaborato è stato quindi la valutazione dello stato psicofisico e del livello di stress percepito dai conducenti durante la guida in *truck platooning*. Queste informazioni possono costituire un utile riferimento per futuri sviluppi per l'ottimizzazione del sistema: fondamentale è, ad esempio, l'individuazione di una distanza interveicolare che permetta il risparmio di carburante ma che, al contempo, non generi nel guidatore un senso di disagio e insicurezza.

Un primo risultato del lavoro effettuato è stato costituito dalla definizione di una procedura replicabile e applicabile anche per ambiti diversi da quello trattato nell'elaborato; un esempio è costituito dalla possibilità di test in guida connessa o autonoma, non necessariamente in *truck platooning*. Il metodo si basa sulla raccolta dei dati tramite l'utilizzo di dispositivi facilmente reperibili a costi limitati e, in un secondo momento, sulla loro elaborazione grazie a software open source (QGIS).

Con il supporto dell'Ingegneria Biomedica è stato possibile monitorare il livello di stress del pilota tramite parametri fisiologici, in particolare si è analizzata la variabilità della frequenza cardiaca e quindi il parametro LF/HF. Effettuando sia la correlazione spaziale che temporale con i dati riguardanti lo stato del platoon e rappresentando i dati sul software QGIS si è stati in grado di trarre alcune significative conclusioni. In particolare, in fase di ricerca si sono voluti investigare alcuni elementi, sintetizzabili attraverso Research Questions. La prima di queste è stata:

- Lo stato psicofisico del conducente è influenzato dalla guida in platoon?

Per fornire una risposta a tale domanda si è identificato il parametro "numero di picchi del livello di stress nell'unità di tempo": è stato necessario normalizzare il numero di picchi dal momento che, in fase di sperimentazione, si è osservato come i conducenti trascorrono l'80% dell'intero tragitto in platoon. È opportuno specificare come solitamente il platoon si disaggrega in presenza di svincoli autostradali, della percorrenza della galleria piuttosto che in corrispondenza di una manovra di cut-in; dal momento che si suppongono essere situazioni intrinsecamente più stressanti rispetto

all'abituale tratto dell'autostrada i dati riguardanti la guida manuale (tempo e numero di picchi del livello di stress) sono stati depurati dalla percorrenza dei diversi svincoli.

Si è giunti quindi ad un primo importante risultato della correlazione: considerando un intero tragitto (normalmente della durata di 4 ore) entrambi i guidatori hanno rivelato livello di stress di poco minore durante la guida in platoon rispetto alla guida manuale; questo è vero sia per il conducente del veicolo Leader che del veicolo Follower. Si tratta di una conclusione rilevante in quanto è proprio la fiducia nel sistema ad essere il primo incentivo per un futuro uso su larga scala.

In particolare, la variazione percentuale tra le due situazioni risulta minore per il conducente del veicolo Leader il quale era ipotizzabile potesse risentire meno della guida in platoon. Al contrario è il guidatore in posizione di Follower che dovrebbe esserne maggiormente influenzato dal momento che non è più direttamente responsabile del controllo longitudinale del veicolo ed è quindi costretto a subire le accelerazioni e decelerazioni imposte dal sistema. La comparazione dei risultati per i guidatori in posizioni differenti ha confermato questa ipotesi: in proporzione il monitoraggio del conducente Follower ha fatto registrare un numero maggiore di picchi nel livello di stress.

	$\frac{N^{\circ} \text{ picchi}}{\text{tempo}}$ — Platoon attivo	
	Camion Leader	Camion Follower
05-lug	8,63E-03	1,57E-02
06-lug	1,83E-03	1,13E-02
07-lug	1,32E-02	1,53E-02
09-lug	1,48E-02	1,54E-02

Tabella 4.1 – confronto tra conducente del veicolo Leader e Follower.

La seconda Research Question è la seguente:

- In quali circostanze si è registrato un livello di stress classificato come 'alto'?

Metodologicamente si è provveduto a rispondere a tale domanda individuando ogni singolo picco nel livello di stress esclusivamente durante la guida in platoon con il fine di trovare una correlazione con l'ambiente circostante piuttosto che con uno stato particolare del platoon stesso. Si sono determinate alcune circostanze particolari, le quali si presuppone possano generare un senso di incertezza e nervosismo nel conducente:

- Variazione della distanza interveicolare
- Tracciato: percorrenza di sottopassi, cavalcavia, ponti o galleria

- Corsia di decelerazione o accelerazione per la manovra di uscita o immissione in A22.
- Manovra di formazione o disaggregazione del platoon.

L'applicazione di tale approccio ai dati raccolti in fase di sperimentazione ha mostrato come il metodo si sia confermato affidabile ed efficace: si è stati in grado di ricondurre un elevato livello di stress ad una delle situazioni individuate in oltre l'80% dei casi. Si riporta un esempio dei risultati ottenuti per la giornata di test del 6 luglio, ovvero su un tempo di percorrenza di 3 ore e 20 minuti.

	N° picchi	%
Variazione della distanza interveicolare	48	41
Tracciato	32	27
Rampa	11	9
Formazione/disaggregazione	6	5

*Tabella 4.2 – circostanze che inducono un maggior numero di picchi*

Anche le altre giornate di test hanno confermato questo risultato registrando una percentuale di successo tra l'80 e il 90% dei casi. Dalla giornata del 7 luglio è stata estrapolata anche l'informazione riguardo l'inserimento dell'indicatore di direzione, sia sinistro che destro. Particolare attenzione è stata prestata alla freccia sinistra in quanto associabile ad un cambio di corsia dell'intero platoon; si presuppone si tratti di una situazione stressante specialmente se effettuata su un'autostrada con solamente due corsie per senso di marcia, come nel caso dell'A22. Infatti, nel 67% dei casi il monitoraggio ha rilevato un elevato livello di stress nel conducente Follower.

Si è proceduto quindi con l'ulteriore analisi di circostanze peculiari con il fine di individuare similitudini o differenze nel comportamento dei conducenti in diverse posizioni (veicolo Leader e Follower).

In corrispondenza delle rampe di uscita o entrata nell'A22 frequentemente il monitoraggio del conducente del veicolo Follower rileva un livello di stress elevato; al contrario questo non succede per il guidatore del veicolo Leader. Si potrebbe concludere che il conducente che segue provi un senso di incertezza e disagio a causa della non conoscenza dell'itinerario e della manovra che colui che precede potrebbe compiere. Un altro elemento all'origine di tale situazione di stress potrebbe essere il timore di intrusione da parte di un veicolo esterno (manovra di cut-in effettivamente registrata). Si sono infatti registrate due manovre di cut-in, ovvero l'intrusione da parte di un veicolo esterno tra due veicoli in platoon. In questo caso l'elevato livello di stress viene registrato sia per il conducente del veicolo Follower che del Leader. Nel momento in cui l'automobile si inserisce si ha sia una repentina diminuzione del Time To Collision (TCC) che una brusca decelerazione.

Questa informazione potrebbe però essere analizzata sotto un altro punto di vista: dai dati riguardanti il platoon si osserva come, nel momento in cui avviene l'inserimento del veicolo venga inviato ai camion il segnale di scioglimento della formazione. Procediamo quindi indagando il livello di stress nei conducenti in corrispondenza della formazione e della disaggregazione del platoon stesso. In questo caso entrambi i conducenti, indipendentemente dalla loro posizione, risentono del momento in cui il platoon non è stabile.

Un'ulteriore situazione che si vuole evidenziare è costituita dall'imbocco della galleria, percorsa giornalmente. Il platoon si disaggrega e prima dell'entrata in galleria e questo comporta in ogni giornata di test la registrazione di un elevato livello di stress.

Come già evidenziato il primo risultato significativo dell'elaborato è stata la definizione di un metodo facilmente replicabile che permette una rapida acquisizione dei dati tramite l'utilizzo di un dispositivo dal costo accessibile. Questa soluzione permette interessanti applicazioni che possono costituire possibili sviluppi della ricerca condotta.

Come menzionato, infatti, il metodo ideato potrebbe essere applicato per valutare lo stato psicofisico dei conducenti con riferimento a diverse soluzioni tecnologiche. Tra queste, ad esempio, i sistemi C-ITS (Cooperative Intelligence Transport System), sia durante la guida manuale che durante la guida autonoma a diversi livelli.

