

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



POLITECNICO
MILANO 1863

*ANALISI DEL LIVELLO DI STRESS DEL CONDUCENTE
DURANTE LA GUIDA IN MONOPATTINO*

Tesi di Laurea Magistrale di:

Aurora Donadio 964461

Relatore: Prof. Ing. Luca Studer

Correlatore: Prof. Ing. Paolo Gandini

Anno accademico 2021/2022

Ringraziamenti

Ho cercato di essere protagonista ed eroina di questi cinque anni. Tutto ciò, non da sola.

Ringrazio il mio relatore, Prof. Luca Studer, e il Prof. Paolo Gandini che mi hanno supportato e sopportato durante questo percorso di analisi, dimostrando grande disponibilità e professionalità. Ringrazio il Comune di Busto Arsizio, nella persona del Sindaco, Dott. Emanuele Antonelli, e dell'Assessore alla Sicurezza e Mobilità, Dott. Salvatore Nicola Loschiavo, per aver fornito le risorse necessarie per la redazione di tale elaborato. Grazie ad AREU che ha permesso di affrontare il tema dell'incidentalità dei monopattini a livello lombardo.

Grazie a mia madre, per rendermi speciale, e mio padre, per averci creduto più di me. Ringrazio mio fratello, Christian, per non avermi mai sottovalutato. Grazie a Raffaella, la sorella che non ho mai avuto, per non lasciarmi correre da sola ed esserci sempre. Ringrazio Alessandro, compagno di banco e di vita, che ha permesso di colorare la mia esistenza. Grazie a Silvia, per avermi insegnato l'arte della gentilezza e della sensibilità. Un grazie lo dedico ad Alberto, per la sua forza, augurandogli di trovare un mondo migliore. Infine, un ringraziamento speciale a Francesco, che mi ha trasmesso passione e tranquillità per l'atto finale di questo percorso.

A chi ha coraggio. A chi crede. A chi sogna. Vi auguro di svegliarvi con determinazione e addormentarvi con altrettanta soddisfazione.

SOMMARIO

I monopattini elettrici rappresentano una delle più recenti evoluzioni nel mondo della mobilità: la nascita di tale panorama nel trasporto urbano ha riscontrato una crescente notorietà grazie alla loro semplicità e versatilità.

Prove sperimentali su strada hanno permesso di monitorare l'andamento dello stress del conducente di monopattino grazie alla definizione di un metodo speditivo e replicabile. Tale criterio si basa sull'osservazione continua del parametro fisiologico HRV (Heart Rate Variability) e del rapporto LF/HF con uno smartwatch commerciale. Secondo quanto emerso dalla letteratura, i picchi del rapporto LF/HF corrispondono a zone pericolose e situazioni di disagio. Parallelamente si sono acquisiti i dati relativi agli incidenti di monopattini elettrici presso la città di Busto Arsizio.

La correlazione tra le due informazioni ha rilevato come il metodo costruito possa essere utilizzato per mappare i luoghi di probabile stress ed applicare un'azione manutentiva per prevenire eventuali futuri incidenti.

ABSTRACT

Electric scooters represent one of the most recent developments in the world of mobility: the birth of this landscape in urban transport has found a growing reputation, thanks to their simplicity and versatility.

Experimental road tests have allowed to monitor the stress of the driver of scooter thanks to the definition of a fast and replicable method. This criterion is based on the continuous observation of the physiological parameter HRV (Heart Rate Variability) and the LF/HF ratio with a commercial smartwatch. According to the literature, the peaks in the LF/HF ratio correspond to hazardous areas and uncomfortable situations. At the same time, data relating to accidents involving electric scooters in the city of Busto Arsizio have been obtained.

The correlation between the two information found that the constructed method could be used to map places of probable stress and apply a maintenance action to prevent future accidents.

INDICE

Introduzione.....	16
CAPITOLO 1 – Stato dell’arte.....	20
1.1 Monopattini elettrici	21
1.1.1 Veicolo	22
1.1.2 Conducente	23
1.1.3 Infrastruttura	25
1.2 Normativa	27
1.3 Incidentalità	29
1.3.1 Caso studio: Busto Arsizio	30
1.3.2 Dati AREU	38
1.4 Monitoraggio dello stress.....	47
CAPITOLO 2 - Metodo.....	52
2.1 Descrizione procedura	54
2.1.1 Strumento di misura.....	55
2.2 Approccio 1 – Indice di rapporto dello stress.....	57
2.3 Approccio 2 – Rapporto LF/HF.....	60
2.4 Validazione e scelta del metodo	63
2.4.1 Test 1	63
2.4.2 Test 2	70
2.4.3 Test 3	74
2.4.4 Test 4	77
2.4.5 Test 5	80
2.4.6 Test 6	82
2.4.7 Conclusioni	84
CAPITOLO 3 - Sperimentazione	87
3.1 Start up.....	89
3.2 Analisi dati biomedici.....	92
3.3 Rappresentazione in QGIS	95
3.4 Elaborazione prove	96
3.4.1 Viale Duca D’Aosta.....	100
3.4.2 Piazza Trento e Trieste	101
3.4.3 Via Magenta	102
3.4.4 Via Vincenzo Monti	102

3.4.5 Via Ferrucci – Via Ugo Foscolo.....	103
3.4.6 Viale Virgilio.....	104
3.4.7 Viale Boccaccio.....	106
3.4.8 Conclusioni.....	108
3.5 Correlazione con i dati incidentali.....	111
3.6 Comportamento inesperti.....	115
Conclusione e possibili sviluppi.....	118
Bibliografia.....	123
ALLEGATO A.....	128
ALLEGATO B.....	138
ALLEGATO C.....	142
ALLEGATO D.....	145

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Ostacoli dei monopattini riscontrati in Saudi Arabia.....	16
Figura 2 - Tipi di lezioni durante il periodo studio 2018 a Salt Lake City.....	21
Figura 3 - Giallo: avancorsa; Rosso: asse sterzo; Blu: proiezione asse ruota	22
Figura 4 - Distribuzione del rischio durante l'attraversamento di un'intersezione	24
Figura 5 - Influenza del segnalamento manuale nella sicurezza	25
Figura 6 - Livello di sicurezza personale in diversi ambienti stradali.....	26
Figura 7 - Tipologia di ferito durante un incidente con il monopattino	29
Figura 8 - Tipologia di trauma registrato all'Ospedale Niguarda di Milano	30
Figura 9 - Rappresentazione su QGIS degli incidenti con monopattini elettrici a Busto Arsizio per anno	31
Figura 10 - Rappresentazione su QGIS degli incidenti di monopattini elettrici e biciclette a Busto Arsizio.....	33
Figura 11 - Incidenti per numero di feriti a Busto Arsizio	34
Figura 12 - Incidenti per anno di monopattini e biciclette a Busto Arsizio.....	35
Figura 13 - Incidenti per mese di monopattini e biciclette a Busto Arsizio	35
Figura 14 - Incidenti per fascia oraria di monopattini e biciclette a Busto Arsizio.....	36
Figura 15 - Incidenti per giorno di monopattini e biciclette a Busto Arsizio	36
Figura 16 - Incidenti per tempo atmosferico di monopattino e biciclette a Busto Arsizio	37
Figura 17 - Incidenti per tipologia di monopattini e biciclette a Busto Arsizio	37
Figura 18 - Incidenti per tipologia di strada di monopattini e biciclette a Busto Arsizio	38
Figura 19 - Numero chiamate di emergenza (AREU) in Lombardia per anno	40
Figura 20 - Rappresentazione su QGIS delle chiamate di emergenza (AREU) in Lombardia.....	40
Figura 21 - Rappresentazione su QGIS delle chiamate di emergenza (AREU) a Milano.....	41
Figura 22 - Confronto noleggi con numero chiamate di emergenza a Milano nel 2020, 2021 e 2022	42
Figura 23 - Codice di gravità delle chiamate d'emergenza (AREU) in Lombardia per anno	43
Figura 24 - Numero chiamate d'emergenza annuali per ora	44
Figura 25 - Numero chiamate d'emergenza totale da giugno 2020 a giugno 2022	45
Figura 26 - Numero chiamate d'emergenza per mese.....	45
Figura 27 - Percentuale chiamate d'emergenza (2020, 2021, 2022) per mese	46
Figura 28 - Cardiofrequenzimetro nell'applicazione Tools & Mi Band.....	55
Figura 29 - Esportazione dati con applicazione Tool&Mi Band.....	56
Figura 30 - Definizione del parametro RRI attraverso un elettrocardiogramma.....	57
Figura 31 - Percorso Test 1.....	63
Figura 32 - Calcolo tempo cumulato nel file .csv.....	64
Figura 33 - Calcolo HRV nel file .csv	65
Figura 34 - Andamento HRV nel tempo del Test 1.....	65
Figura 35 - Calcolo RRI nel file .csv	66

Figura 36 - Andamento RRI nel tempo del Test 1	66
Figura 37 - Calcolo Indice di stress nel file .csv	67
Figura 38 - Andamento Indice di stress nel tempo del Test 1	67
Figura 39 - Individuazione spaziale della fascia elevata di stress	67
Figura 40 - Calcolo media e deviazione standard di LF/HF nella fase di riposo del Test 1	68
Figura 41 - Andamento del rapporto LF/HF nel tempo del Test 1	69
Figura 42 - Individuazione spaziale del picco di LF/HF del Test 1	69
Figura 43 - Individuazione di inizio e fine percorso del Test 2.....	70
Figura 44 - Andamento Indice del rapporto di stress nel tempo del Test 2.....	71
Figura 45 - Andamento del rapporto LF/HF nel tempo del Test 2.....	72
Figura 46 - Picco secondo 81 del Test 2.....	72
Figura 47 - Picco secondo 120 e 140 del Test 2.....	73
Figura 48 - Rilevamento incidente nella Rotatoria di Viale Virgilio	73
Figura 49 - Picco secondo 310 del Test 2.....	73
Figura 50 - Picco secondo 370 e 560 del Test 2.....	74
Figura 51 - Percorso Test 3.....	74
Figura 52 - Andamento Indice di stress nel tempo del Test 3	75
Figura 53 - Andamento del rapporto LF/HF nel tempo del Test 3.....	76
Figura 54 - Picco secondo 130 e 169 del Test 3	76
Figura 55 - Percorso del Test 4.....	77
Figura 56 - Andamento Indice di stress nel tempo del Test 4	78
Figura 57 - Picco secondo 80 del Test 4 (Approccio 1)	78
Figura 58 - Picco secondo 292 del Test 4 (Approccio 1)	78
Figura 59 - Andamento del rapporto LF/HF nel tempo del Test 4.....	79
Figura 60 - Picco secondo 50 del Test 4.....	79
Figura 61 - Picco secondo 280 del Test 4.....	80
Figura 62 - Percorso del Test 5.....	80
Figura 63 - Andamento Indice dello stress nel tempo del Test 5	81
Figura 64 - Picco secondo 117 del Test 5.....	81
Figura 65 - Andamento del rapporto LF/HF nel tempo del Test 5.....	82
Figura 66 - Picco secondo 310 del Test 5.....	82
Figura 67 - Percorso del Test 6.....	83
Figura 68 - Andamento Indice di stress nel tempo del Test 6	83
Figura 69 - Andamento del rapporto LF/HF nel tempo del Test 6.....	84
Figura 70 - Picco secondo 250 del Test 6.....	84
Figura 71 - Percorso 1 e Percorso 2 delle prove in monopattino	90
Figura 72 - Orologio Mi Band, Go Pro Hero Session 4 e monopattino BIT per le prove.....	91
Figura 73 - Andamento del rapporto LF/HF nel tempo della prova 2 di Monopattino 3.....	94
Figura 74 - Rappresentazione su QGIS dell'andamento del rapporto LF/HF.....	95
Figura 75 - Immagini video di Viale Duca D'Aosta.....	100
Figura 76 - Immagini video di Piazza Trento e Trieste	101
Figura 77 - Immagini video di Via Magenta	102
Figura 78 - Immagini video di Via Vincenzo Monti.....	103

Figura 79 - Immagini video di Via Ferrucci - Via Ugo Foscolo	104
Figura 80 - Immagini video di Viale Virgilio - Via Muratori	105
Figura 81 - Immagini video di Viale Virgilio.....	105
Figura 82 - Immagini video di Viale Boccaccio.....	107
Figura 83 - Immagini video di Viale Boccaccio - Via Gabardi.....	108
Figura 84 - Numero livelli alti di stress per tipologia di strada.....	109
Figura 85 - Cause livelli alti di stress	110
Figura 86 - Zone pericolose registrate dalle prove col monopattino.....	111
Figura 87 - Numero livelli elevati di stress nelle zone incidentali	114
Figura 88 – Immagini video dell’intersezione semaforizzata di Via Magenta.....	119
Figura 89 - Immagini video di problemi legati alla pavimentazione	119
Figura 90 - Monopattino Wind a Verona	120
Figura 91 - Dispositivo trasporto telefono sul monopattino.....	121

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Legame tra velocità e altezza di caduta dal monopattino elettrico.....	28
Tabella 2 - Rapporti incidentali per diverse tipologie di veicoli	30
Tabella 3 - Incidenti monopattini elettrici a Busto Arsizio nel 2020	31
Tabella 4 - Incidenti monopattini elettrici a Busto Arsizio nel 2021	32
Tabella 5 - Incidenti monopattini elettrici a Busto Arsizio fino al 16 maggio 2022.....	32
Tabella 6 - Legenda di Tabella 3, Tabella 4 e Tabella 5	33
Tabella 7 - Legenda di Figura 10.....	34
Tabella 8 - Tipologia veicoli annessi alla classificazione di "micromobilità elettrica"	39
Tabella 9 - Legenda di Figura 20 e Figura 21	41
Tabella 10 - Confronto tra il numero di noleggi e il numero di chiamate di emergenza a Milano.....	42
Tabella 11 - Percentuale delle chiamate di emergenza per codice di gravità in Lombardia per anno.....	43
Tabella 12 - Fascia oraria dei codici rossi delle chiamate di emergenza	44
Tabella 14 - Confronto metodo 1 e 2 nel Test 1	69
Tabella 15 - Confronto Metodo 1 e Metodo 2 nelle prove di validazione	85
Tabella 16 - Caratteristiche utenti delle prove in monopattino	89
Tabella 17 - Caratteristiche temporali delle cinque prove col monopattino.....	92
Tabella 18 - Estratto dati ricavati durante la prova	93
Tabella 19 - Estratto calcolo media e deviazione standard del rapporto LF/HF a riposo	94
Tabella 20 - Riassunto picchi di stress registrate nelle prove col monopattino	98
Tabella 21 - Legenda Tabella 19	99
Tabella 22 - Identificazione zone pericolose per Monopattino 1	99
Tabella 23 - Riassunto prove col monopattino	109
Tabella 24 - Tabelle riassuntive delle zone pericolose e numero di incidenti di monopattini e biciclette	113
Tabella 25 - Riassunto numero di picchi registrati in ogni prova	116

Introduzione

Mentre continua ad aumentare, in ambito urbano, la congestione del traffico, i ricercatori hanno lavorato incessantemente per fornire alcune soluzioni al caso: una tattica emersa negli ultimi anni è l'introduzione della micromobilità, come ad esempio i monopattini elettrici, che rappresentano una delle tecnologie in rapida crescita, grazie alla loro natura eco-compatibile e praticità. Quello che li rende così desiderati nell'epoca moderna è perlopiù la loro comodità: il movimento a bordo del monopattino non necessita il cambio delle marce, ma è realizzato attraverso la pressione sul comando dell'acceleratore. Questo permette di rendere la guida intuitiva e semplice. Un ulteriore vantaggio è il divertimento associato, rendendo l'esperienza un momento di svago.

Tuttavia, uno dei problemi principali della micromobilità elettrica è la sicurezza. Secondo lo studio esposto in [1], emergono i principali ostacoli percepiti dagli utenti che guidano un monopattino elettrico. Con l'introduzione della micromobilità, si è registrato un aumento degli incidenti in quasi tutte le zone che ne usufruiscono.

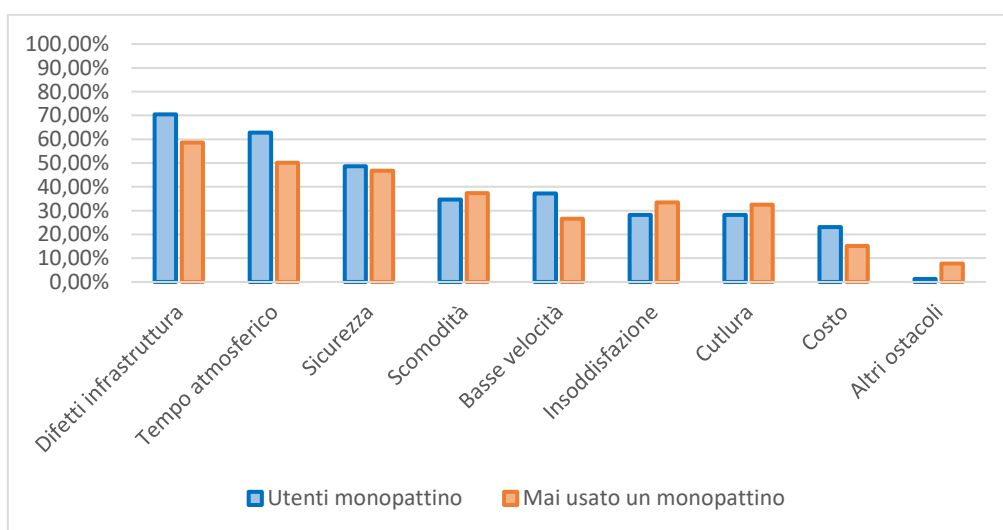


Figura 1 - Ostacoli dei monopattini riscontrati in Saudi Arabia

In generale, secondo [2], il motivo critico che porta fino al 94% degli incidenti è il conducente: lo stress, l'uso dei cellulari, la stanchezza e la guida aggressiva sono tra le ragioni alla base degli incidenti stradali. Per questo motivo, l'obiettivo di tale documento è monitorare il livello di stress e lo stato psicofisico di un conducente durante la guida sul monopattino.

Il termine stress è molto utilizzato, ma non è facile concordare sulla definizione, poiché è un fenomeno soggettivo e difficile da definire, anche a seconda della situazione. Il dizionario Merriam Webster lo definisce come un fattore fisico, chimico o emotivo che causa tensione corporea o mentale: sotto alcuni punti di vista, lo stress può essere positivo, poiché aumenta l'attenzione e concentrazione. Tuttavia, dopo aver superato un certo livello, esso non è più benefico, ma, al contrario, inizia a danneggiare la salute, lo stato emotivo e la produttività.

Nei diversi anni sono state effettuate molte ricerche atte all'identificazione di possibili metodi per poter misurare lo stress attraverso l'analisi di parametri vitali o fisiologici di un individuo, come la frequenza cardiaca, grazie all'utilizzo di apparecchiature biomedicali o dispositivi elettronici moderni.

Diversi studi hanno indagato il monitoraggio del livello di stress durante la guida di vari veicoli di trasporto, ma il tema della micromobilità elettrica non è stato ancora ampiamente analizzato. Lo scopo di questo elaborato di tesi è analizzare lo stress del conducente sul monopattino: si è definito un metodo che consenta di raccogliere i dati sulla frequenza cardiaca, adoperando uno smartwatch di uso comune e applicazioni smartphone associate per l'elaborazione dei dati. Quindi, si è proceduto con la validazione del metodo testando il dispositivo durante alcune prove di guida manuale o pedonali.

Grazie ai dati forniti dal comune di Busto Arsizio, è stato possibile identificare un'eventuale correlazione tra i livelli di stress e i punti di incidentalità nella città esaminata, cercando di capire ed osservare le cause che provocano elevati livelli di stress.

Di seguito viene illustrato la traccia dell'elaborato, sottolineando i passaggi fondamentali di ogni capitolo.

Capitolo 1 – Stato dell'arte: viene presentata in maniera del tutto generale la situazione riguardante il mondo dei monopattini e i vari metodi utilizzati per il monitoraggio dello stress in varie condizioni di guida.

Capitolo 2 – Metodo: si illustra il metodo adoperato, dalla registrazione della frequenza cardiaca all'individuazione di un parametro che caratterizza il livello di stress, già utilizzato da vari studi come rappresentativo dello stato psicofisico del conducente. Viene presentato il dispositivo utilizzato durante la prova per la validazione del metodo e la sperimentazione ufficiale.

Capitolo 3 – Sperimentazione: si descrive la prova svolta a Busto Arsizio per monitorare il livello di stress. Dopo l'elaborazione dei dati, si è passati alla rappresentazione grafica su QGIS, in modo tale da capire gli effetti dell'ambiente sul conducente e le ragioni di eventuali indici di stress elevati. Infine, è stata effettuata una comparazione tra i punti con alto stress e i dati incidentali, alla ricerca di una correlazione spaziale per poter definire un'azione preventiva.

CAPITOLO 1 – Stato dell’arte

Questo capitolo ha lo scopo di proporre una visione generale del mondo dei monopattini elettrici, il cui uso è in continuo sviluppo all’interno delle nostre strade. Successivamente, si illustrano vari metodi di cui si può usufruire per osservare l’andamento dello stato psicofisico di un utente, attraverso l’analisi di alcuni parametri fisiologici.

L’obiettivo dell’elaborato è quello di stimare il livello di stress durante una guida su monopattino e di fornire un meccanismo di ragionamento sugli eventi di guida legati allo stress. Questo ci permetterà di rivelare le associazioni sottostanti tra gli eventi incidentali passati e l’aumento del livello di stress individuale.

1.1 Monopattini elettrici

L'idea del monopattino motorizzato nasce nel 1915 negli Stati Uniti d'America grazie alla Autoped Company [3], ma è nel 2017 che tali dispositivi hanno iniziato a diventare protagonisti della strada: a Santa Monica più di 2000 scooter elettrici da condividere sono stati rilasciati per le strade statunitensi [4]. Quella notte sancì l'inizio dell'era della mobilità "in sharing" dei monopattini elettrici: il loro successo è dovuto alla facilità di utilizzo, alla loro economicità e al divertimento trasmesso agli utenti.

Tuttavia, l'introduzione di questi nuovi mezzi ha riportato un aumento di incidenti, evidenziando le criticità legate alla sicurezza di tali veicoli. In generale, essendo un fenomeno abbastanza moderno, raccogliere i dati incidentali non è stato alquanto semplice; per questo motivo, si farà riferimento a diverse testimonianze. A Salt Lake City, negli Stati Uniti, si è registrato un aumento del 65% del numero di incidenti: nella ricerca vengono illustrate le principali tipologie di lesioni subite, che, soprattutto, riguardano la parte alta del corpo [5].

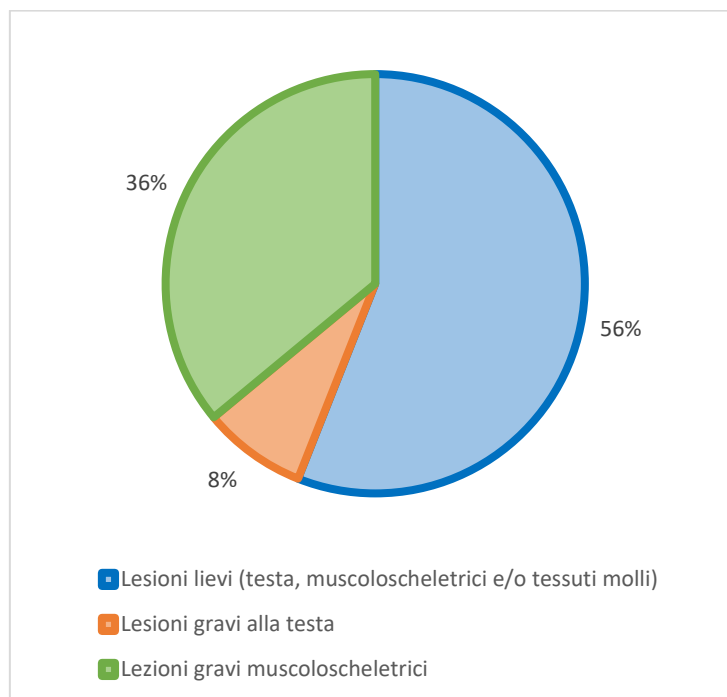


Figura 2 - Tipi di lesioni durante il periodo studio 2018 a Salt Lake City

Nell'articolo [6] viene esposta un'analisi effettuata nel sud della California per ricercare le principali cause di un incidente: sono emerse la caduta dal veicolo (80%), la collisione con un oggetto (11%) e l'urto con un veicolo in movimento (9%). Un'altra indagine svolta riguarda le caratteristiche degli utenti coinvolti negli incidenti: in [7] si nota come la

categoria di utenti maggiormente coinvolta sia costituita dal genere maschile di età compresa tra i 18 e i 40 anni.

Uno dei problemi principali riguarda la sicurezza dei monopattini: la possibile perdita di equilibrio, ulteriormente aggravata dalle ruote di dimensioni ridotte e da sospensioni adeguate assenti, è uno scenario da non sottovalutare. Per garantire un panorama più sicuro, sarebbe opportuno separare il flusso dei monopattini da quello veicolare e pedonale: per tale motivo è interessante indagare il livello di stress percepito dal conducente del monopattino, in quanto la guida è inserita in un ambiente eterogeneo. Questo elaborato di tesi ha proprio il seguente obiettivo. Nel seguito verranno analizzati i tre fattori principali che contribuiscono alla sicurezza e, di conseguenza, allo stress dell'utente, ovvero il veicolo, il conducente e l'infrastruttura.

1.1.1 Veicolo

Le ruote dei monopattini risultano essere una delle caratteristiche più pericolose: queste hanno generalmente un diametro tra gli 8 e 10 pollici, con pneumatico già sgonfiato. Rispetto alle biciclette, uno pneumatico più piccolo accresce la possibilità di instabilità a causa di diversi motivi. Il principale riguarda l'avancorsa, cioè la distanza orizzontale tra la proiezione sul piano dell'asse della ruota anteriore e il punto di incontro tra l'asse sterzo e il suolo: maggiore l'avancorsa, maggiore la stabilità. Questa distanza viene considerata positiva quando la proiezione dell'asse della ruota anteriore sul suolo è situata più indietro rispetto al punto di incontro tra asse di sterzo e suolo.



Figura 3 - Giallo: avancorsa; Rosso: asse sterzo; Blu: proiezione asse ruota

I manubri dei monopattini elettrici sono generalmente troppo stretti: la lunghezza massima più comune è di 450 mm, valore che aumenta leggermente nel caso dei modelli più economici. A loro discapito, un manubrio più largo permette di eseguire una traiettoria più precisa e, quindi, di poter intervenire facilmente per raddrizzare la ruota anteriore quando questa sterza. L'obiettivo del manubrio è quello di contrastare o assecondare il momento non nullo che si viene a creare a causa delle forze che derivano dalle irregolarità della strada (buche e crepe): ciò è permesso grazie all'applicazione di adeguate forze con le proprie mani sul manubrio stesso. Ovviamente, un manubrio più stretto, come nel caso del monopattino, richiederà l'azione di forze maggiori per contrastare le coppie applicate.

1.1.2 Conducente

Oltre alle cause più comuni, il comportamento irrispettoso del conducente rappresenta un possibile scenario di incidentalità. Ora, legalmente, la velocità massima concessa durante la guida di un monopattino è di 25 km/h sul suolo pubblico: secondo uno studio effettuato in Texas [8], il 37% dei conducenti di monopattini intervistati ha attribuito l'eccesso di velocità come causa del proprio incidente. Ciò può essere spiegato, ad esempio, attraverso la smisurata confidenza nelle capacità di reazione o abilità di guida e nell'inesperienza degli utenti. Infatti, non è necessaria alcuna licenza o periodo di prova per la loro guida, il che rende l'utente principiante ed impreparato: come si evince in [8], il 63% dei pazienti aveva effettuato meno di 10 corse prima di esser stati protagonisti di un incidente.

Secondo quanto emerso in [9], la società ACI (Automobile Club d'Italia) ha condotto un questionario sull'utilizzo del monopattino, ottenendo circa 20500 risposte. Solo il 21.7% delle persone intervistate conosce le norme relative all'uso di tale mezzo di trasporto, ed è coerente col fatto che solo il 23.6% usa il casco durante la propria corsa. È evidente come il monopattino venga considerato un elettrodomestico, ignorandone le varie insidie.

In generale, dallo studio condotto in [10], gli utenti alla guida di un monopattino hanno la tendenza di ridurre al minimo il percorso e il tempo da impiegare per raggiungere la propria destinazione, infrangendo le regole e creando confusione per la circolazione.

La ricerca [11] ha evidenziato come le intersezioni stradali rappresentino un momento particolare per la guida degli utenti, in cui si vengono a manifestare numerosi potenziali punti di conflitto: fermata oltre la linea d'arresto, circolazione lungo le corsie veicolari e in contromano sono alcuni dei comportamenti pericolosi ricorrenti tra gli utenti di

monopattini e biciclette. Ovviamente, all'aumentare del traffico, aumenta la possibilità di effettuare comportamenti scorretti.

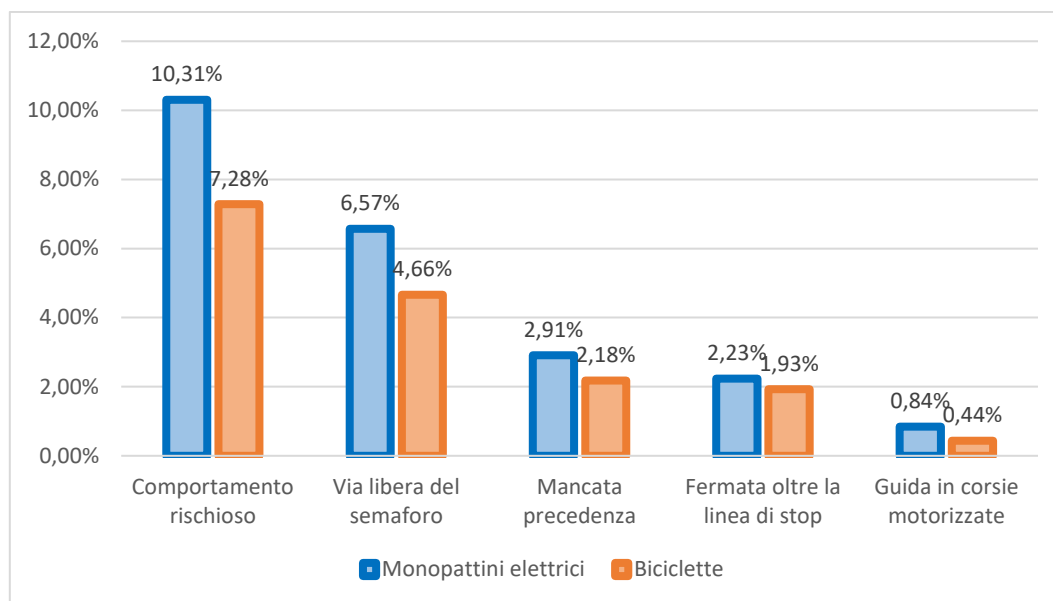


Figura 4 - Distribuzione del rischio durante l'attraversamento di un'intersezione

Non vi è alcuna clausola per quanto riguarda la posizione di guida da mantenere durante la corsa sul monopattino elettrico: una postura corretta incrementa la stabilità e la sicurezza della guida. Ponendo un piede anteriormente rispetto all'altro si fornisce una postazione molto più stabile per il conducente che ha la possibilità di spostare il peso in avanti o indietro, a seconda delle esigenze.

D'altro canto, per chi guida il monopattino esiste l'obbligo di segnalare, attraverso la mano, l'indicazione della svolta da compiere; questa operazione comporta un ulteriore rischio, in quanto l'utente deve obbligatoriamente staccare la mano dal manubrio. Di ciò se ne sono occupati gli autori di [12] in Germania: sebbene tale azione sia efficace da un punto di vista comunicativo e predittivo delle traiettorie veicolari, si nota come venga a mancare la salvaguardia della circolazione.

Nell'articolo è stata condotta un'indagine per poter valutare il pericolo derivante dalla manovra di svolta con e senza l'indicazione manuale, dimostrando come nel secondo caso la sicurezza percepita sia maggiore. Questo è spiegato dal fatto che, allontanando le mani dal manubrio, si rilascia il comando dell'acceleratore, quindi la velocità diminuisce e le forze di attrito tendono a frenare il monopattino, pregiudicando la stabilità del veicolo. Come si denota dal grafico successivo, grazie alla pratica e all'aumento dell'esperienza, il rischio durante la manovra di svolta diminuisce.

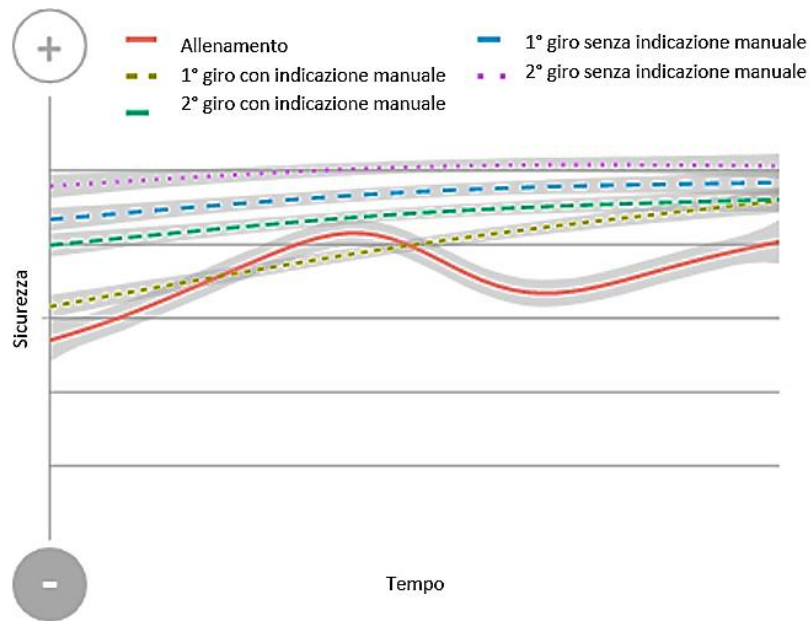


Figura 5 - Influenza del segnalamento manuale nella sicurezza

1.1.3 Infrastruttura

L'ultimo aspetto fondamentale da analizzare è il rapporto tra il veicolo e l'infrastruttura: l'uso dei monopattini è limitato a diverse grandi città caratterizzate, generalmente, da un centro storico medioevale e strade strette. Per tale motivo, molte città non sono adatte ad ospitare questi nuovi veicoli a causa di spazi già limitati.

Per prima cosa si nota come la mancanza di piste ciclabili, o specifici spazi per questo tipo di veicolo, obbliga i conducenti di monopattini ad invadere le corsie veicolari: questa situazione può creare pericolo, in quanto si avrà una circolazione eterogenea di veicoli che hanno necessità e velocità differenti. Infatti, dall'indagine ACI [9], emerge come l'utente sia insicuro su strade in assenza di piste ciclabili; mentre, le corsie protette e le aree verdi rappresentano luoghi di grande sicurezza.

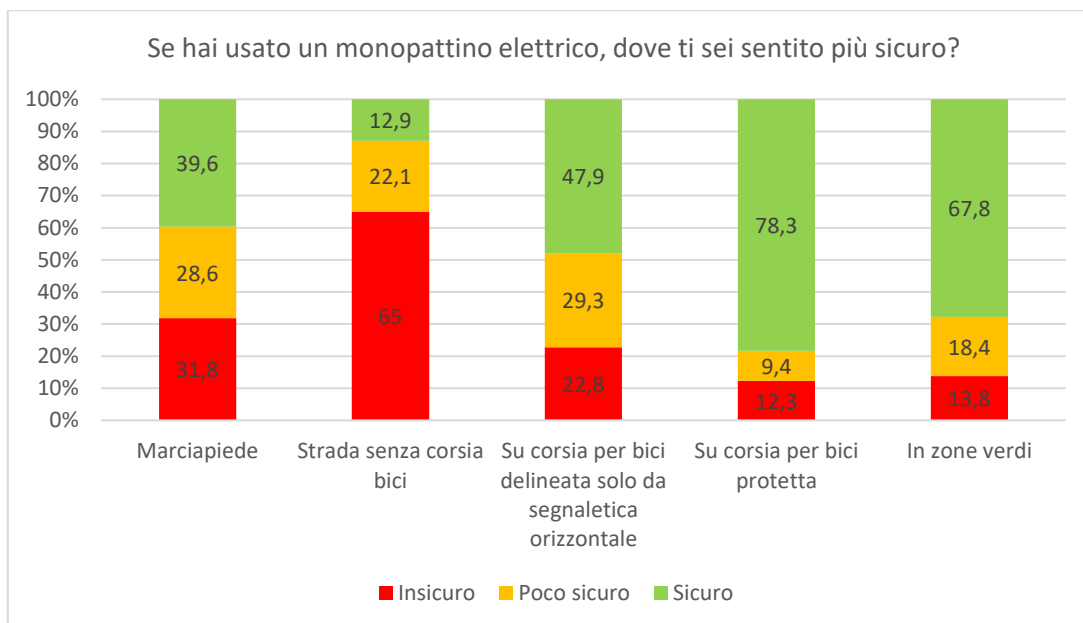


Figura 6 - Livello di sicurezza personale in diversi ambienti stradali

Uno dei problemi principale è l'assetto della pavimentazione: la densa presenza di buche e crepe può risultare pericolosa per i monopattini elettrici a causa, come accennato in precedenza, della mancanza di ammortizzatori e diametri piccoli delle ruote. Infatti, questi dispositivi necessiterebbero di pavimentazioni omogenee e regolari: l'esistenza di tombini, marciapiedi e binari del tram possono intralciare il movimento del monopattino, ma, a differenza di buche e crepe, non possono essere risolti attraverso la loro semplice eliminazione. In [4] si evince come il 50% degli intervistati ha individuato nelle buche e crepe la causa della loro caduta dal monopattino. Inoltre, uno studio condotto a Washington [13] dimostra che le percentuali di pazienti interrogati caduti dal monopattino a causa di un marciapiede e superfici pericolose sono rispettivamente il 24% e 16,5%.

