

**SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA**

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali

*INGEGNERIA MECCANICA – MAGISTRALE*

**TESI DI LAUREA**

in

Progettazione dei Sistemi di Trasporto

**Prestazioni meccaniche e problematiche di sicurezza nell'impiego dei  
monopattini elettrici**

CANDIDATO  
Matteo Della Mura

RELATORE:  
Chiar.mo Prof. Alfonso Micucci

CORRELATORE  
Chiar.mo Prof. Mattia Strangi

Anno Accademico 2019/20

Sessione III

## Abstract:

Nelle città moderne il traffico veicolare rappresenta spesso un problema. La grande quantità di vetture ingombranti aumenta i tempi di viaggio e con essi le emissioni di gas nocivi. I monopattini elettrici sono divenuti popolari sia grazie alla loro immagine di veicolo “green” sia per il fatto che permettono di coprire agevolmente la cosiddetta distanza dell’“Ultimo Miglio”, riducendo potenzialmente il traffico di veicoli inquinanti. Insieme ai monopattini sono arrivati problemi derivati dalla loro presenza, specialmente legati all’incidentalità. Questa tesi si pone come obiettivo quello di analizzare le possibili cause di incidente a livello del veicolo. Alcune caratteristiche quali: ruote piccole, avancorsa ridotta e manubrio stretto, possono concorrere alla caduta di un conducente. In ottica di valutazione delle prestazioni di sicurezza, abbiamo effettuato delle prove pratiche di accelerazione, frenata e pendenza massima superabile. Per l’analisi dei dati ci siamo avvalsi di un accelerometro e di una videocamera. Comparando i due metodi di acquisizione dati, abbiamo verificato come, in accelerazione, un monopattino elettrico sia più prestazionale, ad esempio, di una bicicletta. Le maggiori prestazioni possono causare instabilità se non viene mantenuta una corretta postura del corpo. Nelle prove di frenata abbiamo invece riscontrato prestazioni leggermente inferiori rispetto a quelle delle biciclette. Abbiamo osservato come un impianto frenante potente sia meno desiderabile di uno meno potente e più dosabile. La situazione di ribaltamento o blocco delle ruote può facilmente far cadere un conducente poco esperto. Abbiamo valutato le prestazioni relative alla pendenza massima superabile riscontrando ampie differenze tra modelli diversi. Le pendenze che i monopattini riescono a superare sono comunque maggiori di quelle consentite per la costruzione di nuove strade. Vengono infine presentate alcune soluzioni tecniche che possono migliorare la sicurezza dei monopattini.

## Parole chiave:

monopattini elettrici, sharing, condivisione, ultimo miglio, casco, avancorsa, prove monopattini, analisi accelerazione, analisi frenata

# INDICE

## **1. Introduzione**

- 1.1. Cosa sono i monopattini elettrici
- 1.2. Ultimo Miglio
- 1.3. Facilità di trasporto
- 1.4. Mezzi “Green”
- 1.5. Brevi spostamenti
- 1.6. Costi
- 1.7. Salute e svago
- 1.8. I problemi dello “Sharing”
- 1.9. Vandalismo
- 1.10. Inesperienza dei conducenti

## **2. Incidentalità**

- 2.1. I numeri degli incidenti
- 2.2. Cause di incidenti: veicolo
  - 2.2.1. Ruote ed avancorsa
  - 2.2.2. Manubrio adeguato
  - 2.2.3. Veicoli nuovi, si possono ancora migliorare
- 2.3. Cause di incidenti: il conducente
  - 2.3.1. Eccesso di velocità
  - 2.3.2. Inesperienza dei conducenti
  - 2.3.3. Posizione di guida
  - 2.3.4. Il casco
  - 2.3.5. Rispetto delle regole
  - 2.3.6. Difficoltà ad eseguire manovre obbligatorie
- 2.4. Cause di incidenti: infrastrutture

## **3. Normativa**

## **4. Prove sui monopattini**

- 4.1. Leggi Cinematica
- 4.2. Teoria dello pneumatico
- 4.3. La Frenata
- 4.4. Il tempo tecnico
- 4.5. Accelerazione
- 4.6. Le prove sui monopattini
- 4.7. Preparazione delle prove
- 4.8. Svolgimento delle prove

## **5. Risultati**

- 5.1. Costruzione grafici risultati di accelerazione e frenata
- 5.2. Analisi delle accelerazioni
- 5.3. Analisi delle frenate
- 5.4. Risultati prove di pendenza massima superabile

## **6. Considerazioni finali**

- 6.1. Soluzioni tecniche reparto veicolo
- 6.2. Soluzioni per il conducente
- 6.3. Il ruolo delle istituzioni

## **7. Conclusioni**

## **Appendice 1: Grafici prove monopattini**

# 1.

## INTRODUZIONE

Fino a qualche anno fa raramente si sentiva parlare di monopattini elettrici. I loro predecessori, monopattini senza motore, erano e sono tutt'ora considerati, dai più, dei giochi per bambini e raramente vengono usati come mezzo di spostamento. L'idea del monopattino motorizzato nasce nel 1915 grazie all'azienda Autoped [28]. Questo antenato del monopattino elettrico era alimentato da un motore endotermico e poteva raggiungere velocità di 40 km/h. Il momento in cui i monopattini elettrici sono effettivamente entrati a far parte della storia è stato nel Settembre del 2017 [1] a Santa Monica (Los Angeles), quando Travis VanderZanden, fondatore della compagnia Bird, rilasciò durante la notte centinaia di monopattini elettrici per le strade dell'ignara città statunitense. Le regole per l'utilizzo di questi mezzi erano poche: 1\$ per poter sbloccare ed utilizzare il monopattino e 0.15\$ per ogni minuto di noleggio, minimo 18 anni, parcheggio dove vuoi. Da quella notte ad oggi, questa ed altre società hanno intrapreso la via del servizio di mobilità "in sharing" di monopattini elettrici, espandendosi su tutto il globo ed arrivando anche da noi in Italia a Milano ad Ottobre 2018 [2].

I monopattini elettrici hanno avuto un successo talmente vasto e talmente rapido che alcuni investitori hanno supportato le aziende fornitrici del servizio, ad esempio Bird, con somme fino a 300 milioni \$. Sempre Bird è stata quotata in borsa per 2 miliardi \$ nel periodo di appena 1 anno [29].

Da questi primi momenti di lancio sono emerse problematiche legate ai monopattini che necessitano di approfondimento: ad esempio aspetti normativi e legati alla sicurezza.

I principali motivi del successo di questi veicoli "in sharing", o in italiano, in condivisione, risiedono nella loro economicità, nella facilità di utilizzo, nel fatto che vanno a coprire un buco nel sistema di trasporto cittadino dell'"ultimo miglio" e, non meno importante, nel loro modo di portare novità e far divertire gli utenti.

## 1.1. Cosa sono i monopattini elettrici

Sulla falsa riga dei loro predecessori sono dotati di un pianale a pochi cm da terra, due ruote, un lungo piantone di sterzo e un manubrio. Essi possiedono inoltre una serie di componenti nei quali risiede la chiave del loro successo: un motore elettrico, una batteria, un acceleratore e uno o due comandi per frenare il monopattino. Questi veicoli sono progettati per essere guidati in piedi fino a velocità di 25 km/h. I freni possono essere di diversa tipologia: elettronici per la frenata rigenerativa, a tamburo, a disco o il più classico pedale che rallenta per strisciamento la sola ruota posteriore, eredità dei loro simili senza motore.



*Figura 1. Un monopattino elettrico*

## 1.2. Ultimo miglio

Il monopattino elettrico è stato introdotto recentemente con l'obiettivo di essere utilizzato come mezzo di trasporto per il cosiddetto "ultimo miglio". L'ultimo miglio è quel tratto di percorso che ogni persona deve effettuare prima di giungere alla propria destinazione. Si pensi ad esempio a chi vive fuori città: dopo un viaggio in automobile o in autobus il tratto di strada rimanente tra il parcheggio o la fermata dell'autobus e l'ufficio rappresenta l'ultimo miglio. Il monopattino elettrico permette di percorrere questo tratto velocemente, agilmente e con poca spesa e fatica.

## 1.3. Facilità di trasporto

I monopattini sono veramente facili da trasportare. Possono essere condotti a mano o più semplicemente ripiegati su loro stessi e trasportati a mano nella loro versione più piccola. La maggior parte dei monopattini è infatti progettata con sistemi di chiusura che permettono di ripiegare il piantone di sterzo parallelamente alla pedana. Il loro peso può variare dai 10 fino ai 25kg circa e questo, unito al loro ingombro ridotto, li rende ottimi per essere trasportati anche a piedi, in autobus, in auto e senza difficoltà anche in ufficio. Tutte queste considerazioni sono superflue se si pensa ai monopattini ad uso condiviso. Il monopattino messo a disposizione dalle varie compagnie può essere trovato, dopo una breve ricerca, grazie all'applicazione per smartphone della compagnia stessa e può

essere parcheggiato, una volta terminata la propria corsa, esattamente nei pressi della propria destinazione, seppur con qualche regola di buon senso. Sebbene il parcheggio sia stato e sia tutt'ora uno dei punti più problematici riguardanti la gestione dei monopattini elettrici in condivisione, la possibilità di poter parcheggiare il veicolo in un luogo pubblico senza timore che esso venga rubato o danneggiato, può liberare gli utenti da molti pensieri.



*Figura 2. I monopattini elettrici sono facilmente trasportabili*

#### **1.4. Mezzi “Green”**

I monopattini elettrici vengono spesso associati alla mobilità sostenibile. Molti sono convinti a priori che un veicolo a trazione elettrica sia comunque più ecologico di uno con motore a combustione interna. Considerazioni generali in merito possono essere fatte sulla base di esempi. Se un individuo è abituale a percorrere il proprio viaggio utilizzando solo la sua automobile perché la fermata dell'autobus è troppo distante dalla sua abitazione e/o dalla sua destinazione, ecco che il monopattino elettrico può fungere da incentivo per l'utilizzo dell'autobus ed essere quindi usato come mezzo di trasporto per coprire la distanza dell'ultimo miglio non coperta dal servizio pubblico. Questo esempio evidenzia il doppio livello di efficacia nell'abbattere le emissioni nocive di un monopattino elettrico. Nell'esempio riportato, non solo viene utilizzato un sistema di trasporto già esistente in luogo di quello personale, fonte di ulteriore inquinamento, ma l'assenza di un veicolo su un percorso già magari molto trafficato, si traduce in una minor congestione del traffico di veicoli, minori tempi di attesa in coda e maggior facilità nel reperimento di parcheggio per gli automobilisti.

Se al contrario il monopattino viene utilizzato in tratti di strada che il singolo utente era abituale percorrere a piedi o con altri mezzi a propulsione fisica, ecco che il monopattino elettrico non è più un mezzo di trasporto ecologico.

Da questi due esempi risulta quindi evidente che per poter essere veramente efficienti nel ridurre le emissioni, i monopattini elettrici in condivisione devono essere presenti in punti strategici di grande affluenza; ad esempio vicino ad una fermata della metropolitana.

In ultima analisi è necessario chiedersi quanto un monopattino elettrico sia inquinante. L'idea di veicolo non inquinante è associata quasi esclusivamente al fatto che durante il funzionamento le emissioni di gas nocivi siano nulle. Quest'ottica miope non tiene però in considerazione i costi ambientali di produzione, ricarica e smaltimento del monopattino. Pensando in particolare ai monopattini in condivisione, essi hanno bisogno di essere ricaricati ogni giorno. "Quante corse sono riusciti ad effettuare durante la giornata?". "L'energia elettrica utilizzata per ricaricare questi veicoli proviene da fonti di origine fossile o da energie rinnovabili?". Anche se ad oggi molti monopattini elettrici in condivisione sono dotati di batteria facilmente smontabile e sostituibile, i primi modelli venivano prelevati la notte da personale incaricato dall'azienda fornitrice del servizio o da cittadini privati e venivano trasportati in luoghi dove potevano essere ricaricati. "Quanto sono inquinanti i veicoli utilizzati per il trasporto dei monopattini?". E ancora: "Quanti cicli è in grado di sopportare la batteria di un monopattino elettrico prima di essere smaltita". "Come viene smaltita la batteria?". "Quanto dura un monopattino elettrico in condivisione prima di arrivare a fine vita?". "Quale è l'iter di rottamazione e recupero materiali?". Tutte queste domande potrebbero sconvolgere l'idea del monopattino elettrico come mezzo ecologico. Esso al momento dell'utilizzo non produce emissioni inquinanti, ma questo non si può dire per quello che riguarda il suo intero ciclo di vita. Questa trattazione rimane aperta non essendo obiettivo di questa tesi.