Durante l'analisi dei dati è emersa tale possibilità: in alcune giornate di test, infatti, i camion IVECO hanno ricevuto informazioni riguardanti la presenza di cantieri, veicoli fermi e condizioni meteo. In particolare, sono state effettuate alcune elaborazioni di base e che potranno essere approfondite con ulteriori ricerche; in figura 4.1 vengono riportati i codici inviati al guidatore riguardanti lo stato delle diverse corsie, in riferimento alla presenza di un cantiere stradale:

- 0, significa che tutte le corsie sono disponibili per la marcia
- 1, significa che la prima corsia di marcia viene chiusa al traffico
- 2, significa che la seconda corsia di marcia viene chiusa al traffico

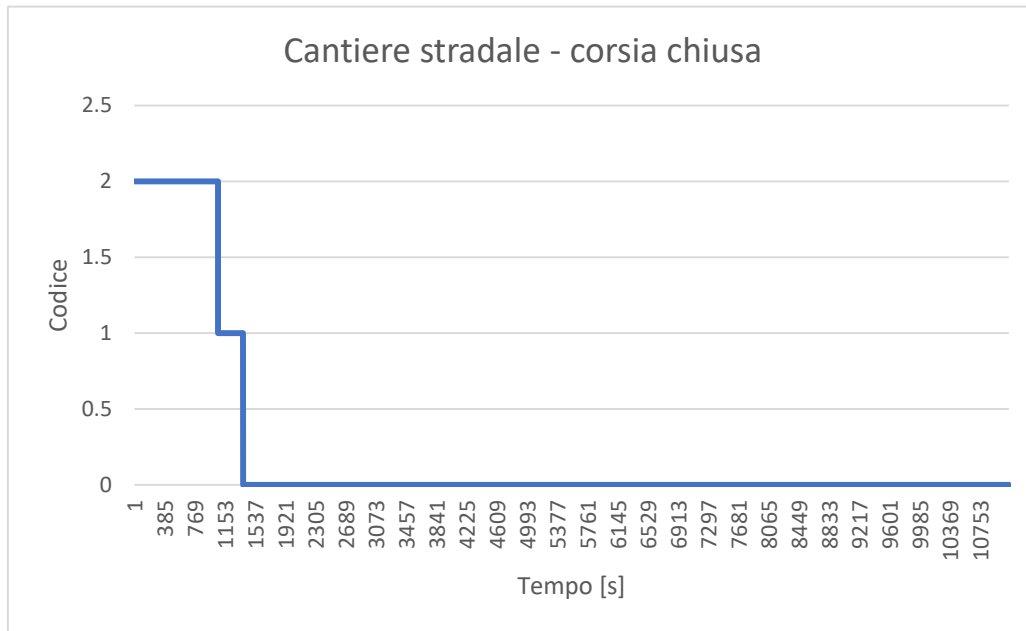


Figura 4.1 – messaggi C-ITS, cantiere stradale

In figura 4.2 si riporta un breve esempio che mette in relazione la ricezione di un messaggio dai C-ITS e lo stato psicofisico del conducente in truck platooning: in corrispondenza dell’avviso di chiusura della seconda corsia di marcia (codice 2), con uno sfasamento temporale, si può osservare anche un marcato picco nel parametro LF/HF. Al contrario di quanto sostenuto nell’elaborato, nel caso dei messaggi dai C-ITS un elevato livello di stress potrebbe non costituire un elemento negativo per la sicurezza stradale, ma piuttosto limitarsi a certificare l’avvenuta ricezione dell’avviso da parte del conducente. Al contrario se non si verificasse nessuna reazione significherebbe che il conducente è indifferente al *warning* che viene ripetuto sul veicolo.

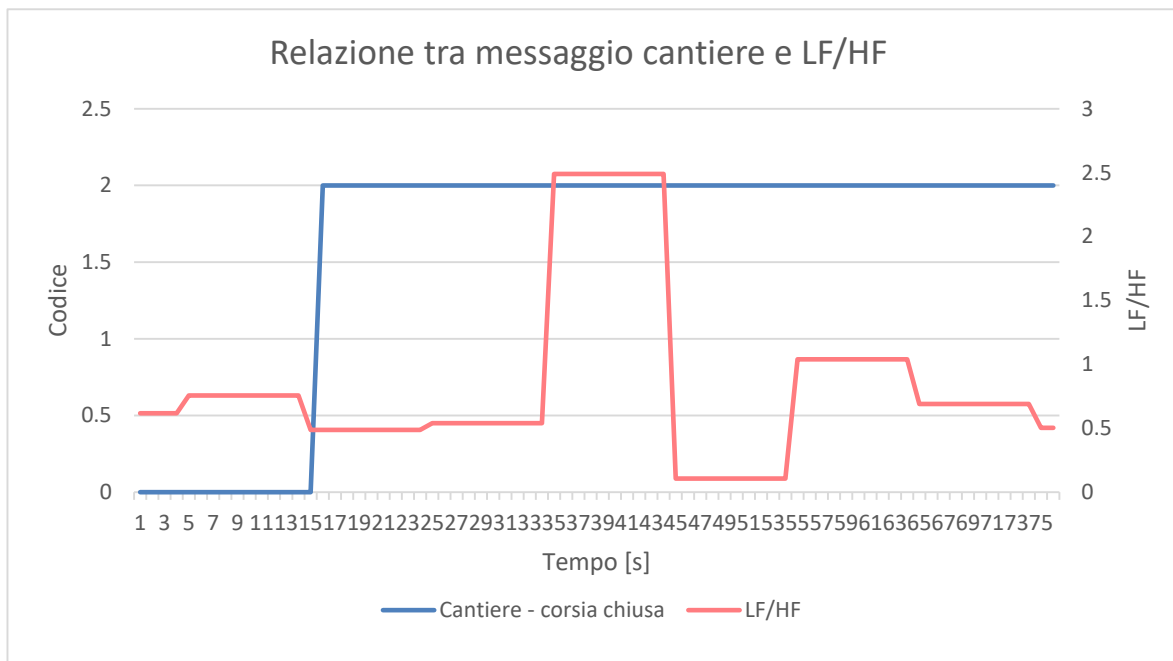


Figura 4.2 – relazione tra messaggio di attenzione e LF/HF

Come si può osservare il conducente viene quindi informato anticipatamente riguardo a situazioni non usuali quali la distanza a cui incontrerà la chiusura di una corsia o l'imposizione di un limite di velocità. Ciò può permettere il raggiungimento delle finalità ultime e principali dei C-ITS, ovvero l'incremento della sicurezza stradale e un efficace livello di servizio, dal momento che il conducente potrebbe affrontare la situazione critica in modo più consapevole e preparato.

Un ulteriore sviluppo futuro potrebbe riguardare invece l'analisi approfondita dei soli dati riguardanti i veicoli in platoon, seppur sia già disponibile una letteratura piuttosto ampia sul tema. Ne è già stata presentata una breve illustrazione nel capitolo 3.5 ma l'attenzione delle case produttrici e dei gestori della flotta si sta rivolgendo in modo particolare verso il risparmio del consumo di carburante.

In ultimo, tra i possibili sviluppi si può menzionare lo sviluppo di alcuni studi già effettuati in passato. Ad esempio, la ricerca proposta da L. Studer et al. [15] si basa su dati molto ricchi e precisi ma limitati numericamente: il metodo definito potrebbe supportare una raccolta dati quantitativamente molto estesa e rapida per implementare su larga scala l'analisi di sicurezza già avviata, con riferimento anche ad utente specifiche, come i motociclisti.



## BIBLIOGRAFIA

- [1] ISTAT Istituto Nazionale di Statistica, "Incidenti stradali in Italia," vol. 2012, pp. 1–21, 2013.
- [2] A. Al Alam, A. Gattami, and K. H. Johansson, "An experimental study on the fuel reduction potential of heavy duty vehicle platooning," *IEEE Conf. Intell. Transp. Syst. Proceedings, ITSC*, pp. 306–311, 2010, doi: 10.1109/ITSC.2010.5625054.
- [3] D. Su and S. Ahn, "In-vehicle sensor-assisted platoon formation by utilizing vehicular communications," *Int. J. Distrib. Sens. Networks*, vol. 13, no. 7, 2017, doi: 10.1177/1550147717718756.
- [4] S. Agriesti *et al.*, "Evaluation approach for a combined implementation of day 1 C-ITS and truck platooning," *IEEE Veh. Technol. Conf.*, vol. 2018-June, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/VTCSpring.2018.8417876.
- [5] C. Bergenheim, H. Pettersson, E. Coelingh, C. Englund, S. Shladover, and S. Tsugawa, "Overview of platooning systems," *19th Intell. Transp. Syst. World Congr. ITS 2012*, 2012.
- [6] C. F. Caruntu, C. Copot, C. Lazar, and R. De Keyser, "Longitudinal control of vehicle platoons for stop-and-go waves mitigation," *2014 18th Int. Conf. Syst. Theory, Control Comput. ICSTCC 2014*, pp. 664–669, 2014, doi: 10.1109/ICSTCC.2014.6982493.
- [7] V. Liga *et al.*, "ENSEMBLE - EUROPEAN COMMISSION," pp. 1–103, 2019.
- [8] S. Li, L. Wang, Z. Yang, B. Ji, F. Qiao, and Z. Yang, "An active driver fatigue identification technique using multiple physiological features," *Proc. 2011 Int. Conf. Mechatron. Sci. Electr. Eng. Comput. MEC 2011*, pp. 733–737, 2011, doi: 10.1109/MEC.2011.6025569.
- [9] W. S. Helton, "Validation of a Short Stress State Questionnaire," *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet.*, vol. 48, no. 11, pp. 1238–1242, 2004, doi: 10.1177/154193120404801107.
- [10] D. McDuff, S. Gontarek, and R. Picard, "Remote measurement of cognitive stress via heart rate variability," *2014 36th Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBC 2014*, pp. 2957–2960, 2014, doi: 10.1109/EMBC.2014.6944243.
- [11] M. N. Rastgoo, B. Nakisa, F. Maire, A. Rakotonirainy, and V. Chandran, "Automatic driver stress level classification using multimodal deep learning," *Expert Syst. Appl.*, vol. 138, 2019, doi: 10.1016/j.eswa.2019.07.010.
- [12] J. A. Healey and R. W. Picard, "Detecting stress during real-world driving tasks using