1.2 Normativa

In Italia la via della legalizzazione dei monopattini elettrici è in continuo cambiamento. Attualmente, soltanto gli utenti con almeno 14 anni hanno la possibilità di guidare tale veicolo: se minorenni, esiste l'obbligo del casco, altrimenti è ancora facoltativo. Non è richiesto alcun permesso di guida, la velocità massima è di 25 km/h e la circolazione è vietata sui marciapiedi. Inoltre, i monopattini non possono essere equipaggiati con posti a sedere e in Italia non è prevista alcun tipo di assicurazione.

La legge di conversione del decreto Infrastrutture e Trasporti 2021 ha ritoccato alcune regole per l'uso dei monopattini elettrici [14]:

- I monopattini elettrici sono considerati velocipedi e pertanto soggetti alla medesima regolamentazione (art. 50 del Codice della Strada);
- Sono ammessi solo monopattini con motore elettrico di potenza non superiore a 0.50 kW;
- Da mezzora dopo il tramonto, durante tutto il periodo dell'oscurità, e anche di giorno qualora le condizioni di visibilità lo richiedano, i monopattini elettrici possono circolare su strada pubblica solo se provvisti anteriormente di luce bianca o gialla fissa e posteriormente di luce rossa fissa, entrambe accese e ben funzionanti. I monopattini elettrici sono altresì dotati posteriormente di catadiottri rossi. Nello stesso ambito temporale l'utilizzatore del monopattino deve circolare indossando il giubbotto o le bretelle retroriflettenti ad alta visibilità;
- È vietata la circolazione dei monopattini elettrici sui marciapiedi, su cui possono essere condotti esclusivamente a mano. È altresì vietato circolare contromano, salvo nelle strade con doppio senso ciclabile;
- I monopattini elettrici non possono superare il limite di velocità di 6 km/h, quando circolano nelle aree pedonali, e di 20 km/h in tutti gli altri casi di circolazione;
- È vietato parcheggiare il monopattino sul marciapiede, salvo nelle aree individuate dai Comuni. È comunque consentita la sosta negli stalli riservati a velocipedi, ciclomotori e motoveicoli;
- Gli operatori di noleggio di monopattini elettrici, al fine di scongiurare la pratica diffusa del parcheggio irregolare dei loro mezzi, devono prevedere l'obbligo di acquisizione della foto al termine di ogni noleggio, dalla quale si desuma chiaramente la posizione dello stesso nella pubblica via.

Il decreto Milleproroghe 2022 ha stabilito che fuori città i monopattini possono viaggiare unicamente nelle piste ciclabili; è stato rinviato al 30 settembre 2022 il termine entro cui i monopattini dovranno essere dotati delle frecce e di entrambi i sistemi di frenata (anteriore e posteriore): per i monopattini già in circolazione è invece confermato l'obbligo di adeguarsi entro il primo gennaio 2024.

Sono molte le critiche e perplessità create attorno alla normativa vigente in Italia, come analizzato in [15]. Secondo tale studio, non è sufficiente ridurre la velocità dei monopattini da 25 a 20 km/h: la tabella sottostante rappresenta il legame tra la velocità del veicolo e l'impatto del crollo del conducente dal monopattino, che viene paragonato a quello di una caduta dall'alto. Come si nota, diminuendo la velocità, si passerebbe ad una altezza di caduta pari a 1.57 m, che, data la dinamica dell'urto e l'assenza di casco, viene ritenuta comunque pericolosa. Inoltre, per tali impatti e velocità, il casco è necessario, ma potrebbe essere non sufficiente.

Velocità [km/h]	Altezza equivalente "caduta dall'alto" [m]
6	0.14
10	0.39
20	1.57
25	2.46
30	3.54
50	9.83

Tabella 1 - Legame tra velocità e altezza di caduta dal monopattino elettrico

Nel decreto Infrastrutture 2021 (Codice della Strada) si parla dell'introduzione di corsi di formazione ai possibili utenti di monopattino: secondo quanto esposto in [15], non basterebbero qualche ora di istruzione per trasformare un non patentato, nel caso dei minorenni, in un buon utente della strada ed un buon conducente di monopattino. Un requisito importante, ancora non presente sui monopattini, è la targa di riconoscimento: ciò permetterebbe di applicare sanzioni a chi non rispetta le regole.

In conclusione, la legge normativa dietro il mondo dei monopattini è in completo sviluppo nel tempo, alla ricerca di un equilibrio tra la funzionalità e l'efficacia del veicolo e la sicurezza del conducente. Bisogna sottolineare che, per qualsiasi tipologia di veicolo, sarà impossibile trovare una completa sicurezza, in quanto esistono vari fattori che incrementano il rischio, anche in situazioni improvvise.

1.3 Incidentalità

Da maggio 2020, l'ISTAT ha incluso i monopattini elettrici nella rilevazione dei sinistri stradali come categoria di veicolo specifica: da quel momento, in un anno, sono stati registrati 564 incidenti con almeno un monopattino. La maggior parte degli incidenti consiste in uno scontro con altri veicoli (315), soprattutto ad incroci o intersezioni; da non sottovalutare anche gli urti contro veicoli fermi o ostacoli (65), le fuoriuscite di strada (82), le cadute da veicolo (37) e gli investimenti di pedone (32).

Una questione importante riguarda anche il parcheggio del monopattino: 14 incidenti sono avvenuti a causa della posizione irregolare del veicolo, che rappresenta un motivo di ostacolo ed urto per gli altri utenti in marcia.

In Italia, purtroppo, vengono registrate anche alcune vittime: 1 nel 2020, 12 le vittime nel 2021 e già 4 fino a maggio 2022. In totale sono stati individuati 518 feriti su monopattino, con la seguente suddivisione:

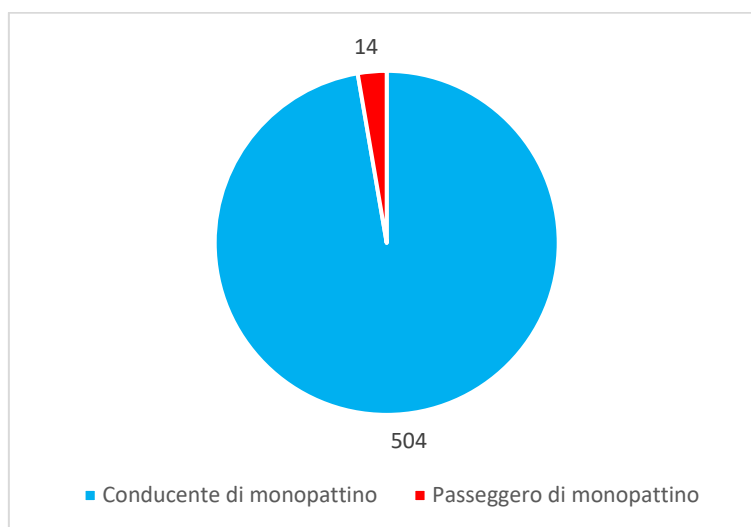


Figura 7 - Tipologia di ferito durante un incidente con il monopattino

La tabella seguente mostra i tassi di incidentalità e di ferimento dei vari veicoli nei primi mesi del 2021 a Milano: il rapporto tra il rischio incidenti di biciclette e monopattini è pari a 1:6.

VEICOLO IN INCIDENTE	NUMERO INDICENTI PER VEICOLO	NUMERO FERITI PER VEICOLO
Automobile	1/116	1/157
Bicicletta	1/125	1/135
Moto	1/92	1/105
Monopattino	1/22	1/24

Tabella 2 - Rapporti incidentali per diverse tipologie di veicoli

Per quanto riguarda le tipologie dei traumi rilevati negli ospedali, i dati statistici sono ancora limitati e variabili in funzione del tipo di ospedale in cui le vittime sono state ricoverate, ma è stato possibile individuare alcune informazioni. Il Centro Traumatologico Ortopedico di Milano ha registrato che il 46% dei casi è stato soggetto a fratture degli arti superiori; mentre il 29% subisce fratture degli arti inferiori. Invece, l'ospedale Niguarda di Neurochirurgia di Milano, ha individuato alcune tipologie di traumi: è bene sottolineare che i traumi cranici registrati (38% dei casi) derivano dall'assenza del casco sulla nuca del conducente.

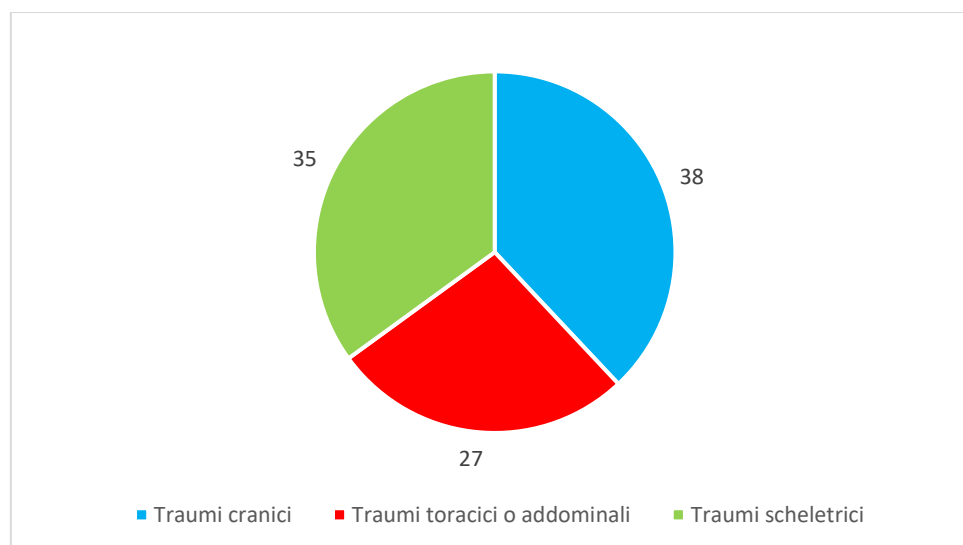


Figura 8 - Tipologia di trauma registrato all'Ospedale Niguarda di Milano

1.3.1 Caso studio: Busto Arsizio

Il comune di Busto Arsizio ha messo a disposizione i dati incidentali relativi ai monopattini elettrici degli ultimi tre anni (2020, 2021 e 2022). Dal momento che ogni informazione è dotata di latitudine e longitudine, è stato possibile individuare la posizione

spaziale su QGIS. I pallini rossi indicano gli incidenti avvenuti nel 2020; mentre, quelli blu rappresentano i sinistri del 2021 e i verdi del 2022.

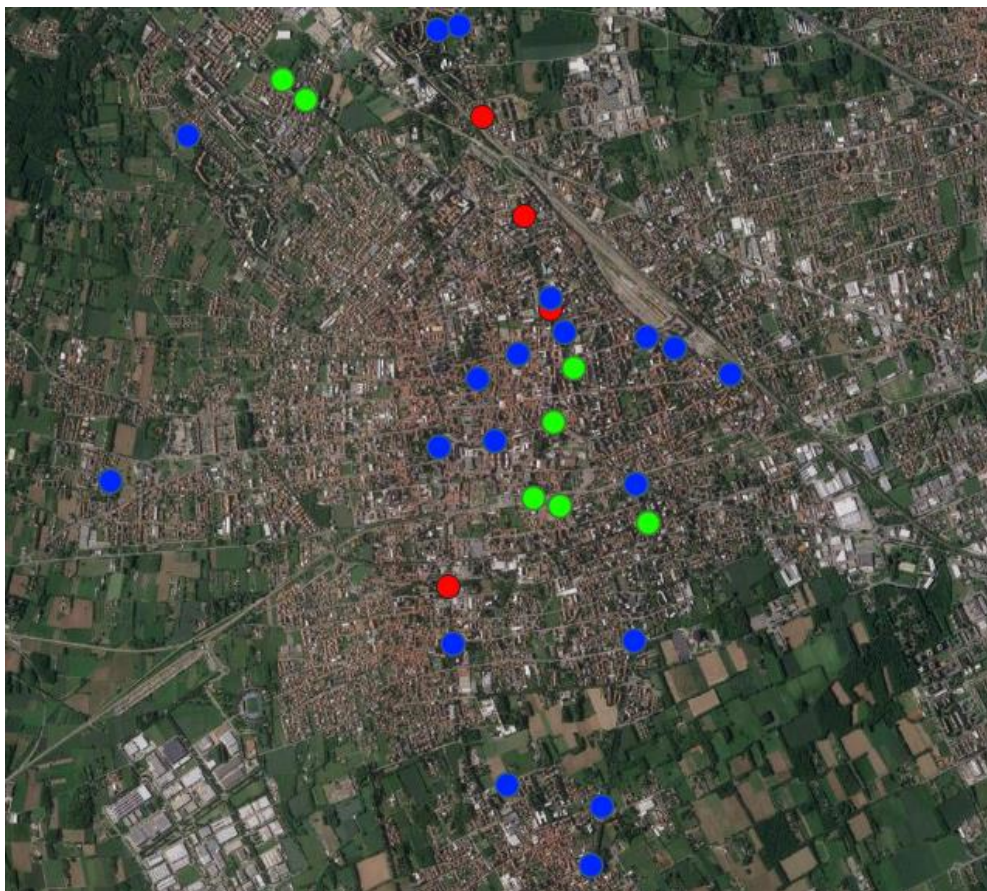


Figura 9 - Rappresentazione su QGIS degli incidenti con monopattini elettrici a Busto Arsizio per anno

Di seguito, viene proposta una tabella in cui si illustrano le caratteristiche di ogni incidente, suddivisi per anni:

2020					
DATA	ORA	METEO	TIPOLOGIA	N. FERITI	VIOLAZIONE
07/07/2020	15:55	Soleggiato		1	Art. 154/1 Cds
07/08/2020	14:55	Soleggiato		1	Art. 154/1 Cds
10/09/2020	12:50	Soleggiato		1	Art. 141/2 Cds
05/12/2020	20:00	Nuvoloso		1	Art. 154/1 Cds

Tabella 3 - Incidenti monopattini elettrici a Busto Arsizio nel 2020

2021					
DATA	ORA	METEO	TIPOLOGIA	N. FERITI	VIOLAZIONE
12/01/2021	08:00	Nuvoloso		1	Art. 157/7 – 189/4 Cds
07/02/2021	18:55	Pioggia		1	Art. 80/14 – 145/4 – 1/75 Cds
17/02/2021	15:05	Pioggia		1	/
23/02/2021	09:00	Nuvoloso		1	Art. 145/2 – 1/75 Cds
17/03/2021	18:10	Soleggiato		1	/
19/05/2021	14:20	Soleggiato		1	/
20/05/2021	07:45	Soleggiato		1	Art. 1/75 Cds
07/06/2021	09:10	Soleggiato		1	Art. 143/1 – 154/3 Cds
18/06/2021	11:30	Soleggiato		1	Art. 149/1 – 1/75 Cds
30/06/2021	17:20	Soleggiato		1	/
23/07/2021	14:15	Soleggiato		/	Art. 141/2 Cds
26/07/2021	22:00	Soleggiato		1	
29/07/2021	16:07	Soleggiato		/	Art. 141/1 – 189/5 Cds
02/08/2021	12:20	Soleggiato		1	Art. 154/1 Cds
24/08/2021	17:50	Soleggiato		1	Art. 7/14 Cds
02/09/2021	18:30	Soleggiato		1	Art. 145/5 – 1/75 Cds
03/09/2021	15:45	Soleggiato		1	Art. 7/1 – 145/5 – 1/75 Cds
28/09/2021	18:45	Soleggiato		1	/
23/10/2021	22:45	Nuvoloso		1	Art. 186/7 – 187/8 Cds
11/12/2021	11:55	Pioggia		1	Art. 154/1 Cds
22/12/2021	07:47	Soleggiato		1	Art. 157/7 Cds
23/12/2021	11:20	Nuvoloso		1	Art. 141/2 Cds

Tabella 4 - Incidenti monopattini elettrici a Busto Arsizio nel 2021

2022					
DATA	ORA	METEO	TIPOLOGIA	N. FERITI	VIOLAZIONE
02/02/2022	18:50	Soleggiato		1	Art. 145/4 – 1/75 Cds
15/02/2022	18:55	Pioggia		/	Art. 154/1 – 1/75 Cds
21/02/2022	08:00	Nuvoloso		1	/
05/04/2022	08:55	Nuvoloso		1	/
19/04/2022	08:20	Nuvoloso		1	Art. 145/5 Cds
20/04/2022	17:20	Nuvoloso		1	Art. 145/4 Cds
29/04/2022	17:50	Soleggiato		/	/

Tabella 5 - Incidenti monopattini elettrici a Busto Arsizio fino al 16 maggio 2022

LEGENDA	
	Scontro frontale/laterale DX fra veicoli in marcia
	Infortunio per caduta da veicolo
	Scontro laterale fra veicoli in marcia
	Scontro frontale/laterale SX fra veicoli in marcia
	Infortunio per sola frenata improvvisa
	Tamponamento
	Veicolo in marcia contro veicolo in sosta

Tabella 6 - Legenda di Tabella 3, Tabella 4 e Tabella 5

Come si può notare, il numero degli incidenti con i monopattini è basso, in quanto tale mezzo di trasporto, sharing e privato, è un fenomeno in espansione nel tempo. Per effettuare l'analisi, che verrà esposta nel Capitolo 2, e avvalorare la tesi, sono stati aggiunti anche gli incidenti che coinvolgono almeno una bicicletta. Nell'immagine sottostante viene riportata la mappa dei sinistri in cui sono coinvolti biciclette e monopattini, differiti per anno. Ovviamente, molti punti neri sono sovrapposti tra loro perché situati nella stessa zona. I dati appartenenti all'anno 2022 sono stati registrati fino al 16/05/2022.

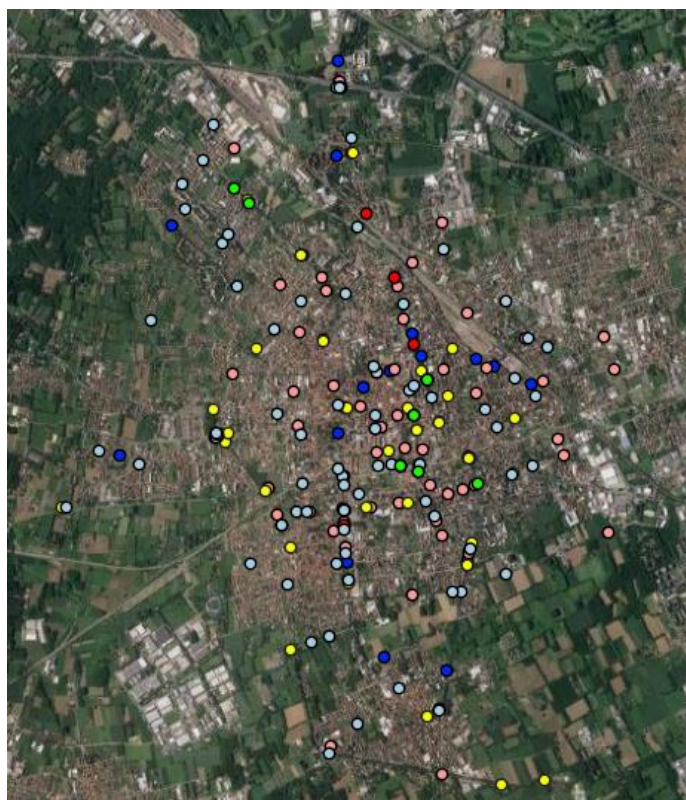


Figura 10 - Rappresentazione su QGIS degli incidenti di monopattini elettrici e biciclette a Busto Arsizio

LEGENDA	
	Incidenti Monopattino 2020
	Incidenti Monopattino 2021
	Incidenti Monopattino 2022
	Incidenti Biciclette 2020
	Incidenti Biciclette 2021
	Incidenti Biciclette 2022

Tabella 7 - Legenda di Figura 10

Di seguito viene eseguita un'analisi disaggregata dell'incidentalità a Busto Arsizio, in base ai dati ricevuti, rispetto a vari scenari incontrati.

Per quanto riguarda i monopattini, nella totalità dei 33 incidenti registrati, si riscontra una netta predominanza dei casi con un ferito: si è studiata la distribuzione del 88% del totale di incidenti con feriti, distinguendo se l'utente ferito fosse il conducente del monopattino o meno. Nel caso in cui ci sia un incidente con un ferito, è l'utente del monopattino a pagare le conseguenze di un impatto, a causa dell'elevata esposizione al rischio durante una caduta.

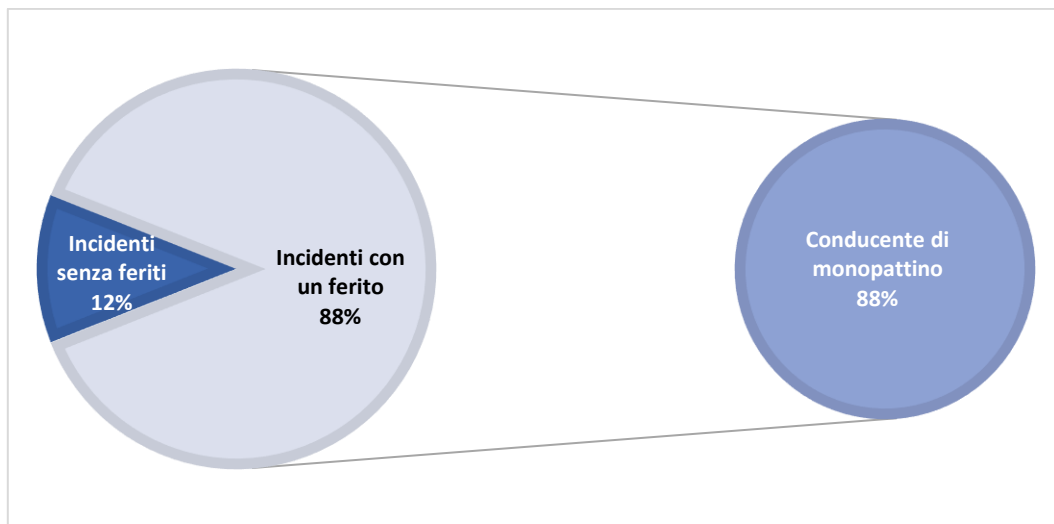


Figura 11 - Incidenti per numero di feriti a Busto Arsizio

Studiando l'andamento temporale degli incidenti, suddividendoli per anno, è stato possibile individuare l'anno più critico. L'emissione dei monopattini sharing è avvenuta nel 2020, per questo motivo non si è riscontrato un gran numero di incidenti, a differenza del 2021. Il mese col maggior numero di incidenti di monopattini e biciclette è giugno;

mentre la fascia oraria risultata più pericolosa è quella delle 18. Nel caso dei monopattini, i giorni infrasettimanali, come martedì e giovedì, sono risultati i più soggetti a incidenti, probabilmente a causa degli spostamenti per lavoro o scuola. A livello meteorologico, la maggior parte degli incidenti sono avvenuti durante una giornata di sole; contrariamente a ciò che ci si aspettava, sono soltanto 52 i sinistri registrati sotto la pioggia.

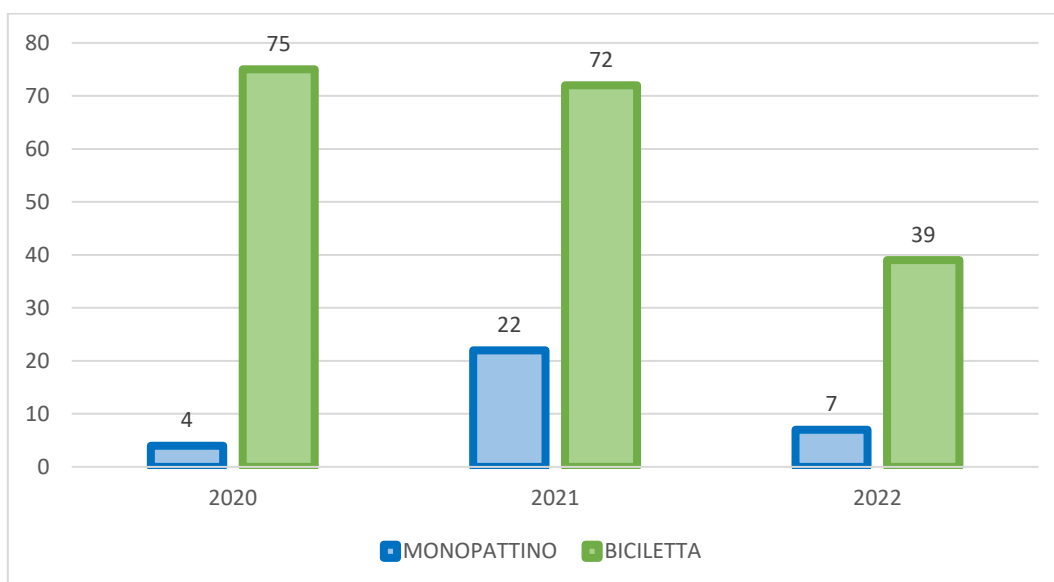


Figura 12 - Incidenti per anno di monopattini e biciclette a Busto Arsizio

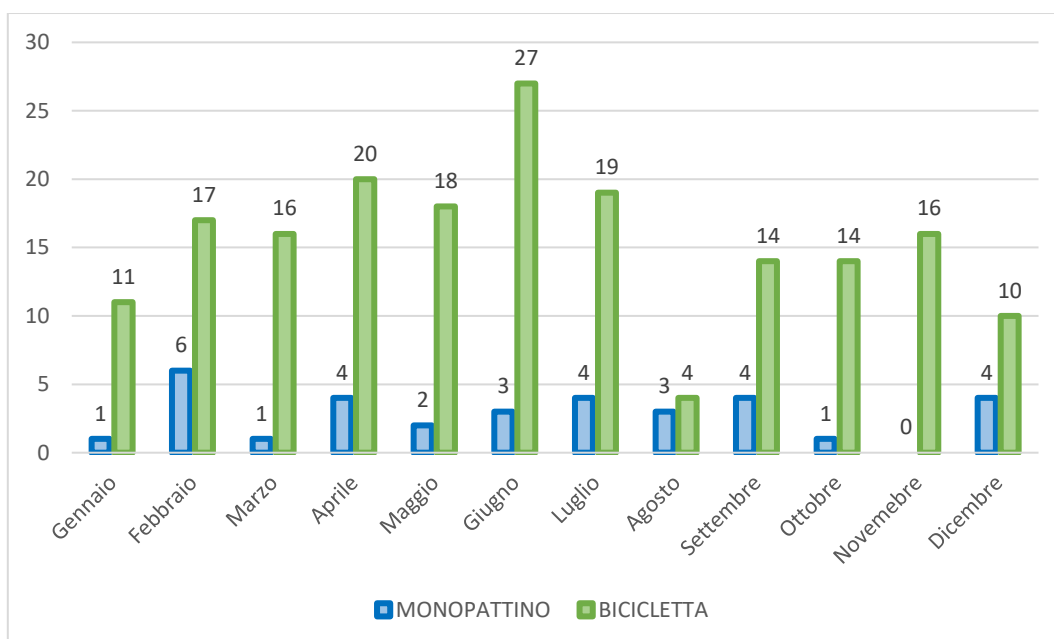


Figura 13 - Incidenti per mese di monopattini e biciclette a Busto Arsizio

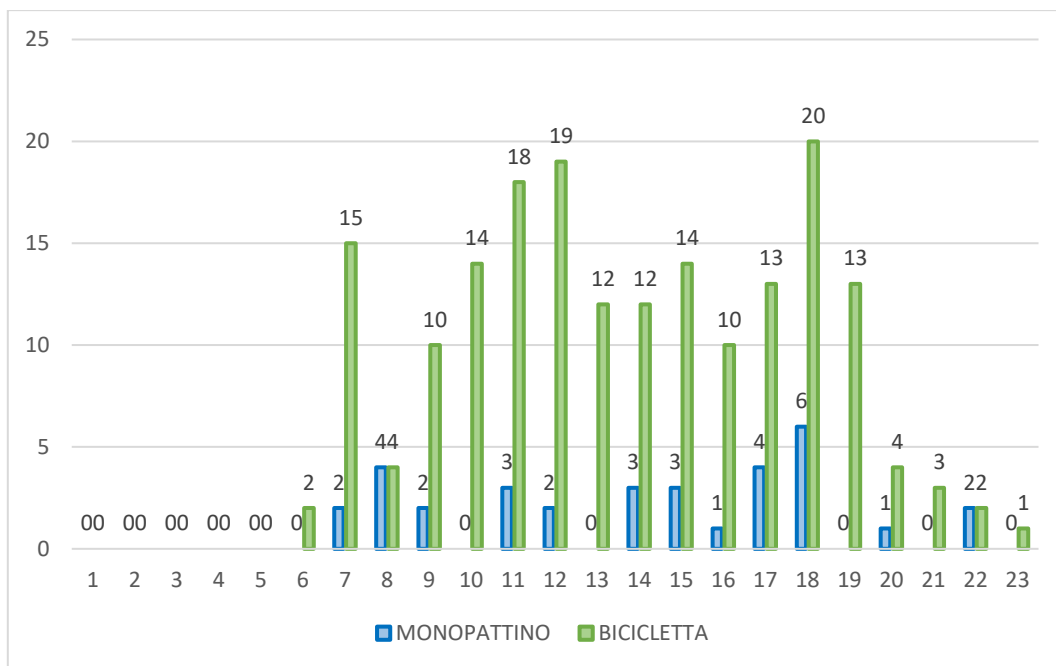


Figura 14 - Incidenti per fascia oraria di monopattini e biciclette a Busto Arsizio

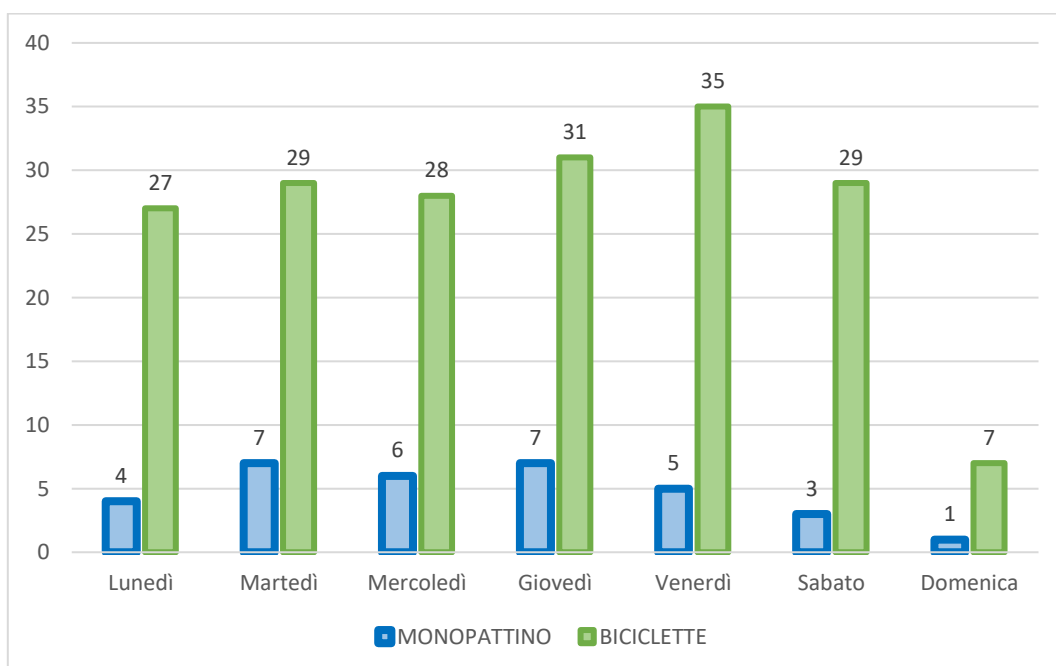


Figura 15 - Incidenti per giorno di monopattini e biciclette a Busto Arsizio

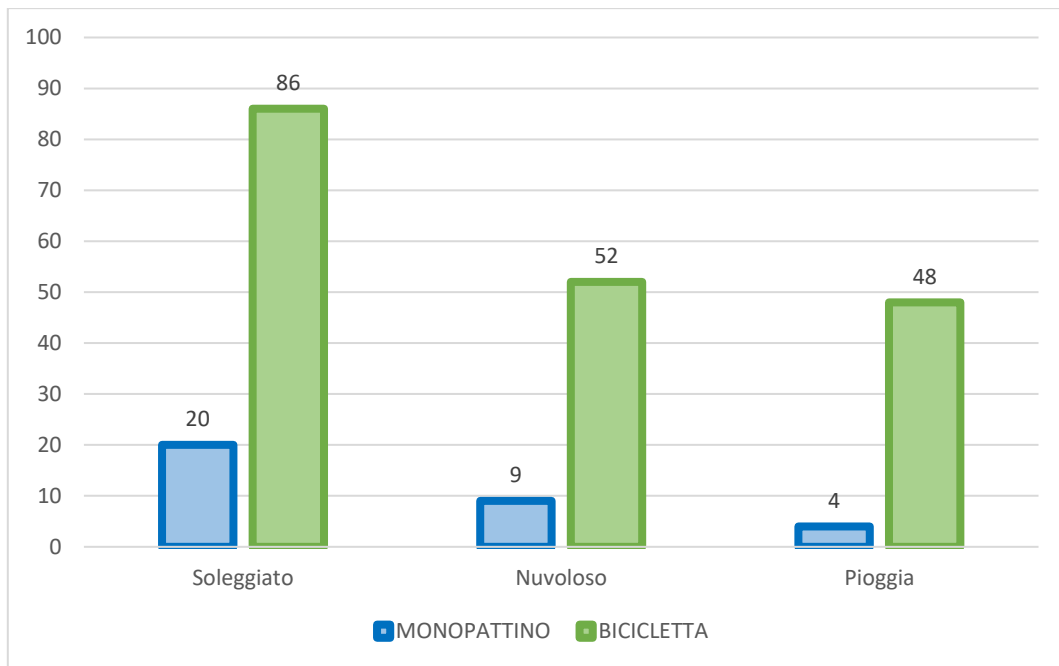


Figura 16 - Incidenti per tempo atmosferico di monopattino e biciclette a Busto Arsizio

La tipologia di incidente più frequente è lo scontro frontale/laterale destro. Un dato importante da osservare è che sono stati registrati 6 infortuni per caduta del conducente dal monopattino: questo indice sottolinea l'inesperienza degli utenti durante la guida e un probabile mancato equilibrio sulla pedana.