## 1.5. Brevi spostamenti

Ad oggi i monopattini elettrici, come la totalità dei veicoli elettrici non perennemente allacciati alla corrente elettrica, hanno problemi di autonomia. La difficoltà di immagazzinare grandi quantità di energia all'interno di piccole e



Figura 3. Range medio km percorsi con diversi sistemi di trasporto [4]

leggere batterie confina i monopattini ad autonomie raramente superiori ai 25km. Questo ne limita l'uso a brevi spostamenti. Una ricerca [4] sottolinea comunque che, per quanto riguarda i monopattini in condivisione, la percorrenza media degli utenti sia di 1.8km, nel 75% dei casi questa sia inferiore a 2.16 km e nel 95% dei casi inferiore a 6 km. Risulta così evidente che il monopattino elettrico in condivisione è preferito per brevi spostamenti e la sua scarsa autonomia sia tale solo se comparata con altri veicoli di uso comune. In altre parole, il monopattino elettrico viene utilizzato per percorsi di lunghezza compatibile con l'idea di "ultimo miglio"

## **1.6. Costi**

Il monopattino elettrico tra le sue caratteristiche positive annovera anche un costo contenuto. Ad oggi è possibile acquistare su siti di e-commerce monopattini economici a partire da circa 200€. Inoltre i costi di manutenzione e gestione sono praticamente nulli. Basti pensare che in Italia questi veicoli sono esenti da bollo, assicurazione, revisione e il costo per la loro ricarica è per così dire "nascosto" nella bolletta dell'elettricità. I costi di manutenzione meccanica sono limitati alla sostituzione degli pneumatici e pochi altri elementi, in base al tipo di equipaggiamento specifico del monopattino. Esiste comunque una soluzione ancora più economica rispetto all'acquisto di un monopattino di proprietà almeno per il breve periodo: i monopattini elettrici in condivisione. "Voi", l'azienda svedese di veicoli in "sharing", ad esempio, fornisce monopattini elettrici che in Italia costano 1€ per poter essere sbloccati e 19 centesimi per ogni minuto di utilizzo. Con una corsa dalla durata media di 8 minuti, sempre secondo [4], il costo complessivo di un utilizzo si aggira intorno ai 2,50€; poco più di un biglietto di un autobus. Esistono inoltre diverse compagnie che mettono a disposizione degli abbonamenti dal costo di circa 30 €/mese.

## **1.7. Salute e svago**

Spesso, nei primi momenti dopo la loro apparizione nelle città, i monopattini vengono utilizzati come mezzo ricreativo. L'atmosfera di novità, che portano con sé, ha spesso convinto i primi utenti ad effettuare le proprie corse per svago o per il fatto di poter provare qualcosa di nuovo. Secondo una ricerca condotta a Portland (USA) nel 2018 dal PBOT (Portland Bureau of Transportation), ben l'83,68% dei partecipanti alla ricerca ha provato un monopattino elettrico in condivisione per curiosità o divertimento [6]. Solo successivamente a questa prima ondata di curiosità gli utenti hanno

cominciato ad utilizzare questi mezzi per il loro vero scopo: il viaggio dell'“Ultimo Miglio”. Ciononostante alcuni li usano ancora per divertimento.

Un altro punto che ha guidato il successo dei monopattini elettrici negli ultimi tempi, in particolare in Italia, è stata la recente pandemia globale del virus Sars-Cov-2 che, trasmettendosi per via aerea, ha costretto la popolazione al distanziamento sociale. Questi veicoli permettono, infatti, una mobilità personale alternativa all'automobile, meno inquinante, meno ingombrante e soprattutto favoriscono il distanziamento sociale più di come non avvenga su di un autobus.

## **1.8. I problemi dello “Sharing”**

Nonostante tutti gli aspetti positivi ed i buoni propositi con cui i monopattini elettrici in condivisione sono entrati a far parte delle strade di tantissime città, essi hanno più o meno inaspettatamente portato con loro diverse problematiche. Pensando, ad esempio, all'aspetto normativo, nella maggior parte dei casi, come a Santa Monica [1] o a Portland [5], i monopattini elettrici delle aziende fornitrici del servizio sono stati piazzati nelle città, nottetempo, senza chiedere il consenso alle autorità locali e non preoccupandosi della normativa vigente riguardante questa tipologia di veicolo. Era difficile trovare una regolamentazione per l'uso su suolo pubblico dei monopattini elettrici prima dell'avvento del servizio di mobilità in condivisione. A causa di queste carenze normative, questi veicoli erano considerati dalle autorità, almeno in prima analisi, illegali. Questo comportamento irruento di diverse compagnie ha ovviamente influito negativamente sui rapporti tra aziende e governatori, almeno nel primo periodo. Molte città hanno iniziato a imporre divieti, tasse, limitazioni sul numero di veicoli della flotta di ogni compagnia e, in alcuni casi, sono state sollevate cause legali con multe anche da 300'000\$ [7]. A Portland nel 2018 è stato istituito un primo periodo di prova con tasse da 5'000\$ per 4 mesi di concessione più 0.25\$ per ogni viaggio di ogni utente [8]. Ad Indianapolis nello stesso anno la tariffa è stata di 15'000\$ all'anno, più 1\$ per ogni monopattino in condivisione su suolo pubblico al giorno [9]. L'arrivo dei monopattini non ha portato problemi solo alle autorità ma anche ai cittadini. Viene spesso riportato che una parte della popolazione adora i monopattini, li rispetta e vede in essi un mezzo ecologico, utile per piccoli spostamenti in città. Un'altra parte della popolazione invece li odia, li considera una seccatura e in alcuni casi li ritiene pericolosi. Uno studio [10] in un'intervista riporta che circa il 76% degli intervistati che non hanno mai guidato un monopattino elettrico si sente a disagio o molto a disagio camminando per la città con i monopattini in circolazione. Solo il 24% tra gli intervistati che li hanno guidati almeno una volta ha risposto nello stesso modo. La fonte di questa sensazione risiede principalmente nella novità e silenziosità di questi veicoli. I monopattini a

causa della loro velocità, del fatto che sono silenziosi e che sono molto più piccoli rispetto ad altri veicoli, difficilmente vengono notati in anticipo dagli altri utenti della strada. I pedoni, in particolare, non si aspettano di incrociare un monopattino durante il loro tragitto, e quando un incontro si verifica questo può causare sorpresa o spavento nel pedone. Tralasciando le dinamiche di questi incontri quando essi avvengono sul marciapiede (in Italia è vietata la circolazione sui marciapiedi), durante un attraversamento pedonale, l'evento, può causare paura e interdizione nel pedone. Un'interessante ricerca video condotta a Parigi riprende, tra le altre cose, il comportamento di pedoni ignari all'apparizione di un monopattino elettrico (Figura 4). Si evince che, nonostante il pilota del monopattino abbia previsto l'incontro e abbia diminuito la sua velocità in funzione di un eventuale



*Figura 4. Incontro monopattino-pedone [11]*

arresto per lasciare la precedenza al pedone, quest'ultimo si sia accorto del monopattino solo all'ultimo istante reagendo con stupore e allerta [11]. La situazione sarebbe stata ancora peggiore se il monopattinista non avesse rallentato o se il luogo dell'incontro fosse stato il marciapiede. Su un marciapiede, infatti, gli spazi a disposizione per i due utenti sono decisamente più ristretti, il rischio di un contatto è decisamente maggiore e maggiore è la sensazione di pericolo percepita dal pedone. È altresì da sottolineare che questi veicoli non infastidiscono solo i pedoni ma possono infastidire anche gli altri utenti della strada. Dal momento che nella maggior parte delle città i monopattini, in assenza di corsie/piste ciclabili, sono obbligati a circolare sulla corsia riservata agli altri veicoli a

motore, data la loro bassa velocità massima, in genere 20-25km/h, vengono considerati di impaccio ai veicoli più veloci.

Il monopattino, in aggiunta, facilita l'utente nell'effettuare rapidi cambi di modalità di trasporto. Con

poco sforzo il monopattinista può scendere dal monopattino e diventare un pedone, con comportamenti e obblighi differenti. In [11] sono riportati due esempi di questo cambio di modalità repentino. Gli altri utenti della strada, spiega, aumentano il loro livello di allerta alla vista di un monopattino perché non

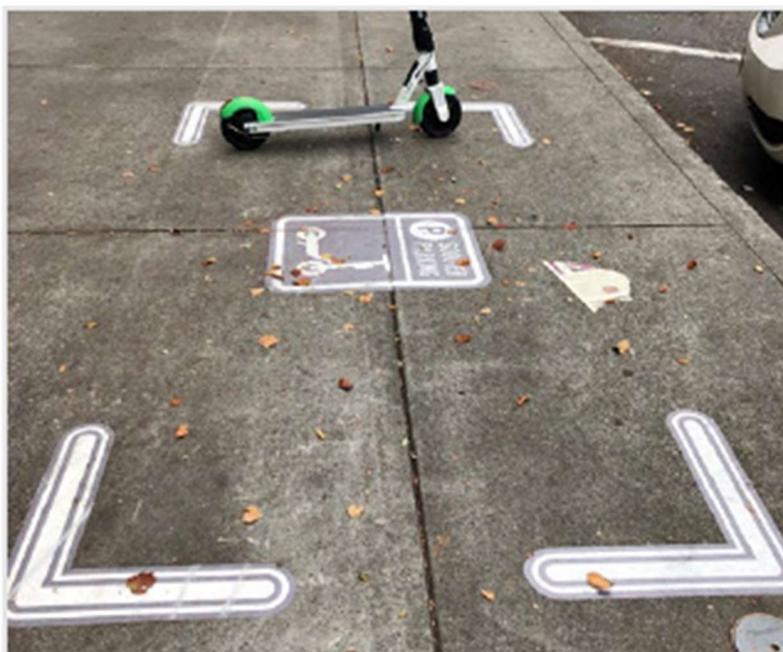


Figura 5. Cambio modalità di trasporto repentina [11]

sanno quali saranno le prossime azioni del conducente. Nello specifico un utente sul monopattino è stato filmato mentre, arrivato su strada ad un incrocio con semaforo rosso, scende dal monopattino, attraversa l'incrocio come pedone e, risalendo sul monopattino, riprende il proprio viaggio, avendo difatti superato tutti gli altri veicoli in coda al semaforo (Figura 5). Questo ed altri comportamenti possono essere considerati dagli altri utenti come un'infrazione delle regole ed aumentano l'odio e l'idea che i monopattini elettrici siano un male.

Un'altra caratteristica negativa dei monopattini riguarda principalmente quelli messi a disposizione per l'uso condiviso. Due punti chiave del successo di questi veicoli, anche a dispetto di automobili o biciclette in condivisione, è il fatto di poter trovare il veicolo praticamente ovunque e di poter finire la propria corsa ovunque, senza eccessive restrizioni di parcheggio. Anche se nell'ultimo periodo diverse città hanno obbligato le varie compagnie ad impedire che gli utenti parcheggino in modo non consona, la pratica del parcheggio selvaggio è stata fin da subito una problematica che ha afflitto le strade. Osservando l'esempio di Portland [12], dove sono state adibite zone apposite per il parcheggio di questi veicoli (Figura 6), o di Milano, dove ad Ottobre 2020 è iniziata la battaglia contro i parcheggi in zone vietate con rimozione da parte della polizia [13], si può capire quanto il corretto parcheggio

dei monopattini in condivisione sia importante per le autorità e i cittadini. Una ricerca [10] riporta le abitudini di parcheggio degli utenti di monopattini in sharing a Rosslyn, Virginia. Su 606 monopattini osservati, il 16% è stato classificato come parcheggiato in modo improprio. Con questa dicitura si intendono monopattini appoggiati per terra o che bloccano il passaggio dei pedoni o posteggiati su proprietà privata. Questo è un altro tipo di comportamento portatore di tensioni e odio verso chi utilizza il monopattino.