- physiological sensors," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 6, no. 2, pp. 156–166, 2005, doi: 10.1109/TITS.2005.848368.
- [13] G. Rigas, C. D. Katsis, P. Bougia, and D. I. Fotiadis, "A reasoning-based framework for car driver's stress prediction," *2008 Mediterr. Conf. Control Autom. - Conf. Proceedings, MED'08*, pp. 627–632, 2008, doi: 10.1109/MED.2008.4602162.
- [14] S. De Nadai *et al.*, "Enhancing safety of transport by road by on-line monitoring of driver emotions," *2016 11th Syst. Syst. Eng. Conf. SoSE 2016*, 2016, doi: 10.1109/SYSESE.2016.7542941.
- [15] L. Studer *et al.*, "Analysis of the relationship between road accidents and psychophysical state of drivers through wearable devices," *Appl. Sci.*, vol. 8, no. 8, pp. 1–17, 2018, doi: 10.3390/app8081230.
- [16] J. G. P. Rodrigues, M. Kaiseler, A. Aguiar, J. P. S. Cunha, and J. Barros, "A mobile sensing approach to stress detection and memory activation for public bus drivers," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 16, no. 6, pp. 3294–3303, 2015, doi: 10.1109/TITS.2015.2445314.
- [17] M. Beggiato, M. Pereira, T. Petzoldt, and J. Krems, "Learning and development of trust, acceptance and the mental model of ACC. A longitudinal on-road study," *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.*, vol. 35, pp. 75–84, 2015, doi: 10.1016/j.trf.2015.10.005.
- [18] M. Beggiato and J. F. Krems, "The evolution of mental model, trust and acceptance of adaptive cruise control in relation to initial information," *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.*, vol. 18, pp. 47–57, 2013, doi: 10.1016/j.trf.2012.12.006.
- [19] K. A. Brookhuis, C. J. G. van Driel, T. Hof, B. van Arem, and M. Hoedemaeker, "Driving with a congestion assistant; mental workload and acceptance," *Appl. Ergon.*, vol. 40, no. 6, pp. 1019–1025, 2008, doi: 10.1016/j.apergo.2008.06.010.
- [20] S. Sheng *et al.*, "A case study of trust on autonomous driving," *arXiv*, vol. 1, pp. 4368–4373, 2019.
- [21] D. D. Heikoop, J. C. F. de Winter, B. van Arem, and N. A. Stanton, "Effects of platooning on signal-detection performance, workload, and stress: A driving simulator study," *Appl. Ergon.*, vol. 60, pp. 116–127, 2017, doi: 10.1016/j.apergo.2016.10.016.
- [22] A. Arza, J. M. Garzon, A. Hemando, J. Aguilo, and R. Bailon, "Towards an objective measurement of emotional stress: Preliminary analysis based on heart rate variability," *Proc. Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. EMBS*, vol. 2015-Novem, pp. 3331–3334,

---

2015, doi: 10.1109/EMBC.2015.7319105.

- [23] D. D. Heikoop, J. C. F. de Winter, B. van Arem, and N. A. Stanton, "Effects of mental demands on situation awareness during platooning: A driving simulator study," *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.*, vol. 58, pp. 193–209, 2018, doi: 10.1016/j.trf.2018.04.015.
- [24] H. Nakamura, S. Yamabe, K. Nakano, D. Yamaguchi, and Y. Suda, "Driver risk perception and physiological state during car-following experiments using a driving simulator," *Int. J. Intell. Transp. Syst. Res.*, vol. 8, no. 3, pp. 140–150, 2010, doi: 10.1007/s13177-010-0019-4.
- [25] R. Zheng, S. Yamabe, K. Nakano, and Y. Suda, "Biosignal analysis to assess mental stress in automatic driving of trucks: Palmar perspiration and masseter electromyography," *Sensors (Switzerland)*, vol. 15, no. 3, pp. 5136–5150, 2015, doi: 10.3390/s150305136.
- [26] P. Concheiro-Moscoso, M. del Carmen Miranda-Duro, C. Fraga, C. Queirós, A. J. P. da S. Marques, and B. Groba, "Design of a System to Implement Occupational Stress Studies Trough Wearables Devices and Assessment Tests," *Proceedings*, vol. 54, no. 1, p. 19, 2020, doi: 10.3390/proceedings2020054019.
- [27] C. Queirós, S. Oliveira, S. M. Fonseca, and A. J. Marques, "Stress no trabalho e indicadores fisiológicos: um estudo com wearable Sensors," *Psicol. Saúde Doenças*, vol. 21, no. 1, pp. 183–190, 2020.
- [28] S. Attaur-rasool, "ORIGINAL ARTICLE Use of Wearable Technology to Measure Influence of Driving Stress on Heart Rate of Professional Drivers," vol. 10, no. 1, pp. 35–38, 2020.



## ALLEGATO A

Si riportano di seguito i codici utilizzati per processare i dati riguardanti la frequenza cardiaca, ottenuti grazie al dispositivo indossabile Xiaomi Mi Band 5 ed esportati in formato .csv.

Il primo codice è stato necessario per poter visualizzare la frequenza cardiaca ogni secondo, assegnando quindi un valore anche per gli istanti temporali in cui non è stato direttamente rilevato dal braccialetto. Si è ipotizzato di mantenerla costante fino alla misurazione successiva.

L'uso di un secondo codice è stato necessario per calcolare il parametro LF/HF, scelto come indicatore del livello di stress e visualizzarlo ogni secondo, in modo poi da poter cercare una correlazione con la situazione in cui si trova il veicolo. Lo scopo ultimo dell'analisi è quindi ricavare l'andamento del parametro LF/HF nel tempo, il quale si è scelto di calcolare sulla base di 10 secondi. Il codice restituirà un ulteriore file .csv che, svolte le opportune modifiche, verrà importato sul software QGIS.



CODICE 1:

```
import pandas
import datetime

path = "C:\\Users\\marta\\Desktop\\HR\\HR 23 GIUGNO\\"
df=pandas.read_csv(filepath_or_buffer = path + "HR.csv",
                   sep=";", #separatore del file
                   header=0, #per indicare quale riga contiene l'intestazione, eventualmente indicare None
                   names=["HR"]
                   )

for i in range (1, len(df),1):
    if df.iloc[i,0] == 0:
        df.iloc[i,0] = df.iloc[i-1,0]

df

ora = datetime.datetime.now().strftime('%Y%m%d_%H%M%S')
df.to_csv(path + "Output_" + ora + ".csv",
          index=False, header=None, decimal=",")
print ("Ho finito, il file è sul path")
```

CODICE 2:

```
import pyhrv
import numpy as np
import pandas
import datetime

path="C:\\Users\\marta\\Desktop\\TESI\\Camion Leonardo\\22 GIUGNO\\"
df=pandas.read_csv(filepath_or_buffer = path + "RR.csv",
    sep=";", #separatore del file
    header=0, #per indicare quale riga contiene l'intestazione, eventualmente indicare None
    names=["nn","time"]
)

intervallo=10
w=np.zeros(10000)

j=0
for i in range(0, len(df),intervallo): #print("Da " + str(i) + " a " + str(i+intervallo-1))
    x=pyhrv.frequency_domain.welch_psd(nni=df["nn"][i:i+intervallo]),show=True) #print(x["fft_ratio"])
    w[j]=x["fft_ratio"]
    j=j+10

k=0
for k in range (0,10000,1):
    if w[k] == 0:
        w [k] = w [k-1]
        k=k+1
    else:
        k+2

Output = pandas.DataFrame(w)
ora=datetime.datetime.now().strftime('%Y%m%d_%H%M%S')
Output.to_csv(path + "Output_" + ora + ".csv", index = False, header=None, decimal=",")
Print ("Ho finito, il file è sul path")
```



Per cambiare l'intervallo di analisi basterà modificare la riga di codice "intervallo" al valore che si preferisce. Si ricorda però che il ciclo *for* inizia a contare da 0, quindi se l'intervallo è 10 il ciclo funziona da 0 a 9. Bisogna fare inoltre attenzione ad impostare la lunghezza di "w": si consiglia di impostare un numero molto grande o al minimo almeno pari al numero di intervalli, quindi all'incirca il numero delle righe (che nel mio caso corrisponde ai secondi di analisi) diviso l'intervallo; allo stesso modo deve essere cambiato anche il secondo termine nell'ultimo ciclo *for*.