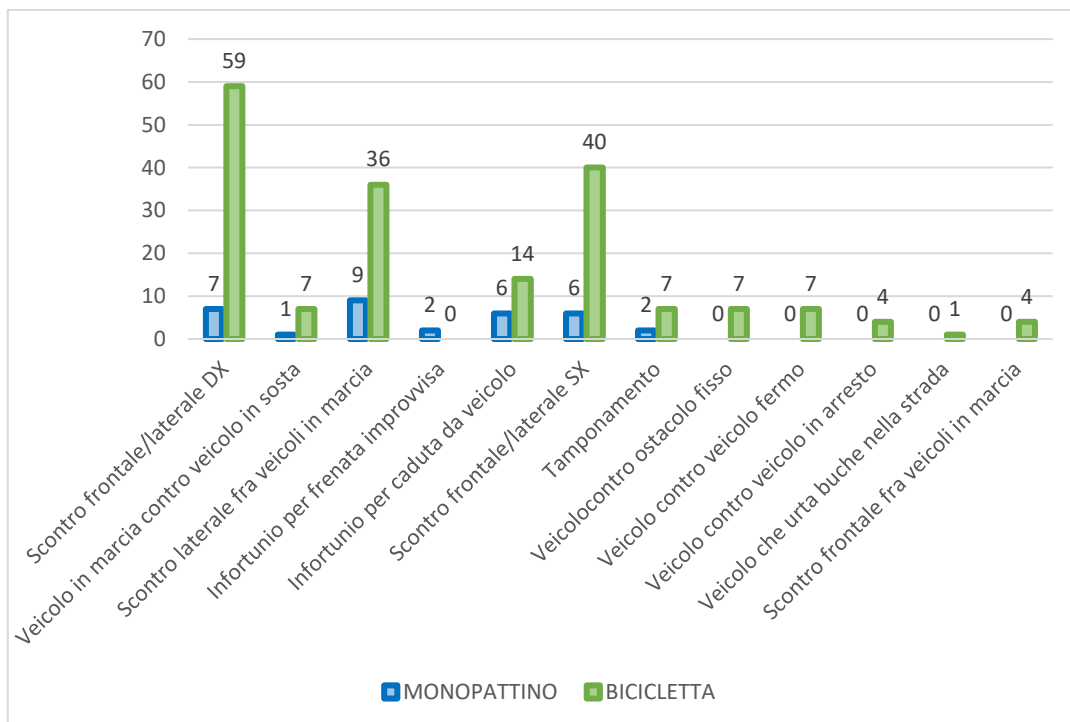


Figura 17 - Incidenti per tipologia di monopattini e biciclette a Busto Arsizio

Infine, è stata effettuata un'analisi spaziale dei sinistri avvenuti: l'intersezione tra due strade non semaforizzate è il principale scenario di incidente stradale tra i monopattini. I punti di possibile incontro/scontro tra veicoli provenienti da diverse direzioni creano ipotetiche zone incidentali, soprattutto nel caso di monopattini, che sono totalmente scoperti durante l'ipotetico urto.

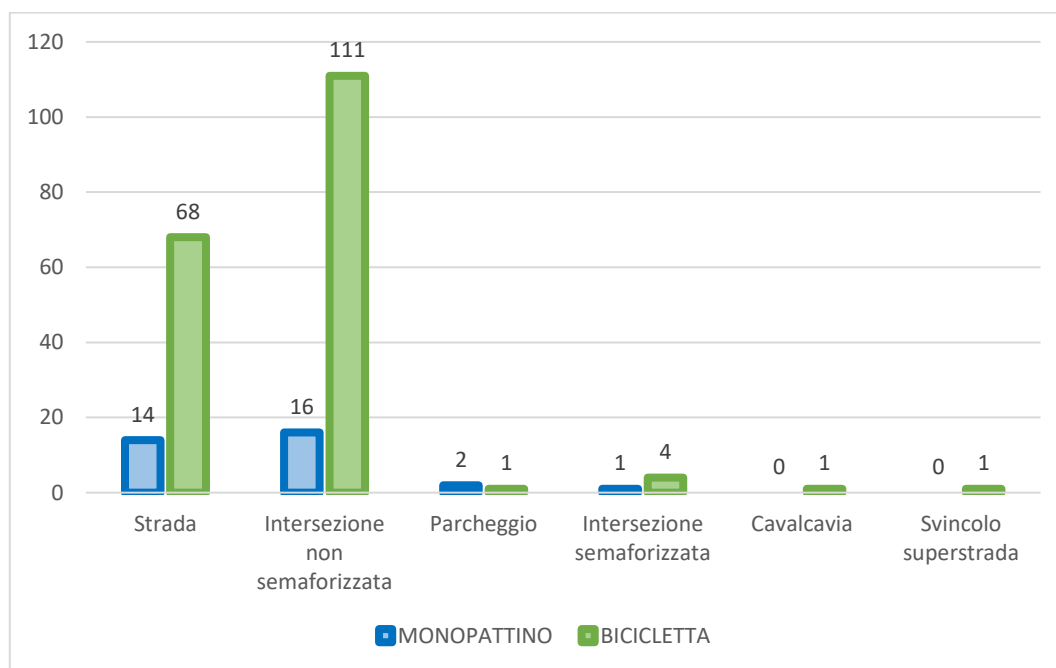


Figura 18 - Incidenti per tipologia di strada di monopattini e biciclette a Busto Arsizio

1.3.2 Dati AREU

In aggiunta ai dati incidentali, si vuole fare riferimento ad un'ulteriore fonte, ovvero l'Agenzia Regionale Emergenza Urgenza (AREU). È stato possibile ricavare i dati relativi alle chiamate di utenti della micromobilità elettrica, a cui sono intervenuti i mezzi di soccorso, a seguito di un incidente stradale. Temporalmente, i dati a disposizione vanno da giugno 2020 a giugno 2022: la classificazione "micromobilità elettrica" è stata inserita a metà del 2020, quindi non è possibile procedere all'identificazione di questa tipologia di incidente mediante estrazione dati per il periodo precedente. Tale classificazione non include soltanto i monopattini elettrici, ma anche altre tipologie di veicoli di seguito elencati:

TIPOLOGIA DISPOSITIVO	AMBITI DI CIRCOLAZIONE SPERIMENTALE DEI DISPOSITIVI PER LA MICROMOBILITÀ ELETTRICA			
	AREE PEDONALI	PERCORSI PEDONALI E CICLABILI	PISTE CICLABILI IN SEDE PROPRIA E SU CORSIA RISERVATA	ZONE 30 E STRADE CON $V_{max} \leq 30$ km/h
MONOWHEEL	ammesso (1)	non ammesso	non ammesso	non ammesso
HOVERBOARD	ammesso (1)	non ammesso	non ammesso	non ammesso
SEGWAY	ammesso (1)	ammesso (2)	ammesso (2)	ammesso (2)
MONOPATTINI	ammesso (1)	ammesso (2)	ammesso (2)	ammesso (2)
NOTA: (1) ammesso solo se dotato di regolatore di velocità configurabile in funzione di una velocità non superiore a 6 km/h (art. 2, c. 7) (2) ammesso solo se dotato di regolatore di velocità configurabile in funzione di una velocità non superiore a 20 km/h (art. 2, c. 7)				

Tabella 8 - Tipologia veicoli annessi alla classificazione di "micromobilità elettrica"

Nel grafico sottostante, si individua una discretizzazione temporale delle chiamate, evidenziando il caso di Milano, interessata da un numero nettamente più elevato rispetto agli altri comuni della regione. In generale, si ha una maggiore concentrazione di incidenti a Milano perché l'utilizzo dei mezzi di micromobilità è più incentivato sia dall'infrastruttura con la presenza di maggiori piste ciclabili sia dalla possibilità di usufruire del servizio sharing.

In tutta la regione, si sono registrate 426 chiamate da giugno 2020, 1382 nel 2021, mentre 688 è il numero di telefonate da gennaio a giugno 2022. Per effettuare un confronto tra i tre anni, si esegue una media giornaliera nell'arco temporale di monitoraggio: per il 2020 al giorno risulterebbero 1.99 chiamate; nel 2021 i soccorsi giornalieri richiesti sarebbero 3.79 e, infine, 4.12 nel 2022. Si denota un incremento delle chiamate. L'andamento crescente di incidenti non deve necessariamente essere associato a un allarme di pericolo: negli anni, dato che il numero di veicoli elettrici (sharing e privati) è in forte aumento, crescono anche le situazioni incidentali.

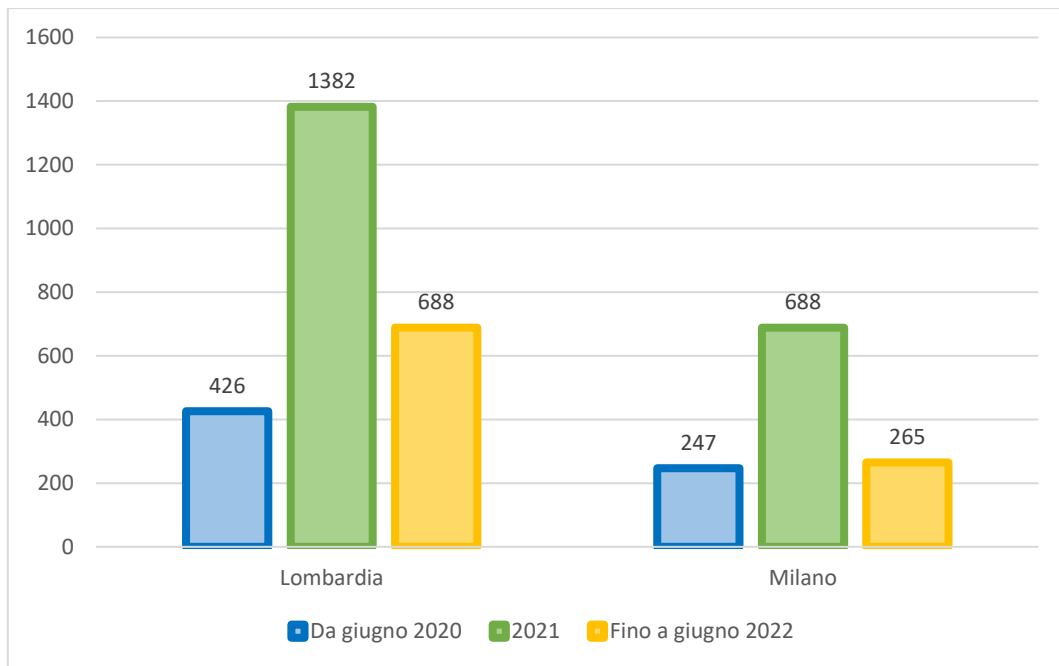


Figura 19 - Numero chiamate di emergenza (AREU) in Lombardia per anno

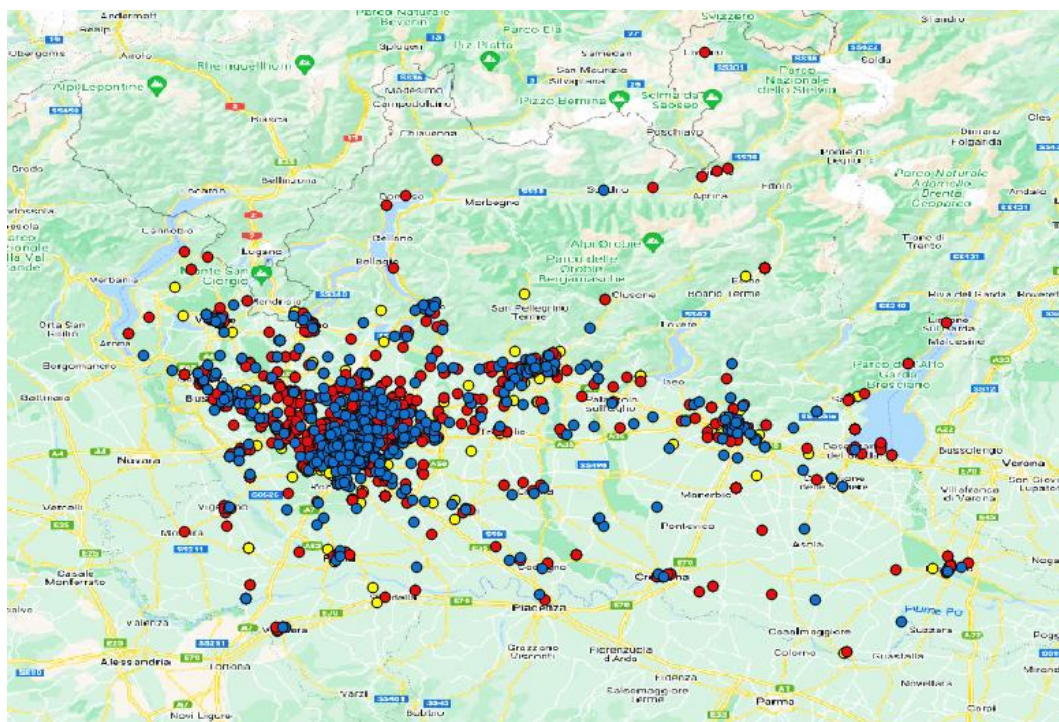


Figura 20 - Rappresentazione su QGIS delle chiamate di emergenza (AREU) in Lombardia

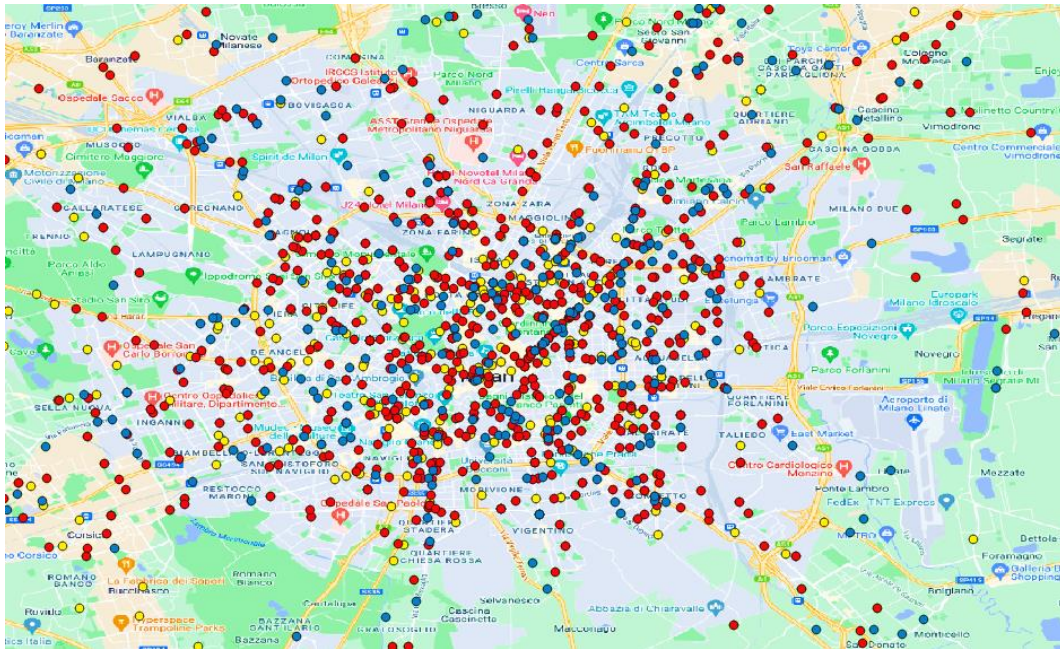


Figura 21 - Rappresentazione su QGIS delle chiamate di emergenza (AREU) a Milano

LEGENDA	
Da giugno 2020	Yellow
2021	Red
Fino a giugno 2022	Blue

Tabella 9 - Legenda di Figura 20 e Figura 21

Analizzando la città di Milano, ad oggi i noleggi giornalieri sono 8609 circa, per un totale di 5250 monopattini sharing a disposizione per gli utenti: rispetto al 2020, i noleggi sono cresciuti del 400%; mentre, nel 2021, ne sono stati registrati 6455 [16]. Nella tabella sottostante viene mostrato il confronto tra gli anni, rapportando il numero di chiamate con la quantità di noleggi. Si nota come, in realtà, la percentuale di chiamate d'emergenza dovute a incidenti stradali, rispetto al numero di noleggi, sia diminuita. Il trend decrescente dimostra come all'aumentare del numero di noleggi, e di conseguenza del livello di pratica da parte degli utenti, il numero di incidenti nella città di Milano diminuisce. Bisogna considerare che, all'inizio del 2020, l'avvento dei monopattini elettrici era considerata come una completa novità: il desiderio di provarlo e la totale inesperienza avranno spinto i conducenti in percorsi di guida talvolta imprudenti. Inoltre, anche il 2021 è caratterizzato comunque da una percentuale elevata di incidentalità: ciò potrebbe essere giustificato dal fatto che, in un primo periodo, la pandemia abbia bloccato

il processo di conoscenza del monopattino elettrico, dove è solo attraverso la pratica che può essere migliorata.

Sicuramente, la micromobilità elettrica è più esposta al rischio in quanto ritenuta un'utenza debole, ma non deve essere considerata, in maniera del tutto assoluta, pericolosa.

MILANO			
ANNO	NUMERO NOLEGGI	NUMERO CHIAMATE EMERGENZA	%
2020	2152	247	11.5
2021	6455	688	10.6
2022	8609	265	3.1

Tabella 10 - Confronto tra il numero di noleggi e il numero di chiamate di emergenza a Milano

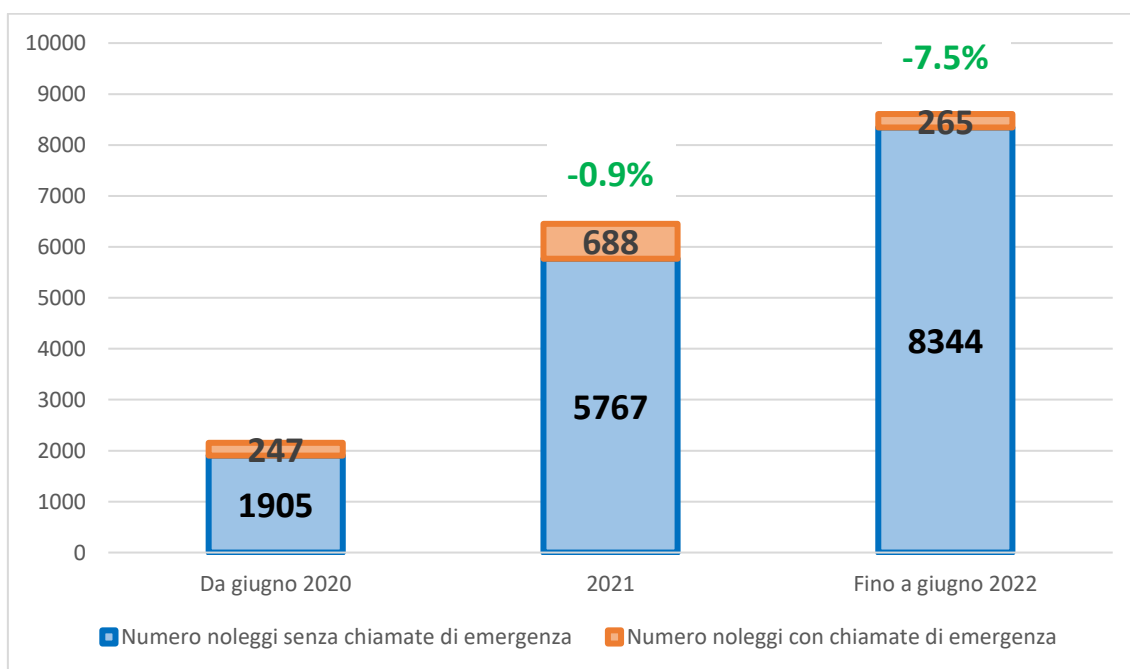


Figura 22 - Confronto noleggi con numero chiamate di emergenza a Milano nel 2020, 2021 e 2022

Un'informazione importante, che si può ricavare dai dati AREU, è il codice di gravità del paziente. Esistono quattro tipologie di codice, dal meno grave al più grave: bianco, verde, giallo e rosso. In alcuni casi il codice del paziente non viene registrato. Di seguito, si riportano i valori relativi ai codici di soccorso regionali per tutti e tre gli anni.

Mediamente, le percentuali restano pressoché invariate: nella maggior parte dei casi si tratta di codice verde; mentre il codice rosso si presenta sempre con l'1%. Sicuramente si

sottolinea la pericolosità degli incidenti legati alla micromobilità elettrica, dove il conducente è totalmente esposto al rischio durante un impatto stradale, ma si evidenzia anche come solo l'1% dei casi è caratterizzata da conseguenze realmente gravi.

Inoltre, non avendo informazioni sulla dinamica degli incidenti, l'unico dato a disposizione è a livello temporale: nella Tabella 12, analizzando i codici rossi, è emerso come quasi il 50% sia avvenuto durante un orario notturno, dove viene a mancare la visibilità e si commettono manovre più letali.

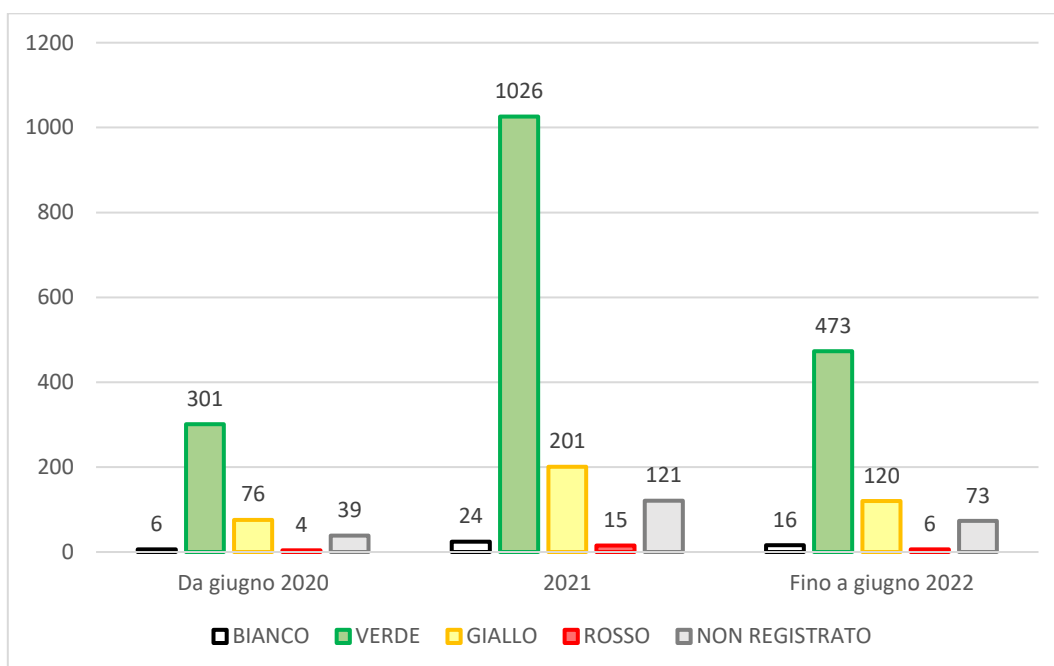


Figura 23 - Codice di gravità delle chiamate d'emergenza (AREU) in Lombardia per anno

ANNO	BIANCO	VERDE	GIALLO	ROSSO	NON REGISTRATO
2020	1%	71%	18%	1%	9%
2021	2%	74%	15%	1%	8%
2022	2%	69%	17%	1%	11%

Tabella 11 - Percentuale delle chiamate di emergenza per codice di gravità in Lombardia per anno

ANNO	ORARIO CODICE ROSSO			
Da giugno 2020	19:03:11	23:20:27	0:40:55	5:29:03
2021	17:27:39	11:02:23	11:02:23	6:47:41
	15:04:25	22:41:49	19:49:43	1:19:21
	2:34:56	13:36:53	17:30:55	18:39:45
Fino a giugno 2022	12:08:28		6:46:10	
	3:16:26		15:06:06	
			13:26:42	
			3:50:15	

Tabella 12 - Fascia oraria dei codici rossi delle chiamate di emergenza

Infine, è stato analizzato l'andamento temporale e stagionale delle chiamate di emergenza. L'ora più critica sono le 17, seguita dalle 18: è giustificato dal fatto che sono le ore di svago o di fine lavoro/scuola. Il dato più importante, e anche allarmante, è che il 30% degli incidenti sia avvenuto in ambiente notturno, con un'alta percentuale di codici rossi. Questo fenomeno è giustificato dal fatto che, in tali orari, agli utenti viene a mancare la visibilità dei mezzi di micromobilità che, unita alle velocità di percorrenza, può provocare conseguenze molto gravi.

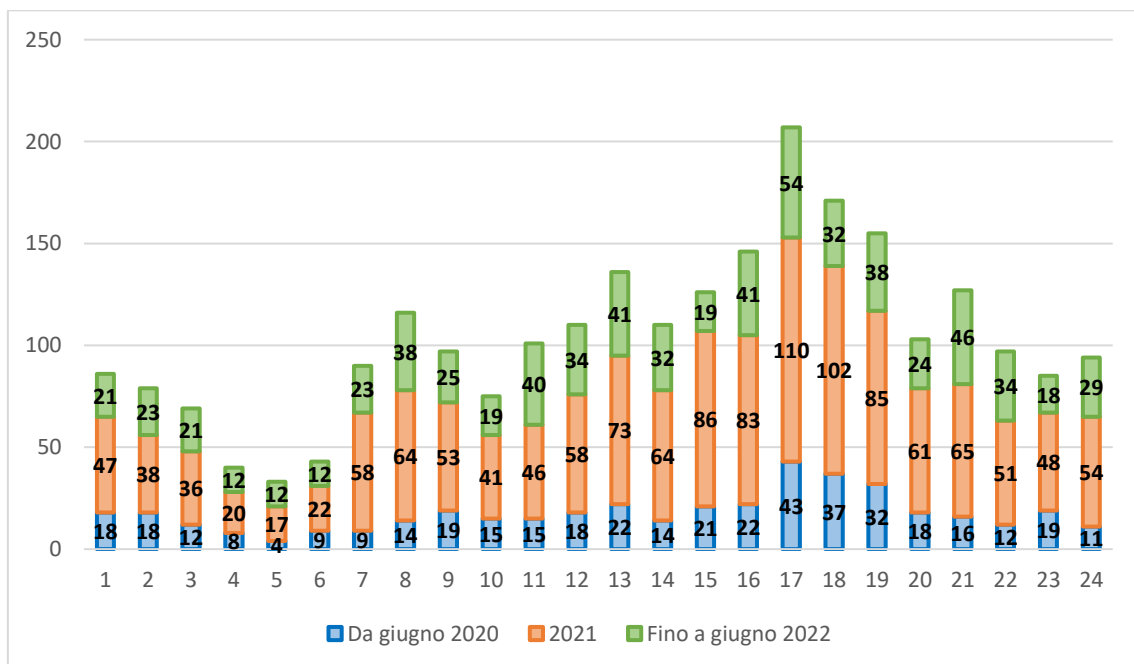


Figura 24 - Numero chiamate d'emergenza annuali per ora

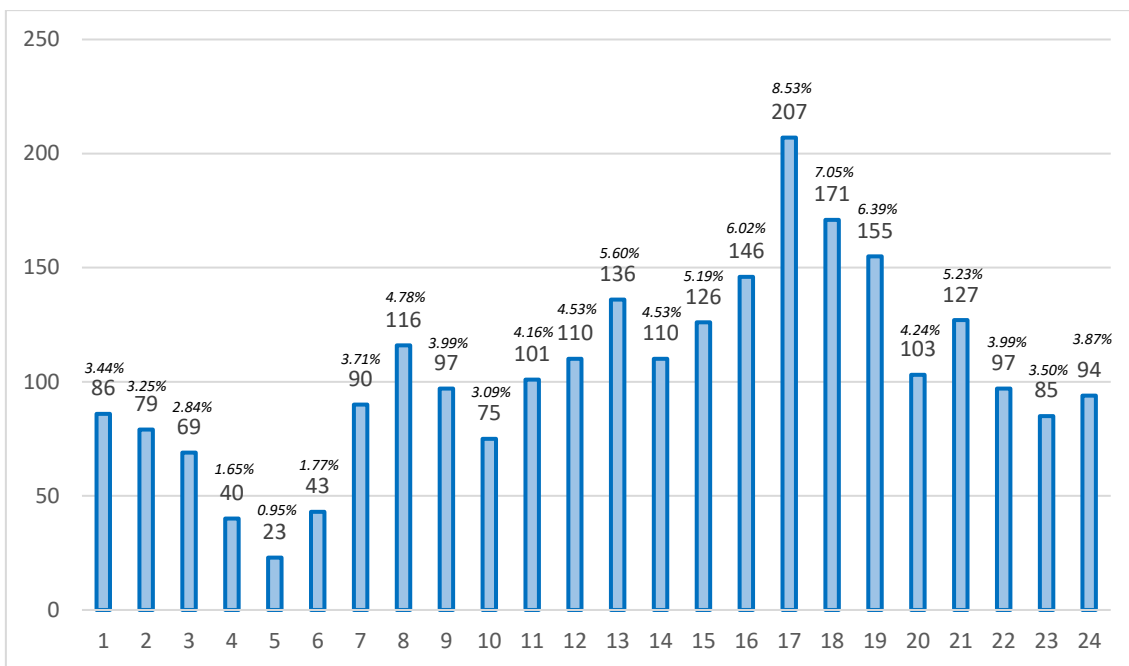


Figura 25 - Numero chiamate d'emergenza totale da giugno 2020 a giugno 2022

In conclusione, il mese con il maggior numero di incidenti stradali di micromobilità è giugno, seguito da maggio e settembre. La stagione primaverile è il periodo caratterizzato dal più elevato numero di chiamate di emergenza: questo è giustificato dal fatto che in tali mesi, grazie anche al tempo atmosferico, accresce il desiderio di uscire e la quantità di eventi/attività che richiedono il movimento di persone.

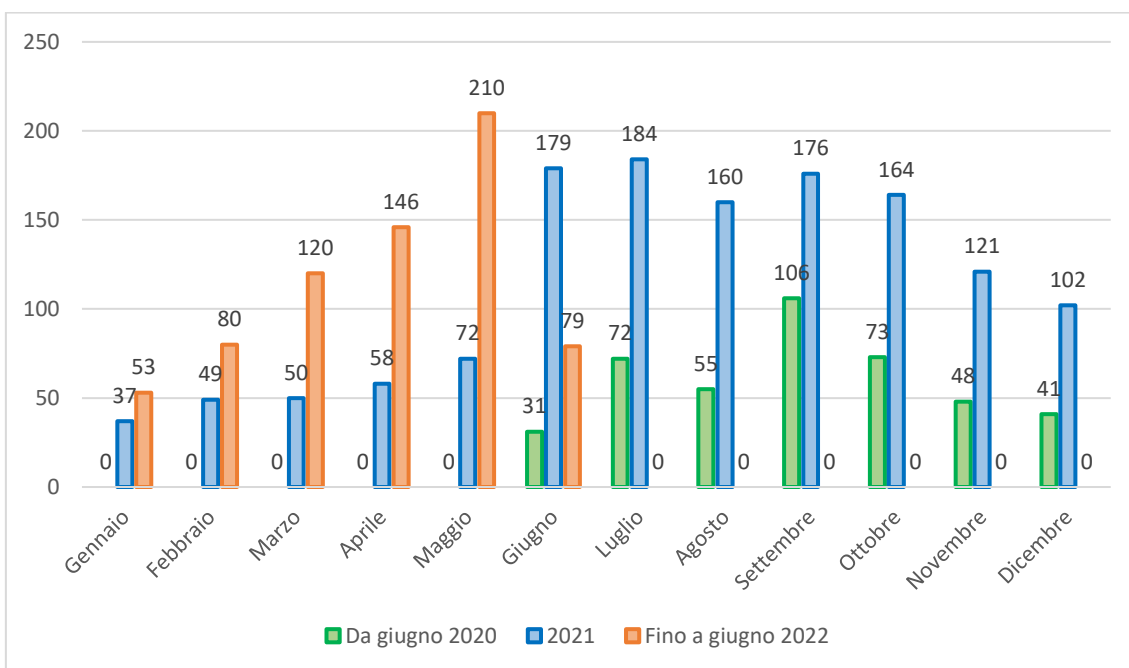


Figura 26 - Numero chiamate d'emergenza per mese

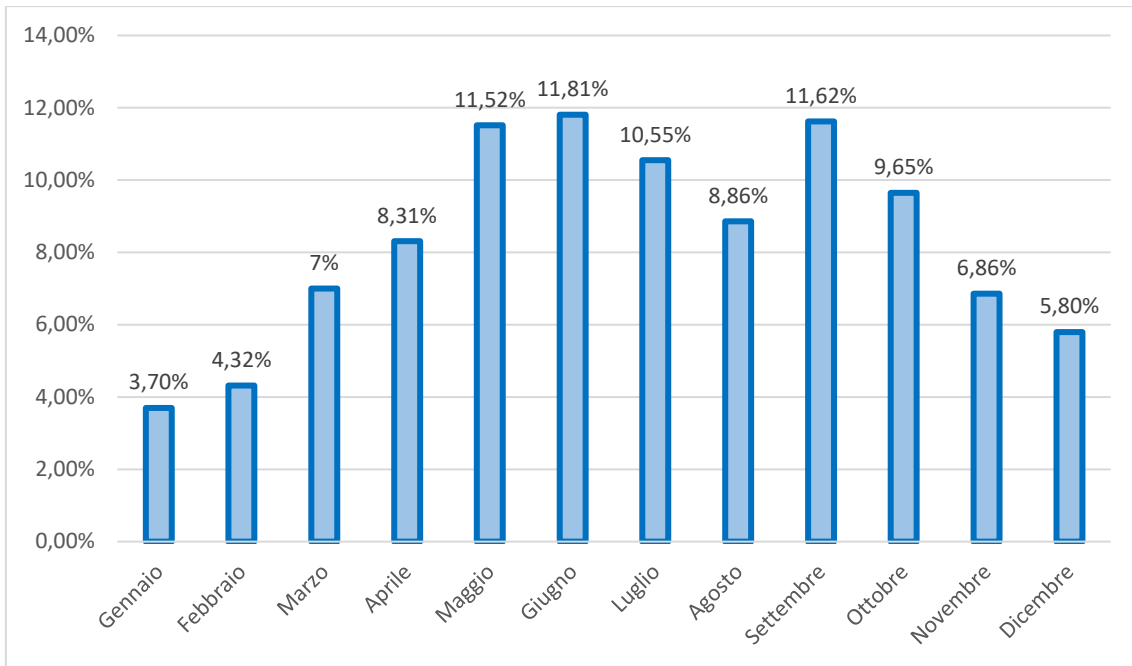


Figura 27 - Percentuale chiamate d'emergenza (2020, 2021, 2022) per mese

1.4 Monitoraggio dello stress

Storicamente, lo stress è stato definito come una reazione da uno stato calmo a uno stato eccitato allo scopo di preservare l'integrità dell'organismo. Per un organismo così altamente sviluppato e indipendente dall'ambiente naturale come l'uomo socializzato, la maggior parte dei fattori di stress sono intellettuali, emotivi e percettivi [17]. Esistono diverse modalità per misurare e controllare il livello di stress umano.

In [17] gli autori hanno analizzato lo stress attraverso i quattro principali sensori fisiologici: elettrocardiogramma (ECG), elettromiogramma (EMG), conduttività cutanea (EDA) e la respirazione. Eseguendo una prova su strada per oltre 20 miglia a Boston, con l'ausilio di alcuni algoritmi, si è dimostrato come i segnali fisiologici forniscano un metodo praticabile per misurare il livello di stress di un conducente.

ECG viene utilizzato per misurare l'attività elettrica prodotta dal cuore tramite elettrodi posizionati sul corpo, tipicamente sulle braccia o gambe. L'attività cardiaca può essere modellata con frequenza cardiaca (HR), intervalli RR, ovvero il tempo che intercorre tra due picchi R consecutivi, e variabilità della frequenza cardiaca (HRV), cioè l'oscillazione del tempo tra battiti consecutivi, come spiegato in [18]. Al contrario, l'EMG misura i potenziali d'azione muscolare posizionando elettrodi su muscoli selezionati, rilevando lo stress raggiunto.

L'attività elettrodermica studia la variazione delle caratteristiche elettriche della pelle; infatti, EDA è un buon indicatore per lo stress umano perché correlato al sistema nervoso. Nello studio [19] viene misurata, durante un'esperienza di guida simulata in un setup sperimentale controllato, la Skin Potential Response (SPR) tra il palmo e il dorso della mano attraverso un dispositivo a bassa complessità, che pone elettrodi Ag/gCl standard sulla mano del conducente, senza abrasione cutanea.

Un ulteriore parametro per la misura dello stress, espresso in [20], è la risposta galvanica della pelle (GSR), che varia con lo stato delle ghiandole sudoripare della pelle. Tale ricerca è mirata a studiare gli impatti delle scelte di modalità di viaggio sullo stress, misurato oggettivamente attraverso misurazioni GSR, utilizzando la corrispondenza del punteggio di propensione (PSM) per tener conto degli effetti misurati dai fattori socio-demografici.

In un successivo studio [21], il parametro GSR è stato misurato attraverso sensori indossabili, come il BodyMedia Sensewear. Tali sensori sono in grado di misurare anche la temperatura quasi corporea (temperatura ambiente media vicino al corpo al minuto), i MET (rapporto tra il tasso metabolico durante un'attività fisica e il tasso metabolico di riferimento) e il flusso di calore (quantità di energia dissipata dal corpo all'ambiente circostante).