*Figura 6. Parcheggio riservato a monopattini elettrici [12]*

## **1.9. Vandalismo**

Le tensioni e l'odio verso i monopattini elettrici troppo spesso sfociano in atti vandalici volti a danneggiare i monopattini. Sono innumerevoli gli articoli in rete che parlano della problematica del vandalismo nelle varie città. Ne vengono riportati di differenti gravità, a partire dal semplice far cadere un singolo monopattino o una fila di questi parcheggiati, fino ad azioni più gravi come appiccargli



*Figura 7. Esempio di vandalismo*

fuoco o gettarli nelle acque di un fiume che attraversa la città. Non si tratta quindi solo di danni alla proprietà dell'azienda, ma anche di danni ambientali e problemi di decoro urbano. Questa problematica è diffusa in tutte le città in cui è presente un servizio in sharing di monopattini elettrici in misura più o meno grande. Fa riflettere la presenza di una pagina americana Instagram dal nome

“Bird Graveyard” [27] dove vengono giornalmente pubblicate foto o video a tema distruzione monopattini elettrici in condivisione. Come è da aspettarsi in alcune città le società sono state costrette ad interrompere il servizio: i danni causati dal vandalismo hanno reso la prosecuzione del servizio economicamente insostenibile.

### 1.10. Inesperienza dei conducenti

Un altro punto fondamentale di discussione riguarda la facilità di reperibilità ed utilizzo dei monopattini in condivisione. Un monopattino elettrico è veramente semplice da sbloccare: basta avere uno smartphone ed una carta di credito e per poco più di 1€ si acquista l’accesso a questi veicoli. La decisione di noleggiare un monopattino, come riporta ConsumerReport [25], è una decisione molto rapida. Nel giro di pochi minuti l’utente si trova a bordo del veicolo avendo ricevuto una sommaria spiegazione delle regole vigenti e delle norme di comportamento direttamente dall’applicazione con cui accede al servizio di sharing. Non è, infatti, necessaria nessuna licenza o periodo di prova per la guida di questi veicoli. In aggiunta, i monopattini elettrici sono veicoli recenti ed è raro che gli utenti abbiano esperienza con il loro utilizzo. Il conducente inesperto è quindi autorizzato a guidare un veicolo probabilmente mai utilizzato prima, senza protezioni, in mezzo al traffico cittadino. L’inesperienza, secondo una ricerca sull’incidentalità pubblicata in Texas [26], ha causato la caduta degli utenti più “sfortunati” causando loro ferite necessitanti di un viaggio al pronto soccorso. I dati

riportano che circa il 33% degli infortunati stava guidando il monopattino elettrico per la prima volta e un altro 30% aveva usato il monopattino meno di 10 volte.

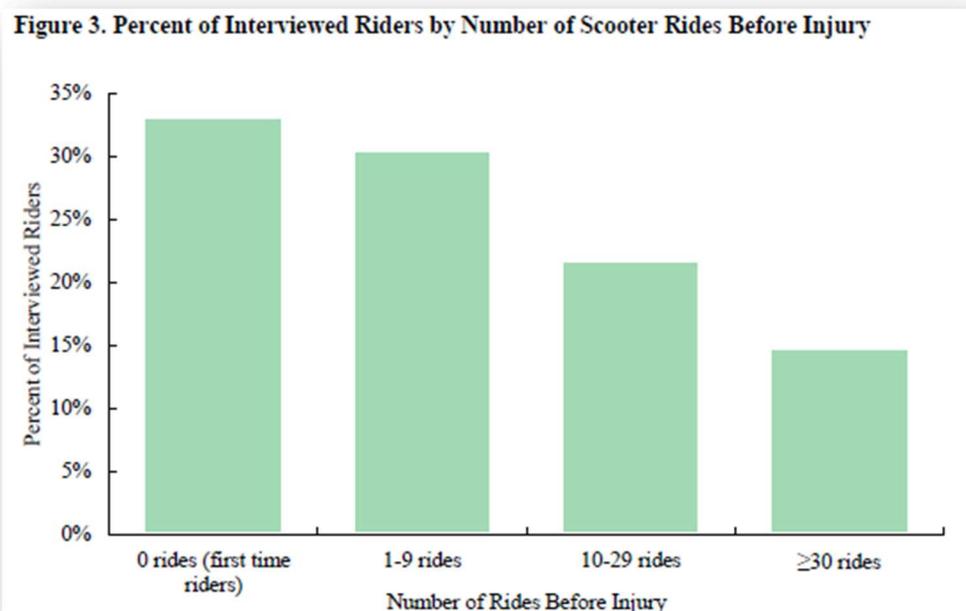


Figura 8. Percentuali sul numero di corse effettuate [26]

## 2.

# Incidentalità

### 2.1. I numeri degli incidenti

L'analisi delle statistiche riguardanti l'incidentalità dei monopattini elettrici può risultare allarmante. Le prime ricerche su quest'argomento sono state svolte in America a seguito dell'aumento del numero di pazienti richiedenti cure mediche a causa di cadute in monopattino. Viene riportato in [5] che nel periodo di osservazione di 4 mesi nel 2018 si sono verificati 176 ingressi al pronto soccorso contro i soli 16 nello stesso periodo del 2017. Negli studi analizzati, viene in genere riportato come grande limite la sola osservazione degli incidenti relativi agli ingressi al pronto soccorso. Tutti gli altri incidenti di minor gravità non sono stati inclusi a causa dell'impossibilità di poterli tracciare e analizzare. L'immagine del numero di incidenti che viene rappresentata da queste ricerche sottostima quindi il valore reale.

La maggior parte delle prime ricerche sono state condotte con l'obiettivo di comprendere le statistiche relative agli incidenti in monopattino. Molte di queste sono state svolte mediante ricerca retrospettiva di referti del pronto soccorso su base temporale da qualche mese fino ad 1 anno. Chi ha effettuato la ricerca ha avuto accesso ai database dei referti di uno o più ospedali ed ha selezionato quelli contenenti alcune parole chiave tra cui "e-scooter", "scooter", oppure "Lime", "Bird" [31], noti brand di monopattini elettrici in condivisione. Le ricerche trattano di molti aspetti: alcune sono molto dettagliate e descrivono anche le statistiche relative alla tipologia di trauma subito dal paziente mentre altre hanno cercato di ottenere più informazioni relative a come fosse avvenuto l'incidente, contattando i diretti interessati per sottoporli a dei questionari. Queste ultime sono state svolte durante il periodo stesso di riferimento, in modo da poter intervistare "a caldo" i pazienti.

Alla domanda: "Quanto sono pericolosi i monopattini?" ha cercato di rispondere uno studio condotto a Washington nel 2019 [32]. Questa ricerca, comprensiva di interviste ai pazienti, ed integrata con una ricerca precedente sull'incidentalità delle biciclette nel periodo dal 2015 al 2017, ha valutato il numero medio di incidenti che richiedono ingresso al pronto soccorso per milione di miglia percorse complessivamente dalla classe di veicolo. L'incidentalità media per i monopattini elettrici è di 20.7 ingressi al pronto soccorso per milione di miglia contro i 6.1 delle biciclette. La ricerca riporta però una media mensile di accessi maggiore per le biciclette: 20 contro 15. Questa differenza è data dal maggior numero di corse effettuate dalle biciclette con distanze medie più elevate rispetto ai monopattini. Un'altra interessante statistica riguarda direttamente le abilità di guida dei conducenti sui monopattini. Sempre in [32] viene riportato che addirittura il 36.3% dei pazienti ha subito traumi,

necessitanti di cure al pronto soccorso, derivati dal loro primo viaggio in monopattino. Si può affermare quindi che l'inesperienza è spesso causa di incidenti anche gravi. L'età media dei pazienti secondo le ricerche svolte ad Auckland [33] in Nuova Zelanda, è tra i 20 e i 30 anni nel 40% dei casi mentre ad Austin in Texas [26] questa fascia di età copre circa il 48% dei casi.

Altri dati interessanti riguardano le percentuali delle varie parti del corpo interessate da un trauma. Particolare menzione va fatta per la testa. Ad Auckland [33] nel periodo di osservazione di 4 mesi, su un totale di 64 pazienti ben 28 hanno riportato danni al volto o alla testa. Sul totale, il 19% ha riportato una commozione e il 12.7% una frattura. Ad Austin [26] viene riportata una percentuale di traumi cerebrali del 15% su un campione di 192 pazienti. Nella Carolina del Sud [31] su 249 pazienti valutati nel periodo di un anno il 38.2% ha riportato danni alla testa di lieve entità e il 2% danni più gravi.

In tutte le ricerche riportate viene sottolineato che esistono diverse modalità di incidente. Queste possono essere raggruppate per colpa di: caratteristiche del veicolo, conducente, infrastrutture. Non è comunque obiettivo di queste ricerche dare una spiegazione in questo senso, quanto di sottolineare che i monopattini elettrici hanno aumentato gli ingressi in pronto soccorso a causa del loro utilizzo. Cercheremo ora di fornire una panoramica generale sugli aspetti che maggiormente possono portare ad incidente o a caduta un conducente su monopattino.

## **2.2. Cause di incidenti: veicolo**

### **2.2.1. Ruote ed avancorsa**

Una caratteristica che può rendere i monopattini elettrici pericolosi riguarda le ruote con cui sono equipaggiati. Queste hanno generalmente diametri intorno agli 8-10 pollici comprensivi di pneumatico già gonfiato. Uno pneumatico denominato da 10" in realtà ha un diametro del cerchio di 6.5". Per avere un'idea della differenza, una ruota da bicicletta da adulto può avere diametri da 26-29 pollici considerando solo il cerchione. Uno pneumatico con un diametro piccolo come quello di un monopattino elettrico può causare facilmente instabilità per diversi motivi. Uno di questi riguarda in, in particolare l'avancorsa. Calcolata come distanza sull'asse orizzontale tra la proiezione sul piano dell'asse della ruota anteriore e il punto di incontro tra l'asse sterzo e il suolo, l'avancorsa, più è grande più il veicolo risulta stabile (Figura 9). Questa distanza è considerata positiva se la proiezione dell'asse della ruota anteriore sul suolo è posizionata più indietro rispetto al punto di incontro tra asse di sterzo e suolo. Considerando per semplicità lo pneumatico e il suolo infinitamente rigidi, il contatto

tra di essi avviene in un solo punto. Questo punto coincide con la proiezione sul terreno dell'asse della ruota anteriore ed è il punto in cui vengono applicate le forze che si scambiano suolo e monopattino. Se durante un moto rettilineo la ruota anteriore viene ruotata istantaneamente attorno



*Figura 9. Giallo: avancorsa. Rosso: asse sterzo. Blu: proiezione asse ruota*

all'asse di sterzo, la velocità di avanzamento del punto di contatto non cambierà direzione e intensità. Si verrà quindi a creare una componente laterale di velocità, detta di strisciamento, perpendicolare al piano di rotazione della ruota, sullo pneumatico che genererà una forza con stessa direzione, verso opposto e intensità proporzionale alla componente di velocità che la ha generata. Se il punto di applicazione della forza laterale si trova posteriormente rispetto al punto di intersezione tra asse di sterzo e suolo, avancorsa positiva, essa creerà un momento detto “auto-allineante” che tenderà a riallineare lo pneumatico con la velocità di avanzamento. Se, a causa della geometria del veicolo, la forza è applicata anteriormente rispetto al punto di intersezione dell'asse di sterzo, avancorsa negativa, questa genererà un momento detto “disallineante” che tenderà a far ruotare maggiormente la ruota rispetto alla direzione del moto di avanzamento. Per mantenere la traiettoria, in questa condizione, il conducente deve essere molto abile nell'intervenire correttamente sullo sterzo per evitare che questo si “chiuda” comportando una caduta. Tenendo quindi a mente che un'avancorsa positiva è sempre da desiderare per questioni di stabilità, se essa è positiva ma abbastanza ridotta il veicolo risulta maneggevole e i cambi di direzione possono essere effettuati con facilità visto il piccolo braccio su cui agisce la forza laterale che si genera sullo pneumatico. I monopattini elettrici in particolare sono

dotati di un'avancorsa molto corta. L'angolo di sterzo molto verticale tende ad arretrare il punto di intersezione tra asse di sterzo e terreno. Allo stesso modo le ruote di piccolo diametro tendono a diminuire ancora il valore dell'avancorsa. I monopattini risultano, così, molto agili nei cambi di direzione, ma questa maggiore agilità può diventare pericolosa dal momento che la forza laterale che tenderebbe a riallineare la ruota nella direzione di avanzamento non genera un momento sufficiente a garantire la stabilità del mezzo. In queste condizioni una caduta è molto più probabile.