## ALLEGATO B

Si riportano di seguito i moduli riguardanti il trattamento dei dati in accordo con il GDPR (General Data Protection Regulation) ovvero il Regolamento Europeo 2016/679. Sia l'informativa che il modulo di consenso informato sono stati preparati con la gentile collaborazione dell'Ufficio Privacy del Politecnico di Milano, in particolare di Vincenzo Del Core e di Loris Guzzetti. Entrambi i documenti hanno lo scopo di informare pienamente i conducenti, in quanto partecipanti ad una ricerca scientifica, di tutte le operazioni che sono state effettuate utilizzando i loro dati personali e particolari, e di come ci si è impegnati per mantenerne l'anonimato. Essendo i conducenti di origine straniera, entrambi i moduli sono stati tradotti in lingua inglese e sono stati firmati dalle persone interessate.



## **INFORMATIVA AL TRATTAMENTO DEI DATI PERSONALI AI SENSI DELL'ART. 13 DEL REGOLAMENTO UE N. 679/2016 DEL 27 APRILE 2016**

Lei è invitato a prendere parte ad uno studio che si propone di *indagare lo stato psicofisico del conducente durante una sessione di guida in Truck Platooning; numerosi studi hanno infatti dimostrato come ci sia una chiara correlazione tra alcuni parametri fisiologici, in particolare verrà utilizzato il parametro LF/HF, e il livello di stress percepito dall'utente. Il risultato atteso della ricerca sarà l'andamento della frequenza cardiaca nel tempo e, grazie al confronto con i dati GPS che provengono dai dispositivi installati sul veicolo e la ripresa video tramite webcam, si potrà capire la posizione del veicolo e che cosa sta accadendo in quel preciso momento. In particolare, si procederà prima nell'identificare i picchi nel grafico del parametro LF/HF e solo in un secondo momento si scorreranno i dati del camion per cercare una correlazione: ci si aspetterebbe un aumento del parametro LF/HF nel momento in cui il platoon si forma e quando la distanza tra i veicoli (o il Time to Collision) diminuisce.*

Il Titolare, nel quadro della sperimentazione, tratterà i Suoi dati personali soltanto nella misura in cui siano indispensabili in relazione all'obiettivo del progetto di ricerca, nel rispetto di quanto previsto dalla normativa vigente in materia di protezione dei dati personali e conformemente alle discipline nazionali di riferimento.

La vigente informativa viene rilasciata ai sensi dell'art. 13 del Regolamento UE 2016/679 del 27 aprile 2016 relativo alla protezione delle persone fisiche con riguardo al trattamento dei dati personali e nel rispetto della normativa nazionale dei partner aderenti alla ricerca in materia di trattamento dei dati personali, nonché alla libera circolazione di tali dati.

### **Titolare del trattamento dati**

Il Titolare del trattamento è colui che determina le finalità e i mezzi del trattamento di dati personali. In questo contesto il *Titolare del trattamento del Politecnico di Milano è il Direttore Generale su delega del Rettore pro-tempore – contatto: dirgen@polimi.it.*

### **Responsabile Protezione Dati**

Il Responsabile per la protezione dei dati, RPD o DPO è contattabile all'indirizzo mail *privacy@polimi.it*. Lei può contattare il Responsabile della Protezione dei Dati per tutte le questioni relative al trattamento dei suoi dati.



**Finalità del trattamento, base giuridica, categorie di dati e periodo di conservazione.**

Ai fini dell'applicazione della normativa europea e nazionale in materia (Reg. UE 679/2016, d'ora in poi Regolamento UE), si informa che i suoi dati personali saranno utilizzati per le seguenti finalità:

**TABELLA 1**

<b>Finalità del trattamento</b>	<b>Base giuridica del trattamento</b>	<b>Categorie di dati personali oggetto di trattamento</b>	<b>Periodo di conservazione dei dati personali</b>
<b>Finalità 1</b> Partecipazione al Progetto di Ricerca Scientifica "Analisi dello stato psicofisico del conducente in Truck Platooning".	Consenso (art. 6, par. 1, lett. a) del Regolamento UE).	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Dati identificativi</i></li><li>• <i>Dati relativi alla salute: frequenza cardiaca</i></li></ul>	<i>Per un periodo di 5 anni.</i>
<b>Finalità 2</b> Ripresa audio/video al fine di avere una conferma del tracciato GPS come double check dei dati raccolti.	Consenso (art. 6, par. 1, lett. a) del Regolamento UE).	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Ripresa audio e video</i></li></ul>	<i>Per un periodo di 5 anni.</i>

**Natura dei dati**

Il conferimento dei dati è facoltativo. Il rifiuto a fornire i dati comporta l'impossibilità di partecipare alla ricerca.

**Modalità di trattamento**

I dati personali dell'Interessato e quelli appartenenti a categorie particolari, nello specifico quelli inerenti a dati biometrici (esclusivamente la frequenza cardiaca), dati comportamentali e riprese audio video, saranno trattati da soggetti autorizzati, con strumenti automatizzati e non, esclusivamente per gli obiettivi del progetto.

**Partecipazione al progetto di ricerca e relative operazioni e attività connesse**

Qualora l'Interessato presti il suo consenso a partecipare al progetto di ricerca in oggetto, saranno raccolti alcuni dati che lo riguardano, mediante strumenti cartacei e/o elettronici (interviste,

questionari on-line, wearable smartband/smartwatch). I dati raccolti saranno successivamente anonimizzati nel corso della ricerca.

I dati raccolti nel corso del progetto di ricerca saranno registrati, elaborati, analizzati per tutta la durata del progetto, dei dati attualmente prevista per 5 anni.

Si precisa che solo il Responsabile scientifico e i soggetti autorizzati potranno eseguire procedure di identificazione sui dati pseudonimizzati. Una volta scaduto il termine di conservazione sopra indicato, i dati verranno cancellati ovvero resi anonimi in modo che non sia più possibile risalire, in modo diretto o indiretto, all'identità dell'Interessato.

#### **Trattamento di immagini nell'ambito della ricerca**

Nel quadro del progetto di ricerca e nella misura strettamente necessario per le finalità di ricerca, il trattamento può avere, inoltre, ad oggetto immagini inerenti all'Interessato (fotografie, riprese-video, riprese audio-video). Il trattamento di tali immagini avverrà nel rispetto delle disposizioni di legge, garantendo l'anonimato tramite l'oscuramento dei dati personali, quali tratti somatici e targhe dei veicoli.

Evidenziamo che, per il trattamento delle immagini, è richiesto all'Interessato di esprimere uno specifico consenso, anche ai sensi delle disposizioni di legge sul diritto d'autore (l. 633/1941), considerato che, sia pure in casi particolari, anche immagini relative a persone il cui viso è stato oscurato possono consentirne l'identificazione.

#### **Uso dei dati personali in forma anonima**

Si precisa che i dati saranno diffusi solo in forma rigorosamente anonima e in forma aggregata, ad esempio attraverso pubblicazioni scientifiche, attività didattiche, per attività statistiche e convegni scientifici.

#### **Conservazione dei dati per future attività di ricerca**

Considerato che nuove scoperte potrebbero indicare inedite opportunità di indagine ai ricercatori o consentire di effettuare ulteriori studi e ricerche sui dati particolari per lo studio di cui trattasi, l'Interessato può consentire la conservazione illimitata dei dati che lo riguardano in forma completamente anonimizzata.

Si precisa che ai sensi dell'art. 11 par. 2 del Regolamento che il Titolare, una volta eseguita l'anonimizzazione dei dati personali non sarà successivamente più in grado di identificare l'interessato. A tal fine i diritti di cui agli articoli da 15 a 20 non potranno trovare applicazione, salvo che l'interessato non fornisca ulteriori informazioni per consentirne l'identificazione.

Considerata la natura, l'oggetto, il contesto e le finalità del trattamento il titolare ha eseguito una valutazione di impatto (DPIA) dei trattamenti previsti sulla protezione dei dati personali.

#### **Trasferimento dei dati fuori area UE**

Non è previsto il trasferimento di dati personali al di fuori dell'area UE, si prevede il trasferimento di dati personali in forma anonimizzata solo tra i partner UE.