In [22] è stato presentato un metodo in tempo reale di monitoraggio dello stress basato sulla variabilità della frequenza cardiaca utilizzando l'analisi di Fourier e Wavelet. Con lo stesso parametro, ma attraverso i diagrammi di influenza, lo studio [23] ha presentato un modello probabilistico di indagine dello stress.

Dato che lo stato del conducente e le caratteristiche fisiologiche dipendono anche dal tempo, in [24] si è costruito un metodo per prevedere lo stress dell'utente utilizzando le reti bayesiane dinamiche (DBN), che sono in grado di esprimere casualità e incertezza, data la variabilità dei segnali fisiologici.

Nello studio [25] si è sviluppato un sistema per il rilevamento dello stress utilizzando la pressione del volume sanguigno e il diametro della pupilla, con l'utilizzo del classificatore Support Vector Machine. L'impulso del volume del sangue (BVP) è la variazione del volume del sangue per ogni intervallo: la fotopletismografia (PPG) è la tecnica ottica a basso costo per misurare la BVP, sfruttando l'assorbimento della luce da parte del sangue. Mentre, i sistemi di tracciamento oculare si basano sui movimenti oculari, sulla dilatazione della pupilla e sulla frequenza dei battiti di ciglia. Anche il cambiamento del flusso sanguigno facciale è un altro parametro caratteristico per il rilevamento dello stress: in [18] sono state presentate telecamere termiche per questo scopo.

Al contrario, molti studi negli ultimi 30 anni considerano il livello di cortisolo salivare come biomarcatore per la misura dello stress, richiedendo di conseguenza la raccolta di campioni di saliva da analizzare in laboratorio. In [26], gli autori hanno misurato il cortisolo in tempo reale utilizzando lo Smart Fatigue Phone, che comprende un lettore di fluorescenza in grado di misurare l'elemento ed effettuare l'analisi dell'elettroencefalogramma (EEG), oltre che impedire ai conducenti di guidare un'auto in condizioni di affaticamento. Anche da studi precedenti è emerso come basse concentrazioni di cortisolo vengono osservate in utenti affetti da stanchezza cronica. Tale

parametro permette anche di misurare l'attività cerebrale posizionando una serie di elettrodi sul cuoio capelluto del soggetto.

L'uso del segnale EEG di breve durata e l'elevata precisione rendono la tecnica adatta al rilevamento temporizzato e affidabile di eventi stressati, come si nota in [27]: i segnali filtrati sono stati decomposti utilizzando la trasformata wavelet stazionaria, in modo da estrarre caratteristiche basate sull'entropia. Attraverso l'algoritmo WOA-SVM, si è eseguita la ponderazione delle caratteristiche e la massima precisione nel rilevamento delle sollecitazioni.

Un ulteriore studio ha esaminato i cambiamenti nella composizione della saliva: utilizzando una combinazione di cromatografia liquida e spettrometria di massa (LC-MS), in [28] sono stati esaminati i cambiamenti nei componenti a basso peso molecolare della saliva. I risultati suggeriscono che il rapporto tra le concentrazioni per due frammenti peptidici derivati da proteine ricche di prolina può essere utilizzato per monitorare il livello di affaticamento.

La maggior parte dei metodi citati vengono preceduti e terminati da un test, ovvero un questionario, in cui analizzare lo stato psicofisico dell'utente prima e dopo l'esecuzione della prova. In [29] gli autori hanno sviluppato il Dundee Stress State Questionnaire (DSSQ) per valutare le variabili risposte soggettive allo stato in ambienti stressanti, analizzando tre ampi fattori della condizione psichica: coinvolgimento, angoscia e preoccupazione. Il limite del DSSQ è la sua lunghezza: i partecipanti sono tenuti a rispondere a un totale di 180 articoli. Per superare ciò, è stato proposto il SSSQ (Short Stress State Questionnaire), testato su alcuni studenti universitari che hanno compilato il modulo pre e post esame didattico.

Inoltre, negli ultimi anni l'uso di sensori nella valutazione dei sistemi di trasporto è in aumento. In [30]) hanno utilizzato un sensore di frequenza cardiaca a basso costo per rilevare lo stress e hanno proposto che il loro metodo possa essere implementato su dispositivi mobili. Lo studio ha concluso che lo stress soggettivo aumenta con l'aumentare della frequenza cardiaca: ad alti livelli di stress corrispondono aumenti di frequenze cardiache.

Al contrario, gli autori di [31] hanno analizzato lo stress del conducente monitorando la frequenza cardiaca e le traiettorie GPS veicolari di cinque utenti in diverse condizioni di traffico su una rete stradale reale. I loro risultati indicano che la velocità media, il

coefficiente di covarianza della velocità e la frequenza di frenata espressa attraverso il numero di soste, sono i principali fattori che contribuiscono allo stress di guida.

Infine, con lo sviluppo della tecnologia, si sta diffondendo l'uso di biosensori indossabili che offrono un monitoraggio non invasivo di stress: sono stati realizzati dispositivi indossabili intelligenti, in grado di controllare biomarcatori fluidi del corpo umano come il sudore, la saliva e il liquido interstiziale (ISF). Tali dispositivi, come viene analizzato in [32], sono anche in grado di fornire avvisi tempestivi sullo stato di salute di chi li indossa, in modo da prevenire ed eventualmente assistere clinicamente. I sistemi di sensori indossabili stanno sfruttando braccialetti, fasce e tatuaggi come comuni piattaforme conformabili alla pelle per il monitoraggio dei parametri chimici e fisici. Si sta realizzando l'integrazione di biosensori sul cuscinetto del ponte nasale dell'occhiale, dato l'elevato utilizzo di tale accessorio.

In [33] è stata presentata l'applicazione di un tessuto intelligente, reso sensibile al pH con una molecola colorimetrica a pH atossico: a seconda della configurazione del tessuto, il sensore può monitorare il pH del sudore e, di conseguenza, il livello di stress dell'individuo.

Nello studio [18], gli autori hanno sviluppato un sistema di rilevamento delle sollecitazioni per i conducenti utilizzando un guanto indossabile che ha un sensore di orientamento fotoplethysmogramma (PPG) e un'unità di movimento inerziale (IMU) che ha un accelerometro.

Per riassumere, la ricerca dei vari metodi utilizzati per il monitoraggio dello stress del conducente ha quindi evidenziato come l'analisi dei parametri fisiologici sia stata spesso utilizzata ed efficace in tale ambito.

CAPITOLO 2 - Metodo

Il metodo, utilizzato per lo studio di tale documento, viene esposto in questo capitolo. Dopo aver descritto brevemente la procedura che mostra i passaggi tecnici utilizzati per trovare una correlazione tra lo stress del conducente e i parametri fisiologici, si procede con la prova di primo tentativo per validare il metodo prescelto.

Il parametro fisiologico più adatto a tale ricerca è la variabilità della frequenza cardiaca, da cui verrà ricavato il dato di RRI; successivamente verrà spiegata la raccolta dati e il criterio di scelta del dispositivo più efficace.

In seguito vengono presentati due metodi: il primo si basa sull'identificazione di un indice del rapporto dello stress, calcolato analiticamente in funzione del parametro di RRI istantaneo e massimo registrato durante la prova; il secondo approccio riguarda il rapporto LF/HF, ovvero il rapporto tra le basse frequenze e le alte frequenze.

Dopo aver eseguito alcuni test su strada, si è individuato il metodo corretto da utilizzare durante la fase dell'esperimento vero e proprio, esposto nel capitolo successivo.

2.1 Descrizione procedura

Da quanto emerso dallo stato dell'arte, esistono diverse analisi che hanno lo scopo di monitorare lo stress del conducente durante una guida attraverso eventuali strumenti tecnologici. La ricerca bibliografica ha evidenziato come il parametro fisiologico più adatto per la misura dello stress è la variabilità della frequenza cardiaca (HRV): essa rappresenta la variazione nel tempo tra battiti cardiaci consecutivi, variabile sotto l'influenza della salute, dell'età e del nostro stato psicofisiologico come durante lo stress.

Il Sistema Nervoso Autonomo è quella porzione del Sistema Nervoso Periferico attua per la gestione di una serie di attività involontaria, quali ad esempio il battito cardiaco, la pressione sanguigna o la digestione. Esso è suddiviso in tre elementi:

- Simpatico: regola le attività che impiegano energia immagazzinata
- Parasimpatico: regola le attività che incrementano le riserve di energia
- Enterico: regola il complesso delle attività intestinali

I rami Simpatico e Parasimpatico sono caratterizzati da una serie di vie nervose che stimolano o rallentano alcune attività, raggiungendo gli organi interni. In un corpo sano ed equilibrato i tre sottoinsiemi rimangono in equilibrio e complementari tra loro a seconda della situazione percepita.

Contrariamente a quanto si pensasse in passato, il battito cardiaco a riposo non è regolare come un metronomo, dove ad esempio 60 pulsazioni al minuto sono uguali a un battito al secondo. Differenti ricerche hanno evidenziato una differenza nei tempi di contrazione tra un battito e l'altro dell'ordine di millisecondi. Questo cambio naturale della frequenza cardiaca è correlato con l'attività respiratoria e le azioni esercitate dal sistema nervoso simpatico e parasimpatico sul muscolo cardiaco. L'HRV è un buon indicatore in grado di comprendere la fluttuazione della frequenza cardiaca e lo stato dell'attività del Sistema Nervoso Autonomo.

Nel seguito, dopo aver presentato lo strumento utilizzato, vengono descritti due possibili metodi aventi come base la frequenza cardiaca, determinando poi, attraverso prove su strada, il più affidabile da poter utilizzare per l'esperimento effettivo.

In linea del tutto sintetica, i dati fisiologici dovrebbero procurare i picchi di stress, con l'individuazione di un indice di stress, nel caso del primo metodo, e del rapporto LF/HF, nel secondo metodo. Infine, i dati incidentali permetteranno di trovare una correlazione

tra i punti di sinistri passati ed un elevato livello di stress raggiunto nella sperimentazione, per poter sottolineare alcune soluzioni ipotetiche, in modo da prevenire il pericolo.

2.1.1 Strumento di misura

Secondo varie ricerche, lo strumento più adatto per la misura dell'HRV è l'orologio digitale Xiaomi Mi Band: in tale tesi verrà utilizzato il modello Mi Band 2, in quanto già in possesso. Lo strumento, attraverso sensori di movimento e cardiofrequenzimetro integrati, riesce a determinare e registrare vari parametri, quali il numero di passi, l'andamento del sonno, allenamenti effettuati e la frequenza cardiaca. Per la raccolta dei dati bisogna effettuare il download di due applicazioni: la prima, gratuita e accessibile a tutti, è *Zepp Life*; mentre la seconda è *Tools & Mi Band*, disponibile solo a pagamento per Android. A scopo informativo, si vuole sottolineare che per Iphone è possibile trovare all'interno dell'AppStore la stessa applicazione, sotto il nome di *Tools & Mi Band PRO*, anch'essa a pagamento, che, al contrario, non è ancora funzionante e non permette di associare l'orologio via bluetooth.

Attraverso l'applicazione *Tools & Mi Band* è possibile personalizzare l'intervallo di monitoraggio e la misura del cardiofrequenzimetro: dato che, pur impostando un intervallo di 10/15 secondi, il bracciale misura il battito anche per periodi inferiori, si è preferito usufruire l'opzione del monitoraggio continuo.

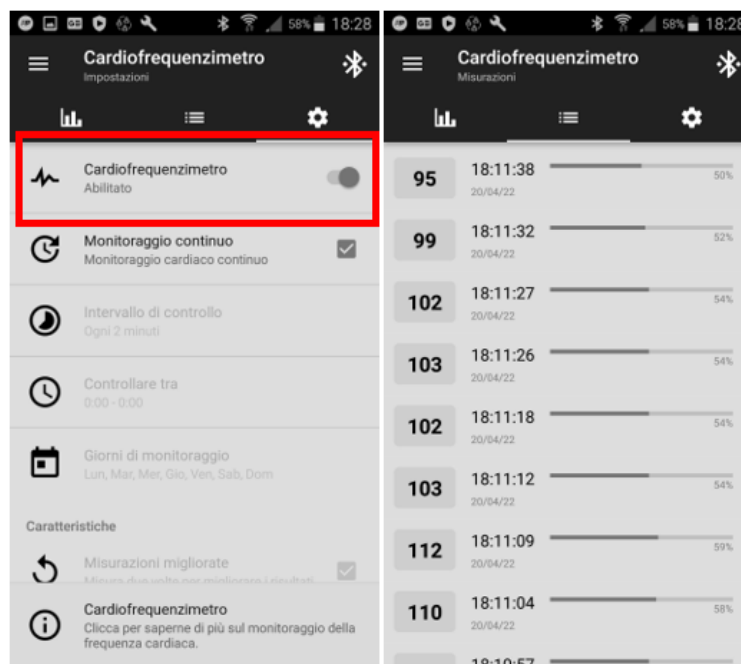


Figura 28 - Cardiofrequenzimetro nell'applicazione Tools & Mi Band

Tali applicazioni permettono di esportare i dati in un file .csv, così da analizzare le informazioni ottenute e ricavare i parametri richiesti per i due approcci metodologici.

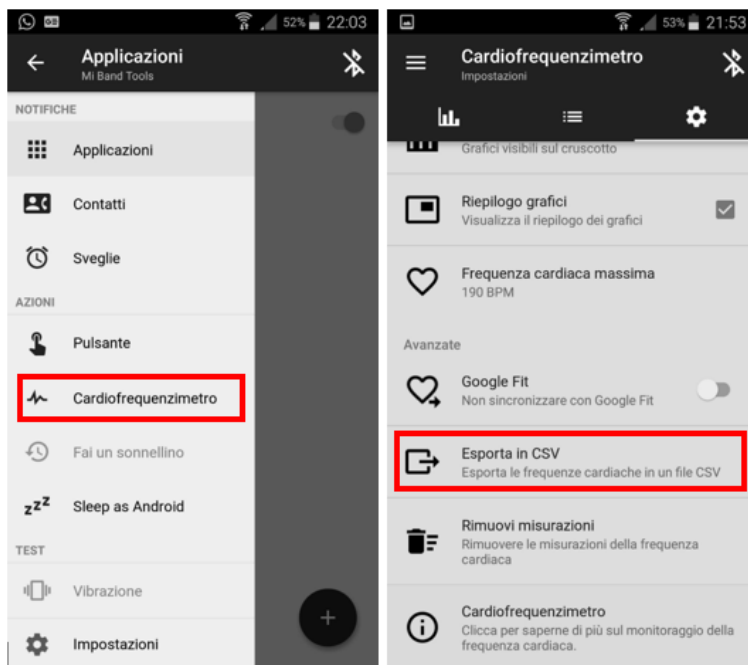


Figura 29 - Esportazione dati con applicazione Tool&Mi Band

2.2 Approccio 1 – Indice di rapporto dello stress

Il corpo umano si adatta alle mutevoli esigenze causate da attività stressanti, sforzi fisici o altre situazioni attraverso l'automatica regolazione nervosa, che controlla la variazione delle contrazioni del cuore. Per questo motivo, come anche emerso dallo stato dell'arte e diversi studi precedenti, il livello di stress può essere valutato analizzando la frequenza cardiaca.

Uno dei parametri che meglio la caratterizza è il cosiddetto intervallo di interbeat cardiaco o intervallo RR (RRI): è possibile spiegarne la definizione attraverso un elettrocardiogramma che misura l'HRV, elaborata in seguito da un software specifico.

Nel diagramma successivo è possibile individuare una sequenza di segnali elettrici che denotano una contrazione del cuore. I picchi di questi segnali elettrici includono le onde P, le onde T e le onde R. L'onda R corrisponde ad un picco che indica il momento in cui il cuore pompa il sangue. L'intervallo tra due onde R successive è definito RRI ed ha una diretta relazione con la frequenza cardiaca, come verrà illustrato successivamente.

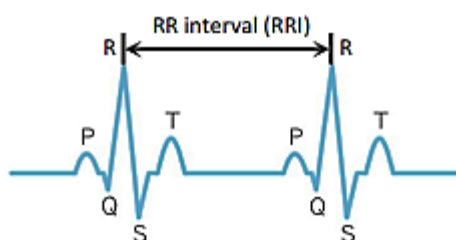


Figura 30 - Definizione del parametro RRI attraverso un elettrocardiogramma

I dati sulla frequenza cardiaca sono continuamente misurati durante il test per mezzo dell'orologio Mi Band 2. Grazie a tali misure, è possibile stimare il valore dell'indice RRI tramite la seguente relazione:

$$RRI [ms] = \frac{60}{HRV [bpm]}$$

È immediato notare come alti valori di RRI indicano basse frequenze cardiache e, di conseguenza, un minor livello di stress. Impostare un criterio uniforme utilizzando i valori di RRI così calcolati è complicato in quanto tale indice, essendo un biomarcatore,

differisce significativamente per ciascun individuo. Per ovviare tale limitazione, in [34] e [35], è stato definito un indice di stress, adoperando il massimo valore di RRI e quello istantaneo. L'indice varia da 0 a 1: quando è vicino allo 0, il guidatore non è soggetto ad elevato stress, mentre l'indice pari a 1 dimostra l'esistenza di affaticamento.

$$\text{Indice del rapporto di stress} = 1 - \frac{RRI_i}{RRI_{max}}$$

con:

- RRI_i il valore di RRI all'istante i
- RRI_{max} il valore massimo di RRI registrato durante un test

Questo indice è stato considerato come un criterio uniforme per il confronto dello stress.

A livello pratico, dopo aver registrato la frequenza cardiaca attraverso l'app *Tools & Mi Band*, è possibile esportare i dati misurati con il cardiofrequenzimetro, attuando la seguente procedura: Cardiofrequenzimetro → Impostazioni → Esporta in CSV.

Il file .csv contiene una prima colonna con il dato temporale della misura (data, ora, minuto, secondo), una seconda con il valore della frequenza cardiaca HRV e, infine, un'ultima colonna con la percentuale del parametro fisiologico misurato.

Viene creato un file Excel in cui riportare i valori della frequenza cardiaca e il relativo tempo di misura: si assegna un valore della frequenza cardiaca anche per i secondi in cui non è stata effettuata la misurazione da parte dello strumento, ipotizzando di mantenerla costante fino alla misura successiva.

Si calcola il parametro RRI, come precedentemente spiegato, per ogni intervallo di tempo, determinando il massimo valore registrato. Attraverso questi due dati si determina istante per istante l'indice del rapporto di stress.

Secondo quanto detto nel metodo espresso in [34], si può parlare di “situazione elevata di stress” quando l'indice del rapporto di stress è superiore al quindicesimo percentile. Di conseguenza, una volta individuato il parametro, si calcola il rapporto Indice/15 e si individuano quattro fasce principali di stress:

- Livello Basso: $\text{Indice}/15 < 1$
- Livello Medio: $1 < \text{Indice}/15 < 1.5$
- Livello Alto: $1.5 < \text{Indice}/15 < 2$
- Livello Elevato: $\text{Indice}/15 > 2$

Durante la fase di validazione, emergerà l'invalidità di tale metodo, in quanto, basandosi esclusivamente sulla misura della frequenza cardiaca durante la prova, esprime per lo più un grado di affaticamento, concetto ben diverso dallo stress: per questo motivo i livelli che emergono dai test sono principalmente "alto" o "elevato", non riscontrando picchi specifici nelle aree ipoteticamente più stressanti.

2.3 Approccio 2 – Rapporto LF/HF

Uno dei parametri più affidabili per analizzare lo stress è il rapporto LF/HF: la variazione della frequenza cardiaca viene mediata dal sistema nervoso periferico che, come detto precedentemente, si suddivide in Simpatico e Parasimpatico, i quali hanno influenza sul ritmo cardiaco. La banda a bassa frequenza (LF) è considerata come un indice dell'attivazione del sistema Simpatico; d'altro canto quella ad alta frequenza (HF) è valutata come indice dell'attivazione anche del Parasimpatico. Il rapporto tra i due valori, LF/HF, esprime un indice di bilancio Simpatico/Parasimpatico.

In alcuni studi, quali [36] e [37], tale indice è stato utilizzato per indagare lo stress di alcuni conducenti: viene evidenziato come all'aumentare del rapporto, aumenta il livello di stress, come ad esempio durante incroci, semafori o attraversamenti pedonali.

Per determinare il rapporto LF/HF, inizialmente, si procede come nell'Approccio 1, individuando l'andamento della variabilità della frequenza cardiaca, dalla quale ottenere il valore del parametro RRI come segue:

$$RRI [ms] = \frac{60}{HRV [bpm]}$$

Alcuni studi e ricerche hanno permesso di distinguere gli intervalli delle tre bande di frequenze:

- VLF (Very Low Frequency): frequenze comprese tra 0.01 e 0.04 Hz
- LF (Low Frequency): frequenze comprese tra 0.04 e 0.15 Hz
- HF (High Frequency): frequenze comprese tra 0.15 e 0.4 Hz

A livello pratico, dopo aver registrato la frequenza cardiaca attraverso l'app *Tools & Mi Band*, è possibile esportare i dati misurati con il cardiofrequenzimetro, attuando la seguente procedura: Cardiofrequenzimetro → Impostazioni → Esporta in CSV.

Il file .csv contiene una prima colonna con il dato temporale della misura (data, ora, minuto, secondo), una seconda con il valore della frequenza cardiaca HRV e, infine, un'ultima colonna con la percentuale del parametro fisiologico misurato.

Viene creato un file Excel in cui riportare i valori della frequenza cardiaca e il relativo tempo di misura: si assegna un valore della frequenza cardiaca anche per i secondi in cui non è stata effettuata la misurazione da parte dello strumento, ipotizzando di mantenerla

costante fino alla misura successiva. Questo rappresenta il documento di base per la scrittura del codice Python.

Si utilizza il software Jupiter (Anaconda): il primo passo è scaricare alcune librerie specifiche per estrapolare il parametro LF/HF (<https://pyhrv.readthedocs.io/en/latest/>), compilando come segue:

```
pip install biosppy  
pip install matplotlib  
pip install numpy  
pip install scipy  
pip install nolds  
conda config --append channels conda-forge  
conda install spectrum  
pip install pyhrv
```

Di seguito verrà esposto il codice scritto, in cui, grazie alla stesura di un ciclo for e la funzione “*fft_ratio*” (sezione 2.4 Frequency Domain Module), è possibile ricavare il rapporto LF/HF ogni 10 secondi. Si utilizza un intervallo di 10 secondi in quanto la frequenza cardiaca non viene rilevata mai per un periodo maggiore.

```
import pyhrv  
import numpy as np  
import pandas as pd  
import datetime  
df=pd.read_excel(r'C:\Users\Aurora\Desktop\prova metodo 2.xlsx')  
print(df)  
intervallo=10  
w=np.zeros(10000)  
j=0  
for i in range(0,len(df),intervallo):  
    x=pyhrv.frequency_domain.welch_psd(nni=df["RRI"][i:i+intervallo])#,show=True)  
    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 = pd.DataFrame(w)
Output.to_excel('output2.xlsx')

```

Bisogna porre attenzione alla lunghezza di “w” che deve essere impostata di un valore molto grande o almeno pari al numero di secondi di analisi della prova.

La funzione appena citata di Python permetterà di ricavare il parametro LF/HF e anche il termine PSD (Power Spectral Density), che dipende dalla frequenza, sfruttando il metodo di Welch il quale si basa sulla FFT (Fast Fourier Trasform) per stimare la potenza di un segnale a frequenze diverse.

Per il parametro LF/HF non esistono valori di riferimento per caratterizzare il livello di stress; di conseguenza, bisogna effettuare una calibrazione per ciascun conducente, effettuando misurazioni a riposo prima dell’esecuzione di ogni prova, a veicolo fermo, per un minimo di 6 minuti. Tale intervallo è stato scelto a causa del modo in cui è stato costruito lo script utilizzato nel codice Python.

Successivamente è possibile riconoscere tre fasce principali, dopo aver definito il valore medio (x_m) e la deviazione standard (σ):

- Livello di stress Basso:

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

- Livello di stress Medio:

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

- Livello di stress Alto:

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

2.4 Validazione e scelta del metodo

Nelle settimane antecedenti alle prove ufficiali, sono stati effettuati alcuni test per determinare la scelta del metodo più adatto e affidabile per la misurazione del livello di stress di un conducente e per verificare la correttezza del funzionamento dello strumento prescelto.

Sono state effettuate tre prove in diversi scenari a Busto Arsizio: utente come pedone, come conducente di automobile e ciclista. Successivamente sono stati organizzati ulteriori tre test di prova col monopattino. Tutti gli esperimenti sono stati successivamente analizzati attraverso i due metodi precedentemente esposti, in modo tale da scegliere il più affidabile ed efficace.

I dati appartengono a giorni differenti, ma condizioni atmosferiche ottimali e traffico modesto.

2.4.1 Test 1

La prova è stata effettuata il 20 Aprile 2022, percorrendo a piedi una strada comunale di Busto Arsizio, dalle 15:23:52 alle 15:43:54: il percorso è iniziato da Corso XX Settembre 1, dove si trova il ristorante-pizzeria “Mamma”, per poi terminare in Via Guido Gozzano 4.

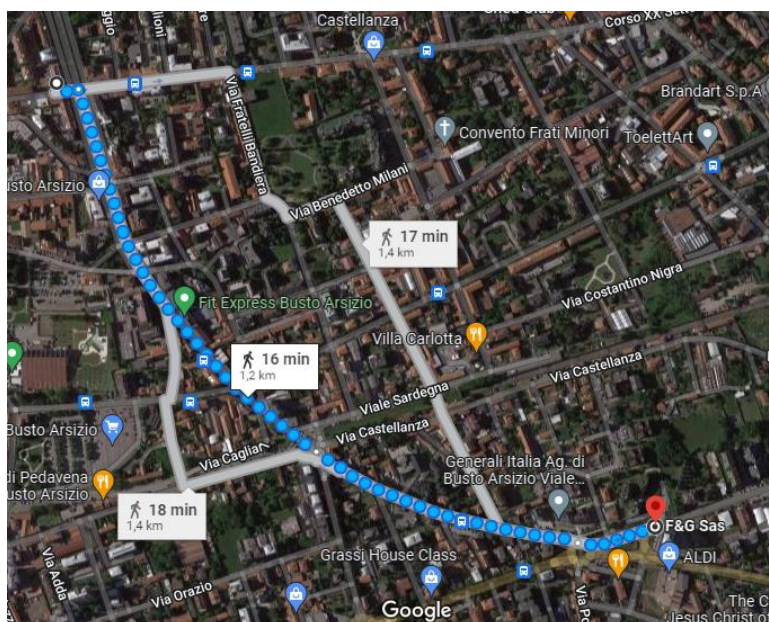


Figura 31 - Percorso Test 1

Grazie all'utilizzo del Mi Band 2 e alle applicazioni annesse scaricate, è stato possibile misurare e registrare l'andamento della frequenza cardiaca: grazie a ciò vengono applicati i due metodi esposti, alla ricerca del criterio prescelto.

Il primo metodo richiede l'identificazione dell'indice del rapporto di stress attraverso il monitoraggio di HRV e RRI nel tempo della prova. Calcolando tale parametro, è possibile individuare le quattro fasce del livello di stress. Vengono seguiti alcuni passaggi per l'analisi dei dati:

- Riordinare i dati dal meno recente, quindi da inizio prova, dato che, scaricando il file, le informazioni vengono restituite dall'orario più recente al meno recente
- Calcolare la differenza di tempo, in secondi, tra le varie misurazioni effettuate
- Eseguire la somma cumulata delle varie differenze dei tempi, in modo da creare la scala temporale della prova

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	dateTime	rate	rateZone		ORA	DELTA T	DELTA T (s)	TEMPO (s)	HRV	RRI
2	20.04.2022 15:43:08	92	48%		15:23:52		0.0	0.0	91	0.65934
3	20.04.2022 15:43:01	92	48%		15:23:53	00:00:01	1.0	=H2+G3	92	0.65217
4	20.04.2022 15:43:00	90	47%		15:23:58	00:00:05	5.0	6.0	89	0.67416
5	20.04.2022 15:42:54	91	47%		15:24:04	00:00:06	6.0	12.0	97	0.61856
6	20.04.2022 15:42:46	88	46%		15:24:08	00:00:04	4.0	16.0	94	0.6383
7	20.04.2022 15:42:39	85	44%		15:24:13	00:00:05	5.0	21.0	90	0.66667
8	20.04.2022 15:42:26	104	54%		15:24:22	00:00:09	9.0	30.0	90	0.66667
9	20.04.2022 15:42:19	99	52%		15:24:23	00:00:01	1.0	31.0	94	0.6383
10	20.04.2022 15:42:10	133	70%		15:24:28	00:00:05	5.0	36.0	98	0.61224
11	20.04.2022 15:42:03	132	69%		15:24:34	00:00:06	6.0	42.0	104	0.57692
12	20.04.2022 15:41:56	133	70%		15:24:38	00:00:04	4.0	46.0	102	0.58824
13	20.04.2022 15:41:50	131	68%		15:24:44	00:00:06	6.0	52.0	111	0.54054
14	20.04.2022 15:41:45	127	66%		15:24:50	00:00:06	6.0	58.0	113	0.53097
15	20.04.2022 15:41:42	129	67%		15:24:53	00:00:03	3.0	61.0	108	0.55556
16	20.04.2022 15:41:36	133	70%		15:24:59	00:00:06	6.0	67.0	105	0.57143
17	20.04.2022 15:41:30	135	71%		15:25:05	00:00:06	6.0	73.0	104	0.57692
18	20.04.2022 15:41:26	135	71%		15:25:08	00:00:03	3.0	76.0	104	0.57692
19	20.04.2022 15:41:21	137	72%		15:25:14	00:00:06	6.0	82.0	102	0.58824
20	20.04.2022 15:41:15	136	71%		15:25:20	00:00:06	6.0	88.0	103	0.58252
21	20.04.2022 15:41:09	131	68%		15:25:23	00:00:03	3.0	91.0	103	0.58252
22	20.04.2022 15:41:00	135	71%		15:25:29	00:00:06	6.0	97.0	106	0.56604
23	20.04.2022 15:40:58	135	71%		15:25:35	00:00:06	6.0	103.0	108	0.55556
24	20.04.2022 15:40:53	135	71%		15:25:38	00:00:03	3.0	106.0	112	0.53571
25	20.04.2022 15:40:45	133	70%		15:25:44	00:00:06	6.0	112.0	115	0.52174

Figura 32 - Calcolo tempo cumulato nel file .csv

- Scrivere la scala temporale, dal secondo 0 al secondo che corrisponde alla fine della prova
- Associare ai vari secondi il valore di HRV registrato, usando una funzione di Excel di confronto: qualora per un determinato secondo non si abbia a

disposizione la misura di HRV, si assegna una frequenza cardiaca anche a tali intervalli, ipotizzando di mantenerla costante fino alla misurazione successiva

MATR.PR... : X ✓ fx =INDICE(\$I\$2:\$I\$209;CONFRONTA(L2;\$H\$2:\$H\$209;0))

	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	ORA	DELTA T	DELTA T (s)	TEMPO (s)	HRV	RRI		DELTA T (s)	HRV	HRV inter.
2	15:23:52		0.0	0.0	91	0.65934		0	=INDICE(\$I\$2	91
3	15:23:53	00:00:01	1.0	1.0	92	0.65217		1	92	92
4	15:23:58	00:00:05	5.0	6.0	89	0.67416		2	#N/D	92
5	15:24:04	00:00:06	6.0	12.0	97	0.61856		3	#N/D	92
6	15:24:08	00:00:04	4.0	16.0	94	0.6383		4	#N/D	92
7	15:24:13	00:00:05	5.0	21.0	90	0.66667		5	#N/D	92
8	15:24:22	00:00:09	9.0	30.0	90	0.66667		6	89	89
9	15:24:23	00:00:01	1.0	31.0	94	0.6383		7	#N/D	89
10	15:24:28	00:00:05	5.0	36.0	98	0.61224		8	#N/D	89
11	15:24:34	00:00:06	6.0	42.0	104	0.57692		9	#N/D	89
12	15:24:38	00:00:04	4.0	46.0	102	0.58824		10	#N/D	89
13	15:24:44	00:00:06	6.0	52.0	111	0.54054		11	#N/D	89
14	15:24:50	00:00:06	6.0	58.0	113	0.53097		12	#N/D	97
15	15:24:53	00:00:03	3.0	61.0	108	0.55556		13	#N/D	97
16	15:24:59	00:00:06	6.0	67.0	105	0.57143		14	#N/D	97
17	15:25:05	00:00:06	6.0	73.0	104	0.57692		15	#N/D	97
18	15:25:08	00:00:03	3.0	76.0	104	0.57692		16	94	94
19	15:25:14	00:00:06	6.0	82.0	102	0.58824		17	#N/D	94
20	15:25:20	00:00:06	6.0	88.0	103	0.58252		18	#N/D	94
21	15:25:23	00:00:03	3.0	91.0	103	0.58252		19	#N/D	94
22	15:25:29	00:00:06	6.0	97.0	106	0.56604		20	#N/D	94
23	15:25:35	00:00:06	6.0	103.0	108	0.55556		21	90	90
24	15:25:38	00:00:03	3.0	106.0	112	0.53571		22	#N/D	90
25	15:25:44	00:00:06	6.0	112.0	115	0.52174		23	#N/D	90

Figura 33 - Calcolo HRV nel file .csv

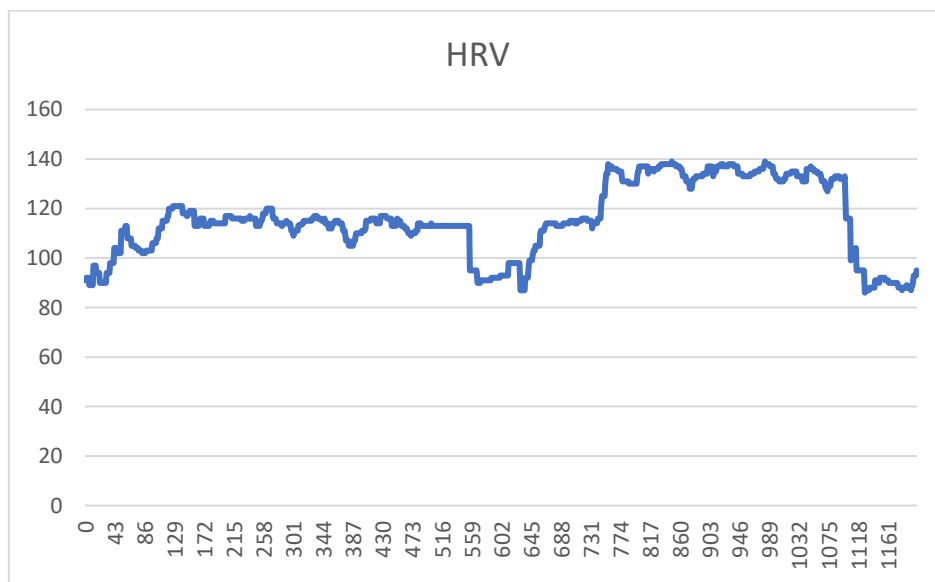


Figura 34 - Andamento HRV nel tempo del Test 1

- Calcolare il parametro RRI, con l'equazione presentata precedentemente, e ricerca del valore massimo registrato durante la prova

	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	ORA	DELTA T	DELTA T (s)	TEMPO (s)	HRV	RRI		DELTA T (s)	HRV	HRV inter.	RRI	RRI MAX
2	15:23:52		0.0	0.0	91	0.65934		0	91	91	=60/N2	0.69767
3	15:23:53	00:00:01	1.0	1.0	92	0.65217		1	92	92	0.65217	
4	15:23:58	00:00:05	5.0	6.0	89	0.67416		2	#N/D	92	0.65217	
5	15:24:04	00:00:06	6.0	12.0	97	0.61856		3	#N/D	92	0.65217	
6	15:24:08	00:00:04	4.0	16.0	94	0.6383		4	#N/D	92	0.65217	
7	15:24:13	00:00:05	5.0	21.0	90	0.66667		5	#N/D	92	0.65217	
8	15:24:22	00:00:09	9.0	30.0	90	0.66667		6	89	89	0.67416	
9	15:24:23	00:00:01	1.0	31.0	94	0.6383		7	#N/D	89	0.67416	
10	15:24:28	00:00:05	5.0	36.0	98	0.61224		8	#N/D	89	0.67416	
11	15:24:34	00:00:06	6.0	42.0	104	0.57692		9	#N/D	89	0.67416	
12	15:24:38	00:00:04	4.0	46.0	102	0.58824		10	#N/D	89	0.67416	
13	15:24:44	00:00:06	6.0	52.0	111	0.54054		11	#N/D	89	0.67416	
14	15:24:50	00:00:06	6.0	58.0	113	0.53097		12	97	97	0.61856	
15	15:24:53	00:00:03	3.0	61.0	108	0.55556		13	#N/D	97	0.61856	
16	15:24:59	00:00:06	6.0	67.0	105	0.57143		14	#N/D	97	0.61856	
17	15:25:05	00:00:06	6.0	73.0	104	0.57692		15	#N/D	97	0.61856	
18	15:25:08	00:00:03	3.0	76.0	104	0.57692		16	94	94	0.6383	
19	15:25:14	00:00:06	6.0	82.0	102	0.58824		17	#N/D	94	0.6383	
20	15:25:20	00:00:06	6.0	88.0	103	0.58252		18	#N/D	94	0.6383	
21	15:25:23	00:00:03	3.0	91.0	103	0.58252		19	#N/D	94	0.6383	
22	15:25:29	00:00:06	6.0	97.0	106	0.56604		20	#N/D	94	0.6383	
23	15:25:35	00:00:06	6.0	103.0	108	0.55556		21	90	90	0.66667	
24	15:25:38	00:00:03	3.0	106.0	112	0.53571		22	#N/D	90	0.66667	
25	15:25:44	00:00:06	6.0	112.0	115	0.52174		23	#N/D	90	0.66667	