Un altro aspetto legato all'avancorsa riguarda il superamento di ostacoli. Quando il monopattino è costretto a superare un ostacolo, la ruota anteriore è la prima che entra in contatto con esso. In questa condizione il punto di contatto tra la ruota e il suolo si sposterà in avanti. Per quanto detto precedentemente l'incontro con un ostacolo tende a diminuire l'avancorsa del monopattino. Essendo le ruote dei monopattini molto piccole, per rendere negativa l'avancorsa basterebbe affrontare un ostacolo di piccole dimensioni, rendendo, quindi, il comportamento del veicolo instabile.

In aggiunta a ciò che è stato detto, bisogna anche considerare la maggior propensione all'impuntamento delle piccole ruote del monopattino. Semplificando l'ostacolo da superare come un gradino e ipotizzando che pneumatico e ostacolo siano infinitamente rigidi si possono disegnare i grafici delle forze in gioco (Figura 10). La ruota

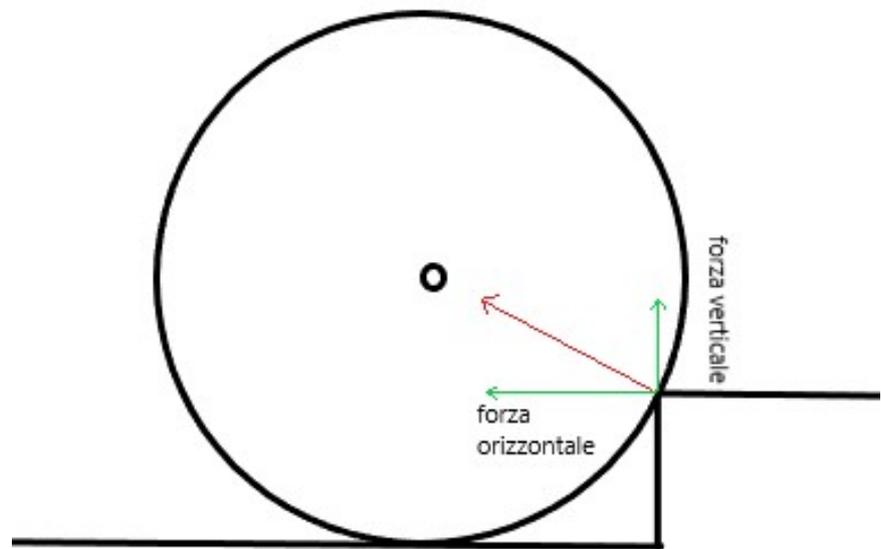


Figura 10. Forze su pneumatico

riceve una forza nel punto di contatto con il terreno. Questa forza dipende dalla massa e dalla velocità del monopattino, in altre parole dalla sua quantità di moto. Essa dipende anche dal tempo durante il quale avviene il contatto. Più lo pneumatico ed un'eventuale sospensione riescono a deformarsi, aumentando il tempo di impatto, minore sarà la forza restituita all'intero monopattino. Questa forza è diretta verso il centro di rotazione della ruota che è il punto in cui essa è in collegata con il resto della struttura. La forza che agisce sullo pneumatico avrà generalmente una componente verticale e una orizzontale. La componente orizzontale è quella che si oppone al moto ed è sinusoidalmente proporzionale all'altezza dell'ostacolo. La componente verticale è, invece, quella che permette al veicolo di superare

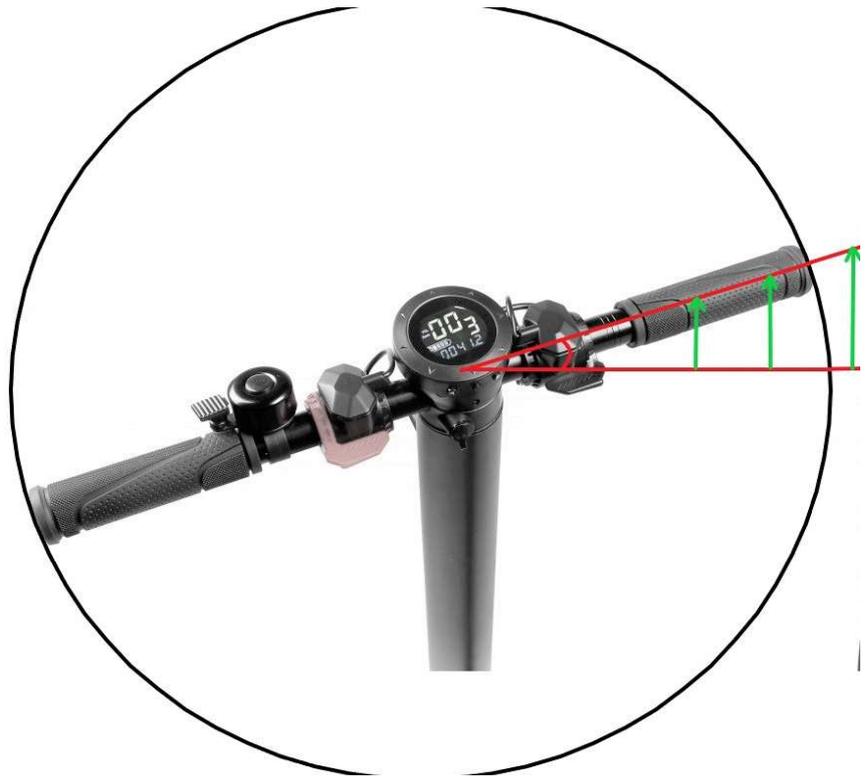
l'ostacolo e diminuisce all'aumentare della sua altezza. Essa si annulla quando l'ostacolo è alto come il raggio della ruota. Se l'ostacolo si presenta alto abbastanza da ridurre eccessivamente la componente verticale della forza, il veicolo non riesce a superare l'ostacolo. Risulta banale affermare che una ruota di piccolo diametro abbia difficoltà a superare ostacoli piccoli. Queste considerazioni, unite alla frequente assenza di ammortizzatori funzionali sui monopattini di fascia medio bassa, possono essere conclusive del fatto che i monopattini sono difficili da guidare su terreni sconnessi. Inoltre, in mancanza di esperienza, è facile sottovalutare una situazione di pericolo per strada dissestata se essa non viene percepita come tale quando percorsa con altri veicoli.

### **2.2.2. Manubrio adeguato.**

In nome della compattezza, i manubri dei monopattini elettrici sono troppo spesso molto stretti. Le misure più comuni si aggirano intorno ai 450 mm di lunghezza massima, anche se su modelli di fascia economica più alta questo valore può aumentare leggermente. Per avere un riferimento, i manubri da bici possono variare tra valori di larghezza di 560mm adatti ad una bici da città fino a 820mm più specifici per un utilizzo fuoristrada. Un manubrio largo permette di mantenere una traiettoria precisa e di poter facilmente intervenire con poco sforzo per raddrizzare la ruota anteriore quando essa sterza a seguito di una perturbazione esterna. Come già accennato a causa delle ruote di diametro ridotto e dell'avancorsa ridotta i monopattini risentono maggiormente di buche e crepe nell'asfalto. Lo pneumatico, oltre a ricevere forze laterali a causa della componente della velocità di strisciamento, può ricevere altre forze derivanti dalle condizioni di irregolarità della strada. Queste forze, sommate tra loro, applicano all'asse di sterzo un momento non nullo. Lo scopo del manubrio è quello di permettere al conducente di assecondare o contrastare queste coppie applicando le opportune forze con le proprie mani sul manubrio stesso. È ovvio che un manubrio stretto richiederà l'applicazione di maggiori forze per contrastare le coppie auto-allineanti o disallineanti. Anche in questo caso, quindi, l'adozione di ruote piccole non favorisce il superamento di ostacoli. Una ruota di piccolo diametro tenderà a copiare maggiormente le asperità applicando conseguentemente coppie più elevate al manubrio.

Un altro motivo per cui è preferibile un manubrio largo riguarda la maggior precisione e stabilità della traiettoria. Immaginiamo di disegnare una circonferenza posta perpendicolarmente all'asse di sterzo con manubrio inizialmente alla posizione di 0 gradi corrispondente alla situazione di moto rettilineo. Per piccoli angoli di rotazione dello sterzo è lecito approssimare lo spostamento delle mani come il seno dell'angolo descritto. Durante la guida, il conducente percepisce la rotazione dello sterzo

attraverso questo spostamento. Risulta ovvio che un diametro di circonferenza, o larghezza manubrio, ridotta genera piccoli spostamenti sul seno. Ciò, ha come risultato di fornire all'utente una scarsa percezione della rotazione dello sterzo rendendolo inoltre molto più sensibile agli spostamenti effettuati dall'utente. Per comprendere questa caratteristica, basti pensare che mentre su una bicicletta tutti sono in grado di staccare facilmente una mano dal manubrio, non tutti ci riescono su un monopattino con la stessa disinvoltura



Un monopattino risulta, quindi, essere molto sensibile alla rotazione dello sterzo e meno stabile rispetto a biciclette o

*Figura 11. Spostamenti del manubrio a distanze diverse dal centro di rotazione*

motoveicoli dotati di manubrio più largo e ruote dal diametro maggiore.

### **2.2.3. Veicoli nuovi, si possono ancora migliorare**

I monopattini elettrici hanno iniziato a far parte delle strade di tutto il mondo recentemente e, benché abbiano riscosso molto successo, soprattutto per i modelli in condivisione, si tratta di veicoli nuovi per i quali sono ancora presenti i difetti dei primi modelli. Prendendo ad esempio i monopattini in sharing, si nota la mancanza o l'inadeguatezza di elementi fondamentali. Spesso su questi veicoli sono assenti ammortizzatori funzionali atti a mitigare l'effetto negativo che buche o crepe nell'asfalto possono avere sui monopattini. Gli pneumatici di piccolo diametro possono dare problemi di stabilità come già trattato precedentemente. Inoltre, se essi sono di tipologia con camera d'aria o tubeless possono bucarsi e rappresentare un altro problema. Mentre il conducente proprietario del monopattino è verosimile che sia più accorto nei confronti del proprio veicolo, non è detto che lo stesso valga per un conducente di un monopattino in sharing. Il primo infatti in caso noti che uno pneumatico del

proprio monopattino sia bucato è inverosimile che decida di compiere il proprio viaggio. È, invece, probabile che il secondo non dia troppa importanza a questo fatto ritenendolo un danno non di suo interesse e non un pericolo per l'utilizzo del veicolo.



*Figura 12. Le ruote dei monopattini si possono forare*

Altre problematiche relative ai monopattini elettrici possono riguardare i freni. La capacità

frenante di un veicolo è di primaria importanza nella definizione del suo livello di sicurezza. Un impianto frenante reattivo, efficiente e modulabile può ridurre sensibilmente la velocità a cui avviene un impatto o evitarlo completamente. Come è per la quasi totalità dei sistemi frenanti meccanici, anche i freni dei monopattini hanno bisogno di essere regolati. La tipologia di freno più potente per questi veicoli è sicuramente il freno a disco. Esso però risulta essere quello più esposto a danneggiamenti e necessita più frequentemente di regolazione. In caso di allentamento di alcuni elementi costitutivi di questa tipologia di freno, o anche solo in seguito a normale usura, la capacità frenante generale può essere compromessa. Sarebbe opportuno valutare i benefici di un impianto frenante molto potente ma fragile contro quelli offerti da un impianto meno potente ma più affidabile sul lungo periodo.

È infine importante riportare un esempio di problema software di cui questi veicoli possono essere affetti. Questi possono essere di varia natura, ma è raro trovarne di eclatanti come il blocco improvviso del monopattino come accaduto in Svizzera. Viene riportato da Waston [36] un problema software che ha afflitto i monopattini in “sharing” della compagnia Lime che si è rivelato molto pericoloso per l'incolumità dei conducenti. Viene riportato da più conducenti come il monopattino a noleggio, una volta raggiunta la velocità massima consentita di 25 km/h, si fosse spento e la ruota anteriore fosse stata immediatamente bloccata dal sistema di frenata elettronica di cui è dotato il monopattino. Questo evento ha causato la caduta dei conducenti ignari di quello che gli stava succedendo. Questa caduta è costata loro un ingresso al pronto soccorso non sempre con danni di lieve entità. Altri problemi relativi al software di gestione sono avvenuti in Italia. Viene riportato da “La Stampa” [37] l'esperienza di un fruitore del servizio di monopattini in condivisione che, a causa

di problemi di tracciabilità GPS del veicolo in uso, si è visto spegnere il proprio monopattino senza il suo consenso per diverse volte. Egli stava infatti viaggiando al limite della zona consentita per l'utilizzo di questo veicolo come imposto dal comune. È capitato che il GPS del veicolo registrasse la sua posizione erroneamente al di fuori di quest'area causando il blocco indesiderato. Fortunatamente questo evento non ha avuto ripercussioni sulla sicurezza del conducente.