#### **Esercizio dei diritti**

Fatte salve le limitazioni all'esercizio dei diritti degli interessati previste dalla legislazione in materia di trattamenti per finalità di ricerca, l'interessato al presente studio, può esercitare i diritti a lui riconosciuti ai sensi e nei limiti degli artt. 15-21 del Regolamento (UE) 2016/679, tra cui il diritto di chiedere l'accesso ai propri dati personali, la rettifica o la cancellazione degli stessi, nonché la limitazione del trattamento dei dati che lo riguardano, l'opposizione al trattamento e la portabilità dei dati.

Precisiamo inoltre che ogni eventuale consenso manifestato dall'Interessato è liberamente prestato ed è revocabile in ogni momento senza che ciò comporti alcun svantaggio o pregiudizio e senza pregiudicare la liceità del trattamento basata sul consenso prestato prima della revoca.

Le istanze relative all'esercizio di tali diritti potranno essere presentate al Titolare contattandolo ai recapiti sopra riportati.

Infine, ove l'Interessato ritenga che il trattamento dei propri dati personali avvenga in violazione di quanto previsto dal Regolamento (UE) 2016/679 o del D.lgs. 196/03 s.m.i. ha il diritto di proporre reclamo al Garante.

#### **ULTERIORI INFORMAZIONI INERENTI IL PROGETTO DI RICERCA**

Ulteriori informazioni inerenti il progetto di ricerca in oggetto possono essere richiesta al responsabile scientifico, Zecchini Marta ([marta.zecchini@mail.polimi.it](mailto:marta.zecchini@mail.polimi.it)).



Il/La sottoscritto/a \_\_\_\_\_

nato/a \_\_\_\_\_ il \_\_\_\_\_ e residente

a \_\_\_\_\_ in Via \_\_\_\_\_

telefono \_\_\_\_\_

**in qualità di diretto Interessato**

**DICHIARA**

- di aver ricevuto e preso attenta visione del documento "*Modulo per il consenso alla partecipazione ad attività di ricerca*" in merito alla partecipazione al progetto;
- di aver preso attenta visione della "*Informativa al trattamento dei dati*" sopra riportata e di averne compreso i contenuti e le ulteriori informazioni ottenute in merito dal responsabile scientifico e/o dagli altri Collaboratori;

Ai sensi delle disposizioni del Regolamento (UE) 2016/679 e del D.Lgs. 196/2003, letta l' "*Informativa al trattamento dei dati*" sopra riportata, il/la sottoscritto/a

**Acconsente**       **Non acconsente**

al trattamento – necessario ai fini della partecipazione al progetto di cui trattasi ed al suo svolgimento - dei dati personali e particolari dell'Interessato per la finalità n. 1 e nei modi indicati nella tabella 1 *Partecipazione al Progetto di Ricerca Scientifica "Analisi dello stato psicofisico del conducente in Truck Platooning"*.

**Acconsente**       **Non acconsente**

al trattamento - necessario per la finalità n. 2 – Ripresa audio video, così come esposta nella "*Informativa al trattamento dei dati*" sopra riportata.

**Data** \_\_\_\_\_ **Firma** \_\_\_\_\_

**Nome dell'interessato** \_\_\_\_\_

## **MODULO PER IL CONSENSO ALLA PARTECIPAZIONE AD ATTIVITA' DI RICERCA**

### **Titolo della ricerca**

Analisi dello stato psicofisico del conducente in Truck Platooning, un progetto di Zecchini Marta, e del Politecnico di Milano.

### **Obiettivo della ricerca**

*La ricerca ha come obiettivo l'analisi dello stato psicofisico del conducente durante una sessione di guida in Truck Platooning; numerosi studi hanno infatti dimostrato come ci sia una chiara correlazione tra alcuni parametri fisiologici, in particolare verrà utilizzato il parametro LF/HF, e il livello di stress percepito dall'utente. Il risultato atteso della ricerca sarà l'andamento della frequenza cardiaca nel tempo e, grazie al confronto con i dati GPS che provengono dai dispositivi installati sul veicolo, si potrà capire la posizione del veicolo e che cosa sta accadendo in quel preciso momento. In particolare, si procederà prima nell'identificare i picchi nel grafico del parametro LF/HF e solo in un secondo momento si scorreranno i dati del camion per cercare una correlazione: ci si aspetterebbe un aumento del parametro LF/HF nel momento in cui il platoon si forma e quando la distanza tra i veicoli (o il Time to Collision) diminuisce.*

### **Modalità di svolgimento dello studio**

*Lo stress del conducente verrà indagato tramite l'uso di dispositivi indossabili, in particolare degli SmartWatch, i quali rileveranno la frequenza cardiaca in continuo. Non verrà richiesto il nome del conducente ma sarà necessario associare il dispositivo a un identificativo numerico anonimo del conducente ("Driver n. 1") e al veicolo ("Camion XXX"), in modo da conoscere la posizione del veicolo all'interno del Platoon. Queste informazioni consentiranno l'analisi dello stato psicofisico del driver. La misurazione verrà fatta sia durante un periodo di riposo che durante le sessioni di guida.*

*I dati relativi alla frequenza cardiaca del conducente verranno raccolti dai driver tramite un'applicazione installata sul dispositivo android del veicolo e condivisi con la tesista, Marta Zecchini, tramite sistemi cloud utilizzando la stessa mail creata appositamente, e che quindi non*

*è quella personale dell'autista. Solo la tesista avrà accesso diretto ai dati. I dati verranno salvati in una cartella protetta da password (tramite il Software VeraCrypt) di cui solo la tesista ne è a conoscenza*

*In un secondo momento i dati saranno elaborati tramite il linguaggio Python oppure il software Kubios.*

*Per il trasferimento dei dati non sarà richiesta l'e-mail dell'autista perchè verrà utilizzato un account apposito (con il nome del camion). L'anonimato è quindi garantito.*

*Sul cruscotto del veicolo verrà fissata una webcam che inquadrerà esclusivamente lo spazio stradale antistante il camion stesso, senza mai riprendere il conducente. Le immagini hanno l'unico scopo di avere una conferma del tracciato GPS e della situazione in cui si trova il Platoon e quindi, di ciò che effettivamente sta vedendo il conducente; questo perché si preferisce avere una double check sui dati raccolti ai fini della ricerca. Eventuali volti, caratteri identificativi o targhe, sia dei partecipanti che di terzi, saranno oscurati ed eventualmente pubblicati nell'elaborato di ricerca in forma anonima. Tali dati non saranno forniti all'azienda titolare.*

### **Partecipazione alla ricerca**

*La partecipazione alla presente ricerca è volontaria ed è possibile decidere di interrompere la sessione sperimentale in qualsiasi momento. Se non lo riterrà opportuno, potrà altresì decidere di non rispondere alle domande che le verranno poste.*

*I risultati delle analisi saranno pubblicati soltanto in forma aggregata.*



## ALLEGATO C

In questo allegato si descrive la procedura eseguita per accoppiare lo smartwatch Xiaomi Mi Band 5 al tablet sul veicolo.

Una copia del documento, tradotta in inglese, è stata poi consegnata ai camionisti in modo da poter intervenire in caso di malfunzionamento ed inviare i file esportati alla tesista.

- Accendere il Bluetooth
- Aprire App Mi Fit -> Profilo -> Aggiungi dispositivo -> Bracciale -> Accetto
- Sul bracciale comparirà English e quindi schiacciare sulla freccia -> confermare sul bracciale
- Se non funziona quando compare 'Pair First' scorrere verso l'alto 'Setting' -> Factory Reset e ✓
- Cliccare su 'Mi Smart Band 5' -> Monitoraggio della frequenza cardiaca -> Impostarlo come da fotografia