Figura 35 - Calcolo RRI nel file .csv

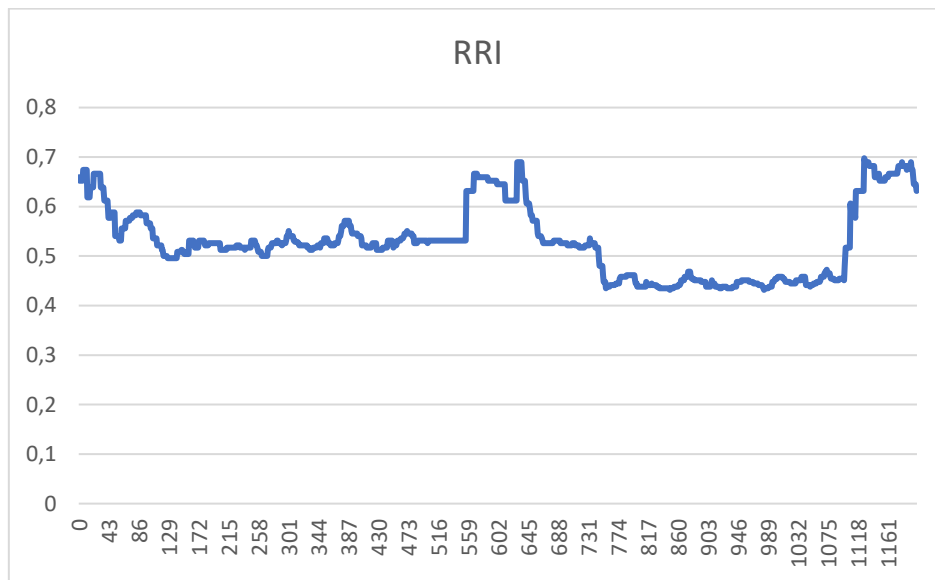


Figura 36 - Andamento RRI nel tempo del Test 1

- Calcolare l'indice del rapporto di stress ed effettuare il rapporto Indice/15, per trovare il livello di stress misurato, secondo le fasce precedentemente esposte

	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	ORA	DELTAT	DELTA T (s)	TEMPO (s)	HRV	RRI		DELTA T (s)	HRV	HRV inter.	RRI	RRI MAX	INDICE	indice/15	LIVELLO
2	15:23:52		0.0	0.0	91	0.65934		0	91		0.65934	0.69767	$\frac{1-0.69767}{1-0.65934}$	0.3663	BASSO
3	15:23:53	00:00:01	1.0	1.0	92	0.65217		1	92		0.65217		6.52174	0.43478	BASSO
4	15:23:58	00:00:05	5.0	6.0	89	0.67416		2	#N/D		0.65217		6.52174	0.43478	BASSO
5	15:24:04	00:00:06	6.0	12.0	97	0.61856		3	#N/D		0.65217		6.52174	0.43478	BASSO
6	15:24:08	00:00:04	4.0	16.0	94	0.6383		4	#N/D		0.65217		6.52174	0.43478	BASSO
7	15:24:13	00:00:05	5.0	21.0	90	0.66667		5	#N/D		0.65217		6.52174	0.43478	BASSO
8	15:24:22	00:00:09	9.0	30.0	90	0.66667		6	89		0.67416		3.37079	0.22472	BASSO
9	15:24:23	00:00:01	1.0	31.0	94	0.6383		7	#N/D		0.67416		3.37079	0.22472	BASSO
10	15:24:28	00:00:05	5.0	36.0	98	0.61224		8	#N/D		0.67416		3.37079	0.22472	BASSO
11	15:24:34	00:00:06	6.0	42.0	104	0.57692		9	#N/D		0.67416		3.37079	0.22472	BASSO
12	15:24:38	00:00:04	4.0	46.0	102	0.58824		10	#N/D		0.67416		3.37079	0.22472	BASSO
13	15:24:44	00:00:06	6.0	52.0	111	0.54054		11	#N/D		0.67416		3.37079	0.22472	BASSO
14	15:24:50	00:00:06	6.0	58.0	113	0.53097		12	97		0.61856		11.3402	0.75601	BASSO
15	15:24:53	00:00:03	3.0	61.0	108	0.55556		13	#N/D		0.61856		11.3402	0.75601	BASSO
16	15:24:59	00:00:06	6.0	67.0	105	0.57143		14	#N/D		0.61856		11.3402	0.75601	BASSO
17	15:25:05	00:00:06	6.0	73.0	104	0.57692		15	#N/D		0.61856		11.3402	0.75601	BASSO
18	15:25:08	00:00:03	3.0	76.0	104	0.57692		16	94		0.6383		8.51064	0.56738	BASSO
19	15:25:14	00:00:06	6.0	82.0	102	0.58824		17	#N/D		0.6383		8.51064	0.56738	BASSO
20	15:25:20	00:00:06	6.0	88.0	103	0.58252		18	#N/D		0.6383		8.51064	0.56738	BASSO
21	15:25:23	00:00:03	3.0	91.0	103	0.58252		19	#N/D		0.6383		8.51064	0.56738	BASSO
22	15:25:29	00:00:06	6.0	97.0	106	0.56604		20	#N/D		0.6383		8.51064	0.56738	BASSO
23	15:25:35	00:00:06	6.0	103.0	108	0.55556		21	90		0.66667		4.44444	0.2963	BASSO
24	15:25:38	00:00:03	3.0	106.0	112	0.53571		22	#N/D		0.66667		4.44444	0.2963	BASSO
25	15:25:44	00:00:06	6.0	112.0	115	0.52174		23	#N/D		0.66667		4.44444	0.2963	BASSO

Figura 37 - Calcolo Indice di stress nel file .csv

Secondo quanto emerge con questo metodo, il livello di stress si mantiene per lo più nella fascia “alta” o “media”: si riscontra un intervallo di tempo, dal secondo 747 al 1099, corrispondente al periodo 15:36:19 - 15:42:11, in cui lo stress è considerato “elevato”. Tale spazio temporale coincide con l’attraversamento della rotatoria e parte del viale tra Viale Luigi Cadorna e Viale Giuseppe Borri.

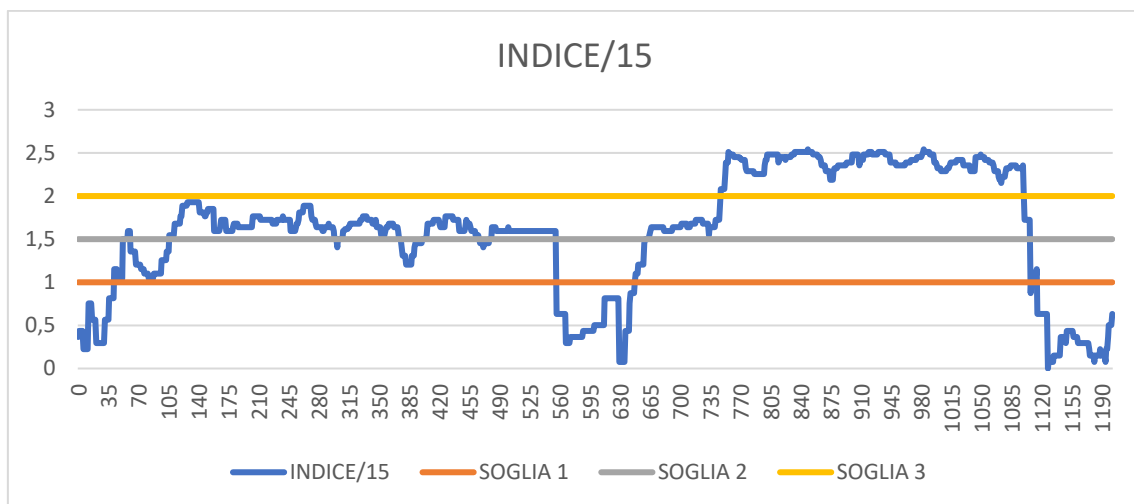


Figura 38 - Andamento Indice di stress nel tempo del Test 1



Figura 39 - Individuazione spaziale della fascia elevata di stress

Applicando il secondo metodo, si calcola il rapporto LF/HF che meglio può rappresentare, secondo varie documentazioni, il livello di stress di un conducente. Utilizzando il codice Python e i passaggi appena esposti, viene identificato tale parametro: in questo caso, prima di effettuare la prova, andrà eseguita una misurazione a riposo per circa 6 minuti, da cui si ricaverà il rapporto LF/HF a riposo. Per questo dato, infine, si calcolano la media e la deviazione standard, in modo da identificare i valori di soglia del livello di stress.

MATR.PR...		=SE(I3<=\$V\$3;"BASSO";SE(I3<\$W\$3;"MEDIO";"ALTO"))																	
	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	
1	MISURE PROVA A PIEDI				MISURE A RIPOSO														
2	DELTA T (s)	HRV	RRI	LF/HF		TEMPO	rate	rateZone		TEMPO	HRV	RRI	LF/HF	X	DEV	X-DEV	X+DEV	LIVELLO	
3	0	91	0.65934	0.46873		0	70	36%		0	70	0.85714	1.1548	1.348	1.07301	0.27499	2.42102	=SE(I3<=\$	
4	1	92	0.65217	0.46873		7	77	40%		1	70	0.85714	1.1548					MEDIO	
5	2	92	0.65217	0.46873		14	73	38%		2	70	0.85714	1.1548					MEDIO	
6	3	92	0.65217	0.46873		17	50	26%		3	70	0.85714	1.1548					MEDIO	
7	4	92	0.65217	0.46873		23	55	28%		4	70	0.85714	1.1548					MEDIO	
8	5	92	0.65217	0.46873		30	73	38%		5	70	0.85714	1.1548					MEDIO	
9	6	89	0.67416	0.46873		35	75	39%		6	70	0.85714	1.1548					MEDIO	
10	7	89	0.67416	0.46873		43	76	40%		7	77	0.77922	1.1548					MEDIO	
11	8	89	0.67416	0.46873		52	75	39%		8	77	0.77922	1.1548					MEDIO	
12	9	89	0.67416	0.46873		58	78	41%		9	77	0.77922	1.1548					MEDIO	
13	10	89	0.67416	0.77373		65	78	41%		10	77	0.77922	1.42826					MEDIO	
14	11	89	0.67416	0.77373		69	78	41%		11	77	0.77922	1.42826					MEDIO	
15	12	97	0.61856	0.77373		78	81	42%		12	77	0.77922	1.42826					MEDIO	
16	13	97	0.61856	0.77373		86	81	42%		13	77	0.77922	1.42826					MEDIO	
17	14	97	0.61856	0.77373		87	83	43%		14	73	0.82192	1.42826					MEDIO	
18	15	97	0.61856	0.77373		93	77	40%		15	73	0.82192	1.42826					MEDIO	
19	16	94	0.6383	0.77373		100	78	41%		16	73	0.82192	1.42826					MEDIO	
20	17	94	0.6383	0.77373		104	73	38%		17	50	1.2	1.42826					MEDIO	
21	18	94	0.6383	0.77373		110	82	43%		18	50	1.2	1.42826					MEDIO	
22	19	94	0.6383	0.77373		117	78	41%		19	50	1.2	1.42826					MEDIO	
23	20	94	0.6383	3.02508		122	81	42%		20	50	1.2	2.32519					ALTO	
24	21	90	0.66667	3.02508		130	67	35%		21	50	1.2	2.32519					ALTO	
25	22	90	0.66667	3.02508		137	65	34%		22	50	1.2	2.32519					ALTO	

Figura 40 - Calcolo media e deviazione standard di LF/HF nella fase di riposo del Test 1

Dal grafico seguente si evince un unico picco durante il percorso, dopo 22 secondi, corrispondente all'attraversamento pedonale in Corso XX Settembre che, sia durante il test sia in generale, deve essere percorso con molta attenzione a causa dell'elevata lunghezza e del traffico intenso.

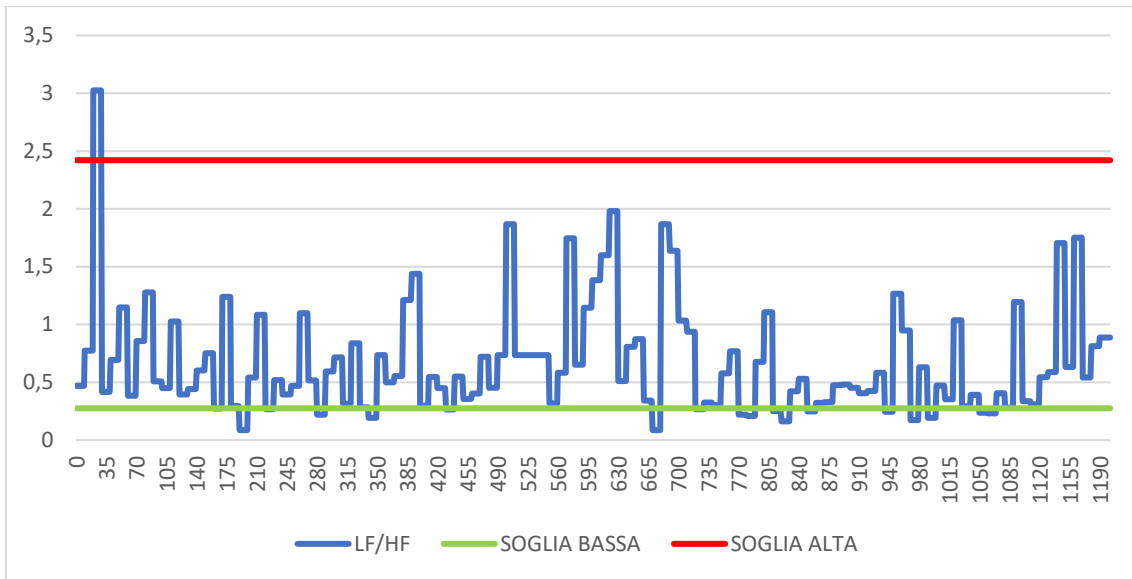


Figura 41 - Andamento del rapporto LF/HF nel tempo del Test 1



Figura 42 - Individuazione spaziale del picco di LF/HF del Test 1

Dall'analisi di entrambi i metodi, si evince l'invalidità del primo, come verrà confermato dalle altre prove effettuate: la prima cosa evidente che emerge è il fatto che i due picchi rilevati dai due metodi non coincidono. Per valutare quale dei due è corretto, si può analizzare lo spazio temporale e spaziale in cui vengono riscontrati: per tale motivo viene illustrata una tabella riassuntiva.

PICCO	METODO 1 – Indice di stress	METODO 2 – Rapporto LF/HF
TEMPO	Avviene verso la fase finale del percorso	Avviene durante la fase iniziale del percorso
SPAZIO	Avviene percorrendo una rotonda e gran parte di un lungo viale rettilineo	Avviene durante un attraversamento pedonale nel mezzo del traffico
DURATA	352 secondi	8 secondi

Tabella 13 - Confronto metodo 1 e 2 nel Test 1

A fronte di tale paragone, due fattori sottolineano l'inefficienza del primo metodo. Il primo riguarda l'aspetto temporale: che l'indice del rapporto di stress sia elevato per quasi 6 minuti, soprattutto verso la fine della prova, probabilmente indica il fatto che tale parametro non rappresenti l'andamento dello stress, ma dell'affaticamento dell'utente. Al contrario, nel caso del secondo metodo, il rapporto LF/HF ha un picco della durata di 8 secondi, all'inizio del test, quindi indipendente dallo stato di fatica della persona. Inoltre, anche il fattore spaziale conferma ciò: ottenere un picco durante l'attraversamento pedonale ad intenso traffico è molto più plausibile che registrarlo durante la camminata sul marciapiede in un viale rettilineo.

Nelle prove successive emergeranno ugualmente ulteriori incongruenze che porteranno alla scelta del secondo metodo, ovvero dell'utilizzo del parametro LF/HF per poter rappresentare al meglio l'andamento dello stress del conducente.

2.4.2 Test 2

La prova effettuata è stata svolta il 24 Aprile 2022 presso una strada comunale di Busto Arsizio, a partire dalle 12:28:03, per una durata di circa 8 minuti: il percorso eseguito parte dalla Farmacia "Farmadue", in Viale Vittorio Alfieri 5, dove l'automobile è parcheggiata e deve ripartire, fino al ristorante "Radici", in Via Antonio Pozzi 15b, in cui l'auto viene riportata all'interno di uno stallo.



Figura 43 - Individuazione di inizio e fine percorso del Test 2

Registrando la frequenza cardiaca, è possibile applicare i due metodi presentati e, anche in questo caso, si evidenziano i limiti del primo metodo.

Secondo il metodo dell'indice del rapporto di stress, tale indice è stato calcolato utilizzando l'equazione analitica esposta nel paragrafo 2.2, grazie alle misurazioni della

frequenza cardiaca. Applicando gli intervalli di soglia, si evidenzia quando il livello di stress è basso o elevato.

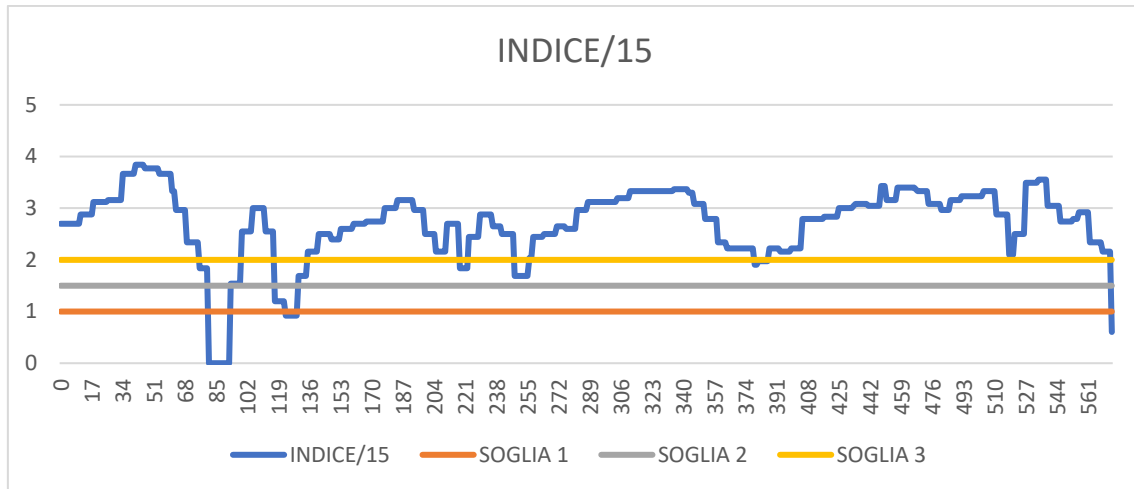


Figura 44 - Andamento Indice del rapporto di stress nel tempo del Test 2

Seguendo tale metodologia, si evince, come ulteriore controprova, l'invalidità di tale sistema: applicando le soglie dichiarate dagli autori di [34], si riscontra come quasi per tutto il tempo, ad eccezione dei bassi valori di frequenza cardiaca, il livello di stress è considerato "elevato", cioè supera la Soglia 3 del grafico. Di conseguenza, non è possibile identificare alcuna zona precisa da indagare, in quanto l'intero percorso risulterebbe essere pericoloso e caratterizzato da un livello eccessivo di stress: ciò non è possibile dato che la percezione di guida non è concorde con tale prodotto e, inoltre, i risultati sono discordi con il secondo metodo.

Infatti, applicando il metodo del rapporto LF/HF, è possibile rappresentare l'andamento dello stress del conducente in modo veritiero.

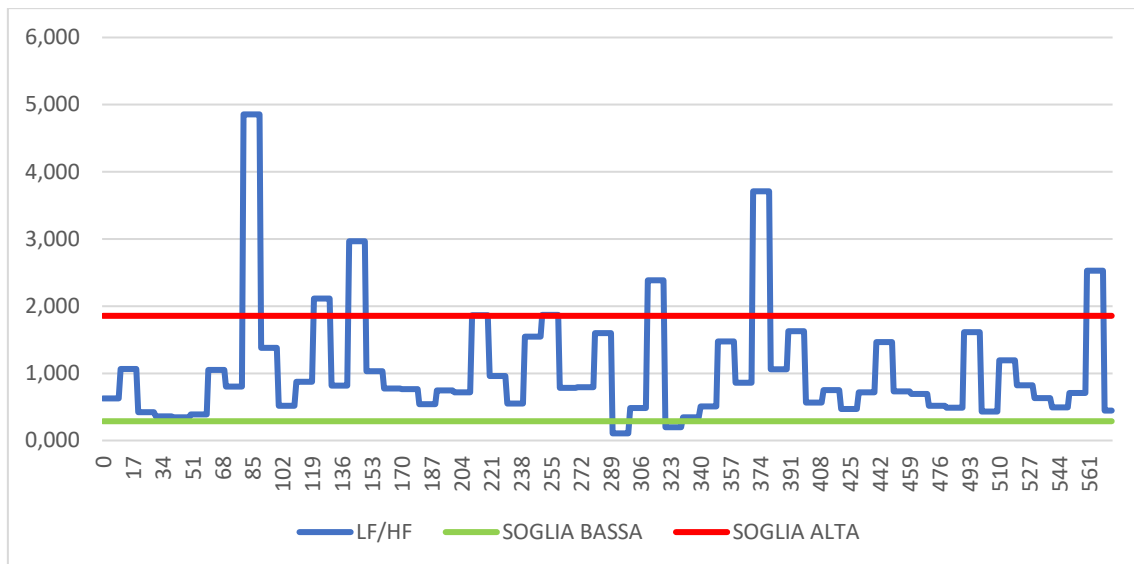


Figura 45 - Andamento del rapporto LF/HF nel tempo del Test 2

Al secondo 81, alle 12:29:13, viene riscontrato l'inizio di un primo picco del rapporto LF/HF nel momento in cui il conducente entra, percorre e fuoriesce da una rotatoria urbana che, al momento del test, era caratterizzata da traffico modesto.

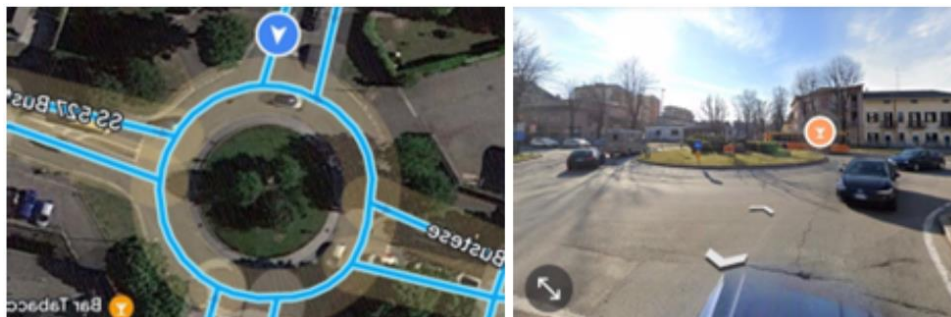


Figura 46 - Picco secondo 81 del Test 2

Rispettivamente al secondo 120 e 140 vengono riscontrati due ulteriori picchi di stress causati dall'avvicinamento e passaggio della rotatoria in Viale Giuseppe Borri: tale rotatoria è impegnativa da percorrere, date le sei strade che vi si incontrano. Per questo motivo è sede di numerosi incidenti: nella Figura 46, è stato immortalato un sinistro, appena avvenuto, tra un'automobile e un monopattino elettrico. Indagando l'accaduto è emerso come il monopattino, proveniente da Via Ludovico Antonio Muratori, percorrendo la rotatoria in maniera imprudente, si sia scontrato con l'automobile che si stava dirigendo in Viale Luigi Cadorna.



Figura 47 - Picco secondo 120 e 140 del Test 2



Figura 48 - Rilevamento incidente nella Rotatoria di Viale Virgilio

Alle 12:32:27, quindi al secondo 310, è stato registrato un ulteriore incremento dello stress del conducente in quanto quest'ultimo, a causa del cambio semaforo verde-giallo, ha dovuto frenare improvvisamente, per evitare la percorrenza illegale dell'intersezione.



Figura 49 - Picco secondo 310 del Test 2

Infine, gli ultimi due picchi del rapporto LF/HF, registrati al secondo 370 e 560, riguardano rispettivamente l'attraversamento dell'intersezione in Viale Luigi Cadorna e la rotatoria finale in Viale Duca D'Aosta, nel pieno centro della città.

Secondo il percorso geometrico e le sensazioni del conducente, il punto più critico da aspettarsi sarebbe l'intersezione tra la strada comunale e la statale SS 527 Bustese, a causa dell'elevato traffico presente su tale via.

I risultati dell'applicazione del metodo dell'indice del rapporto di stress sono rappresentati nel grafico seguente.

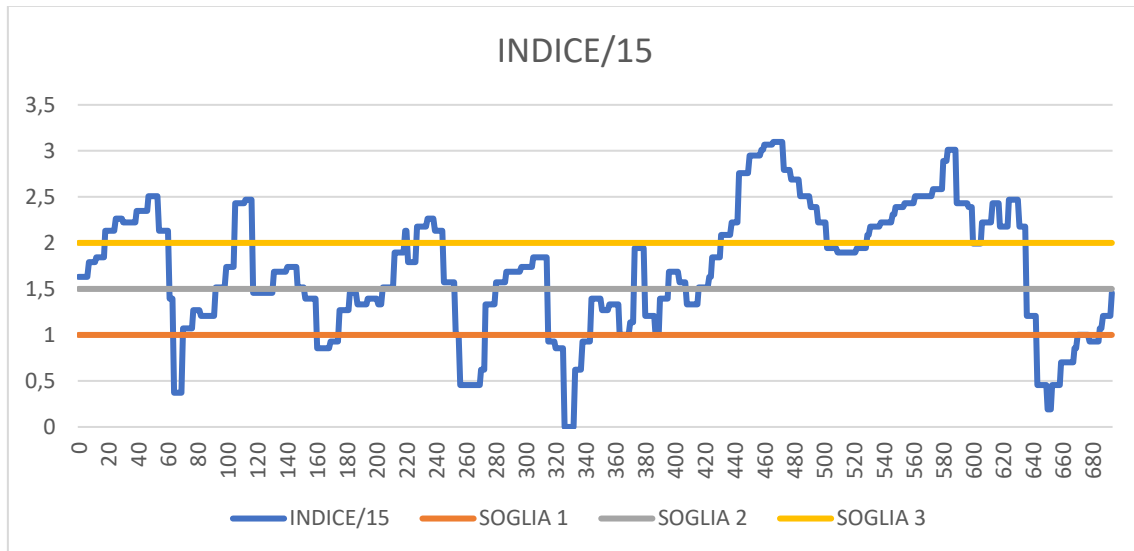


Figura 52 - Andamento Indice di stress nel tempo del Test 3

Dai dati emerge che più del 60% del percorso è caratterizzato da un livello di stress “alto” o “elevato”: di conseguenza, si evince lo stesso problema riscontrato nel Test 2. Inoltre, il fatto che nella parte finale della prova venga registrata una fascia elevata di stress è indice della fatica del conducente, dato il progredire del test.

Invece, attuando il secondo metodo, basato sul rapporto LF/HF, è possibile identificare due picchi principali al secondo 130 e successivamente 160.

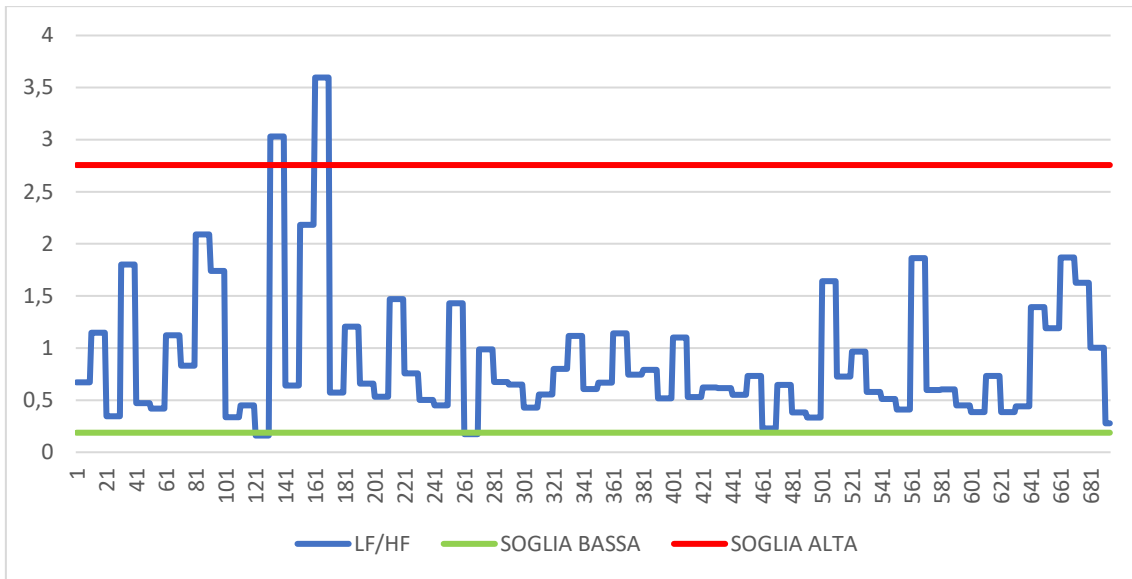


Figura 53 - Andamento del rapporto LF/HF nel tempo del Test 3

Alle 16:34:48 è possibile identificare un primo picco corrispondente ad un'intersezione presidiata dal segnale di stop: tale risultato è lecito in quanto il conducente si trovava in un punto in cui la guida deve essere condotta con la massima prudenza. Quindi, in questo caso, emerge il fatto che un elevato livello di stress non è sempre negativo, ma permette l'aumento dell'attenzione di guida.

Dopo circa 30 secondi è possibile registrare un secondo picco: in quell'istante il semaforo, che governa l'intersezione tra Via del Bosco e la SS 527 Bustese, si trovava in condizione di "verde" e il traffico della strada statale era abbastanza intenso. Inoltre, il conducente deve affrontare una svolta a sinistra che, di consuetudine, viene considerata una delle azioni più pericolose durante la guida.

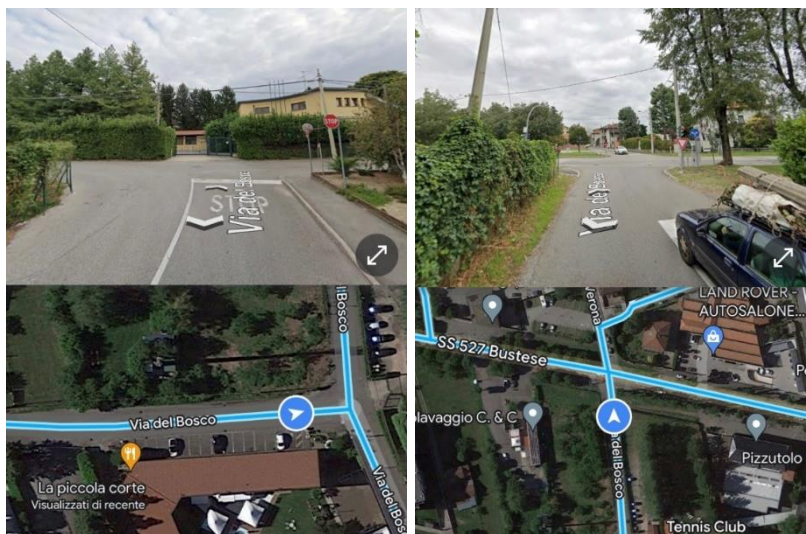


Figura 54 - Picco secondo 130 e 169 del Test 3

2.4.4 Test 4

Le successive tre prove sono state effettuate a Parma il 7 Maggio 2022, alle 10:56:58, attraverso l'utilizzo del monopattino TIER, disponibile per gli spostamenti in tale città.

Il primo test è stato eseguito percorrendo una strada comunale, con partenza e arrivo in Via Massimo D'Azeglio: l'immagine seguente illustra il tragitto realizzato, con il pallino verde che indica il punto di partenza, mentre quello rosso definisce l'arrivo.

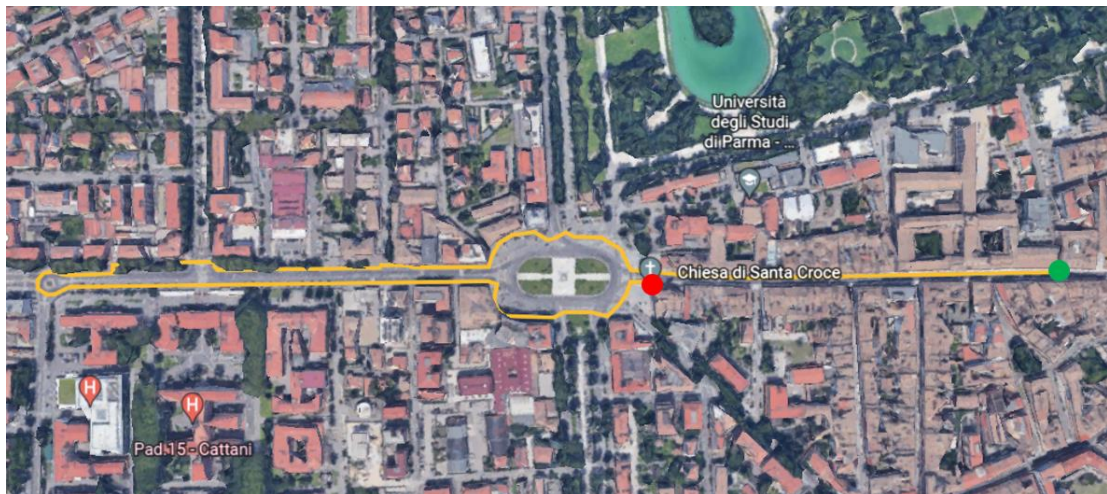


Figura 55 - Percorso del Test 4

Il primo metodo evidenzia tre situazioni di stress alto/elevato. Dal secondo 80 al 220, l'indice di stress è considerato "alto", con un picco "elevato" della durata di 34 secondi: tale risultato corrisponde al passaggio del conducente dalla strada principale alla pista ciclabile e alla percorrenza di quest'ultima. Bisogna sottolineare che, durante la prova, in quel momento non vi era presente alcuna situazione di traffico: da ciò si deduce l'invalidità di tale picco poiché il conducente, essendo su una pista ciclabile, acquisiva più sicurezza nella guida.

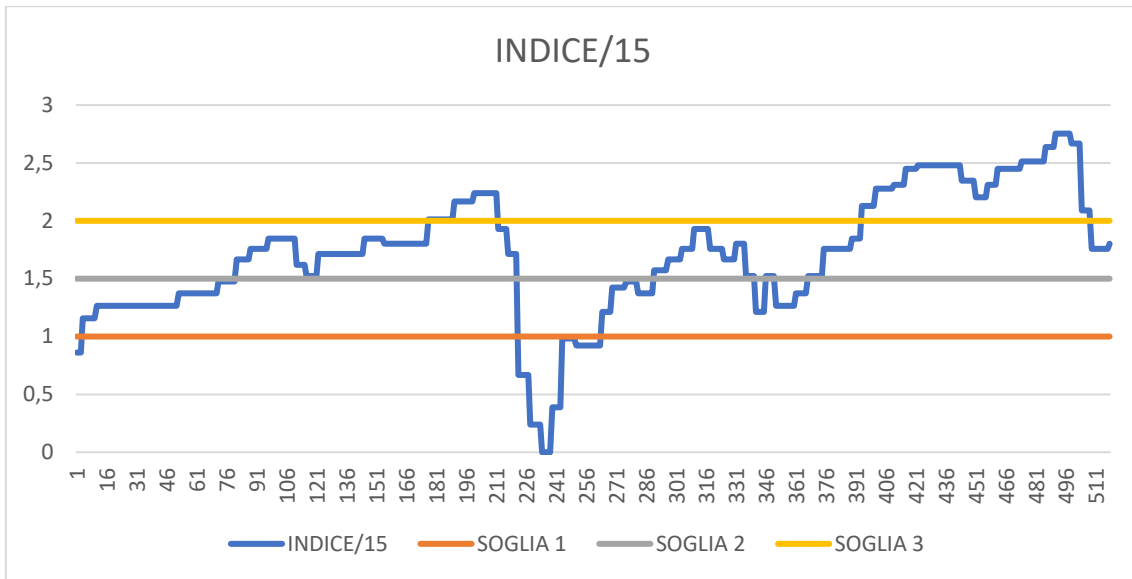


Figura 56 - Andamento Indice di stress nel tempo del Test 4



Figura 57 - Picco secondo 80 del Test 4 (Approccio 1)

Dal secondo 292 al 342 si registra una situazione di stress “alto” durante la guida in Via Antonio Gramsci, a causa dell’eterogeneità e delle diverse velocità dei veicoli presenti. Infine, dalle 11:02:10 si individua, fino al termine della prova, una fascia di stress elevato: questo picco non è veritiero in quanto il conducente stava effettuando la propria guida lungo il marciapiede pedonale, in assenza di traffico.