## **2.3. Cause di incidenti: conducente**

### **2.3.1 Eccesso di velocità**

La velocità legalmente raggiungibile dai monopattini elettrici è di 25km/h o 15 mph ed è imposto dalla legge come limite massimo per la circolazione su suolo pubblico. Alcuni stati nel mondo hanno in realtà deciso, per motivi di sicurezza, di impostare questo limite a 10 mph: circa 16 km/h. La velocità massima che i monopattini elettrici possono raggiungere è comunque elevata soprattutto se si pensa ai luoghi dove essi possono circolare. Le strade del centro di una città possono risultare molto insidiose a causa dei numerosi attraversamenti pedonali, degli incroci e della massiccia presenza di diverse tipologie di utenti. Gli spazi nelle strade riservati ai monopattini elettrici, in assenza di piste ciclabili, sono spesso condivisi con altri veicoli più veloci ed ingombranti, in particolare le automobili. Questa condivisione confina i monopattini alle estremità della strada. Gli spazi residui sono stretti e riducono sensibilmente l'affordability del percorso per i monopattinisti rendendo la velocità di 25 km/h troppo elevata. Lo studio sull'incidentalità svolto in Texas [26] riporta che il 37% degli intervistati ha addotto come causa del proprio incidente proprio l'eccesso di velocità. L'eccesso di velocità può essere dovuto a numerosi fattori. Per citarne alcuni, ad esempio l'eccessiva confidenza nella propria capacità di reazione o nelle capacità frenanti del monopattino. Il divertimento che spesso accompagna i primi usi questi veicoli, potrebbe essere una causa di eccessiva disinvoltura e sottovalutazione dei pericoli. La sottovalutazione delle condizioni della strada potrebbe tradursi nella percorrenza di un tratto sconnesso a velocità troppo elevate. L'inesperienza nel governare efficientemente il veicolo potrebbe generare errori di guida più probabili e pericolosi ad alte velocità. In generale si può affermare che una velocità adeguata alla propria esperienza ed abilità, al tipo di veicolo e alle condizioni della strada, può ridurre il rischio di incidente o quantomeno renderlo meno grave.

### **2.3.2. Inesperienza dei conducenti**

Come già accennato una causa di incidenti risiede nell'inesperienza dei conducenti. La ricerca [26] svolta in Texas riporta che il 63% dei pazienti analizzati aveva effettuato meno di 10 corse prima di avere un incidente costatogli una visita al pronto soccorso. Questa ipotesi sull'inesperienza è rafforzata da [32] secondo cui il 36.6% dei monopattinisti stava usando il monopattino per la prima volta al momento del loro incidente. Molti studi, inoltre, riportano che la causa principale di incidente sia la caduta accidentale in assenza del coinvolgimento di altri utenti quali veicoli o pedoni. Secondo la ricerca condotta a Portland nel 2018 [5] l'83% dei pazienti non ha coinvolto altri utenti nel proprio incidente, il 12.5% ha coinvolto altri veicoli e solo l'1.7% ha coinvolto anche i pedoni. Sempre a Portland nel 2019 ad intervalli di 3 mesi sono state calcolate le percentuali delle varie cause di incidente. Le percentuali per periodi successivi sono state di 76%, 70% e 68% per incidenti che non hanno coinvolto altri utenti. Le percentuali legate ad incidenti relativi a scontri con le infrastrutture sono di 11%, 17% e 17%. Le percentuali di scontri con autoveicoli sono di soli 4%, 4% e 5%. Percentuali simili sono riportate in [31] dove la caduta accidentale ha riguardato l'80,2% dei pazienti, l'11% si è scontrato con delle infrastrutture, l'8,4% degli incidenti ha coinvolto i pedoni e l'8.8% altri veicoli. Altra componente da aggiungere riguarda la massiccia presenza di utenti di monopattini in condivisione. Secondo [33], il 69.8% dei pazienti analizzati nel periodo di riferimento stava guidando, al momento dell'incidente, un monopattino elettrico in "sharing". I pazienti analizzati da [26], invece, stavano guidando un monopattino elettrico in condivisione nell'83.3% dei casi.

Questi tre aspetti di: numero di corse effettuate al momento dell'incidente, cadute accidentali ed utilizzo di monopattini in sharing, possono essere immagine dell'inesperienza dei conducenti. Una possibile conclusione potrebbe essere che un numero elevato di utenti abbia effettivamente concluso la propria corsa, con una caduta accidentale, dopo aver noleggiato e guidato un monopattino elettrico per la prima volta

### **2.3.3. Posizione di guida**

A livello normativo non esiste un'indicazione chiara sulla posizione di guida da mantenere alla guida di un monopattino elettrico. Le uniche indicazioni che vengono fornite riguardano la sola postura eretta senza potersi sedere su eventuali sellini che non possono, per altro, essere montati sul veicolo. Rimane quindi a discrezione del conducente la scelta della postura da tenere durante la guida. Sebbene questo possa sembrare un aspetto poco rilevante, l'aumento di stabilità e sicurezza fornito da una particolare postura può veramente incidere sulla sicurezza della guida. Nelle fotografie successive



(Figura 13) è mostrata una posizione di guida stabile a confronto di una meno stabile.  
*Figura 13. Confronto posizione di guida*

L'ampiezza generosa delle pedane dei monopattini elettrici lascia spazio all'inventiva del conducente inducendolo a volte posizioni con corrette. Nelle fotografie, si può notare come una diversa interpretazione dello spazio disponibile sulla pedana porti a posizioni più o meno stabili. Risulta lampante che la posizione mantenuta dal conducente di destra sia più stabile rispetto a quella riportata a sinistra. È infatti vero che le accelerazioni del monopattino avvengono parallelamente alla direzione del moto. Un piede posto anteriormente rispetto all'altro, fornisce una base di appoggio più stabile rendendo possibile lo spostamento del peso in avanti o indietro a seconda della situazione da affrontare. Mantenendo i piedi uniti sulla pedana, invece, si relega la gestione delle forze di accelerazione e frenata ai muscoli di piede e stinco lasciando alle braccia il compito di reggere tutto il peso del corpo che non si riesce a bilanciare con l'inclinazione dello stesso; inclinazione impedita, appunto, dalla posizione dei piedi. Le braccia, se sotto sforzo, riescono più difficilmente a controllare il manubrio di un veicolo, il quale è al limite tra agilità ed instabilità a causa delle sue caratteristiche tecniche accennate in precedenza. È inoltre da sottolineare che una guida rilassata con gambe completamente stese aumenta l'instabilità. In tantissimi sport il mantenimento di un corretto equilibrio e uso delle gambe è assicurato da una leggera flessione degli arti inferiori. Questa flessione ci permette di usare maggiormente i muscoli nella gamba che sono per conformazione i più potenti dell'essere umano. Le gambe leggermente flesse fungono inoltre da ammortizzatore. Specie alla guida di monopattini privi di sospensioni, rendere la guida più fluida grazie alla funzione di ammortizzatore che riescono a coprire le gambe con la loro flessione, si può aumentare molto la sicurezza. Sebbene queste considerazioni possano sembrare eccessive per la guida di un monopattino su un percorso cittadino, è bene ricordarsi che le caratteristiche tecniche dei monopattini elettrici ne rendono la guida tutt'altro che stabile. L'adozione

di accorgimenti atti ad aumentare la propria stabilità alla guida di questi mezzi può risultare enormemente benefica in termini di sicurezza.

#### **2.3.4 Il casco**

L'aumento degli incidenti in monopattino con percentuali elevate di pazienti che hanno subito traumi più o meno gravi alla testa, fa riflettere su quanto sia diffuso l'uso di elmetti protettivi. Nel mondo, alcuni paesi hanno imposto l'obbligo di utilizzo del casco, mentre altri, come l'Italia, non adottano questa regola; almeno per i maggiorenni. Una ricerca come [34] suggerisce però come l'uso del casco in bicicletta diminuisca il rischio di traumi, di danni cerebrali, diminuendo inoltre i numeri degli ingressi al pronto soccorso, in alcuni casi anche del 40%. Gli infortuni alla testa sono ridotti fino all'85%. In aggiunta, secondo [33] il casco riduce del 44% il rischio di morte per i ciclisti. Questi risultati possono essere applicati anche ai monopattini elettrici viste le similitudini tra i due tipi di veicolo. La conclusione, anche se ovvia, è che indossare un casco alla guida di un monopattino può ridurre la pericolosità di una caduta. Purtroppo, però, i conducenti che indossano il casco alla guida di un monopattino elettrico sono solitamente pochissimi. Alcune ricerche sull'incidentalità sono integrate da dati relativi al comportamento dei monopattinisti, ricavati a seguito di periodi di osservazione in strada. Questi dati sono comprensivi di statistiche sul tasso di utilizzo del casco. Secondo [5], circa il 90% dei conducenti non utilizza il casco. Un'osservazione in strada [31] di 7h su 192 conducenti, ha concordemente concluso che il 94,3% non indossa il casco mentre è alla guida di un monopattino. La ricerca [32] condotta a Washington, come confronto tra le lesioni dovute a incidenti dei monopattinisti e dei ciclisti, ha osservato che solo l'1,9% dei monopattinisti indossava un casco al momento dell'incidente. I ciclisti invece indossavano il casco nel 66% dei casi. Definiti questi numeri, si può immaginare che la motivazione per la quale sia difficile trovare un monopattinista con il casco sia collegata alla mobilità in "sharing". In diversi paesi, infatti, l'assenza di obbligo del casco, unita alla modalità di fruizione del servizio di monopattini in sharing, che non prevede il noleggio di indumenti protettivi, ha come risultato che la maggior parte degli utenti non utilizza il casco mentre guida.

### **2.3.5. Rispetto delle regole**

È scontato affermare che il mancato rispetto delle regole della strada può portare ad incidenti indipendentemente dall'utente che le infrange, sia esso un autista di autobus o un pedone. In Italia così come nel resto del mondo esistono obblighi che vanno rispettati e norme di buon senso. I monopattini elettrici non sono esenti da queste regole e, come è purtroppo normale che sia, c'è chi le infrange. Le infrazioni più comuni riguardano i monopattini sono ad esempio la circolazione in due, il parcheggio in zone non consentite, l'attraversamento con semaforo rosso, l'eccesso di velocità e il transito su zone non consentite. L'infrazione più pericolosa è sicuramente il transito con semaforo rosso o più in generale l'inosservanza dell'obbligo di precedenza. Sono presenti in rete video "forti" di queste infrazioni che mostrano un monopattinista che attraversa un incrocio, spesso su strisce pedonali, con eccessiva noncuranza quando sarebbe costretto a fermarsi causa semaforo rosso. In questi video al momento dell'attraversamento giunge un'automobile che, per la velocità degli eventi, non riesce ad evitare la collisione. La circolazione in due e la velocità troppo elevata per il tratto percorso nascondono a loro volta dei rischi. Il mancato rispetto delle regole può avere un fondamento come riportato da un report di Dekra [38] e, anche se viene considerato valido per le biciclette, può essere applicato anche ai monopattini elettrici. Il motivo risiede nel fatto che i conducenti non ritengono di rappresentare un pericolo per l'incolumità altrui e questo li porta a commettere più infrazioni. Essere a bordo di un veicolo leggero e agile può portare a pensare di essere esenti da regole. I risultati di questo pensiero sono gli incidenti e l'aumento di odio nei confronti della categoria dei monopattini elettrici.

### **2.3.6 Difficoltà ad eseguire manovre obbligatorie**

In Italia come in altri paesi del mondo sia per chi guida la bicicletta sia per chi guida il monopattino vige l'obbligo di segnalare l'intenzione di svoltare mediante indicazione con una mano. Viene quindi obbligatoriamente richiesto al conducente di staccare una mano dal manubrio per indicare la direzione da voler seguire. Benché questo aspetto sia estremamente utile in termini di comunicazione con gli altri utenti della strada e in prevedibilità della propria guida, questo obbligo mette in serio pericolo i conducenti di monopattini. Mentre si può già intuire questo concetto per quanto è stato scritto in merito alle caratteristiche costruttive di un monopattino elettrico, esso diventa lampante nella lettura della ricerca svolta in Germania [43] sull'uso della mano per la segnalazione della svolta. Nelle prove effettuate i conducenti hanno riscontrato grandi difficoltà nell'esecuzione di questa manovra. Viene riportata una maggiore difficoltà a segnalare la svolta a destra, dal momento che rilasciando il

comando dell'acceleratore le forze di attrito tendono a frenare il monopattino rendendone il controllo più difficoltoso. Viene comunque rilevato un generale aumento della disinvoltura nell'esecuzione della manovra prova dopo prova. Alcuni conducenti hanno affermato di ritenere questa pratica pericolosa e di non volerla adottare nel traffico cittadino visti i maggiori rischi correlati. È infine riportato che diversi conducenti abbiano proposto l'utilizzo di segnalazione della svolta con l'uso di un piede piuttosto che con il braccio.