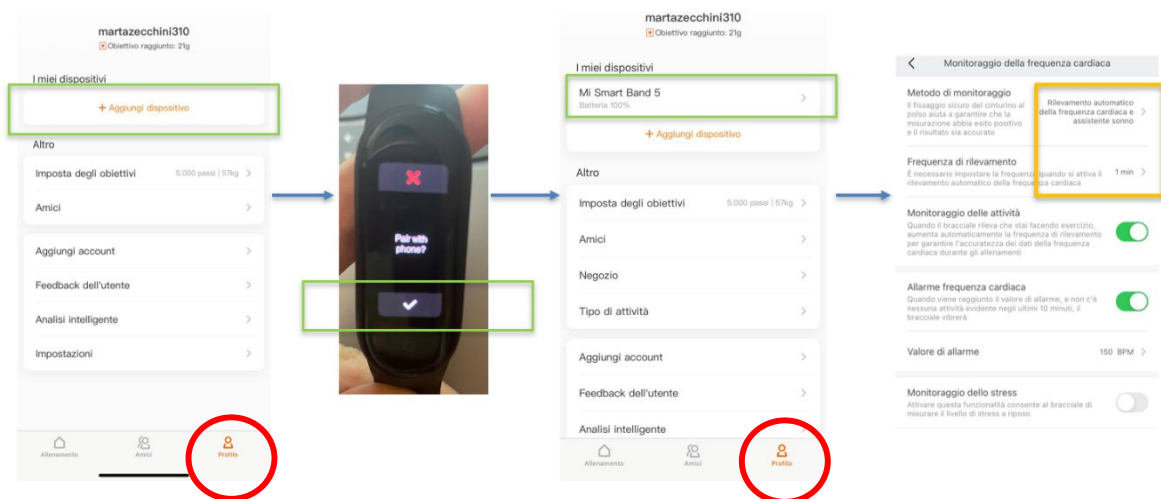


Figura C.1 – Avvio dell'App Mi Fit ed accoppiamento con il dispositivo

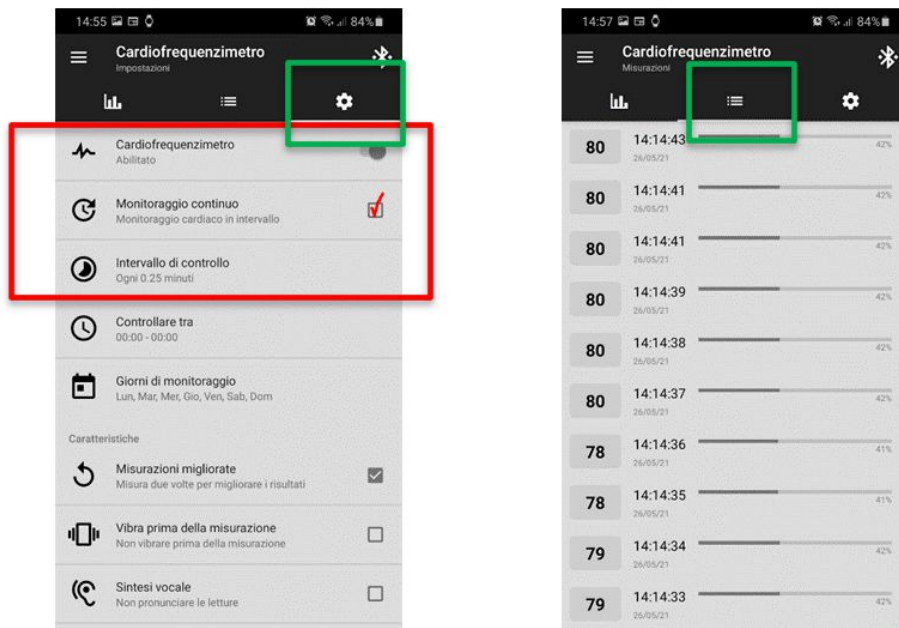


Figura C.2 – guida per impostare correttamente l'App Tools & Mi Band

Se attivando il monitoraggio continuo non compare la schermata di destra è necessario riscaricare l'applicazione.

- Alla fine della giornata cliccare su 'Esporta in CSV' -> Tutto -> Email da "CamionXXX@gmail.com" a [marta.zecchini@mail.polimi.it](mailto:marta.zecchini@mail.polimi.it)

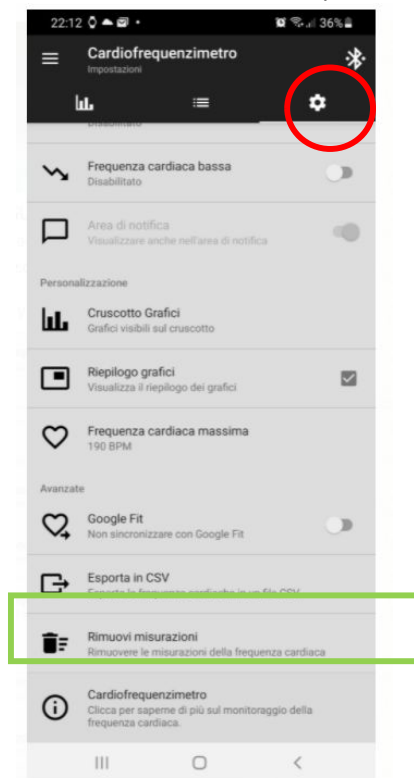


Figura C.3 – Esportazione del file .csv e invio

## ALLEGATO D

In questo allegato si riporta un estratto del risultato finale dell'elaborazione del file .csv pervenuto da IVECO. Si sono individuati infatti i parametri fondamentali per la caratterizzazione dello stato del veicolo e sono stati raggruppati in modo da permettere una lettura più agevole. In un secondo momento è stata effettuata l'importazione in QGIS, servendosi delle coordinate GPS, e utilizzando le funzioni di filtro e di attributo per mettere in luce i dati più opportuni.

Nella tabella D.1 si può notare come in un primo momento il platoon sia disaggregato e i veicoli si muovano autonomamente, infatti tutti i parametri riguardanti il platoon (dimensione, posizione e Back e Front Status) assumono il valore 0.

Solamente dall'orario 10:09:38 il platoon è formato da due veicoli e in particolare il veicolo in esame si trova nella seconda posizione, quindi è il veicolo Follower. Nel momento in cui si forma il platoon anche la distanza dal veicolo precedente assume valori diversi da zero e sempre vicini a 30 m.

La tabella D.2 è costruita secondo la medesima struttura ma viene aggiunta la colonna relativa al parametro LF/HF.

Nella tabella D.3 si osserva la presenza di un elevato livello di stress. La regola di formattazione condizionale deriva dalla calibrazione del parametro LF/HF eseguita nel capitolo 3.2.1. La prima colonna indica il numero identificativo e nella seconda colonna viene invece individuata la circostanza che è causa del picco stesso.





Orario	Latitude	Longitude	Accelerazione long. [m/s <sup>2</sup> ]	Velocità [km/h]	Angolo di sterzata [rad]	TTC [s]	Consumo carburante [l/h]	Distanza da veicolo precedente [m]	THW [s]	Back Status	Front Status	Posizione	Dimensione del platoon	Cut - in
10:09:27,00	45,3270	10,9165	0,7	82,4	-0,08982	12,5	15,00	0	3,44	0	0	0	0	0
10:09:27,25	45,3270	10,9165	0,2	82,3	-0,09763	12,5	15,60	0	3,44	0	0	0	0	0
10:09:27,75	45,3269	10,9165	-0,3	82,3	-0,10935	12,5	16,10	0	3,44	0	0	0	0	0
10:09:28,00	45,3269	10,9164	-0,4	82,3	-0,08005	12,5	17,30	0	3,44	0	0	0	0	0
10:09:28,25	45,3268	10,9164	-0,8	82,4	-0,05369	12,5	17,45	0	3,44	0	0	0	0	0
10:09:28,50	45,3268	10,9164	-0,5	82,4	-0,04099	12,5	17,25	0	3,44	0	0	0	0	0
10:09:28,75	45,3267	10,9164	0	82,4	-0,0488	12,5	17,35	0	3,44	0	0	0	0	0
10:09:29,00	45,3267	10,9164	-0,1	82,4	-0,04978	12,5	16,80	0	3,44	0	0	0	0	0
10:09:29,25	45,3266	10,9164	0,6	82,3	-0,05662	12,5	17,30	0	3,42	0	0	0	0	0
10:09:29,50	45,3266	10,9163	0,3	82,3	-0,01365	12,5	16,75	0	3,4	0	0	0	0	0
10:09:29,75	45,3265	10,9163	0,2	82,2	-0,00095	12,5	16,15	0	3,42	0	0	0	0	0
10:09:30,00	45,3265	10,9163	0,4	82,3	0,03713	12,5	14,95	0	3,42	0	0	0	0	0
10:09:30,25	45,3264	10,9163	-0,4	82,3	0,00198	12,5	14,45	0	3,4	0	0	0	0	0
10:09:30,50	45,3264	10,9162	-0,7	82,3	-0,04295	12,5	13,25	0	3,4	0	0	0	0	0
10:09:30,75	45,3263	10,9162	-0,1	82,3	-0,06052	12,5	12,70	0	3,4	0	0	0	0	0
10:09:31,00	45,3263	10,9162	-0,1	82,3	-0,05662	12,5	12,75	0	3,4	0	0	0	0	0
10:09:31,25	45,3262	10,9162	0	82,3	-0,02537	12,5	11,45	0	3,38	0	0	0	0	0
10:09:31,50	45,3262	10,9162	0,1	82,2	0,02639	12,5	10,35	0	3,4	0	0	0	0	0
10:09:31,75	45,3261	10,9161	0,4	82,1	0,04202	12,5	9,80	0	3,42	0	0	0	0	0
10:09:32,00	45,3261	10,9161	0,3	82,0	-0,04099	12,5	9,70	0	3,42	0	0	0	0	0
10:09:32,25	45,3260	10,9161	-0,3	82,0	-0,06541	12,5	10,35	0	3,42	0	0	0	0	0
10:09:32,50	45,3260	10,9161	-0,1	82,0	-0,06736	12,5	11,45	0	3,44	0	0	0	0	0
10:09:32,75	45,3259	10,9161	-0,8	82,0	-0,09763	12,5	12,10	0	3,44	0	0	0	0	0
10:09:33,00	45,3259	10,9160	-0,1	82,0	-0,14451	12,5	12,70	0	3,46	0	0	0	0	0
10:09:33,25	45,3258	10,9160	0	82,0	-0,1533	12,5	13,75	0	3,46	0	0	0	0	0
10:09:33,50	45,3258	10,9160	0	82,0	-0,15134	12,5	14,90	0	3,46	0	0	0	0	0
10:09:33,75	45,3257	10,9160	0,2	81,9	-0,15134	12,5	14,95	0	3,44	0	0	0	0	0
10:09:34,00	45,3257	10,9159	0,3	81,9	-0,16013	12,5	15,45	0	3,46	0	0	0	0	0
10:09:34,25	45,3256	10,9159	0,2	81,9	-0,15623	12,5	16,10	0	3,46	0	0	0	0	0