Figura 58 - Picco secondo 292 del Test 4 (Approccio 1)

Invece, i risultati della seconda prova, col metodo del rapporto LF/HF, evidenzia tre picchi.

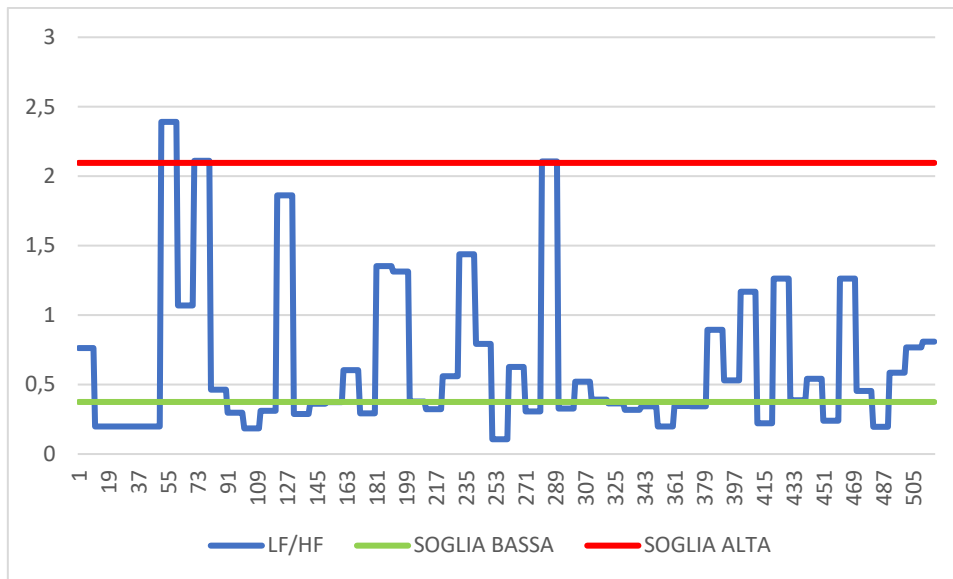


Figura 59 - Andamento del rapporto LF/HF nel tempo del Test 4

Il primo picco corrisponde al secondo 50, per una durata di 9 secondi, durante il quale il conducente è stato costretto a controllare la velocità e il percorso, a causa di veicoli in sosta in seconda fila. Mentre, il secondo picco (dal secondo 70 a 79) è concorde, in parte, alla situazione rilevata col primo metodo, corrispondendo al momento preciso di ingresso sulla pista ciclabile, quindi al passaggio dalla strada principale alla pista.



Figura 60 - Picco secondo 50 del Test 4

Infine, al secondo 280 viene registrato un ultimo picco, corrispondente all'attraversamento da parte del conducente della rotonda, per invertire il senso di marcia.



Figura 61 - Picco secondo 280 del Test 4

2.4.5 Test 5

La seconda prova effettuata inizia alle 11:05:12 da Via Massimo D’Azeglio e termina alle 11:09:27 in Via Giuseppe Mazzini. Dopo aver calcolato la variabilità della frequenza cardiaca, sono stati applicati i due metodi esposti.

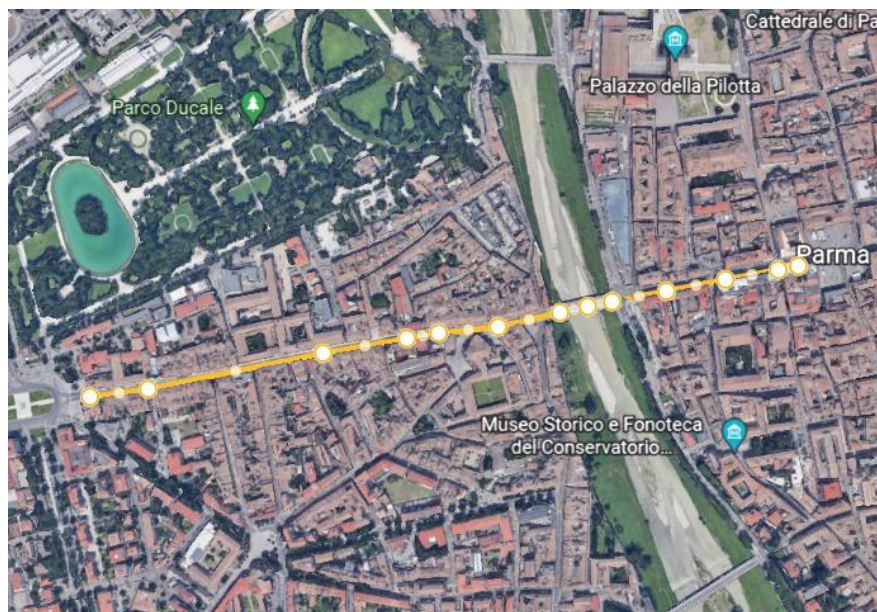


Figura 62 - Percorso del Test 5

Col primo metodo emerge una fascia, tra il secondo 117 e 212, in cui il livello dell’indice di stress è considerato “elevato”: la situazione in esame corrisponde alla marcia del conducente lungo il rettilineo di Via Massimo D’Azeglio. Di conseguenza, rispetto anche alla percezione del conducente, è un falso stress, in quanto l’eventuale traffico aspettato era assente.

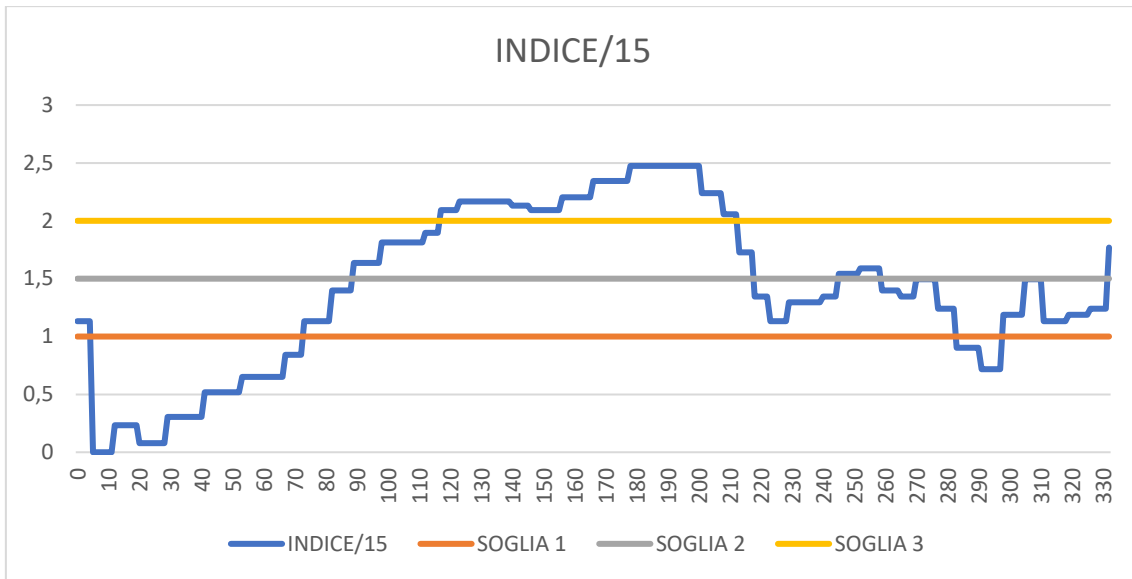


Figura 63 - Andamento Indice dello stress nel tempo del Test 5



Figura 64 - Picco secondo 117 del Test 5

Utilizzando invece il secondo metodo, si registrano tre picchi principali. Tra l'intervallo 10 s – 29 s e 40 s – 49 s, vengono individuati due picchi corrispondenti al superamento di alcune macchine in sosta in doppia fila, che creano disagio al conducente: si sottolinea che Via Massimo D'Azeglio è una strada a due corsie abbastanza stretta che, quindi, in questo tipo di situazione, costringe il conducente ad avvicinarsi/invadere la corsia opposta, con la tensione dell'arrivo dei veicoli.

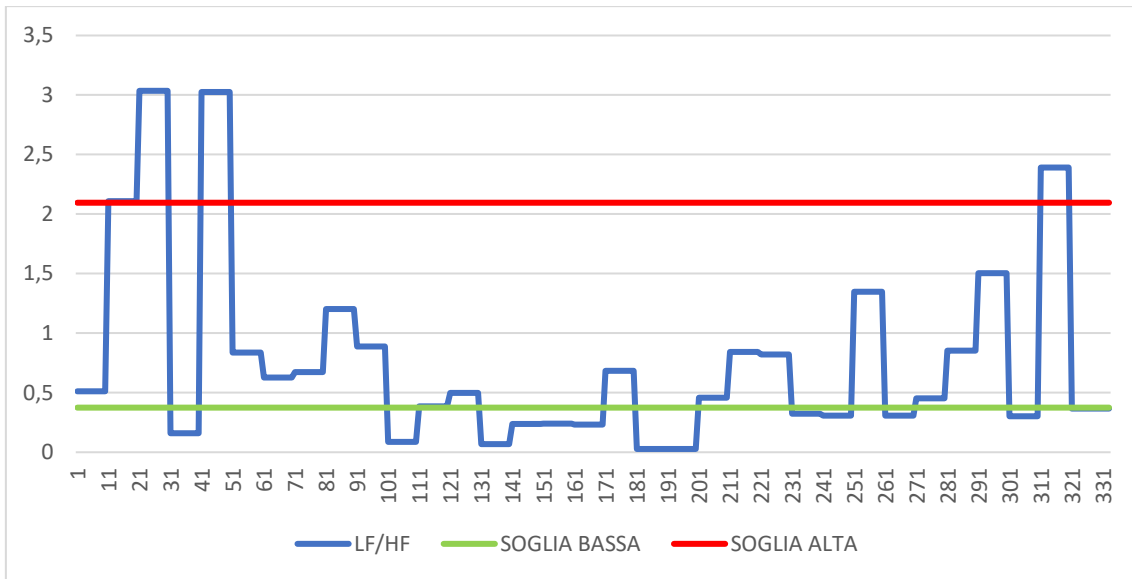


Figura 65 - Andamento del rapporto LF/HF nel tempo del Test 5

L'ultimo picco viene registrato al secondo 310, per una durata di 9 secondi: il conducente stava attraversando un'intersezione semaforica nel centro cittadino, circondato da intenso traffico. Al momento della prova, il semaforo corrispondente si trovava nella situazione di via libera, inducendo gli utenti ad accelerare.



Figura 66 - Picco secondo 310 del Test 5

2.4.6 Test 6

Infine, è stata eseguita un'ultima prova col monopattino, dalle 11:11:42 alle 11:19:58, da Piazza Garibaldi a Via Massimo D'Azeglio, in cui il monopattino è stato parcheggiato definitivamente.



Figura 67 - Percorso del Test 6

Il primo metodo evidenzia come, per quasi tutti i secondi della prova, l'indice di stress è considerato "alto" o "elevato": questo problema è già emerso nelle prove precedenti, rendendo impossibile l'individuazione di zone precise di stress.

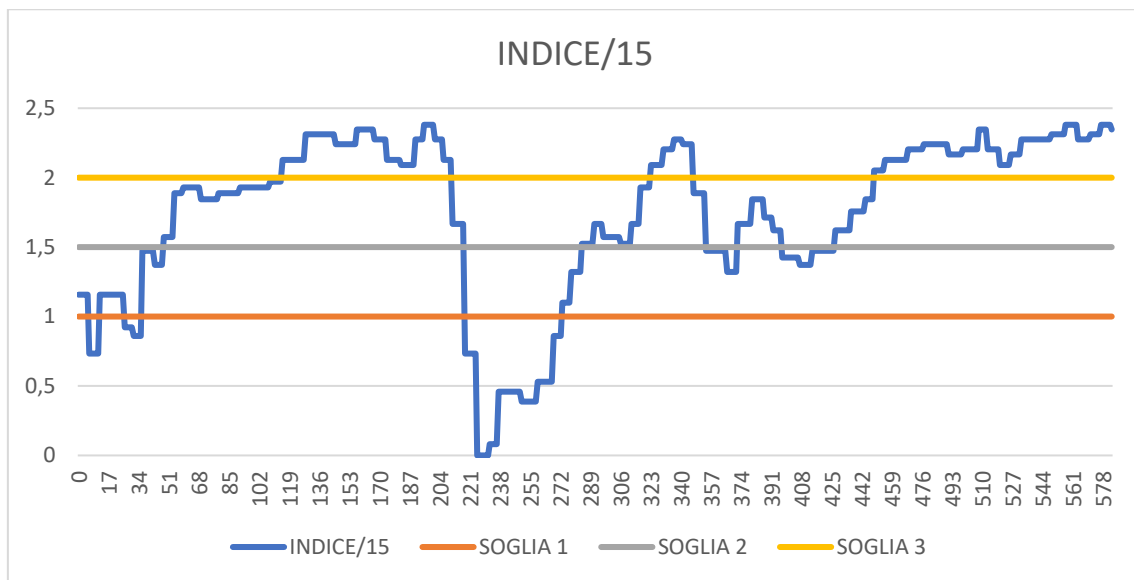


Figura 68 - Andamento Indice di stress nel tempo del Test 6

Invece, il metodo del rapporto LF/HF individua un picco ben marcato al secondo 250: il conducente si ritrovava a percorrere una rotatoria nel mezzo del traffico del centro cittadino. L'utente, a fine prova, ha sottolineato come la strettezza della strada sia causa di inadeguatezza e disagio rispetto agli altri veicoli.

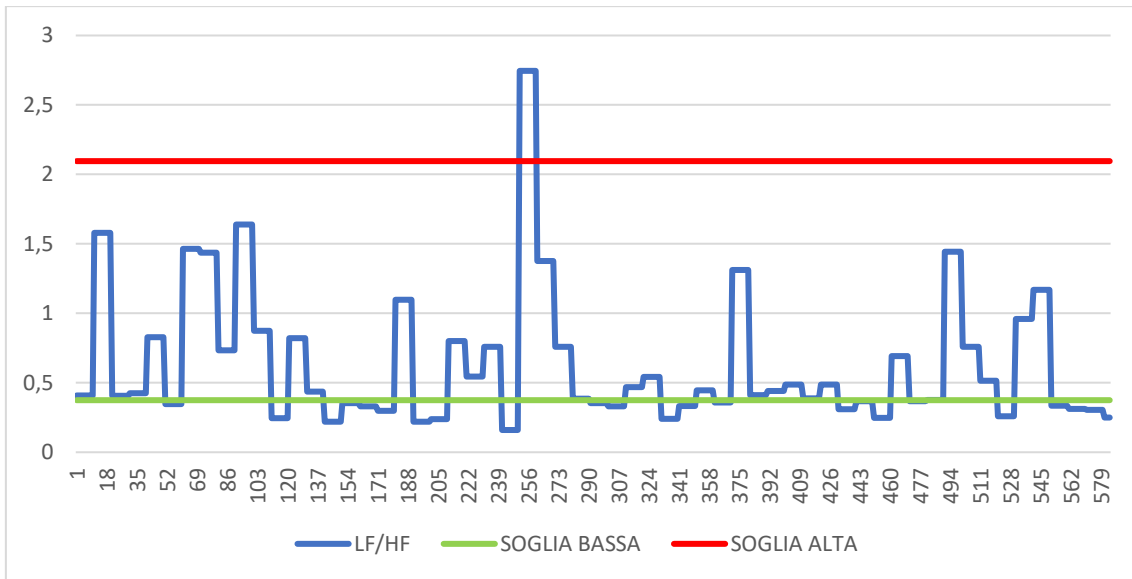


Figura 69 - Andamento del rapporto LF/HF nel tempo del Test 6



Figura 70 - Picco secondo 250 del Test 6

In conclusione, anche dalle tre prove effettuate col monopattino si evince l'inefficacia del primo metodo.

2.4.7 Conclusioni

Per esplicitare la scelta del metodo da utilizzare durante l'esperimento ufficiale, viene illustrata una tabella riassuntiva delle sei prove effettuate, evidenziando i risultati emersi da entrambi i metodi.

PROVA	APPROCCIO 1 – INDICE	APPROCCIO 2 – LF/HF
TEST 1	Stress alto/elevato durante gran parte del test, soprattutto nella parte finale, dove si percorre una rotonda e un viale alberato	Picco di stress nella fase iniziale, durante un lungo attraversamento pedonale nel mezzo di un'intersezione stradale
TEST 2	Stress elevato per l'intero tragitto, senza aver la possibilità di identificare una zona precisa	Rilevamento di tre picchi di stress dovuti ad alcune rotonde e un picco causato per un'intersezione stradale
TEST 3	Stress alto/elevato per circa il 60% del percorso	Picchi di stress registrati a causa di uno stop e un'intersezione
TEST 4	Stress elevato durante la guida sulla pista ciclabile o sul marciapiede pedonale	Rilevamento di tre picchi di stress dovuti al superamento di automobili in sosta, all'ingresso nella pista ciclabile e alla rotonda
TEST 5	Stress elevato lungo una strada in rettilineo, in assenza di traffico	Rilevamento di tre picchi di stress dovuti al superamento di automobili in sosta e attraversamento di un'intersezione semaforica
TEST 6	Stress alto/elevato per l'intero tragitto, senza aver la possibilità di identificare una zona precisa	Picco di stress dovuto all'attraversamento di una rotonda nel centro cittadino

Tabella 14 - Confronto Metodo 1 e Metodo 2 nelle prove di validazione

L'incongruenza tra i risultati dei due metodi e le ragioni esplicate in precedenza, durante la descrizione delle prove, hanno stabilito che il primo metodo non è efficace per la misurazione dello stress, in quanto risulta rappresentare il livello di fatica del conducente. Inoltre, analizzando i dati, si evince che l'indice di stress, con l'espressione analitica definita in [34], sia un'amplificazione della variabilità della frequenza cardiaca (HRV), per marcare meglio i minimi e i massimi. Questo è il motivo fondamentale che ha permesso di scegliere, come criterio principale per l'esperimento ufficiale di tale elaborato, il metodo del rapporto LF/HF.

CAPITOLO 3 - Sperimentazione

In questo capitolo viene applicato sperimentalmente il metodo presentato nel capitolo precedente.

Viene descritto l'ambiente e le fasi della sperimentazione, per fornire le varie indicazioni per l'utilizzo dei dispositivi e dei mezzi.

Dopo aver raccolto i dati, in un primo momento si ricavano i valori di RRI e del rapporto LF/HF, calcolati durante il tempo della prova. Successivamente i dati vengono importati sul software QGIS, analizzando la correlazione con i dati incidentali. Infine, verranno studiati i punti di elevato stress, in modo tale da definirne una causa e, di conseguenza, una soluzione.

3.1 Start up

La sperimentazione ufficiale di tale elaborato è stata effettuata a Busto Arsizio, in quanto è stato possibile ricavare i dati incidentali della città che coinvolgono almeno un monopattino elettrico o una bicicletta.

Le indagini sono state effettuate da cinque utenti diversi, aventi le caratteristiche mostrate nella tabella successiva. Per validare i picchi di stress come segnali di zone pericolose, si è deciso di ripetere i test secondo gli attributi di ciascun conducente, nelle stesse condizioni della prima prova, per non alterare i risultati. Monopattino 2, 3 e 4 hanno ripetuto l'esperimento tre volte: in questo modo i livelli registrati corrisponderanno effettivamente a situazioni di stress dovute all'infrastruttura stradale o all'ambiente circostante, e non saranno relative alla mancata conoscenza della città o dell'utilizzo del veicolo.

UTENTE DELLA PROVA	CONOSCENZA BUSTO ARSIZIO	UTILIZZO MONOPATTINO	NUMERO PROVE
Monopattino 1	Residente a B.A.	Abituale	2
Monopattino 2	Nessuna	Mai	3
Monopattino 3	Residente a B.A.	Qualche volta	2
Monopattino 4	Residente a B.A.	Mai	3
Monopattino 5	Nessuna	Mai	3

Tabella 15 - Caratteristiche utenti delle prove in monopattino

Le prove sono state svolte nel periodo dal 27 maggio al 12 giugno 2022, proponendo due tragitti possibili, a seconda delle preferenze dell'utente:

- Percorso 1: il punto di partenza viene istituito presso la Stazione FS, mentre l'arrivo è determinato in Viale Boccaccio, presso la Parrocchia SS Apostoli Pietro e Paolo
- Percorso 2: il punto di partenza viene istituito presso la Stazione FS, mentre l'arrivo è determinato presso il parcheggio in Via Lodovico Antonio Muratori

Soltanto Monopattino 2 ha eseguito il Percorso 2, mentre tutti gli altri conducenti hanno effettuato il Percorso 1, che ha una durata di circa 32 minuti.

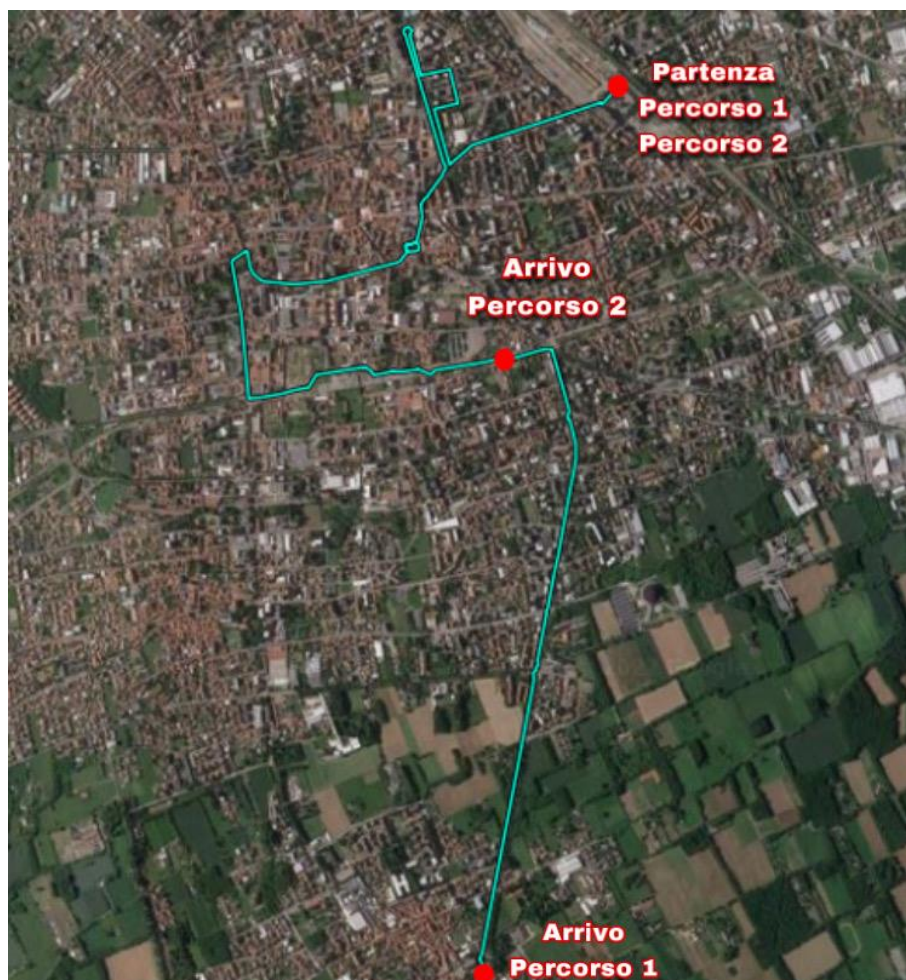


Figura 71 - Percorso 1 e Percorso 2 delle prove in monopattino

Innanzitutto, si è dotato il conducente di tutti gli strumenti necessari per compiere la prova: come citato nel paragrafo 2.1.1, si è scelto di utilizzare l'orologio Mi Band 2 per il monitoraggio della frequenza cardiaca, scaricando le applicazioni annesse (*Zepp Life* e *Tools&Mi Band*). Sono stati assegnati in dotazione, per garantire la sicurezza della prova, un caschetto e un giubbotto catarifrangente. Infine, ciascun utente è stato dotato di tre accessori tecnologici:

- Smartphone (Android) su cui viene scaricata l'applicazione *Tools&Mi Band* e viene connesso, tramite bluetooth, l'orologio
- Smartphone (Android o Iphone) su cui viene scaricata l'applicazione *Phyphox*, per registrare la posizione dell'utente durante la prova
- Go Pro Hero 4 Session per registrare video durante la prova

Tutti i test sono stati eseguiti attraverso un monopattino sharing Bit, poiché è l'unica tipologia presente a Busto Arsizio. Prima di ogni prova, l'utente ha mantenuto l'orologio al polso per circa 6 minuti per effettuare le misure a riposo.



Figura 72 - Orologio Mi Band, Go Pro Hero Session 4 e monopattino BIT per le prove

I conducenti si sono resi disponibili durante tutti i giorni dell'esperimento e dell'analisi dei dati, pronti a verificare e giustificare le informazioni ottenute dai monitoraggi.

3.2 Analisi dati biomedici

Gli utenti, che hanno effettuato le prove, si sono occupati dell'invio dei dati registrati al termine di ciascun test, in formato .csv, in modo tale da poter analizzare le informazioni ottenute.

Per completezza, si riportano i periodi temporali dei test effettuati: ciascun conducente ha effettuato le proprie prove nello stesso arco cronologico e spaziale, aiutando soprattutto chi non conosceva la città di Busto Arsizio.

MONOPATTINO 1	
PROVA 1	27/05/2022 – dalle 11:01:28 alle 11:31:26
PROVA 2	10/06/2022 – dalle 11:01:44 alle 11:29:51

MONOPATTINO 2	
PROVA 1	30/05/2022 – dalle 09:33:37 alle 09:51:10
PROVA 2	10/06/2022 – dalle 09:33:38 alle 09:50:19
PROVA 3	11/06/2022 – dalle 09:01:44 alle 09:17:42

MONOPATTINO 3	
PROVA 1	01/06/2022 – dalle 17:25:56 alle 17:55:17
PROVA 2	12/06/2022 – dalle 17:26:51 alle 17:55:16

MONOPATTINO 4	
PROVA 1	01/06/2022 – dalle 18:19:33 alle 18:50:55
PROVA 2	11/06/2022 – dalle 18:19:35 alle 18:50:49
PROVA 3	12/06/2022 – dalle 18:19:33 alle 18:49:53

MONOPATTINO 5	
PROVA 1	02/06/2022 – dalle 07:22:17 alle 07:47:24
PROVA 2	10/06/2022 – dalle 07:22:16 alle 07:46:52
PROVA 3	11/06/2022 – dalle 07:22:17 alle 07:47:00

Tabella 16 - Caratteristiche temporali delle cinque prove col monopattino

Nella tabella seguente si mostra un breve estratto dei dati ricavati dal file .csv, in cui vengono riportati la data, l'orario, la variabilità della frequenza cardiaca (HR), la distanza RRI e il parametro LF/HF, ricavato dal codice Python.

DATA	ORARIO	HRV	RRI	LF/HF
27/05/2022	11:01:35	78	0.769231	0.207133
27/05/2022	11:01:36	78	0.769231	0.207133
27/05/2022	11:01:37	78	0.769231	0.207133
27/05/2022	11:01:38	78	0.769231	0.705257
27/05/2022	11:01:39	78	0.769231	0.705257
27/05/2022	11:01:40	78	0.769231	0.705257
27/05/2022	11:01:41	96	0.625	0.705257
27/05/2022	11:01:42	96	0.625	0.705257
27/05/2022	11:01:43	96	0.625	0.705257
27/05/2022	11:01:44	96	0.625	0.705257
27/05/2022	11:01:45	96	0.625	0.705257
27/05/2022	11:01:46	96	0.625	0.705257
27/05/2022	11:01:47	89	0.674157	0.705257
27/05/2022	11:01:48	89	0.674157	0.88092

Tabella 17 - Estratto dati ricavati durante la prova

Per comprendere al meglio l'indagine effettuata, si riporta a scopo esplicativo l'analisi svolta per la prova 2 del conducente Monopattino 3, nel pomeriggio del 1° giugno. Per individuare i picchi di stress, bisogna riportare l'andamento del rapporto LF/HF nel tempo. Prima della prova viene eseguita una misurazione a riposo della frequenza cardiaca: ciò permette di identificare le soglie e, successivamente, gli eventuali picchi. Per individuare le soglie, come spiegato nel paragrafo 2.3, viene calcolata la media e la deviazione standard: in questo modo si ottengono i valori limite per l'individuazione di un livello di stress elevato, medio e basso. Ovviamente la calibrazione viene effettuata in modo separato per i diversi conducenti. Nell'esempio mostrato, è possibile individuare tre picchi relativi a un livello di stress elevato.

PROVA 2 A RIPOSO MONOPATTINO 3 (01/06/22)	
Media LF/HF a riposo [χ]	1.35
Deviazione standard LF/HF a riposo [σ]	1.07
Soglia bassa = $\chi - \sigma$	0.27
Soglia alta = $\chi + \sigma$	2.42

Tabella 18 - Estratto calcolo media e deviazione standard del rapporto LF/HF a riposo

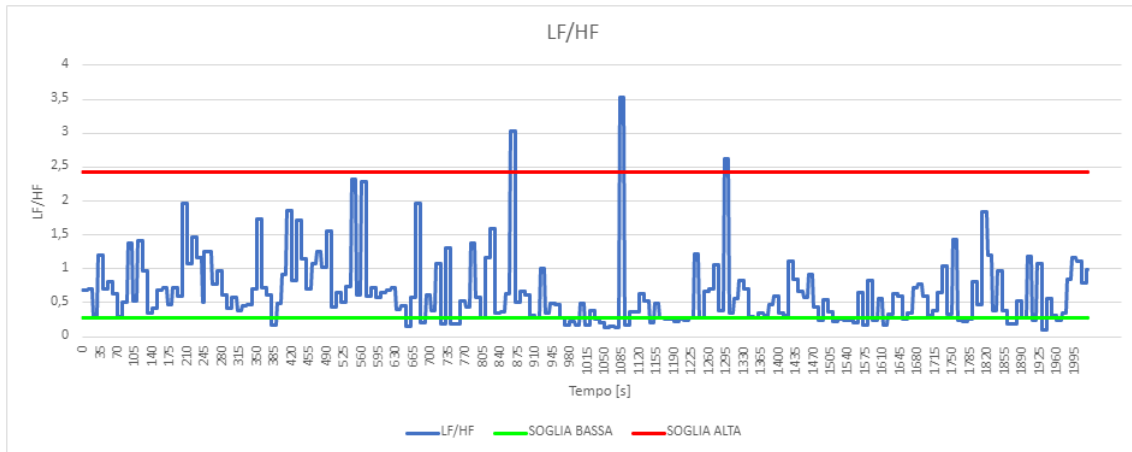


Figura 73 - Andamento del rapporto LF/HF nel tempo della prova 2 di Monopattino 3

3.3 Rappresentazione in QGIS

Come precedentemente esposto, dall'analisi della frequenza cardiaca si ottiene l'andamento del parametro LF/HF nel tempo. È possibile riportare anche lo sviluppo di tale indice nello spazio, riuscendo a farne una mappatura grazie alle immagini video registrate durante le prove. Di conseguenza, è stato possibile rappresentare su QGIS l'andamento del livello di stress.

In rapporto ai valori ottenuti dalla calibrazione a riposo, ogni simbolo è caratterizzato da una colorazione differente, utilizzando la scala di colori 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.

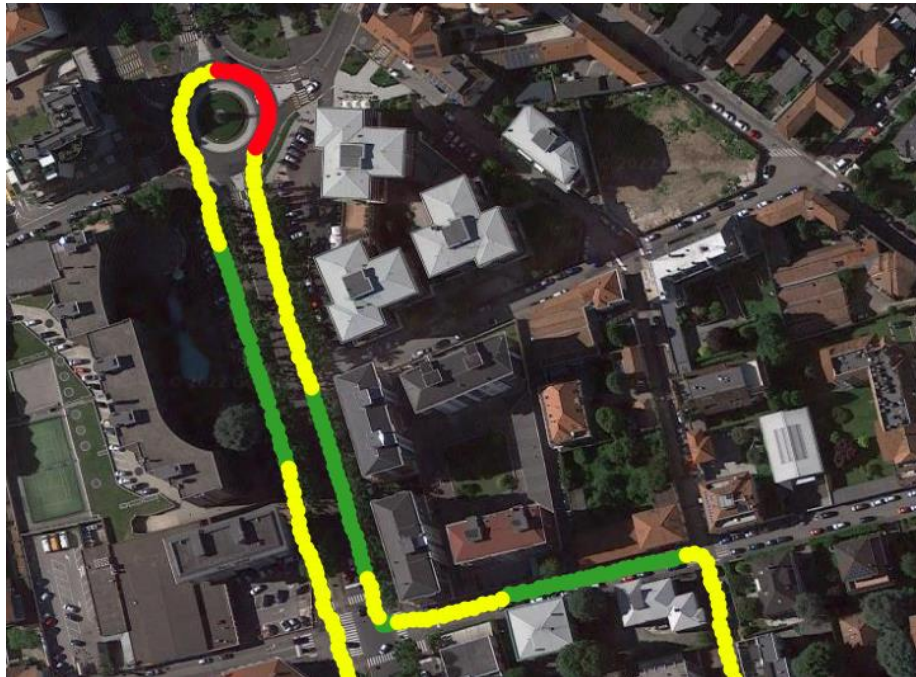


Figura 74 - Rappresentazione su QGIS dell'andamento del rapporto LF/HF







3.4 Elaborazione prove

Per ciascuna prova effettuata, attraverso il parametro LF/HF, è stato possibile individuare l'andamento dello stress del conducente e, in particolare, i picchi corrispondenti ad un livello elevato. Di seguito, si illustrano le aree in cui sono stati registrati gli apici del livello di stress e le relative motivazioni, grazie all'aiuto di video registrati e della disponibilità degli utenti.

Dato che, durante le prime prove, sono state identificate situazioni molto particolari (e rare) dovute all'inesperienza sul monopattino, si è deciso di effettuare più prove, come precedentemente spiegato.