## **2.4. Cause di incidenti: infrastrutture**

Tra le cause di incidenti rientrano anche quelle legate alle infrastrutture. Un esempio potrebbe essere la sede di transito dei monopattini. Molte grandi città italiane possiedono nel centro storico uno stampo medievale e alcune addirittura del periodo romano, caratterizzate da strade strette e poche vie di fuga. Nelle sezioni più strette potrebbe addirittura essere assente un marciapiede sopraelevato ed essere disegnata sul terreno una striscia divisoria che segna lo spazio destinato ai pedoni da un lato e agli altri veicoli dall'altro. Molte nostre città non sono quindi concepite per ospitare questi nuovi veicoli a due ruote elettrici a causa degli spazi già ristretti. La mancanza di piste ciclabili, terreno ideale per i monopattini elettrici, obbliga i monopattinisti ad occupare parte della corsia riservata alle automobili. La condivisione di uno spazio già molto stretto può facilmente creare una situazione di pericolo per la sicurezza.

Un altro elemento di pericolo legato alle strade riguarda la densa presenza di crepe e buche nel manto di asfalto. Queste deformità che si generano naturalmente con l'invecchiamento della strada stessa e possono risultare molto pericolose per un monopattino elettrico. Come già accennato, la velocità elevata, l'assenza di ammortizzatori e soprattutto le ruote dal piccolo diametro, concorrono a rendere buche e crepe un serio pericolo per i conducenti in monopattino. Elementi come binari del tram, tombini e marciapiedi possono ugualmente rappresentare un pericolo per i monopattini, ma a differenza di buche e crepe non sono si tratta ovviamente di elementi risolvibili con la loro mera eliminazione.

La ricerca sull'incidentalità condotta a Washington [32] riporta anche che il 24% dei pazienti è caduta a causa di transito su superfici pericolose per i monopattini e il 16.5% a causa di un marciapiede.

Lo studio condotto ad Austin [26] riporta che il 50% dei pazienti intervistati ha accusato le cattive condizioni della strada, quali buche o crepe, come colpevoli per la loro caduta in monopattino. Rimane comunque da chiedersi se il transito su queste superfici sia avvenuto intenzionalmente, se il



periodicamente. Questa carenza normativa ha portato conseguenze disastrose per gli individui che sono stati fermati e multati mentre guidavano il proprio monopattino elettrico su suolo pubblico prima dell'entrata in vigore dei decreti attuativi nei vari comuni. È importante citare il caso di un ragazzo torinese che in Ottobre 2019 riceveva una multa superiore ai 1000€ [16]. Gli venivano infatti contestati l'assenza della targa e del libretto di circolazione del monopattino, ovvero, veicolo non immatricolato. Nonostante quindi il Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti fosse già in vigore, il comune di Torino non aveva ancora iniziato la sperimentazione, lasciando che i monopattini elettrici rimanessero illegali su suolo pubblico.

Con il Decreto Toninelli vengono comunque stabilite delle regole di utilizzo che sono rimaste invariate fino ad oggi. I punti più importanti sono i seguenti:

- Vengono suddivise le categorie dei veicoli auto-bilanciati e non auto-bilanciati. I monopattini rientrano in quest'ultima categoria e hanno l'obbligo di montare un motore con potenza nominale inferiore ai 500W.
- Il limite massimo di velocità per i veicoli non auto-bilanciati è di 20km/h(verrà successivamente incrementato a 25 km/h). Essi possono circolare solo su strade urbane con limite massimo di 30km/h e sulle piste ciclabili. È consentito l'accesso alle aree pedonali dove vige il limite di velocità di 6 km/h. Tutti i veicoli devono essere provvisti di limitatori di velocità automatici.
- La circolazione sui marciapiedi è vietata.
- I mezzi non auto-bilanciati devono essere muniti di un segnalatore acustico. Se il conducente effettua un viaggio in condizioni di scarsa visibilità o di notte, è necessario che egli indossi un giubbotto catarifrangente. È inoltre necessario che il monopattino sia munito di una luce anteriore, e posteriormente di una luce di stop rossa e un catadiottro.
- I mezzi non possono essere equipaggiati con posti a sedere.
- Viene lasciata ai comuni la scelta dei luoghi dove consentire o vietare la circolazione, l'apposizione di segnaletica come descritta nel decreto, l'organizzazione di una campagna informativa.
- Viene lasciata sempre ai comuni la scelta di consentire o meno l'attività di compagnie del servizio di condivisione di monopattini. Quest'ultime dovranno tra le altre cose stipulare obbligatoriamente contratti assicurativi per i loro clienti.
- Vengono infine descritte le caratteristiche tecniche costruttive dei monopattini elettrici e degli altri veicoli della micro-mobilità.



Figura 14. [18] Caratteristiche costruttive di un monopattino come da normativa

L'utilizzo dei monopattini elettrici è rimasto, quindi, fuorilegge in comuni che non hanno fatto richiesta per cominciare la sperimentazione.

Un piccolo passo in avanti verso quella che viene definita “mobilità sostenibile”, è stato fatto grazie al Decreto Legislativo n° 11 del 14/10/2019 [19]. Un decreto redatto per definire alcune misure urgenti per il contrasto ai cambiamenti climatici. Nei comuni con almeno 100'000 abitanti viene garantito un buono di 1500€ o 500€ se si rottama un'auto o una moto da spendere in abbonamenti per il servizio di trasporto pubblico o biciclette anche elettriche. Questo decreto viene poi convertito in legge n° 141 il 12 Dicembre 2019 [20]. In questa legge viene ampliata la possibilità di spesa del buono per i “servizi di mobilità condivisa a uso individuale”, includendo in questo modo anche eventuali abbonamenti ai servizi di monopattini in condivisione come previsto dal Decreto Toninelli. Un ulteriore grande passo in avanti viene compiuto pochi giorni dopo con la Legge 160 del 27 Dicembre 2019 dove si legge “I monopattini... sono equiparati ai velocipedi...” riferendosi ai monopattini elettrici descritti dal precedente Decreto Toninelli. Vengono così resi ufficialmente legali i monopattini elettrici su tutto il territorio italiano fatta eccezione per le già citate restrizioni riguardanti le strade non urbane e le strade con limite di velocità superiore a 30km/h.

Con il termine dell'anno 2019 il Decreto definito “Mille proroghe” [21] chiude definitivamente l'anno legislativo italiano rimandando all'anno successivo tutte le leggi e i decreti rimasti in sospeso. Mentre in questo decreto non vi è traccia di aggiornamenti relativi alla micro-mobilità, essi compaiono nella conversione in Legge n° 8 del 28 Febbraio 2020 [22] con l'aggiunta di un nuovo articolo 33bis e

nuovi commi che sostituiscono la 160 del 27 Dicembre 2019. In questa nuova legge troviamo alcune modifiche al precedente Decreto delle Infrastrutture e dei Trasporti che sono valide tutt'ora.

In particolare:

- il periodo di sperimentazione è prolungato di 12 mesi nelle città.
- il limite massimo di velocità per i monopattini elettrici deve essere 25 km/h mentre resta di 6 km/h nelle aree pedonali. Le strade percorribili sui monopattini sono quelle urbane con limite di velocità massimo di 50 km/h. Nessun limite sulle piste ciclabili.
- Obbligo del casco solo per i minorenni che devono inoltre aver conseguito la patente AM (il vecchio C1CG).
- Viene sottolineato l'obbligo di mantenere sempre due mani sul manubrio. Per segnalare una svolta è però obbligatorio staccare una mano dal manubrio.
- Viene sottolineato che il monopattino elettrico può essere utilizzato anche nei comuni che non hanno fatto richiesta per il periodo di sperimentazione.

Viene quindi consentita la circolazione dei monopattini elettrici come categoria definita e non sottoposta ai vincoli di immatricolazione e revisione a cui sono normalmente sottoposti i veicoli a motore. Rimane tuttavia valido il divieto di circolazione per tutte le altre categorie di veicoli della micro-mobilità quali segway e hoverboard nei comuni che non hanno fatto richiesta per la sperimentazione, come descritto nel precedente decreto. Queste, in conclusione, sono le regole e le leggi vigenti ad oggi in Italia. A livello normativo è opportuno citare altri decreti e leggi che incentivano l'utilizzo dei monopattini elettrici come veicoli per la mobilità personale.

Il giorno 11 Marzo 2020 l'Italia entra nel periodo detto di "lock-down" in seguito alla epidemia da virus Sars-Cov-2. Da questo momento in avanti concetti come distanziamento sociale e limitare i contatti diventano quotidianità per tutta la nazione. Nonostante questo virus non abbia un tasso di mortalità molto elevato, il tasso di infettività è decisamente alto. Una delle problematiche più pressanti è la necessità di cure in terapia intensiva di cui necessitano i pazienti con un'infezione più importante. Questi motivi, uniti alla fragilità e predisposizione al virus di alcune categorie di pazienti, hanno portato regole ed obblighi di distanziamento sociale che sono tutt'ora in vigore. Questa situazione ha fatto sì che il governo investisse nella direzione della micro-mobilità personale. I monopattini elettrici ed il servizio di condivisione delle aziende attive nei principali comuni italiani sono stati visti come un'opportunità di assolvere agli obblighi di distanziamento sociale previsti per arginare l'epidemia. Differentemente, ad esempio, da un autobus, un monopattino elettrico non prevede il

contatto con altre persone e garantisce comunque un trasporto a basso costo e senza fatica. La possibilità per gli utenti di poter noleggiare per brevi tragitti i monopattini in condivisione senza doversi quindi accollare i costi di acquisto, mantenimento e parcheggio del mezzo, rende questo sistema di trasporto decisamente interessante. Questi aspetti, uniti all'idea che i monopattini elettrici siano veicoli ecologici, hanno portato legislatura italiana ad aggiornare le leggi sugli incentivi alla riduzione dell'utilizzo di mezzi di spostamento inquinanti introducendo il "Bonus mobilità". Questo bonus, presente già nella prima bozza del "Decreto Rilancio", ovvero del Decreto legislativo n° 34 del 19 Maggio 2020 [23], assicura, nei comuni con almeno 50'000 abitanti, l'aiuto economico da parte dello stato nell'acquisto di biciclette anche elettriche e di veicoli per la mobilità personale descritti nel precedente Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 4 Giugno 2019, in cui, ovviamente, sono inclusi anche i monopattini elettrici. Il bonus è valido anche per l'acquisto di abbonamenti al servizio di trasporto pubblico e per abbonamenti ai servizi di trasporto con mezzi per la mobilità personale in condivisione, in particolare i monopattini. Questo incentivo statale è di una percentuale del 60% sul prezzo di acquisto del veicolo/abbonamento fino ad un massimo di 500€. Questo bonus si avvale del fondo stanziato per la mobilità sostenibile come misura urgente per il contrasto ai cambiamenti climatici. Esso ammontava a 70'000'000€ ed è stato aumentato a 120'000'000€ nella prima bozza del Decreto e portato a 210'000'000€ nel Decreto definitivo divenuto Legge n° 77 del 17 Luglio 2020.

Questa evoluzione normativa italiana è indicativa del fatto che nei monopattini elettrici è stata vista la possibilità di un cambiamento per una minor congestione del traffico, una migliore qualità dell'aria, per quanto riguarda le città, e un mezzo per poter assolvere agli obblighi del distanziamento sociale imposto dalla situazione sanitaria odierna.

## 4. Prove sui monopattini

L'obiettivo di questa tesi è quello di valutare con metodi analitici e pratici le prestazioni e la sicurezza offerta dai monopattini elettrici. Questi veicoli hanno una storia decisamente breve ed è importante capire la tipologia di prestazioni che possono offrire. La capacità di accelerare fornisce un'immagine della potenza del veicolo e del suo comportamento rispetto ad altri veicoli. Può essere utile comprendere questa caratteristica in ottica di tempo impiegato per la liberazione di un incrocio e può visivamente comunicare agli altri utenti le intenzioni del conducente. La posizione eretta del monopattinista può, però, essere motivo di perdita di controllo del mezzo successiva ad un'accelerazione troppo brusca. Il valore della pendenza massima superabile da un monopattino fornisce un'immagine dei luoghi accessibili dal veicolo in relazione al peso del conducente. Infine i valori di decelerazione sono indicativi del livello di sicurezza del veicolo.