10:09:34,50	45,3256	10,9159	0,1	82,0	-0,13572	12,5	16,75	0	3,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:09:34,75	45,3255	10,9159	-0,8	81,9	-0,09373	12,5	16,60	0	3,44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:09:35,00	45,3255	10,9158	-0,2	81,9	-0,06931	12,5	17,25	0	3,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:09:35,25	45,3255	10,9158	-0,1	82,0	-0,03611	12,5	17,80	0	3,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:09:35,50	45,3254	10,9158	-0,2	82,0	0,02834	12,5	18,35	0	3,44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:09:35,75	45,3253	10,9158	0,3	82,0	0,04788	12,5	17,85	0	3,44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:09:36,00	45,3253	10,9157	0,4	82,0	0,06155	12,5	17,85	0	3,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:09:36,25	45,3253	10,9157	0,2	82,0	0,01663	12,5	17,80	0	3,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:09:36,50	45,3252	10,9157	0	82,0	-0,04099	12,5	17,25	0	3,44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:09:36,75	45,3251	10,9157	-0,2	82,1	-0,02732	12,5	16,65	0	3,44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:09:37,00	45,3251	10,9156	-0,9	82,0	-0,0322	12,5	16,60	0	3,44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:09:37,25	45,3251	10,9156	-0,2	82,1	-0,03416	12,5	16,70	0	3,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:09:37,50	45,3250	10,9156	-0,3	82,0	-0,04002	12,5	17,20	0	3,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:09:37,75	45,3250	10,9155	0,3	82,0	-0,0488	12,5	17,25	0	3,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:09:38,00	45,3249	10,9155	0,4	81,9	-0,04002	12,5	17,90	0	3,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:09:38,25	45,3249	10,9155	0,3	81,9	-0,01853	12,5	18,90	0	3,44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:09:38,50	45,3248	10,9155	0,1	81,9	0,01467	12,5	19,50	0	3,44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:09:38,75	45,3248	10,9154	0	82,0	0,04104	12,5	19,50	31	3,46	1	11	2	2	2	2	2	2	2	0
10:09:39,00	45,3247	10,9154	-0,5	82,1	0,06838	12,5	20,05	31	3,44	1	11	2	2	2	2	2	2	2	0
10:09:39,25	45,3247	10,9154	-0,4	82,0	0,08987	12,5	20,20	31	3,46	1	11	2	2	2	2	2	2	2	0
10:09:39,50	45,3246	10,9153	0,1	82,1	0,08205	12,5	19,50	31	3,48	1	11	2	2	2	2	2	2	2	0
10:09:39,75	45,3246	10,9153	0	82,1	0,05764	12,5	19,50	31	3,44	1	11	2	2	2	2	2	2	2	0
10:09:40,00	45,3245	10,9153	0,2	82,0	0,001	12,5	19,05	31	3,44	1	11	2	2	2	2	2	2	2	0
10:09:40,25	45,3245	10,9153	0,2	82,0	0,001	12,5	18,90	32	3,46	1	11	2	2	2	2	2	2	2	0
10:09:40,50	45,3244	10,9152	0,3	82,0	0,01467	12,5	19,55	32	3,48	1	11	2	2	2	2	2	2	2	0
10:09:40,75	45,3244	10,9152	0,2	82,1	0,03713	12,5	19,50	32	3,52	1	11	2	2	2	2	2	2	2	0
10:09:41,00	45,3243	10,9152	-0,2	82,2	0,0303	12,5	20,05	32	3,46	1	11	2	2	2	2	2	2	2	0
10:09:41,25	45,3243	10,9152	-0,6	82,1	0,07717	12,5	21,25	32	3,46	1	11	2	2	2	2	2	2	2	0
10:09:41,50	45,3242	10,9151	-0,1	82,1	0,11428	12,5	21,30	32	3,46	1	11	2	2	2	2	2	2	2	0
10:09:41,75	45,3242	10,9151	0,2	82,2	0,16799	12,5	21,80	32	3,48	1	11	2	2	2	2	2	2	2	0
10:09:42,00	45,3242	10,9151	0,1	82,2	0,14846	12,5	22,40	32	3,48	1	11	2	2	2	2	2	2	2	0

10:09:42,25	45,3241	10,9150	0,1	82,2	0,11428	12,5	22,35	32	3,48	1	11	2	2	0
10:09:42,50	45,3240	10,9150	0,4	82,2	0,14553	12,5	22,95	32	3,48	1	11	2	2	0
10:09:42,75	45,3240	10,9150	0,7	82,2	0,14553	12,5	23,00	32	3,48	1	11	2	2	0
10:09:43,00	45,3240	10,9149	0,2	82,3	0,11428	12,5	23,60	32	3,48	1	11	2	2	0
10:09:43,25	45,3239	10,9149	-0,2	82,4	0,10354	12,5	23,65	32	3,46	1	11	2	2	0
10:09:43,50	45,3238	10,9149	-0,7	82,4	0,09963	12,5	23,65	32	3,44	1	11	2	2	0
10:09:43,75	45,3238	10,9148	-0,7	82,5	0,10745	12,5	23,55	32	3,44	1	11	2	2	0
10:09:44,00	45,3238	10,9148	0,1	82,5	0,11038	12,5	23,05	32	3,44	1	11	2	2	0
10:09:44,25	45,3237	10,9148	0,1	82,5	0,09963	12,5	23,05	32	3,48	1	11	2	2	0
10:09:44,50	45,3237	10,9147	0,4	82,4	0,06838	12,5	22,40	32	3,48	1	11	2	2	0
10:09:44,75	45,3236	10,9147	0,7	82,5	0,03518	12,5	22,45	32	3,44	1	11	2	2	0
10:09:45,00	45,3236	10,9147	0,2	82,5	0,04397	12,5	21,90	32	3,48	1	11	2	2	0
10:09:45,25	45,3235	10,9147	0,2	82,5	0,05471	12,5	21,35	32	3,44	1	11	2	2	0
10:09:45,50	45,3235	10,9146	-0,1	82,6	0,06545	12,5	20,95	32	3,42	1	11	2	2	0
10:09:45,75	45,3234	10,9146	-0,2	82,6	0,06545	12,5	19,65	32	3,44	1	11	2	2	0
10:09:46,00	45,3234	10,9146	-0,3	82,6	0,09963	12,5	18,00	32	3,42	1	11	2	2	0
10:09:46,25	45,3234	10,9146	-0,2	82,7	0,11721	12,5	18,00	32	3,42	1	11	2	2	0
10:09:46,50	45,3233	10,9145	0	82,7	0,12795	12,5	16,80	32	3,42	1	11	2	2	0
10:09:46,75	45,3232	10,9145	-0,1	82,6	0,09866	12,5	16,30	32	3,44	1	11	2	2	0
10:09:47,00	45,3232	10,9145	0,3	82,7	0,11038	12,5	15,10	32	3,44	1	11	2	2	0
10:09:47,25	45,3232	10,9144	0,4	82,6	0,13186	12,5	14,50	32	3,44	1	11	2	2	0
10:09:47,50	45,3231	10,9144	0,1	82,5	0,1387	12,5	13,95	32	3,44	1	11	2	2	0
10:09:47,75	45,3230	10,9144	0,3	82,5	0,17117	12,5	13,90	32	3,47	1	11	2	2	0
10:09:48,00	45,3230	10,9143	0	82,6	0,126	12,5	14,50	32	3,44	1	11	2	2	0
10:09:48,25	45,3230	10,9143	-0,3	82,7	0,13479	12,5	14,55	32	3,42	1	11	2	2	0
10:09:48,50	45,3229	10,9143	-0,2	82,7	0,11428	12,5	13,30	32	3,42	1	11	2	2	0
10:09:48,75	45,3229	10,9142	-0,2	82,7	0,09084	12,5	12,20	32	3,44	1	11	2	2	0
10:09:49,00	45,3228	10,9142	-0,4	82,7	0,08596	12,5	11,00	32	3,42	1	11	2	2	0
10:09:49,25	45,3228	10,9142	-0,2	82,6	0,07913	12,5	10,40	32	3,42	1	11	2	2	0
10:09:49,50	45,3227	10,9142	0,4	82,6	0,08205	12,5	10,45	32	3,44	1	11	2	2	0
10:09:49,75	45,3227	10,9141	0,1	82,4	0,08987	12,5	10,40	32	3,46	1	11	2	2	0