MONOPATTINO 1 – LIVELLO ELEVATO DI STRESS		
PROVA	DOVE	PERCHÈ
Prova 1	Rotatoria di Viale Duca D'Aosta	
	Intersezione tra Via Ferrucci e Via Ugo Foscolo	
	Rotatoria tra Via Muratori e Viale Virgilio	
	Intersezione tra Viale Boccaccio e Via Lodi/Via C. Simone	
Prova 2	Viale Duca D'Aosta, dopo l'intersezione con Via G. Bosco	
	Intersezione tra Via Ferrucci e Via Ugo Foscolo	
	Rotatoria tra Via Muratori e Viale Virgilio	
	Intersezione tra Viale Boccaccio e Via Lodi/Via C. Simone	

MONOPATTINO 2 – LIVELLO ELEVATO DI STRESS		
PROVA	DOVE	PERCHÈ
Prova 1	Viale Duca D'Aosta, dopo l'intersezione con Via G. Bosco	
	Rotatoria Piazza Trento e Trieste	
	Intersezione tra Via Mazzini e Via Ugo Foscolo	
	Via Magenta	
	Via Vincenzo Monti	
	Intersezione tra Via Ferrucci e Via Ugo Foscolo	
Prova 2	Viale Duca D'Aosta, dopo l'intersezione con Via G. Bosco	
	Rotatoria Piazza Trento e Trieste	
	Via Magenta	
	Via Vincenzo Monti	
	Intersezione tra Via Ferrucci e Via Ugo Foscolo	
Prova 3	Viale Duca D'Aosta, dopo l'intersezione con Via G. Bosco	
	Rotatoria Piazza Trento e Trieste	
	Intersezione tra Via Magenta e Via Vincenzo Monti	
	Via Vincenzo Monti	
	Intersezione tra Via Ferrucci e Via Ugo Foscolo	

MONOPATTINO 3 – LIVELLO ELEVATO DI STRESS		
PROVA	DOVE	PERCHÈ
Prova 1	Intersezione tra Via Mazzini e Via Einaudi	
	Intersezione tra Via Magenta e Via Vincenzo Monti	
	Viale Virgilio	
Prova 2	Intersezione tra Via Magenta e Via Vincenzo Monti	
	Intersezione tra Via Ferrucci e Via Ugo Foscolo	
	Viale Virgilio	

MONOPATTINO 4 – LIVELLO ELEVATO DI STRESS		
PROVA	DOVE	PERCHÈ
Prova 1	Via Mazzini	
	Via Vincenzo Monti	
	Rotatoria tra Via Muratori e Viale Virgilio	
	Viale Boccaccio	
	Rotatoria tra Viale Boccaccio e Viale Gabardi	
Prova 2	Rotatoria Piazza Trento e Trieste	
	Intersezione tra Via Ferrucci e Via Ugo Foscolo	
	Rotatoria tra Via Muratori e Viale Virgilio	
	Viale Boccaccio	
	Rotatoria tra Viale Boccaccio e Viale Gabardi	
Prova 3	Intersezione tra Via Ferrucci e Via Ugo Foscolo	
	Rotatoria tra Via Muratori e Viale Virgilio	
	Viale Boccaccio	
	Rotatoria tra Viale Boccaccio e Viale Gabardi	

MONOPATTINO 5 – LIVELLO ELEVATO DI STRESS		
PROVA	DOVE	PERCHÈ
Prova 1	Intersezione tra Via Mameli e Via Galileo Ferraris	
	Via Mameli	
	Piazza Giuseppe Garibaldi	
	Piazza Trento e Trieste	
	Via Mazzini	
	Intersezione tra Via Magenta e Via Vincenzo Monti	
	Via Vincenzo Monti	
	Via Francesco Ferrucci	
	Via Ludovico Antonio Muratori	
	Rotatoria tra Via Muratori e Viale Virgilio	
	Intersezione tra Viale Boccaccio e Via Vizzola	
	Intersezione tra Viale Boccaccio e Via Monte Bianco	
	Rotatoria tra Viale Boccaccio e Via Contardo Ferrini	
	Rotatoria tra Viale Boccaccio e Viale Gabardi	
	Intersezione tra Viale Boccaccio e Via Cardinal Simone	
Prova 2	Rotatoria di Viale Duca D'Aosta	
	Piazza Giuseppe Garibaldi	
	Piazza Trento e Trieste	
	Intersezione tra Via Magenta e Via Vincenzo Monti	
	Via Vincenzo Monti	
	Intersezione tra Via Ferrucci e Via Ugo Foscolo	
	Rotatoria tra Via Muratori e Viale Virgilio	
	Intersezione tra Viale Boccaccio e Via Vizzola	
	Intersezione tra Viale Boccaccio e Via Monte Bianco	
	Rotatoria tra Viale Boccaccio e Via Contardo Ferrini	
	Intersezione tra Viale Boccaccio e Via Cardinal Simone	
Prova 3	Rotatoria di Viale Duca D'Aosta	
	Piazza Trento e Trieste	
	Intersezione tra Via Magenta e Via Vincenzo Monti	
	Intersezione tra Via Ferrucci e Via Ugo Foscolo	
	Rotatoria tra Via Muratori e Viale Virgilio	
	Intersezione tra Viale Boccaccio e Via Vizzola	
	Rotatoria tra Viale Boccaccio e Viale Gabardi	

Tabella 19 - Riassunto picchi di stress registrate nelle prove col monopattino

LEGENDA – CAUSA LIVELLO ELEVATO DI STRESS	
	Stato deteriorato della pavimentazione
	Uscita automobile dal parcheggio
	Intersezione semaforizzata con semaforo rosso
	Sorpassi dovuti al traffico ingente eterogeneo
	Arrivo dell'ambulanza durante l'attraversamento della rotatoria
	Svolta a sinistra durante un'intersezione
	Immissione improvvisa di un'automobile nella carreggiata
	Coda al semaforo
	Automobili in doppia fila che riducono lo spazio
	Frenata improvvisa
	Forma irregolare della rotatoria
	Accelerazione improvvisa per semaforo giallo

Tabella 20 - Legenda Tabella 19

Per assumere che le aree caratterizzate da un livello elevato di stress siano punti pericolosi su cui intervenire, si calcola la percentuale di ogni zona avente un picco per tutte le prove effettuate da ogni conducente: un'area verrà considerata “pericolosa” quando la percentuale supera il 50%+1. Di seguito, a scopo esplicativo si riporta l'analisi effettuata per il Monopattino 1, con le sue due prove: nelle colonne relative a ciascuna prova si inserisce il numero di picchi registrati.

MONOPATTINO 1			
AREA	PROVA 1	PROVA 2	%
Rotatoria di Viale Duca D'Aosta	1	0	50
Viale Duca D'Aosta, dopo l'intersezione con Via G. Bosco	0	1	50
Intersezione tra Via Ferrucci e Via Ugo Foscolo	1	1	100
Rotatoria tra Via Muratori e Viale Virgilio	1	1	100
Intersezione tra Viale Boccaccio e Via Lodi/Via C. Simone	1	1	100

Tabella 21 - Identificazione zone pericolose per Monopattino 1

Come si può notare, sono solo le ultime tre zone ad essere considerate “pericolose”, in quanto superano il 50%. Tale analisi viene ripetuta per ciascun conducente, identificando i punti su cui bisognerebbe intervenire per prevenire eventuali incidenti. Sono emerse le seguenti aree:

- Rotatoria di Viale Duca D'Aosta
- Viale Duca D'Aosta, dopo l'intersezione con Via G. Bosco
- Rotatoria Piazza Trento e Trieste
- Via Magenta

- Intersezione tra Via Magenta e Via Vincenzo Monti
- Via Vincenzo Monti
- Intersezione tra Via Ferrucci e Via Ugo Foscolo
- Rotatoria tra Via Muratori e Viale Virgilio
- Viale Virgilio
- Viale Boccaccio
- Intersezione tra Viale Boccaccio e Via Vizzola
- Rotatoria tra Viale Boccaccio e Via Contardo Ferrini
- Rotatoria tra Viale Boccaccio e Viale Gabardi
- Intersezione tra Viale Boccaccio e Via Lodi/Via C. Simone

Di seguito, ogni zona viene approfondita, dichiarando le cause che hanno generato un elevato livello di stress da parte dei conducenti.

3.4.1 Viale Duca D'Aosta

Secondo l'indagine effettuata, in tale area la causa principale che ha permesso di registrare livelli elevati di stress è stata il traffico ingente. Sia durante l'attraversamento della rotatoria presso il Tribunale di Busto Arsizio che lungo il viale, i conducenti hanno rilevato difficoltà durante la guida perché immersi nel traffico: la presenza di automobili, biciclette e motorini costringe l'utente del monopattino ad affiancare il lato destro della carreggiata, dove la probabilità di inciampare in buche o tombini è molto più alta. Inoltre, i continui sorpassi destabilizzano la quiete del conducente, che si ritrova in situazioni di disequilibrio e totalmente esposto al rischio.

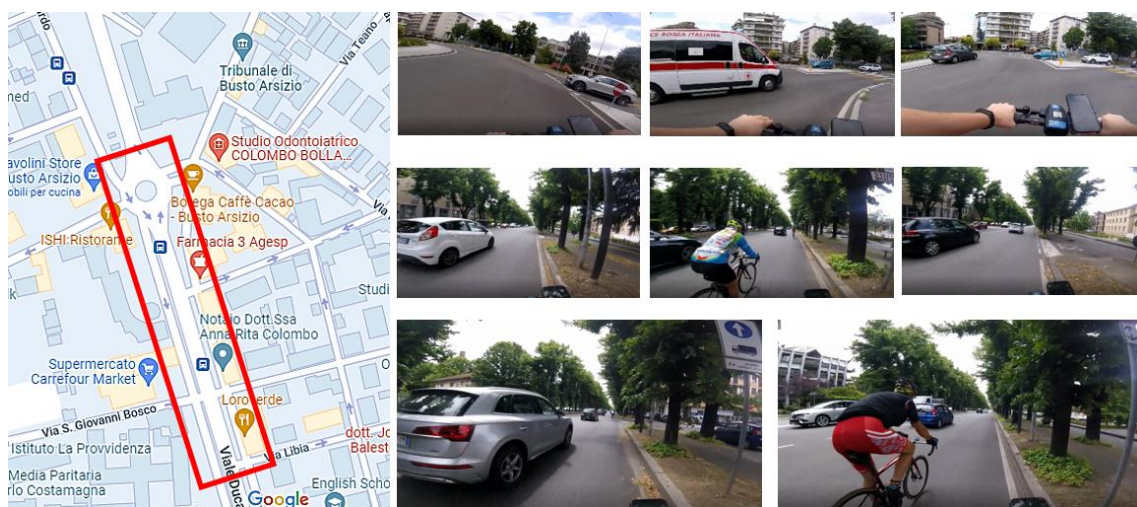


Figura 75 - Immagini video di Viale Duca D'Aosta

3.4.2 Piazza Trento e Trieste

La rotatoria in Piazza Trento e Trieste è uno dei luoghi che ha registrato più picchi relativi al livello di stress. Confrontandosi anche con i conducenti delle prove, emerge il fatto che affrontare una rotatoria con il monopattino crea disagio all'utente: trovare la posizione di immissione e attraversamento e indicare con il braccio la direzione di uscita sono tra le principali azioni che rendono insicuro il guidatore.

In questo caso, si aggiunge anche un problema relativo all'infrastruttura, che ricorre in gran parte della rete stradale di Busto Arsizio: lo stato della pavimentazione. In tale area, sono presenti numerose buche e fessurazioni a coccodrillo che rendono la guida irregolare: il conducente si ritrova a vibrare sulla pedana del monopattino, con la sensazione di poter cadere improvvisamente e bruscamente. Inoltre, si sottolinea che l'accessorio adibito al trasporto del cellulare crea fastidio e distrazione durante l'attraversamento di pavimentazione degradate, provocando vibrazioni rumorose a causa della sua instabilità.

Sovrapponendo i motivi appena esposti, si riesce a giustificare e comprendere i picchi di stress osservati.

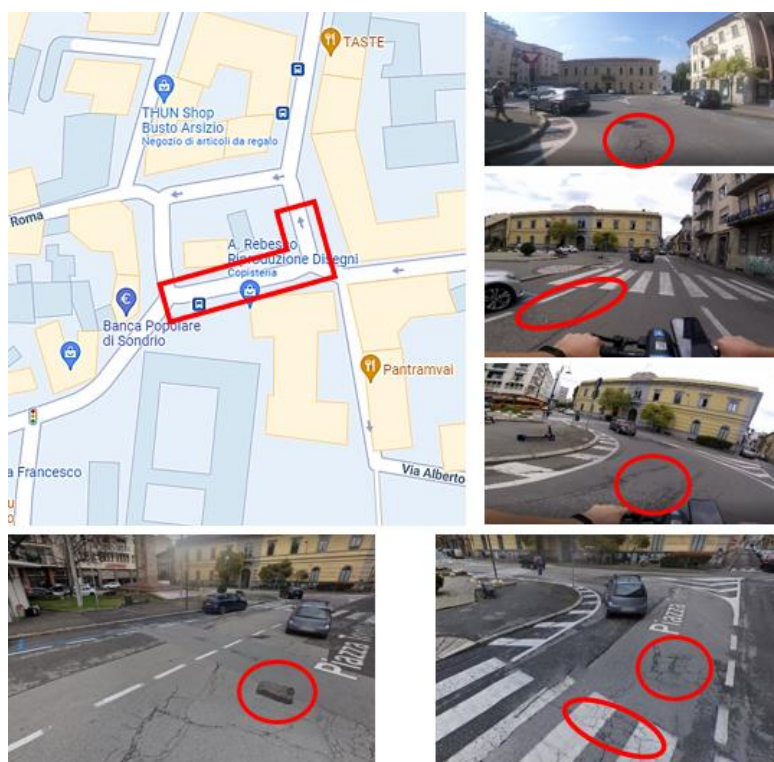


Figura 76 - Immagini video di Piazza Trento e Trieste

3.4.3 Via Magenta

Il problema principale riscontrato in tale area è relativo all'intersezione individuata tra Via Magenta e Via Vincenzo Monti. L'aspetto da analizzare è la gestione dello spazio durante l'immissione in coda al semaforo: Monopattino 3 e 5 hanno riscontrato difficoltà nel trovare la posizione adeguata in attesa del via libera. La carreggiata è abbastanza stretta e la coda al semaforo, che si viene a creare, ostruisce la visuale. I conducenti di monopattino, dovendo effettuare la svolta a sinistra, si dirigono sul lato adeguato della corsia, ma compiono movimenti incerti a causa dell'arrivo dei veicoli dalla direzione opposta. Ciò li rende vulnerabili e potenzialmente esposti al rischio.

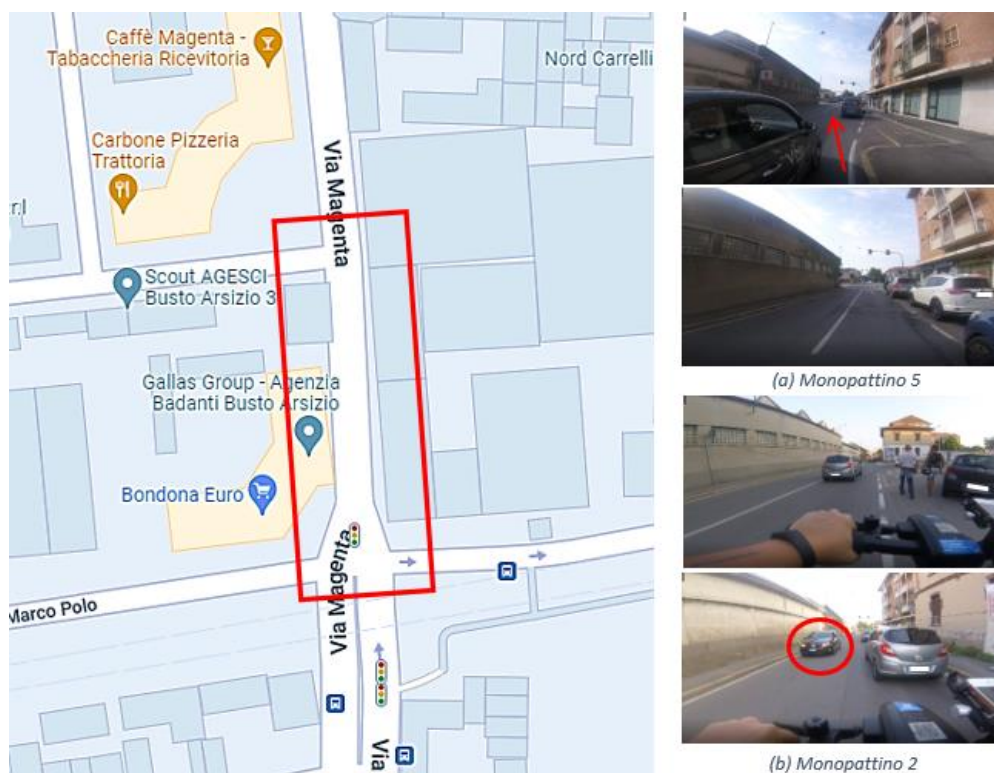


Figura 77 - Immagini video di Via Magenta

3.4.4 Via Vincenzo Monti

L'area è risultata ricca di picchi elevati di stress a causa dello stato degradato della pavimentazione. Come spiegato precedentemente, la pavimentazione deteriorata con buche e tombini rende instabile l'equilibrio del conducente, soprattutto in curva. Inoltre, si presenta il problema di eventuali sorpassi improvvisi: la carreggiata è stretta e, al momento del sorpasso inaspettato, l'utente del monopattino si sposta velocemente sul lato destro, incontrando i maggiori difetti della pavimentazione.



Figura 78 - Immagini video di Via Vincenzo Monti

3.4.5 Via Ferrucci – Via Ugo Foscolo

Tra le zone con il maggior numero di picchi registrati troviamo l'intersezione tra Via Ferrucci e Via Ugo Foscolo. L'incrocio è caratterizzato dal segnale di stop: la striscia di arresto è del tutto deteriorata, presentando una pavimentazione a pelle di cocodrillo. Il conducente, quindi, nella ripresa della marcia, deve allungare i passi della rincorsa per evitare di ricominciare la guida direttamente sulla striscia dello stop e avere problemi di vibrazione. In questo modo, a causa anche della geometria dell'intersezione, l'utente si ritrova nel mezzo dell'incrocio, dovendo gestire la ripresa di guida e l'arrivo di ulteriori veicoli.



Figura 79 - Immagini video di Via Ferrucci - Via Ugo Foscolo

3.4.6 Viale Virgilio

La rotatoria tra Viale Virgilio e Via Ludovico Antonio Muratori è una delle zone più pericolose registrate: la rotatoria è stretta e piccola, quindi i veicoli viaggiano vicini tra loro. Questo non aiuta i conducenti dei monopattini, che non reagiscono bene nelle situazioni di sovraffollamento della carreggiata, specialmente in rotatoria. Inoltre, si aggiunge anche il problema della pavimentazione degradata che instabilizza il comportamento del conducente.



Figura 80 - Immagini video di Viale Virgilio - Via Muratori

Lungo il viale, si sono rilevate alcune situazioni di stress elevato legate al traffico ingente e ai sorpassi improvvisi da parte di altri veicoli. In particolare, i mezzi di trasporto di taglie più grandi vengono percepiti in maniera più amplificata: nell'immagine sottostante, si riporta il momento di picco relativo al sorpasso subito da parte di una Jeep. Il conducente è costretto a spostarsi sul lato della carreggiata, per paura di intralciare la traiettoria dell'automobile.



Figura 81 - Immagini video di Viale Virgilio

3.4.7 Viale Boccaccio

Viale Boccaccio, nel suo complesso, è il luogo che ha registrato il maggior numero di livelli elevati di stress. Il primo punto da evidenziare, come causa dei picchi misurati, è la presenza di veicoli in doppia fila o parcheggiate, che riducono lo spazio della carreggiata. Di conseguenza, il conducente di monopattino ha due aspetti da considerare: a sinistra, deve prestare attenzione all'arrivo dei veicoli intenti al sorpasso; mentre, a destra, deve preoccuparsi di non spostarsi eccessivamente, osservando eventuali aperture di portiere da parte di utenti all'interno delle auto parcheggiate.

Inoltre, le auto parcheggiate o in doppia fila possono creare disagi durante un'intersezione, disturbando la visuale dei veicoli che incombono: l'utente del monopattino viene nascosto da esse, trovandosi potenzialmente in una situazione di pericolo.

Un altro aspetto da considerare è la numerosa presenza di intersezioni semaforizzate. Secondo il percorso previsto, ad ogni intersezione il conducente di monopattino deve continuare il percorso andando dritto. Spesso, come riportato nell'esempio, i veicoli che devono svoltare a destra, erroneamente, attendono il via libera del semaforo nella corsia non adibita a tale svolta: l'utente del monopattino si ritrova a dover fermare improvvisamente la propria ripartenza per lasciarli passare. Ovviamente, questa situazione crea disagio ed elevato stress, perché la rincorsa viene effettuata direttamente nel mezzo dell'intersezione, esponendosi ad eventuali incontri/scontri.

Si sottolinea, però, come in tali situazioni un elevato livello di stress può essere considerato positivo, poiché permette di incrementare l'attenzione dell'utente nei contesti in cui si trova.



Figura 82 - Immagini video di Viale Boccaccio

Un punto critico è la rotatoria tra Viale Boccaccio e Viale Gabardi. Come si è visto, attraversare una rotatoria genera difficoltà e disagio da parte del conducente di monopattino, in quanto curvare con tale mezzo di trasporto, avendo attorno altri veicoli pronti a sorpassare, destabilizza l'equilibrio.

In questo caso, si evince un ostacolo in più: la geometria della rotatoria. Essa è costituita da una forma ad otto, come se fosse l'unione di due rotatorie: questo implica un aumento, a livello spaziale e temporale, del transitto dell'intersezione. Inoltre, l'arrivo di ulteriori veicoli e gli eventuali sorpassi amplificano la pericolosità dell'area.

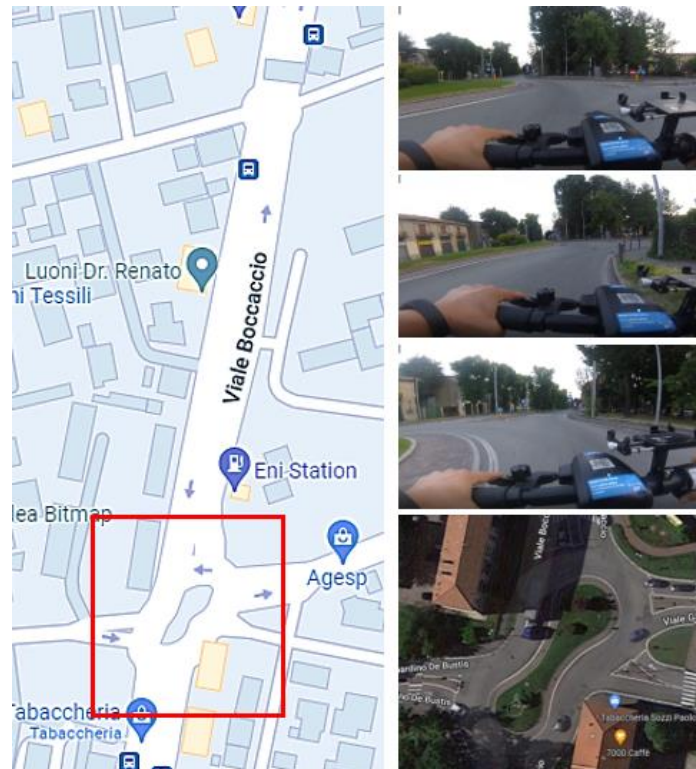


Figura 83 - Immagini video di Viale Boccaccio - Via Gabardi

3.4.8 Conclusioni

Si vuole illustrare un riassunto di tutti i risultati significativi misurati durante l'esperimento totale. Durante le prove, sono stati valutati 75 picchi di stress.

Le aree, dove si sono registrati livelli elevati di stress, sono da considerare "potenzialmente pericolose": bisognerebbe intervenire, in base alle cause di stress, in modo da prevenire eventuali incidenti.

Di seguito, viene esposta una tabella riepilogativa con il luogo e il relativo numero di picchi individuati. Come si può notare, la tipologia di strada più pericolosa per un monopattino è la rotatoria: si ribadisce il problema di equilibrio durante l'esecuzione delle curve, l'instabilità legata all'esposizione del braccio, per indicare la direzione di uscita, e la presenza di ulteriori veicoli.

AREA – LIVELLO ALTO DI STRESS		NUMERO PICCHI DI STRESS	
Viale Duca D'Aosta	Rotatoria presso il Tribunale	4	9
	Intersezione con Via G. Bosco	5	
Rotatoria di piazza Trento e Trieste		7	
Via Magenta	Via magenta presso Parco Comerio	2	11
	Intersezione con Via V. Monti	9	
Via Vincenzo Monti		7	
Intersezione tra Via Ferrucci e Via Ugo Foscolo		11	
Viale Virgilio	Rotatoria con Viale Muratori	8	13
	Viale Virgilio	5	
Viale Boccaccio	Viale Boccaccio	3	17
	Intersezione con Via Vizzola	3	
	Rotatoria con Via C. Ferrini	2	
	Rotatoria con Viale Gabardi	5	
	Intersezione con Via Lodi/Via C. Simone	4	

Tabella 22 - Riassunto prove col monopattino

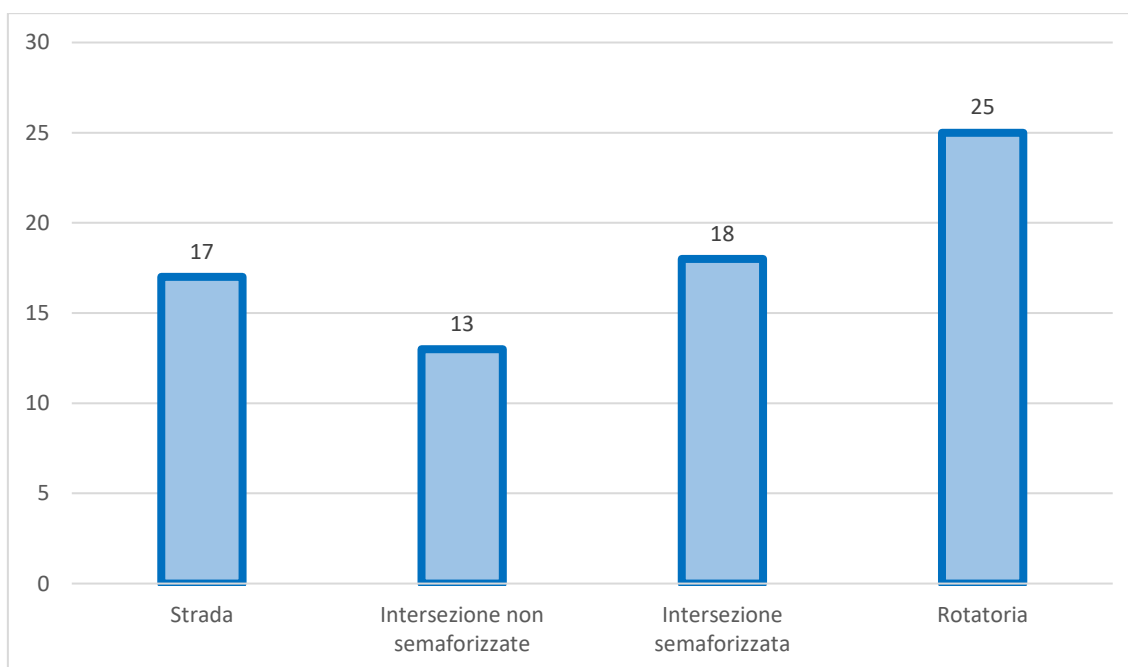


Figura 84 - Numero livelli alti di stress per tipologia di strada

Per quanto riguarda i motivi che hanno causato i livelli elevati di stress, nella Figura 84 si evidenziano i principali aspetti. Innanzitutto, si giustifica il fatto di trovare nel grafico, apparentemente, un maggior numero di picchi rispetto a quelli registrati: questo perché ogni situazione di stress è causata da più fattori.

Come maggiore ragione di stress gli utenti, che hanno effettuato le prove, hanno individuato lo stato degradato della pavimentazione: buche, tombini e fessurazioni creano vibrazioni sul monopattino, esponendoli a potenziali cadute.

Anche subire un sorpasso da parte di un veicolo è fonte di stress. Analizzando le strade in cui si è rilevata tale causa, emerge come il problema del sorpasso non è sempre relativo all'azione in sé, ma al luogo in cui viene effettuato: automobili in doppia fila e corsie strette riducono lo spazio a disposizione nella carreggiata. Se è presente un traffico eterogeneo, a subirne le conseguenze sono maggiormente le utenze deboli, quindi pedoni, biciclette e micromobilità elettrica.

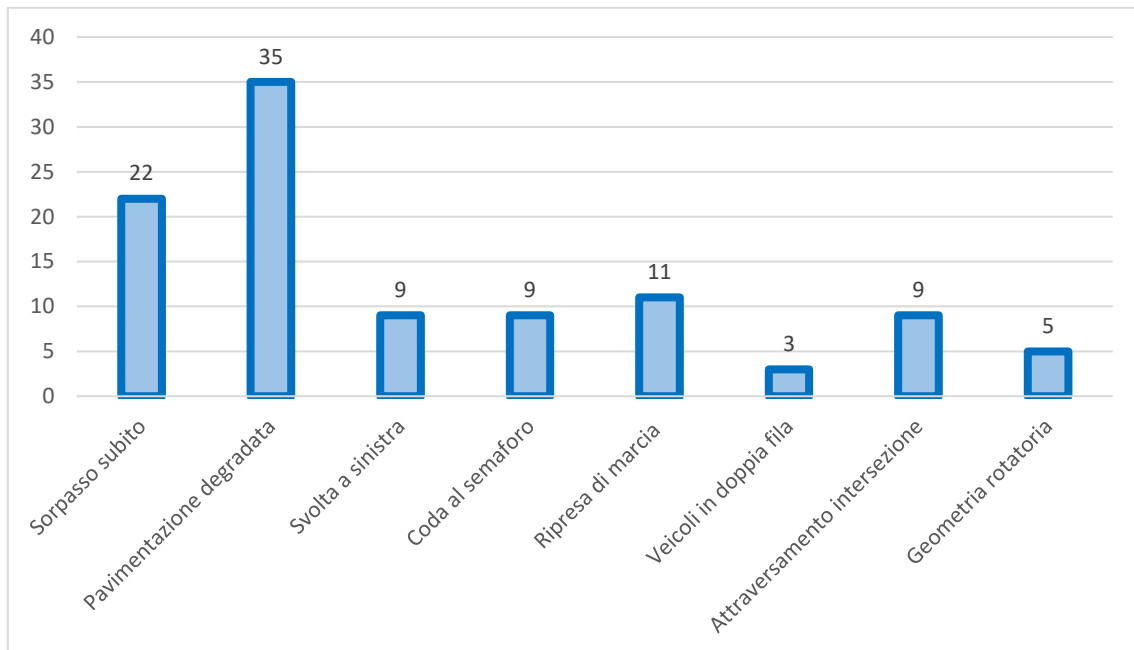


Figura 85 - Cause livelli alti di stress

3.5 Correlazione con i dati incidentali

Si evidenziano su QGIS le zone pericolose emerse dalle prove sperimentali effettuate.

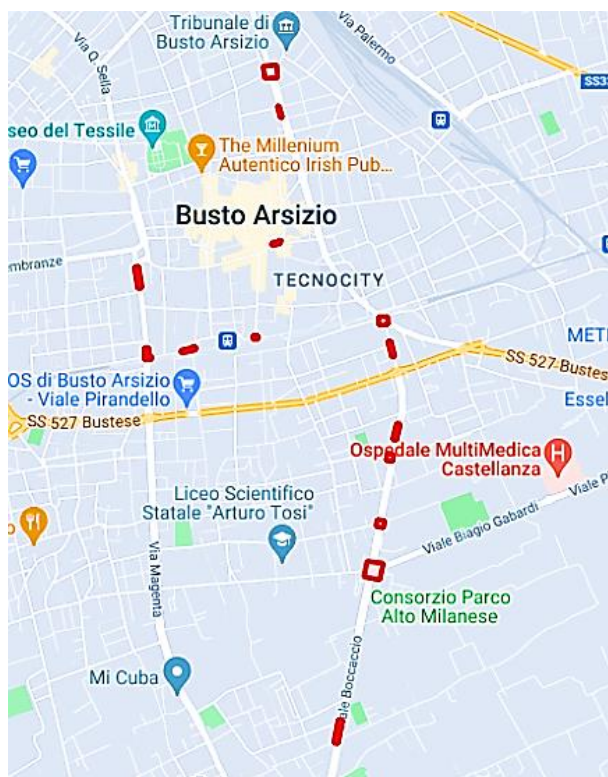


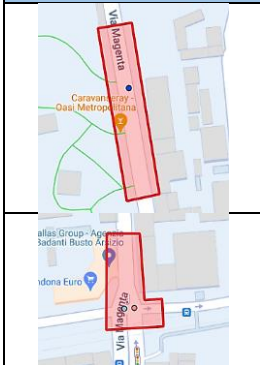




Figura 86 - Zone pericolose registrate dalle prove col monopattino

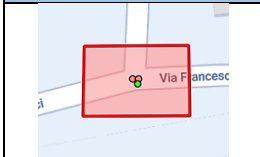
Avendo ricevuto i dati incidentali relativi ai monopattini elettrici e alle biciclette di Busto Arsizio, si ricerca un'eventuale correlazione tra le aree sinistre e le zone ritenute pericolose dai test.

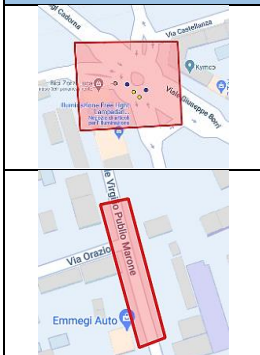
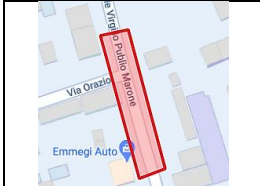
VIALE DUCE D'AOSTA	
	<p>Rotatoria presso il Tribunale</p> <p>Non è presente alcun incidente relativo ai monopattini elettrici Non è presente alcun incidente relativo alle biciclette</p>
	<p>Intersezione con Via Giovanni Bosco</p> <p>Non è presente alcun incidente relativo ai monopattini elettrici È presente 1 incidente relativo alle biciclette</p>

PIAZZA TRENTO E TRIESTE	
	Rotatoria
	È presente 1 incidente relativo ai monopattini elettrici Sono presenti 2 incidenti relativi alle biciclette

VIA MAGENTA	
	Via Magenta presso Parco Comerio
	È presente 1 incidente relativo ai monopattini elettrici Non è presente alcun incidente relativo alle biciclette
	Intersezione con Via Vincenzo Monti
	Non è presente alcun incidente relativo ai monopattini elettrici Sono presenti 2 incidenti relativi alle biciclette

VIA VINCENZO MONTI	
	Non è presente alcun incidente relativo ai monopattini elettrici Non è presente alcun incidente relativo alle biciclette

INTERSEZIONE VIA VINCENZO MONTI – VIA UGO FOSCOLO	
	È presente 1 incidente relativo ai monopattini elettrici Sono presenti 2 incidenti relativi alle biciclette

VIALE VIRGILIO	
	Rotatoria con Via Antonio Muratori
	Sono presenti 2 incidenti relativi ai monopattini elettrici Sono presenti 3 incidenti relativi alle biciclette
	Intersezione con Via Orazio
	Non è presente alcun incidente relativo ai monopattini elettrici Non è presente alcun incidente relativo alle biciclette

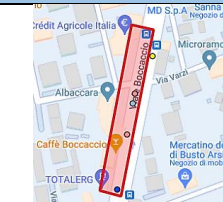




VIALE BOCCACCIO	
	Viale Boccaccio
	È presente 1 incidente relativo ai monopattini elettrici Sono presenti 3 incidenti relativi alle biciclette
	Intersezione con Via Vizzola
	Non è presente alcun incidente relativo ai monopattini elettrici Non è presente alcun incidente relativo alle biciclette
	Rotatoria con Via Contardo Ferrini
	Non è presente alcun incidente relativo ai monopattini elettrici Sono presenti 2 incidenti relativi alle biciclette
	Rotatoria con Via Gabardi
	Non è presente alcun incidente relativo ai monopattini elettrici È presente 1 incidente relativo alle biciclette
	Intersezione con Via Lodi/Via Cardinal Simone
	È presente 1 incidente relativo ai monopattini elettrici Non è presente alcun incidente relativo alle biciclette

Tabella 23 - Tabelle riassuntive delle zone pericolose e numero di incidenti di monopattini e biciclette

Dal paragone effettuato, su 14 aree pericolose ricavate dalle prove, soltanto 4 non corrispondono a zone incidentali. Di conseguenza, si denota come il metodo riesce a individuare anticipatamente alcuni punti incidentali: analizzando l'andamento dello stress del conducente e determinando le cause di eventuali picchi elevati, si possono effettuare interventi migliorativi per prevenire possibili incidenti futuri.