### 4.1. Leggi Cinematica

Per poter valutare le prestazioni dei monopattini elettrici in frenata e in accelerazione è necessario calcolare quali sono le forze che esso è in grado di generare con motore e freni. Per ottenere questi valori è necessario studiare la cinematica del monopattino. Per la tipologia di analisi che dobbiamo effettuare, è sufficiente considerare il monopattino come un punto che si muove su di una traiettoria lineare. In prima analisi considereremo questi moti come uniformemente accelerati. La nostra incognita è l'accelerazione che consideriamo quindi, positiva o negativa, costante nel tempo. Tutti i calcoli che dovremo fare si basano sulla formula generale per un moto uniformemente accelerato con spazio e velocità iniziali non nulli,

$$S = \frac{1}{2} \times a \times t^2 + V_0 \times t + S_0 \quad (1)$$

In base ai dati di input che riusciremo ad ottenere basterà sostituire in questa formula le seguenti relazioni differenziali:

$$a = \frac{V-V_0}{t} \quad (2)$$

$$V = \frac{S-S_0}{t} \quad (3)$$

## 4.2. Teoria dello pneumatico

Gli pneumatici, per un monopattino elettrico, sono gli unici elementi che lo collegano al suolo. L'applicazione su di essi di forze e coppie definisce la traiettoria e il tipo di moto del veicolo. Conoscere le basi fisiche delle interazioni tra pneumatici e suolo è quindi fondamentale per comprendere le prestazioni e le caratteristiche di sicurezza di un monopattino.

È necessario quindi comprendere come uno pneumatico si comporta a contatto con il suolo. Lo pneumatico entra in contatto con il suolo in un'area la cui superficie dipende dalla tipologia di pneumatico, dalla pressione di gonfiaggio e dal peso a cui esso è sottoposto. Quest'area si potrebbe idealmente ridurre ad un punto se considerassimo lo pneumatico e il terreno infinitamente rigidi. Durante un moto reale però lo pneumatico si deforma schiacciandosi verso l'interno. Per semplicità possiamo considerare il suolo infinitamente rigido senza discostarci troppo dalla realtà, specie in considerazione del peso ridotto di un veicolo come il monopattino. In una situazione di moto rettilineo ad accelerazione nulla, l'area di pneumatico a contatto con il suolo è in larga parte in condizioni di aderenza. Una piccola parte posta posteriormente rispetto al moto di avanzamento, è invece in condizioni di strisciamento; ovvero c'è moto relativo tra i due elementi. Durante questo tipo di moto l'area interessata allo strisciamento è molto piccola tale da ritenersi trascurabile. Lo strisciamento accade perché, a causa della deformazione dello pneumatico, i punti dello stesso a contatto con il suolo rotolano su circonferenze di raggi inferiori rispetto al raggio in cui si trovano normalmente non a contatto con il terreno. Questo quindi obbliga la ruota ad avere una velocità periferica maggiore della velocità di avanzamento. Mentre nella prima porzione di contatto lo pneumatico si deforma sotto le forze a cui è sottoposto rimanendo in condizioni di aderenza, nella seconda parte, invece, la deformazione imposta è tale che esso non riesce a mantenere la condizione di aderenza e inizia a strisciare.

## 4.3. La Frenata

Durante il fenomeno della frenata, sullo pneumatico sono applicate, nell'area di contatto, forze con verso contrario al moto di avanzamento. L'area interessata dallo strisciamento inizia ad occupare porzioni sempre maggiori di impronta a terra al crescere della accelerazione imposta. Lo pneumatico tende a diminuire la sua velocità di



Figura 15. Forze durante la frenata [24]

rotazione e il materiale dello stesso è sottoposto a sforzi di compressione longitudinali. Globalmente lo pneumatico avrà una velocità periferica inferiore rispetto alla velocità di avanzamento. Non appena un punto entra in contatto con il suolo, a causa della rotazione, è costretto ad aumentare la sua velocità, contrariamente a quanto succedeva prima. A

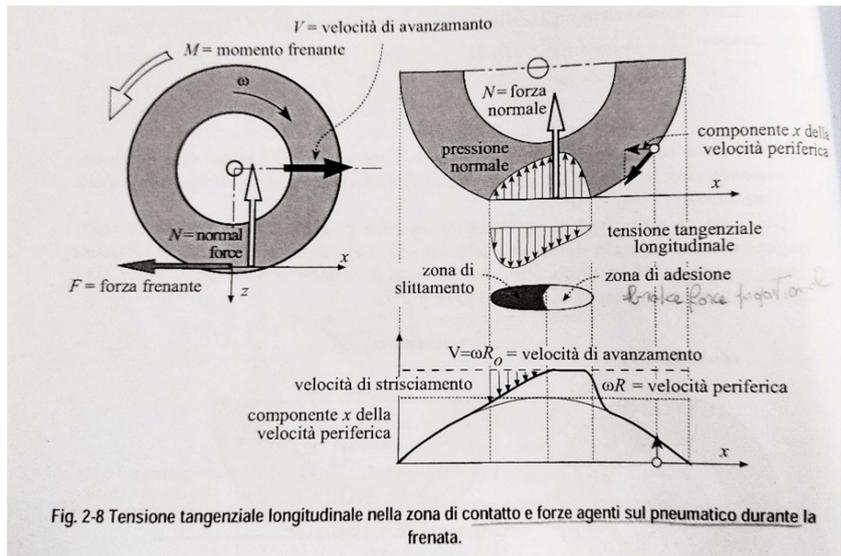


Fig. 2-8 Tensione tangenziale longitudinale nella zona di contatto e forze agenti sul pneumatico durante la frenata.

Figura 16. Aderenza e strisciamento su uno pneumatico [24]

causa di queste forze lo pneumatico si deforma rimanendo in aderenza, e striscia dove la deformazione imposta è troppo elevata (Figura 16). Quando la superficie di contatto tra pneumatico e suolo è completamente in condizione di strisciamento, la frenata assumerà un carattere instabile e lo pneumatico si bloccherà di colpo rendendo la guida difficoltosa. Questo accade perché dal momento che le forze trasmissibili di attrito statico sono generalmente maggiori di quelle di attrito dinamico, la transizione dalla condizione di aderenza a quella di strisciamento richiederà meno forza per mantenersi tale. Per questo motivo lo pneumatico rallenterà sempre di più fino a bloccarsi quasi istantaneamente. Il blocco dello pneumatico in frenata o più in generale la totalità di scorrimento tra pneumatico e suolo è una situazione chiamata perdita di aderenza. Rappresentando su un grafico (Figura 17) la forza trasmissibile da uno pneumatico rispetto allo scorrimento a cui esso è sottoposto, noteremmo un rapido aumento fino alla forza massima per poi diminuire lievemente e rimanere stazionaria fino ad uno scorrimento del'100%. Quest'ultima condizione viene raggiunta ad esempio in frenata quando la ruota si blocca. Come già detto, la transizione tra la condizione di forza massima e lo scorrimento 100% è quasi istantanea ed è molto difficile mantenere in frenata uno

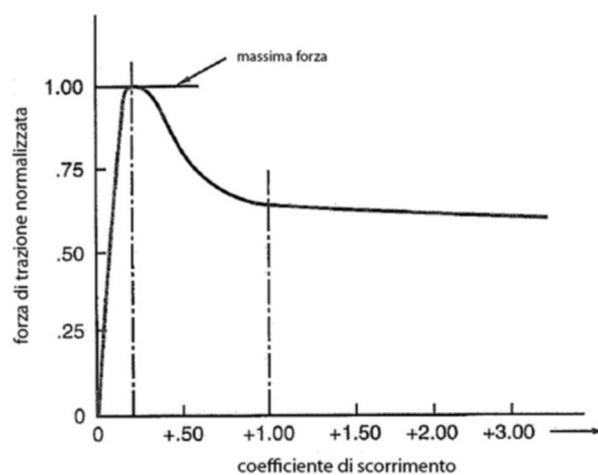


Figura 17. Relazione tra strisciamento e forza trasmessa [24]

pneumatico a valori di scorrimento tra la forza massima e il 100% di scorrimento. È importante notare che i sistemi antibloccaggio (ABS) installati sulla totalità delle automobili moderne assicurano che lo pneumatico in frenata lavori nell'intorno delle condizioni di forza massima. Questo sistema però non diminuisce sensibilmente gli spazi di frenata e una taratura non ottimale potrebbe addirittura peggiorare la performance globale. Il vero motivo per cui questo sistema viene installato è per la possibilità che lascia al conducente di continuare a controllare la traiettoria del veicolo anche se egli sta frenando al massimo.

Nella maggior parte dei casi i monopattini elettrici non possiedono sistemi ABS, perciò è verosimile credere che in caso di frenata il bloccaggio di una ruota sia demandata alla volontà e all'esperienza del conducente. È inoltre probabile che questa situazione si verifichi durante una frenata di emergenza quando l'obiettivo del conducente è quello di ottenere la decelerazione più elevata possibile. Il bloccaggio di una ruota è comunque una condizione non desiderabile a causa della risultante mancanza di controllo del mezzo come già anticipato. In aggiunta, il fatto che il monopattino sia un veicolo a due ruote peggiora le conseguenze di un eventuale bloccaggio. La ruota anteriore, in particolare, essendo collegata allo sterzo, permette al pilota di mantenere l'equilibrio applicando le opportune coppie al manubrio. Quando la ruota anteriore perde aderenza a causa del bloccaggio, il conducente è impossibilitato a correggere il proprio equilibrio con un opportuno intervento sul manubrio. Per un veicolo a due ruote questa situazione è molto pericolosa per la quasi inevitabile caduta conseguente piuttosto che per la sola perdita di direzionalità, che invece caratterizza i veicoli a 4 o più ruote. Per recuperare questa pericolosa situazione, è necessario che il pilota rilasci il freno consentendo così allo pneumatico di riacquistare aderenza, e al veicolo manovrabilità.

Tuttavia l'evento del bloccaggio dello pneumatico non è l'unica problematica a cui è soggetto un veicolo a due ruote. In condizioni di frenata di emergenza è anche probabile che si verifichi una situazione di ribaltamento. Mentre il bloccaggio della ruota si verifica più facilmente su superfici con bassi coefficienti di attrito, il ribaltamento si verifica se il coefficiente di attrito è molto elevato. Durante la frenata il veicolo rallenta e le forze di inerzia tendono a spostare il peso del veicolo sullo pneumatico anteriore. Essendo:

$$F_a = F \times c \quad (4)$$

dove “ $F_a$ ” indica la massima forza di attrito esprimibile in seguito al carico verticale “ $F$ ” tra 2 superfici, e “ $c$ ” il coefficiente di attrito, si capisce che uno spostamento di peso in avanti aumenta la forza frenante da poter applicare alla ruota anteriore senza che essa perda aderenza. La forza frenante che

si sviluppa tra pneumatico e suolo genererà però un momento ribaltante che tende a far ruotare il veicolo proiettandolo in avanti. La condizione di ribaltamento si raggiunge per una forza “ $F_r$ ”:

$$F_r = m \times g \times \frac{(p-b)}{h} \quad (5)$$

dove “ $m$ ” è la massa del veicolo, “ $g$ ” l’accelerazione di gravità, “ $p$ ” il passo del veicolo, “ $b$ ” la distanza tra il baricentro e la ruota posteriore proiettata orizzontalmente e  $h$  l’altezza del baricentro.

Più la forza “ $F_r$ ” è bassa più il veicolo è propenso a ribaltarsi in avanti durante una frenata.

I veicoli a due ruote sono generalmente più propensi a subire questo evento. Il peso ridotto e un’altezza del baricentro elevata contribuiscono nella maggior misura a rendere possibile questo fenomeno [24].