Tabella D.1 – elaborazione dei dati IVECO riguardanti lo stato del veicolo

Orario	LF/HF	Latitudine	Longitudine	Accelerazione long. [m/s <sup>2</sup> ]	Velocità [km/h]	Angolo di sterzata [rad]	TTC [s]	Consumo carburante [l/h]	Distanza da veicolo precedente [m]	THW[s]
12:31:32,00	0,67	45,081	10,8508	-0,2	84,9	0,13284	12,5	16,85	32	3,44
12:31:33,00	0,67	45,0812	10,8509	-0,7	84,8	0,13479	12,5	12,65	32	3,44
12:31:34,00	0,67	45,0814	10,8510	0,1	84,9	0,11916	12,5	13,15	32	3,44
12:31:35,00	0,67	45,0816	10,8511	1,5	84,9	0,07913	12,5	15,6	32	3,44
12:31:36,00	0,67	45,08181	10,8512	0,3	84,8	0,10354	12,5	15,1	32	3,48
12:31:37,00	0,67	45,08201	10,8513	-0,6	84,7	0,13479	12,5	17,35	32	3,46
12:31:38,00	0,67	45,08221	10,8514	0,1	84,8	0,14846	12,5	17,95	32	3,44
12:31:39,00	0,67	45,08241	10,8515	0,3	85,0	0,05666	10,55	18,1	32	3,44
12:31:40,00	0,74	45,08261	10,8516	0	85,0	0,06545	12,5	15,6	32	3,42
12:31:41,00	0,74	45,08285	10,8517	-0,3	84,8	0,13479	12,5	14,35	32	3,44
12:31:42,00	0,74	45,08301	10,8518	0,6	84,7	0,08401	12,5	17,5	32	3,44
12:31:43,00	0,74	45,08325	10,8519	0,4	84,7	0,08987	12,5	18,45	32	3,44
12:31:44,00	0,74	45,08341	10,8520	0,9	84,8	0,1387	12,5	19,75	32	3,44
12:31:45,00	0,74	45,08361	10,8521	-0,2	84,6	0,13284	12,5	20,9	32	3,4
12:31:46,00	0,74	45,08381	10,8522	-0,9	84,6	0,10745	12,5	20,75	32	3,46
12:31:47,00	0,74	45,08401	10,8523	0,5	84,5	0,10745	12,5	21,35	32	3,42
12:31:48,00	0,74	45,08421	10,8524	0,3	84,5	0,0967	12,5	21,4	32	3,48
12:31:49,00	0,74	45,08441	10,8525	0,3	84,6	0,13284	12,5	26,45	32	3,5
12:31:50,00	3,98	45,08461	10,8526	-0,4	84,7	0,07717	12,5	30,15	32	3,48
12:31:51,00	3,98	45,08481	10,8527	1	84,9	0,1387	12,5	29,05	32	3,44
12:31:52,00	3,98	45,08501	10,8528	0,4	85,1	0,05764	12,5	23,1	32	3,44
12:31:53,00	3,98	45,08521	10,8529	-0,1	84,8	0,07034	12,5	19,85	32	3,48
12:31:54,00	3,98	45,08545	10,8531	0	84,8	0,10354	12,5	24,9	32	3,46
12:31:55,00	3,98	45,08561	10,8531	0,1	85,0	0,15627	12,5	27,75	32	3,46
12:31:56,00	3,98	45,08581	10,8532	0,2	85,1	0,09084	12,5	26,75	32	3,44
12:31:57,00	3,98	45,08601	10,8533	-0,3	85,1	0,07717	12,5	22,7	32	3,46
12:31:58,00	3,98	45,08621	10,8535	-0,1	85,2	0,06155	12,5	19,85	32	3,4
12:31:59,00	3,98	45,08642	10,8536	-0,3	85,1	0,09866	12,5	17,5	32	3,44
12:32:00,00	0,92	45,08662	10,8537	0,2	85,1	0,11428	12,5	18,2	31	3,42
12:32:01,00	0,92	45,08682	10,8538	-0,1	84,8	0,0967	12,5	14,45	31	3,44

Tabella D.2 – Correlazione temporale tra parametro LF/HF e dati platoon

Orario	LF/HF	Latitudine	Longitudine	Accelerazione long. [m/s <sup>2</sup> ]	Velocità [km/h]	Angolo di sterzata [rad]	TTC [s]	Consumo carburante [l/h]	Distanza da veicolo precedente [m]
12:31:32,00	0,67	45,081	10,8508	-0,2	84,9	0,13284	12,5	16,85	32
12:31:33,00	0,67	45,0812	10,8509	-0,7	84,8	0,13479	12,5	12,65	32
12:31:34,00	0,67	45,0814	10,8510	0,1	84,9	0,11916	12,5	13,15	32
12:31:35,00	0,67	45,0816	10,8511	1,5	84,9	0,07913	12,5	15,6	32
12:31:36,00	0,67	45,08181	10,8512	0,3	84,8	0,10354	12,5	15,1	32
12:31:37,00	0,67	45,08201	10,8513	-0,6	84,7	0,13479	12,5	17,35	32
12:31:38,00	0,67	45,08221	10,8514	0,1	84,8	0,14846	12,5	17,95	32
12:31:39,00	0,67	45,08241	10,8515	0,3	85,0	0,05666	10,55	18,1	32
12:31:40,00	0,74	45,08261	10,8516	0	85,0	0,06545	12,5	15,6	32
12:31:41,00	0,74	45,08285	10,8517	-0,3	84,8	0,13479	12,5	14,35	32
12:31:42,00	0,74	45,08301	10,8518	0,6	84,7	0,08401	12,5	17,5	32
12:31:43,00	0,74	45,08325	10,8519	0,4	84,7	0,08987	12,5	18,45	32
12:31:44,00	0,74	45,08341	10,8520	0,9	84,8	0,1387	12,5	19,75	32
12:31:45,00	0,74	45,08361	10,8521	-0,2	84,6	0,13284	12,5	20,9	32
12:31:46,00	0,74	45,08381	10,8522	-0,9	84,6	0,10745	12,5	20,75	32
12:31:47,00	0,74	45,08401	10,8523	0,5	84,5	0,10745	12,5	21,35	32
12:31:48,00	0,74	45,08421	10,8524	0,3	84,5	0,0967	12,5	21,4	32
12:31:49,00	0,74	45,08441	10,8525	0,3	84,6	0,13284	12,5	26,45	32
12:31:50,00	3,98	45,08461	10,8526	-0,4	84,7	0,07717	12,5	30,15	32
12:31:51,00	3,98	45,08481	10,8527	1	84,9	0,1387	12,5	29,05	32
12:31:52,00	3,98	45,08501	10,8528	0,4	85,1	0,05764	12,5	23,1	32
12:31:53,00	3,98	45,08521	10,8529	-0,1	84,8	0,07034	12,5	19,85	32
12:31:54,00	3,98	45,08545	10,8531	0	84,8	0,10354	12,5	24,9	32
12:31:55,00	3,98	45,08561	10,8531	0,1	85,0	0,15627	12,5	27,75	32
12:31:56,00	3,98	45,08581	10,8532	0,2	85,1	0,09084	12,5	26,75	32
12:31:57,00	3,98	45,08601	10,8533	-0,3	85,1	0,07717	12,5	22,7	32
12:31:58,00	3,98	45,08621	10,8535	-0,1	85,2	0,06155	12,5	19,85	32
12:31:59,00	3,98	45,08642	10,8536	-0,3	85,1	0,09866	12,5	17,5	32
12:32:00,00	0,92	45,08662	10,8537	0,2	85,1	0,11428	12,5	18,2	31
12:32:01,00	0,92	45,08682	10,8538	-0,1	84,8	0,0967	12,5	14,45	31

15 RAMPA

Tabella D.3 – identificazione del picco nel parametro LF/HF