Dai test eseguiti, 56 picchi di stress sono stati rilevati in aree in cui almeno un monopattino o bicicletta è stato spiacevolmente protagonista di un incidente stradale. Dal confronto, i luoghi maggiormente critici, su cui agire, sono:

- Rotatoria di Piazza Trento e Trieste: 7 picchi – 3 incidenti
- Intersezione tra Via Ferrucci e Via Ugo Foscolo: 11 picchi – 3 incidenti
- Rotatoria tra Via Muratori e Viale Virgilio: 8 picchi – 5 incidenti
- Viale Boccaccio: 3 picchi – 4 incidenti

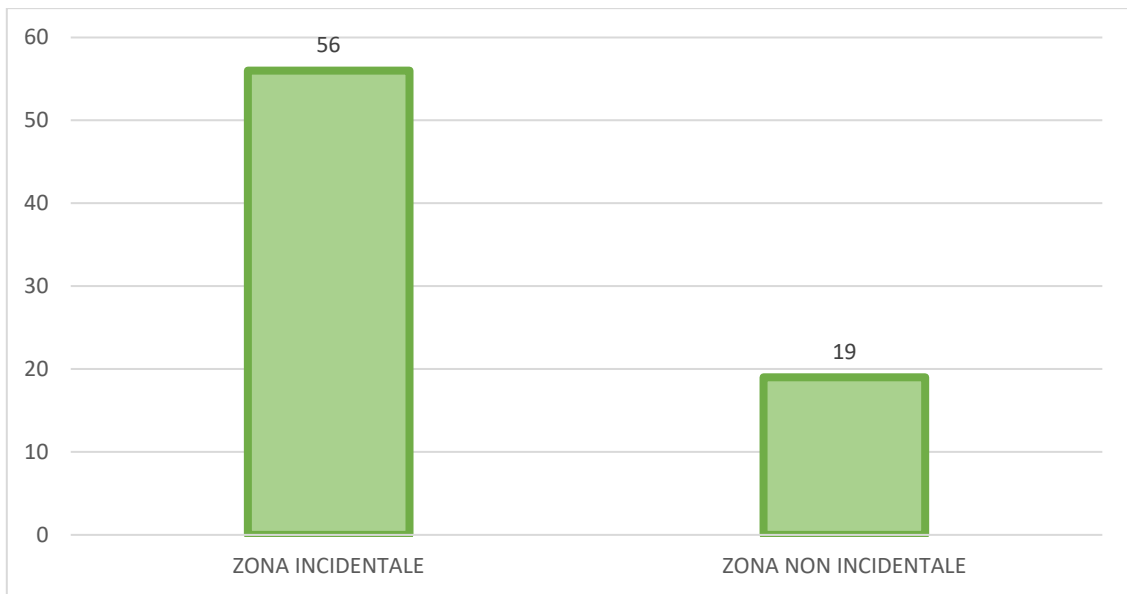


Figura 87 - Numero livelli elevati di stress nelle zone incidentali

3.6 Comportamento inesperti

Infine, in questo paragrafo si propone l'analisi del comportamento di un conducente inesperto: per le prove di tale elaborato di tesi, sono stati convocati tre utenti che non avevano mai effettuato una guida sul monopattino elettrico. Monopattino 2, 4 e 5 hanno ripetuto il test tre volte, in modo da prendere confidenza col veicolo e soccombere ad alcune lacune.

Al termine della prova, ai tre conducenti sono state sottoposte alcune domande. Il primo quesito riguarda il motivo per cui non avevano mai utilizzato un monopattino: “paura” è stata la risposta comune dichiarata. Il monopattino elettrico è una novità nel panorama stradale e, come tutte le innovazioni, ha bisogno di tempo per essere accettata: la sua inutilizzazione, però, non può essere giustificata col timore. Potenzialmente, ogni mezzo di trasporto potrebbe causare o subire un incidente con conseguenze gravi: sicuramente, le utenze deboli, come pedoni, ciclisti e conducenti di monopattini elettrici, sono tra i più esposti al rischio, ma ciò non deve vietarne il movimento. In un ambiente urbanistico ideale, tutte le categorie di veicoli dovrebbero essere in grado di comportarsi in modo sicuro in un ambiente altrettanto sicuro.

Successivamente, al termine di ogni prova, è stato chiesto al conducente se avesse riscontrato alcuni miglioramenti nella percezione di guida: allo scorrere dei test, gli utenti ammettono di acquisire sempre più conoscenza del veicolo. Effettivamente, il monopattino elettrico è intuibile da adoperare: basta effettuare una rincorsa iniziale e premere il pulsante dell'acceleratore per avviare la guida e schiacciare il freno sul manubrio per rallentare e fermarsi.

L'incremento della fiducia nel monopattino elettrico emerge anche dall'esperimento: di seguito, si mostra una tabella in cui vengono riportati il numero di picchi di stress rilevati in ogni test. All'aumentare del numero di prove, la quantità di livelli elevati di stress diminuisce. Col tempo, l'utente impara a gestire lo spazio, i movimenti e le vibrazioni causati dal monopattino stesso.

Come dichiarato nei paragrafi precedenti, la ripetizione del test è stata necessaria ed efficace anche per determinare effettivamente i punti critici da analizzare.

UTENTE	NUMERO DI PICCHI ELEVATI DI STRESS		
	PROVA 1	PROVA 2	PROVA 3
MONOPATTINO 2	6	5	5
MONOPATTINO 4	5	5	4
MONOPATTINO 5	15	10	7

Tabella 24 - Riassunto numero di picchi registrati in ogni prova

Conclusione e possibili sviluppi

L'obiettivo dell'elaborato è valutare il livello di stress assunto dai conducenti durante la guida in monopattino. Il confronto tra l'andamento dello stress e i sinistri stradali può costituire un piano di previsione incidentale, cercando di ridurre il livello di pericolo.

Il primo passaggio riguarda la realizzazione di un metodo facilmente replicabile per la misurazione dello stress, attraverso l'utilizzo di dispositivi economici e software open source (QGIS). È stato possibile monitorare l'andamento della frequenza cardiaca e quindi il parametro RRI, identificando un indicatore di stress: il rapporto LF/HF. Correlando temporalmente e spazialmente i dati ricavati dalle prove sperimentali, insieme ai punti di incidentalità, è stato possibile individuare l'origine dello stress dovuto alla guida su monopattino.

Si sono individuati tutti i picchi registrati nel livello di stress, determinando alcune situazioni particolari. Per confermare i risultati, ogni conducente ha effettuato la prova più volte: il metodo si è confermato efficace in quanto gli esiti dei test sono stati confermati dai questionari sottoposti ai conducenti delle prove.

Si evince come, a livello infrastrutturale, i punti più critici sono le rotatorie e le intersezioni semaforizzate. Nel primo caso, prevale il disagio del conducente nell'affrontare la curva continua, dove l'utente deve rallentare ed eseguire la manovra di svolta esponendo il braccio nella direzione giusta. In questa situazione, il conducente deve tenere in considerazione due aspetti: mantenere la posizione di equilibrio e gestire lo spazio con i veicoli circostanti.

Per quanto riguarda le intersezioni semaforizzate, nel corso delle prove gli utenti hanno riscontrato difficoltà nella scelta della posizione da assumere durante la coda al semaforo. La ripartenza manuale nel mezzo del traffico incrementa il livello di stress del conducente. Inoltre, come nei casi esempi, se il monopattino deve effettuare la svolta a sinistra, dovrà dirigersi sul lato corretto della corsia: se la carreggiata è stretta, l'utente si ritroverà immerso nel traffico anche della corsia opposta e subirà una potenziale esposizione al rischio.



Figura 88 – Immagini video dell’intersezione semaforizzata di Via Magenta

Sono state identificate le cause principali dei livelli elevati registrati nel corso delle prove. Principalmente, i conducenti hanno riscontrato difficoltà legate alla pavimentazione e al traffico circostante. Quest’ultima influenza negativamente l’utente di monopattino quando si riscontrano situazioni di sorpasso da parte di veicoli di dimensione superiore. Inoltre, la presenza di veicoli in doppia fila riduce lo spazio in carreggiata, avvicinando i veicoli durante un sorpasso. Il monopattino necessita di una superficie libera per ritenersi in completa sicurezza: per tale motivo, si cerca di incentivare la costruzione di piste ciclabili o aree addette. D’altra parte, la presenza di buche, tombini e fratture nella pavimentazione producono sussulti e vibrazioni nel monopattino, esponendo l’utente a potenziali cadute.



Figura 89 - Immagini video di problemi legati alla pavimentazione

Quindi, può risultare utile mappare i luoghi corrispondenti a zone pericolose, secondo l’andamento del livello di stress, per applicare una manutenzione preventiva con lo scopo di evitare di trasformare picchi di stress in incidenti.

Di seguito, vengono esposti alcuni aspetti che potrebbero incrementare la sicurezza nel mondo della micromobilità. Il monopattino in sé, in qualità di veicolo, può essere un punto da migliorare: un esempio, è la riprogettazione della pedana. La pedana non deve essere un’ampia piattaforma liscia, ma un appoggio per gli arti inferiori, che impedisca il sostegno di quattro piedi e lo scivolamento di essi in ogni direzione, smorzi le accelerazioni stradali e imponga stabilità al conducente. I monopattini attuali, essendo dotati di un podio abbastanza largo, inducono la presenza anche di un passeggero: ciò è da evitare perché vietato dalla legge.

Un altro aspetto da migliorare potrebbe essere anche la silenziosità di avvicinamento del monopattino: nelle interazioni tra i vari veicoli, non c'è un'elevata percezione acustica dell'arrivo posteriore di un monopattino in velocità. Questo non permette agli altri utenti della strada, soprattutto i conducenti di automobili, di prevederne l'arrivo. Quindi sarebbe opportuno che ciascun monopattino elettrico fosse dotato di un campanello o clacson sonoro, in modo tale da avvertire la propria presenza. Tuttavia, alcuni monopattini sharing sono già dotati di tali accessori.

Il secondo gadget, di cui il monopattino dovrebbe essere dotato, è il casco: secondo la normativa, è obbligatorio per tutti i minorenni; cercare di indurne l'uso, anche per i maggiorenni, potrebbe portare un incremento della sicurezza del conducente durante la guida. Il modo più comodo per incentivarne l'utilizzo sarebbe, quindi, fornire ad ogni monopattino, soprattutto quelli sharing, un copricapo protettivo integrato, come a Verona con i monopattini elettrici Wind.



Figura 90 - Monopattino Wind a Verona

Un aspetto da migliorare, emerso dalle prove, è l'ubicazione del telefono durante il tragitto. Per quanto riguarda i monopattini BIT presenti a Busto Arsizio, non tutti sono dotati dello strumento di appoggio per il cellulare: durante la prima prova di Monopattino 2, il conducente è stato costretto a tenere in mano il telefono a causa dell'assenza dell'accessorio, comportando momenti di distrazione. Inoltre, nel caso in cui fosse presente, lo strumento ha creato fastidi rumorosi e vibrazione quando il conducente attraversava un punto caratterizzato da pavimentazione degradata.

Quindi, sarebbe opportuno installare su ogni monopattino un porta-telefono rigido su cui mantenere e appoggiare il proprio cellulare in sicurezza.

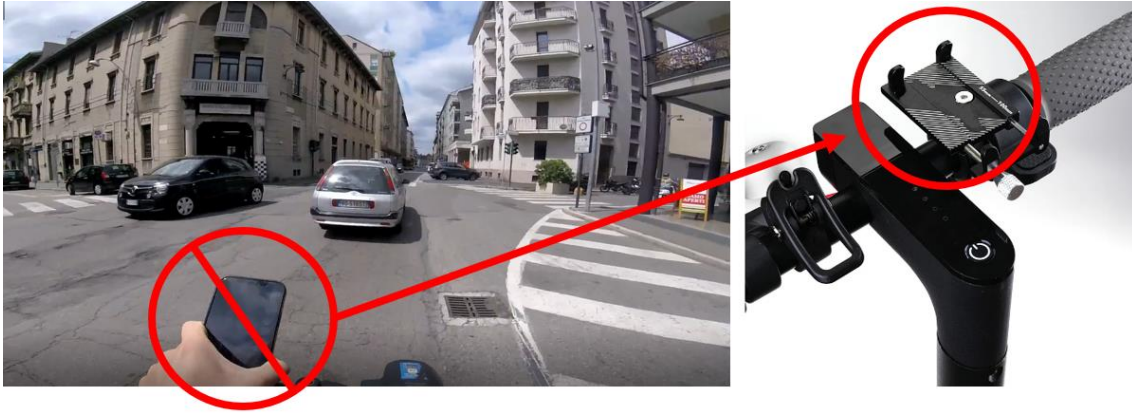


Figura 91 - Dispositivo trasporto telefono sul monopattino

Infine, i livelli elevati di stress misurati durante l'esecuzione di un sorpasso definiscono un ultimo intervento: la presenza di specchietti retrovisori. Questi permetterebbero agli utenti di anticipare visivamente il veicolo alle spalle pronto al sorpasso; di conseguenza, il conducente di monopattino avvertirebbe la manovra e si sposterebbe in anticipo verso il lato destro della carreggiata, evitando incontri ravvicinati con gli altri veicoli

In conclusione, applicando alcune migliorie e analizzando lo stress del conducente, si potrebbe incrementare la sicurezza e la prevenzione del rischio nel mondo della micromobilità elettrica: gli utenti non devono avere paura di utilizzare un monopattino elettrico, ma imparare a governarlo.

Bibliografia

- [1] Mohammed Hamad Almannaa, Faisal Adnan Alsahhaf, Huthaifa I. Ashqar, Mohammed Elhenawy, Mahmoud Masoud and Andry Rakotonirainy,, «Perception Analysis of E-Scooter Riders and Non-Riders in Riyadh, Saudi Arabia: Survey Outputs,» *Sustainability*, p. 23, 2021.
- [2] Wa'el Hadi, Nuha El-Khalili, May AlNashashibi, Ghassan Issan and Abed Alkarim AlBanna, «Application of data mining algorithms for improving stress prediction of automobile drivers: A case study in Jordan,» *Computers in Biology and Medicine*, p. 12, 2019.
- [3] F. Caliendo, «GPone,» 12 Luglio 2020. [Online]. Available: <https://www.gpone.com/it/2020/07/12/moto-news/cultura-dal-monopattino-1916-allo-scooter-e-ritorno.html>. [Consultato il giorno 13 Marzo 2022].
- [4] «Shared mobility pilot program summary report,» Novembre 2019. [Online]. Available: https://www.smgov.net/uploadedFiles/Departments/PCD/Transportation/SantaMonicaSharedMobilityEvaluation_Final_110419.pdf. [Consultato il giorno 17 Marzo 2022].
- [5] Austin Badeau, MD, Chad Carman, DO, Michael Newman, MS, Jacob Steenblik, MPH, MHA, BSN, Margaret Carlson, BS, Troy Madsen, MD, «Emergency department visits for electric scooter-related injuries after introduction of an urban rental program,» *American Journal of Emergency Medicine*, p. 3, 2019.
- [6] Alvaro Caviedes, Miguel Figliozzi, «Modeling the impact of traffic conditions and bicycle facilities on cyclists' on-road stress levels,» *Transportation Research Part F*, p. 12, 2018.
- [7] Hong Yang, Qingyu Ma, Zhenyu Wang, Qing Cai, Kun Xie and Di Yang, «Safety of micro-mobility: Analysis of E-Scooter crashes by mining news reports,» *Accident Analysis and Prevention*, p. 13, 2020.
- [8] «Dockless electric scooter-related injuries study,» *Austin Public Health*, p. 15, 2018.
- [9] «Monopattini: esigenze di Mobilità e di Sicurezza Stradale,» 19 Maggio 2022. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=t3Zb497sglw&noapp=1>. [Consultato il giorno 19 Maggio 2022].
- [10] Sylvaine Tuncer, Eric Laurier, Barry Brown, Christian Licoppe, «Notes on the practices and appearances of e-scooter users in public space,» *Journal of Transport Geography*, p. 10, 2020.

- [11] Lu Bai, Pan Liu, Yuguang Chen, Xin Zhang, Wei Wang, «Comparative analysis of the safety effects of electric bikes at signalized intersections,» *Transportation Research Part D*, p. 7, 2013.
- [12] Andreas Löcken, Pascal Brunner, Ronald Kates, Andreas Riener, «Impact of Hand Signals on Safety: Two Controlled Studies With Novice E-Scooter Riders,» p. 9, 2020.
- [13] Jessica B. Cicchino, Paige E. Kulie, Melissa L. McCarthy, «Injuries related to electric scooter and bicycle use in a Washington, DC, emergency department,» p. 24, 2020.
- [14] «Sicurmoto,» 8 Novembre 2021. [Online]. Available: <https://www.sicurmoto.it/normative-e-leggi/monopattini-elettrici-nuove-regole-2022-da-rispettare/>. [Consultato il giorno 24 Aprile 2022].
- [15] Elena Davoli, Arianna Antoniazzi, «Monopattini elettrici: analisi di rischio e proposta normativa,» Milano, Politecnico di Milano, 2021.
- [16] R. ANSA, «ANSA,» 18 Agosto 2021. [Online]. Available: https://www.ansa.it/lombardia/notizie/2020/08/18/fase-3-a-milano-6mila-monopattini-7600-noleggi-giorno_0ad66779-4c8a-4bc4-832e-4a4c8260282a.html. [Consultato il giorno 13 Giugno 2022].
- [17] W.Picard, Jennifer A.Healey and Rosalind, «Detecting Stress During Real-World Driving Tasks Using Physiological Sensors,» *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, p. 28, 2005.
- [18] Yekta Sald Can, Bert Arnrich, Cem Ersoy, «Stress detection in daily life scenarios using smart phones and wearable sensors: A survey,» *Journal of Biomedical Informatics*, p. 22, 2019.
- [19] Antonio Affanni, Riccardo Bernardini, Alessandro Piras, Roberto Rinaldo, Pamela Zontone, «Driver's stress detection using Skin Potential Response signals,» *Measurement*, p. 11, 2018.
- [20] Xiuleng Yang, Emma McCoy, Esther Anaya-Boig, Ione Avila-Palencia, Christian Brand, Gloria Carrasco-Turigas, Evi Dons, Regine Gerike, Thomas Goetschi, Mark Nieuwenhuijsen, Juan Pablo Orjuela, Luc Int Panis, Aenout Standaert, Audrey de Nazelle, «The effects of traveling in different transport modes on galvanic skin response (GSR) as a measure of stress: An observational study,» *Environment International*, p. 10, 2021.
- [21] Michelle Laremans, Evi Dons, Ione Avila-Palencia, Gloria Carrasco-Turigas, Juan Pablo Orjuela, Esther Anaya, Tom Cole-Hunter, Audrey de Nazelle, Thomas Gotschi, Sonja Kahlmeier, Mark Nieuwenhuijsen, Arnout Standaert, Christian Brand, Patrick De Boever, «Physical activity and sedentary behaviour in daily life: A comparative analysis of the Global Physical Activity Questionnaire (GPAQ) and the SenseWear armband,» 2017.

- [22] Peamila Rani, Jared Sims, Robert Brackin and Nilanjan Sarkar, «Online stress detection using psychophysiological signals for implicit human-robot cooperation,» *Robotica*, vol. 20, n. 10.1017/S0263574702004484, p. 13, 2002.
- [23] Wenhui Liao, Weihong Zhang, Zhiwei Zhu, Qiang Ji, Wayne Gray, «Toward a decision-theoretic framework for affect recognition and user assistance,» *Department of Electrical, Computer and System Engineering*, n. 847 873, p. 27, 2006.
- [24] George Rigas, Christos Katsis, Penny Bougia and Dimitrios Fotiadis, «A Reasoning-Based Framework for Car Driver's Stress Prediction,» *Senior Member, IEEE*, n. 10.1.1.454.5962, p. 6, 2008.
- [25] Jing Zhai, Armando Barreto, «Stress Detection in Computer Users Based on Digital Signal Processing of Noninvasive Physiological Variables,» *EMBS Annual International Conference*, n. 1-4244-0033-3/06, p. 4, 2006.
- [26] Joonchul Shin, Soocheol Kim, Taehee Yoon, Chulmin Joo, Hyo-II Jung, «Smart Fatigue Phone: Real-time estimation of driver fatigue using smartphone-based cortisol detection,» *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 136, n. 106-111, p. 6, 2019.
- [27] Lakhan Dev Sharma, Vijar Kumar Bohat, Maria Habib, Ala Al-Zoubi, Hossam Faris, Ibrahim Aljarah, «Evolutionary inspired approach for mental stress detection using EEG signal,» *Expert Systems With Applications*, vol. 197, n. 116634, p. 12, 2022.
- [28] Darren Michael, Sheena Daugherty, Adeiwnnw Santos, Brent Rudy, John Kains, «Fatigue biomarker index: An objective salivary measure of fatigue level,» *Accident Analysis and Prevention*, vol. 455, n. 68-73, p. 6, 2012.
- [29] William Helton, «Validation of a Short Stress State Questionnaire,» *PROCEEDINGS of the HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS SOCIETY 48th ANNUAL MEETING*, n. 1238, p. 5, 2004.
- [30] Mario Salai, Istvan Vassanyi and Istvan Kosa, «Stress Detection Using Low Cost Heart Rate Sensors,» *Jpurnal of Healthcare Enineering*, vol. 2016, n. 5136705, p. 14, 2016.
- [31] Zeng Weiliang, Miwa Tomio, Tashiro Mutsumi, Morikawa Takayuki, «Detecting and Modeling Heart Rate Variability for Driving Stress Analysis in Urban Road Network,» *Trasportation Research Board*, n. 01624362, 2017.
- [32] A.M. Vinu Mohan, Vinoth Rajendran, Rupesh Mishra, Mathiyarasu Jayaraman, «Recent advances and perspectives in sweat based wearable electrochemical sensors,» *Trends in Analytical Chemistry*, vol. 131, n. 116024, p. 17, 2020.
- [33] Michele Caldara, Claudio Colleoni, Emanuela Guido, Valerio Re, Giuseppe Rosace, «Optical monitoring of sweat pH by a textile fabric wearable sensor

based on covalently bonded,» *Sensor and Actuators B: Chemical*, vol. 222, n. 216-220, p. 8, 2016.

- [34] Koji Suzuki, Wael Alhajyaseen, Kazuki Imada, Charitha Dias, «Motorcyclists' Safety on Expressways: Subjective and Objective Evaluations,» *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 44, n. 8859-8873, p. 15, 2019.
- [35] Shabnam Pejhan, Martin Agelin-Chaab, Munib Yusuf, Donald Eng, «Analysis of ebike dynamics and cyclists' anxiety levels and interactions with road vehicles that influence safety,» *Accident Analysis and Prevention*, vol. 159, n. 106272, p. 11, 2021.
- [36] Daniel McDuff, Sarah Gontarck and Rosalind Picard, «Remote Measurement of Cognitive Stress via Heart Rate Variability,» *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, n. 6944243, p. 5, 2014.
- [37] Silvia De Nadai, Massimo D'Incà, Francesco Parodi, Mauro Benza, Anita Trotta, Enrico Zero, Luca Zero, Roberto Sacile, «Enhancing safety of transport by road by on-line monitoring of driver emotions,» *DIBRIS – Department of Informatics, Bioengineering, Robotics and System Engineering* , p. 4, 2022.

ALLEGATO A

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. 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.



POLITECNICO
MILANO 1863

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 monopattino a Busto Arsizio; 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 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 monopattino per cercare una correlazione, anche con i dati incidentali di Busto Arsizio.

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 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

Finalità del trattamento	Base giuridica del trattamento	Categorie di dati personali oggetto di trattamento	Periodo di conservazione dei dati personali
Finalità 1 Partecipazione al Progetto di Ricerca Scientifica "Analisi del livello di stress del conducente durante la guida in monopattino"	Consenso (art. 6, par. 1, lett. a) del Regolamento UE).	<ul style="list-style-type: none"> - Dati identificativi - Dati relativi alla salute: frequenza cardiaca 	Per un periodo di 5 anni
Finalità 2 Ripresa audio/video al fine di avere una conferma del tracciato GPS	Consenso (art. 6, par. 1, lett. a) del Regolamento UE).	<ul style="list-style-type: none"> - Ripresa audio e video 	Per un periodo di 5 anni



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, Donadio Aurora (aurora.donadio@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 del livello di stress del conducente durante la guida in monopattino”.

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 del livello di stress del conducente durante la guida in monopattino, un progetto di Donadio Aurora, e del Politecnico di Milano.

Obiettivo della ricerca

L'obiettivo dell'elaborato è valutare il livello di stress assunto dai conducenti durante la guida in monopattino. Il confronto tra l'andamento dello stress e i sinistri stradali può costituire un piano di previsione incidentale, cercando di ridurre il livello di pericolo.

Il primo passaggio riguarda la realizzazione di un metodo facilmente replicabile per la misurazione dello stress, attraverso l'utilizzo di dispositivi economici e software open source (QGIS). È stato possibile monitorare l'andamento della frequenza cardiaca e quindi il parametro RRI, identificando un indicatore di stress: il rapporto LF/HF. Correlando temporalmente e spazialmente i dati ricavati dalle prove sperimentali, insieme ai punti di incidentalità, è stato possibile individuare l'origine dello stress dovuto alla guida su monopattino.

Si sono individuati tutti i picchi registrati nel livello di stress, determinando alcune situazioni particolari. Per confermare i risultati, ogni conducente ha effettuato la prova più volte: il metodo si è confermato efficace in quanto gli esiti dei test sono stati confermati dai questionari sottoposti ai conducenti delle prove.

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 ("Monopattino 1"), in modo da conoscere la posizione del veicolo. 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 conducenti tramite un'applicazione installata sul dispositivo Android e condivisi con la tesista, Donadio Aurora,

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.

In un secondo momento i dati saranno elaborati tramite il linguaggio Python.

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

Sul giubbotto del conducente verrà fissata una webcam che inquadrerà esclusivamente lo spazio stradale antistante il monopattino 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 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 B

Si riporta il questionario presentato a ciascun conducente al termine di ogni prova per valutare il giudizio di ogni utente al progredire dell'esperimento.



QUESTIONARIO – VALUTAZIONE PROVA SUL MONOPATTINO

COGNOME

NOME

RESIDENTE A

TELEFONO

Conosci la città di Busto Arsizio? SÌ NO

Hai mai utilizzato un monopattino elettrico? SÌ NO

Se sì, quanto spesso utilizzi un monopattino elettrico?

- SPESSO
- QUALCHE VOLTA
- RARAMENTE

Se no, perché non lo hai mai utilizzato?

Dopo aver effettuato la prima prova, quali sono stati gli aspetti critici che hai riscontrato?

Dopo aver effettuato la seconda prova, quali sono stati gli aspetti critici che hai riscontrato?

Dopo aver effettuato la seconda prova, senti di aver migliorato la tua conoscenza del monopattino? Perché?

Dopo aver effettuato la terza prova, quali sono stati gli aspetti critici che hai riscontrato?

Dopo aver effettuato la terza prova, senti di aver migliorato la tua conoscenza del monopattino? Perché?

DATA

FIRMA

ALLEGATO C

In questo allegato si riporta un estratto del risultato finale dell'elaborazione del file .csv per la prova 1 di Monopattino 1. Si sono individuati infatti i parametri fondamentali per la caratterizzazione dello stato del conducente e sono stati raggruppati in modo da permettere una lettura più agevole.

Per la prova, vengono identificate le seguenti caratteristiche:

- Data
- Ora
- Tempo prova
- Tempo cumulato
- Tempo prova dal secondo 0 al secondo finale
- Parametro HRV
- Parametro RRI
- Rapporto LF/HF
- Misura a riposo
- Media e deviazione standard del rapporto LF/HF a riposo
- Livello di stress

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
Date	Ora	Delta t (s)	Tempo accum.	HRV	TEMPO	HRV	HRV/int	RR	LF/HF	HRV	HRV/int	RR	LF/HF	MEDIA	DEVIAZIONE	MEDIA-DEV	MEDIA+DEV	STRESS					
1	27/05/2022	11:01:28	0	78	0	78	78	0.76923	0.20713	0	69	0.86957	1.19235	1.83241	1.31377551	0.5186383	3.14618931	LIVELLO					
2	27/05/2022	11:01:39	00:00:11	96	1	#N/D	78	0.76923	0.20713	1	#N/D	0.86957	1.19235			0.5186383	3.14618931	BASSO					
3	27/05/2022	11:01:44	00:00:05	89	2	#N/D	78	0.76923	0.20713	2	#N/D	0.86957	1.19235			0.5186383	3.14618931	BASSO					
4	27/05/2022	11:01:48	00:00:04	75	3	#N/D	78	0.76923	0.20713	3	#N/D	0.86957	1.19235			0.5186383	3.14618931	BASSO					
5	27/05/2022	11:01:53	00:00:05	30	4	#N/D	78	0.76923	0.20713	4	#N/D	0.86957	1.19235			0.5186383	3.14618931	BASSO					
6	27/05/2022	11:01:59	00:00:06	37	5	#N/D	78	0.76923	0.20713	5	#N/D	0.86957	1.19235			0.5186383	3.14618931	BASSO					
7	27/05/2022	11:02:05	00:00:06	44	6	#N/D	78	0.76923	0.20713	6	#N/D	0.86957	1.19235			0.5186383	3.14618931	BASSO					
8	27/05/2022	11:02:12	00:00:07	52	7	#N/D	78	0.76923	0.20713	7	72	0.83333	1.19235			0.5186383	3.14618931	BASSO					
9	27/05/2022	11:02:17	00:00:05	58	8	#N/D	78	0.76923	0.20713	8	#N/D	0.83333	1.19235			0.5186383	3.14618931	BASSO					
10	27/05/2022	11:02:22	00:00:05	64	9	#N/D	78	0.76923	0.20713	9	#N/D	0.83333	1.19235			0.5186383	3.14618931	BASSO					
11	27/05/2022	11:02:26	00:00:04	69	10	#N/D	78	0.76923	0.70526	10	#N/D	0.83333	0.87101			0.5186383	3.14618931	MEDIO					
12	27/05/2022	11:02:31	00:00:05	75	11	#N/D	78	0.76923	0.70526	11	#N/D	0.83333	0.87101			0.5186383	3.14618931	MEDIO					
13	27/05/2022	11:02:37	00:00:06	82	12	#N/D	78	0.76923	0.70526	12	75	0.8	0.87101			0.5186383	3.14618931	MEDIO					
14	27/05/2022	11:02:43	00:00:06	89	13	96	96	0.625	0.70526	13	#N/D	0.8	0.87101			0.5186383	3.14618931	MEDIO					
15	27/05/2022	11:02:53	00:00:10	101	14	#N/D	96	0.625	0.70526	14	#N/D	0.8	0.87101			0.5186383	3.14618931	MEDIO					
16	27/05/2022	11:02:59	00:00:06	108	15	#N/D	96	0.625	0.70526	15	#N/D	0.8	0.87101			0.5186383	3.14618931	MEDIO					
17	27/05/2022	11:03:09	00:00:04	115	16	#N/D	96	0.625	0.70526	16	69	0.86957	0.87101			0.5186383	3.14618931	MEDIO					
18	27/05/2022	11:03:17	00:00:06	120	17	#N/D	96	0.625	0.70526	17	#N/D	0.86957	0.87101			0.5186383	3.14618931	MEDIO					
19	27/05/2022	11:03:22	00:00:08	129	18	#N/D	96	0.625	0.70526	18	#N/D	0.86957	0.87101			0.5186383	3.14618931	MEDIO					
20	27/05/2022	11:03:26	00:00:05	135	19	89	89	0.67416	0.70526	19	#N/D	0.86957	0.87101			0.5186383	3.14618931	MEDIO					
21	27/05/2022	11:03:38	00:00:04	140	20	#N/D	89	0.67416	0.88092	20	#N/D	0.86957	1.61149			0.5186383	3.14618931	MEDIO					
22	27/05/2022	11:03:48	00:00:12	154	21	#N/D	89	0.67416	0.88092	21	56	1.07143	1.61149			0.5186383	3.14618931	MEDIO					
23	27/05/2022	11:03:52	00:00:04	166	22	#N/D	89	0.67416	0.88092	22	#N/D	1.07143	1.61149			0.5186383	3.14618931	MEDIO					
24	27/05/2022	11:03:56	00:00:04	171	23	#N/D	89	0.67416	0.88092	23	#N/D	1.07143	1.61149			0.5186383	3.14618931	MEDIO					
25	27/05/2022	11:04:00	00:00:04	176	24	75	75	0.8	0.88092	24	#N/D	1.03448	1.61149			0.5186383	3.14618931	MEDIO					
26	27/05/2022	11:04:04	00:00:04	181	25	#N/D	75	0.8	0.88092	25	58	1.03448	1.61149			0.5186383	3.14618931	MEDIO					
27	27/05/2022	11:04:04	00:00:04	186	26	#N/D	75	0.8	0.88092	26	#N/D	1.03448	1.61149			0.5186383	3.14618931	MEDIO					
28	27/05/2022	11:04:09	00:00:05	192	27	#N/D	75	0.8	0.88092	27	#N/D	1.03448	1.61149			0.5186383	3.14618931	MEDIO					

ALLEGATO D

In questo allegato si presenta il file Excel riassuntivo di tutte le prove effettuate per individuare le zone da ritenere “pericolose”, su cui andrebbe eseguita un’analisi preventiva del rischio.

Per ogni luogo, viene inserito il numero di picchi individuati in ciascuna prova. In seguito, si calcola la percentuale di ogni zona di registrare un livello elevato di stress.

In rosso, si evidenziano le zone che superano il 50%: tale metodo serve per evidenziare le aree ritenute effettivamente stressanti.

MONOPATTINO 1				NUMERO PROVE	
AREA CON ALMENO UN LIVELLO ELEVATO DI STRESS	PROV A 1	PROV A 2	%		
Rotatoria di Viale Duca D'Aosta	1	0	50	2	
Viale Duca D'Aosta, dopo l'intersezione con Via G. Bosco	0	1	50		
Intersezione tra Via Ferrucci e Via Ugo Foscolo	1	1	100		
Rotatoria tra Via Muratori e Viale Virgilio	1	1	100		
Intersezione tra Viale Boccaccio e Via Lodi/Via C. Simone	1	1	100		
	4	4			
MONOPATTINO 2				NUMERO PROVE	
AREA CON ALMENO UN LIVELLO ELEVATO DI STRESS	PROV A 1	PROV A 2	PROV A 3		%
Viale Duca D'Aosta, dopo l'intersezione con Via G. Bosco	1	1	1	100	3
Rotatoria Piazza Trento e Trieste	1	1	1	100	
Intersezione tra Via Mazzini e Via Ugo Foscolo	1	0	0	33,333333 33	
Via Magenta	1	1	0	66,666666 67	
Intersezione tra Via Magenta e Via Vincenzo Monti	0	0	1	33,333333 33	
Via Vincenzo Monti	1	1	1	100	
Intersezione tra Via Ferrucci e Via Ugo Foscolo	1	1	1	100	
	6	5	5		
MONOPATTINO 3				NUMERO PROVE	
AREA CON ALMENO UN LIVELLO ELEVATO DI STRESS	PROV A 1	PROV A 2	%		
Intersezione tra Via Mazzini e Via Einaudi	1	0	50	2	
Intersezione tra Via Magenta e Via Vincenzo Monti	1	1	100		
Intersezione tra Via Ferrucci e Via Ugo Foscolo	0	1	50		
Viale Virgilio	1	1	100		
	3	3			
MONOPATTINO 4				NUMERO PROVE	
AREA CON ALMENO UN LIVELLO ELEVATO DI STRESS	PROV A 1	PROV A 2	PROV A 3		%
				3	

Rotatoria Piazza Trento e Trieste	0	1	0	33,333333 33	
Via Mazzini	1	0	0	33,333333 33	
Via Vincenzo Monti	1	0	0	33,333333 33	
Intersezione tra Via Ferrucci e Via Ugo Foscolo	0	1	1	66,666666 67	
Rotatoria tra Via Muratori e Viale Virgilio	1	1	1	100	
Viale Boccaccio	1	1	1	100	
Rotatoria tra Viale Boccaccio e Viale Gabardi	1	1	1	100	
	5	5	4		
MONOPATTINO 5					NUMERO PROVE
AREA CON ALMENO UN LIVELLO ELEVATO DI STRESS	PROV A 1	PROV A 2	PROV A 3	%	3
Intersezione tra Via Mameli e Via Galileo Ferraris	1	0	0	33,333333 33	
Via Mameli	1	0	0	33,333333 33	
Rotatoria di Viale Duca D'Aosta	0	1	1	66,666666 67	
Piazza Giuseppe Garibaldi	1	0	0	33,333333 33	
Piazza Trento e Trieste	1	1	1	100	
Via Mazzini	1	0	0	33,333333 33	
Intersezione tra Via Magenta e Via Vincenzo Monti	1	1	1	100	
Via Vincenzo Monti	1	1	0	66,666666 67	
Via Francesco Ferrucci	1	0	0	33,333333 33	
Intersezione tra Via Ferrucci e Via Ugo Foscolo	0	1	1	66,666666 67	
Via Ludovico Antonio Muratori	1	0	0	33,333333 33	
Rotatoria tra Via Muratori e Viale Virgilio	1	1	1	100	
Intersezione tra Viale Boccaccio e Via Vizzola	1	1	1	100	
Intersezione tra Viale Boccaccio e Via Monte Bianco	1	1	0	66,666666 67	
Rotatoria tra Viale Boccaccio e Via Contardo Ferrini	1	1	0	66,666666 67	

Rotatoria tra Viale Boccaccio e Viale Gabardi	1	0	1	66,666666 67
Intersezione tra Viale Boccaccio e Via Cardinal Simone	1	1	0	66,666666 67
	15	10	7	