#### **4.4. Il tempo tecnico**

Viene definito tempo tecnico di attivazione dell’impianto frenante il tempo che intercorre tra l’istante in cui il conducente aziona il comando del freno e l’istante in cui viene raggiunta la massima potenza frenante. Da prove sperimentali è stato valutato che esso si aggira intorno ai 0.15 s per automobili sportive e intorno ai 0.20 s per vetture utilitarie. Per la valutazione di questo numero, generalmente, si calcola il tempo che intercorre tra l’accensione della luce di stop posteriore e il blocco delle ruote, chiaro segnale di raggiungimento della massima potenza frenante. In ambito di sicurezza questo solo valore non basta per quantificare i tempi di reazione del complesso veicolo-conducente in risposta ad un pericolo. Esiste infatti anche un tempo di percezione-reazione che il conducente impiega per valutare la condizione di pericolo ed iniziare a frenare. Questo numero è molto variabile in base al soggetto, alla sua esperienza, al suo livello di attenzione e alle sue capacità cognitive al momento della frenata. Essendo però questi dei parametri che non rappresentano le prestazioni di un monopattino elettrico, non verranno approfonditi nella trattazione.

## 4.5. Accelerazione

Per la valutazione delle prestazioni dei monopattini in questa prova è stato necessario utilizzare una formula più complicata della (1). Questa formula infatti prevedrebbe un'accelerazione costante durante tutta la durata della prova. Questa ipotesi è fondamentalmente sbagliata dal momento che nella realtà l'accelerazione di un veicolo diminuisce sempre più all'aumentare della sua velocità. Le motivazioni sono molteplici e dipendono dalla limitata potenza del motore, dalla resistenza aerodinamica, dalla resistenza al rotolamento degli pneumatici. Si è quindi reso necessario l'utilizzo di una formula in cui l'accelerazione non fosse costante. La grandezza fisica che descrive la variazione di accelerazione si chiama Jerk. La formula generale per descrivere lo spazio risulta quindi:

$$S = \frac{1}{6} \times J \times t^3 + \frac{1}{2} \times a \times t^2 + V_0 \times t + S_0 \quad (6)$$

dove “J” indica appunto il Jerk; costante in questa formula. Esso rispetto allo spazio è il terzo grado di derivazione e si può collegare alla accelerazione attraverso la formula differenziale:

$$J = \frac{a - a_0}{t} \quad (7)$$

Sapendo quindi la formula descrittiva di base per la manovra di accelerazione è stato possibile effettuare calcoli sulle prestazioni dei monopattini.

## 4.6. Le prove sui monopattini

L'obiettivo di questa tesi è quello di valutare le prestazioni di monopattini elettrici in modo da poter meglio comprendere quali sono le caratteristiche di sicurezza e i limiti di questi veicoli. Per ottenere queste informazioni abbiamo quindi preparato delle prove di tipo sperimentale. Abbiamo effettuato 3 tipi di prove:

- Accelerazione
- Frenata
- Pendenza massima superabile

In base alle prove da effettuare abbiamo individuato luoghi consoni al loro svolgimento. Per quanto riguarda le prove di accelerazione e di frenata abbiamo scelto un'area adibita parcheggio per autovetture situata in Via Caduti della via Fani poco distante dalla zona Fiera di Bologna. Per la prova di pendenza massima superabile abbiamo utilizzato le rampe di accesso alla zona garage dei condomini che si affacciano su Via Caduti della via Fani.

Per le prove abbiamo utilizzato 3 monopattini elettrici di proprietà del professor Strangi e dell'ingegner Lalli. Il peso di entrambi i conducenti è intorno ai 70 kg. Dal momento che questa tesi non vuole essere una prova comparativa di carattere pubblicitario, ci limiteremo a nominare i monopattini testati con numerazione decimale; in particolare, "monopattino 1", "monopattino 2", "monopattino3". Segue una breve descrizione delle caratteristiche tecniche dei monopattini.

- Monopattino 1

È il monopattino con le caratteristiche migliori di quelli a disposizione. Possiede un motore da 500W, trazione posteriore con velocità massima limitata a 25km/h come da normativa italiana. È l'unico monopattino della prova biammortizzato e con doppio freno a disco meccanico. Viene dichiarata dalla casa una pendenza massima superabile di 15°. Le ruote hanno dimensioni di 10 pollici. Il peso dichiarato è di 20 Kg



*Figura 18. Monopattino 1*

- Monopattino 2

Monopattino con motore da 350W (picco a 550W) a trazione anteriore e velocità limitata a 25 km/h. È presente un solo ammortizzatore a comando della ruota posteriore. Il monopattino è frenato da un disco posteriore a comando meccanico integrato da un freno per la frenata rigenerativa sulla ruota anteriore. Le ruote sono da 10" e vengono dichiarati 15° di pendenza massima superabile. Il peso è di 14 Kg



*Figura 19. Monopattino 2*

- Monopattino 3

Monopattino dotato di motore da 300W (picco a 600W) a trazione anteriore e velocità massima di 25 km/h. Questo modello non è dotato di ammortizzatori. Anche in questo caso è presente un freno a disco posteriore in combinazione con un freno per la frenata rigenerativa posto sulla ruota anteriore. Le ruote hanno una dimensione di 8.5" e la pendenza massima superabile dichiarata è del 20% (circa 11.3°). Il peso è di 12,7 Kg



*Figura 20. Monopattino 3*

Ogni monopattino è inoltre dotato di una luce di stop posteriore che si accende nel momento in cui viene azionata la o le leve dei freni.

Ogni monopattino all'inizio delle prove aveva una carica residua della batteria del 100%. Ogni monopattino possiede diverse mappature che agiscono sulla velocità massima raggiungibile e sulla potenza erogata dal motore. Ogni monopattino è stato testato con la mappatura che garantisce maggiori prestazioni.

#### **4.7. Preparazione delle prove**

Per la valutazione delle prestazioni dei monopattini abbiamo deciso di utilizzare 2 metodi. Il primo si basa sulla ripresa video delle prove mentre il secondo si avvale di un accelerometro.

Per entrambi i metodi di acquisizione il monopattino ha dovuto affrontare un percorso rettilineo di lunghezza prestabilita. Questo era composto da un marcatore (cinesino) per segnare l'inizio della prova, un marcatore per segnarne la fine e altri marcatori per dividere in sezioni di pari lunghezza il percorso. La lunghezza totale del percorso da effettuare in fase di accelerazione è di 14 metri ed ogni marcatore è distanziato di 2 metri dagli altri (Fotografia 21). Prima dell'inizio della prova il conducente del monopattino doveva



*Figura 21. Percorso con marcatori*

prepararsi posizionandosi con la ruota anteriore esattamente in corrispondenza del marcatore di inizio prova. Quando era pronto doveva darsi una forte spinta con un piede tale da permettere al motore del monopattino di entrare in funzione. In contemporanea alla spinta con il piede il conducente doveva anche premere a fondo il comando dell'acceleratore. Una volta entrato in funzione il motore elettrico doveva essere mantenuta la massima accelerazione possibile fino alla fine del percorso.

I marcatori oltre ad essere utili per il conducente per individuare facilmente inizio e fine della prova sono serviti per calcolare le accelerazioni mediante ripresa dei video come spiegato in seguito.

Per la prova di frenata il marcatore di inizio prova è stato spostato a metà percorso lasciando 3 marcatori dopo di sé per un totale di 6 metri. Per questa prova il conducente del monopattino doveva prendere la rincorsa dal punto più lontano possibile e raggiungere la velocità di 25 km/h prima dell'arrivo al marcatore di inizio prova. Il raggiungimento di tale velocità è stato verificato all'inizio di ogni prova dal conducente mediante lettura del valore di velocità corrente sul display del monopattino. Una volta raggiunto il marcatore di inizio prova il conducente doveva effettuare una frenata di emergenza nel minor spazio possibile. La disposizione dei marcatori lasciata invariata rispetto alla prova di accelerazione ha permesso di valutare facilmente con l'ausilio di un metro la distanza totale percorsa.

Per le riprese video abbiamo utilizzato una videocamera del tipo "action-camera" Xiaomi Yi 4k. La risoluzione del video è stata impostata a 1080p a 120 fotogrammi al secondo. Questo significa che

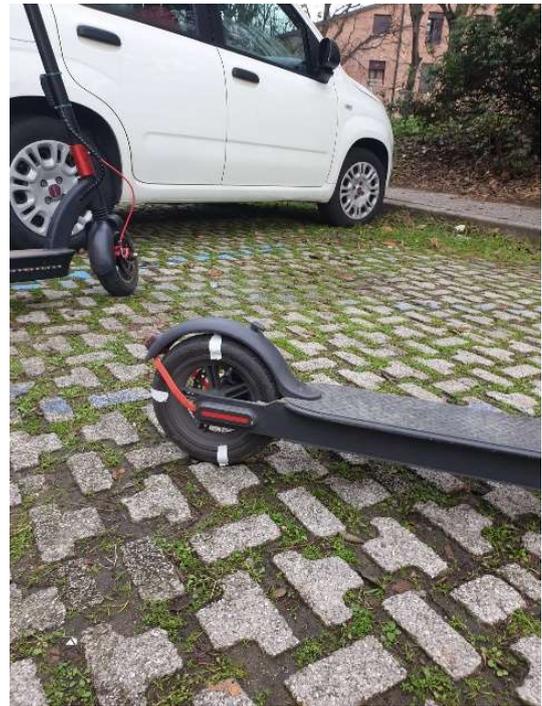


*Figura 22. Supporto videocamera*

ogni fotogramma descrive un intervallo di tempo di 0.0083 secondi. La videocamera è stata montata su un supporto artigianale autocostruito ad altezza variabile.

La posizione della videocamera per la prova di accelerazione era tale da riprendere tutto il percorso; posta quindi centralmente alla massima altezza possibile. Per la prova di frenata la videocamera è stata avvicinata al percorso, lievemente arretrata rispetto al marcatore di start, e ruotata in modo da riprendere tutte le fasi di frenata. Questa disposizione ci ha permesso di valutare quale fosse il tempo tecnico di attivazione dell'impianto frenante.

Alla ruota posteriore di ogni monopattino sono state applicate delle strisce di nastro isolante bianco poste radialmente in numero non superiore a 4 ed equidistanziate. Questo nastro ci ha permesso in fase di controllo dei video di valutare quale fosse il tempo tecnico di attivazione dell'impianto frenante valutando il tempo trascorso dall'accensione della luce di stop posteriore al blocco della ruota posteriore. Abbiamo anche effettuato delle riprese video (Figura 23) per valutare quale fosse il tempo di accensione della luce di stop posteriore dall'istante in cui viene azionata la leva del freno dal conducente. La somma dei due tempi fornisce il tempo tecnico totale di attivazione dell'impianto frenante.

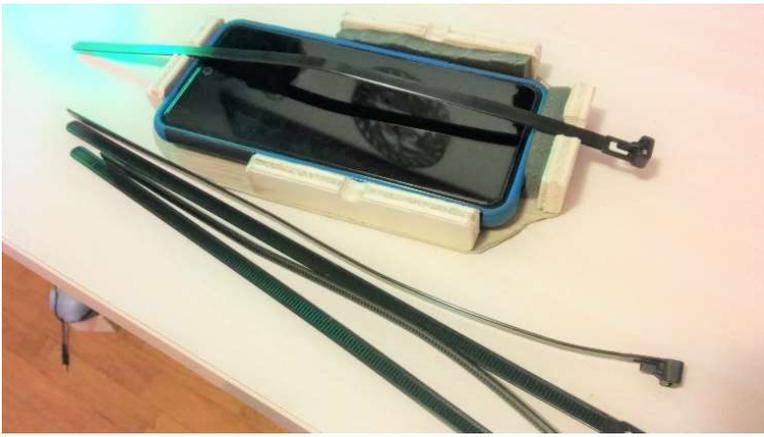


*Figura 22. Nastro bianco*



*Figura 23. Esempio valutazione tempo tecnico*

Il metodo di valutazione delle accelerazioni è stato anche eseguito con un accelerometro. Per le prove abbiamo utilizzato uno smartphone Xiaomi Redmi Note 9s, avvalendoci l'applicazione "Accelerometer Analyzer" di Mobile Tools disponibile sul Play Store per i sistemi operativi Android. Questa applicazione permette di restituire i valori delle accelerazioni lette dall'accelerometro interno dello smartphone scrivendole in un file .txt. Le frequenze di campionamento disponibili sono 5 Hz, 15 Hz, 50 Hz e la massima raggiungibile dal dispositivo: 400 Hz per questo telefono. Abbiamo deciso di utilizzare una frequenza di campionamento a 50 Hz che ci ha permesso di essere abbastanza precisi e non ridondanti nel numero di dati da analizzare.



*Figura 24. Supporto telefono*

Lo smartphone è stato montato su un supporto autocostruito in grado di rimanere perfettamente parallelo alla pedana. La forma esterna e la cover del telefono in uso non consentono da sole il mantenimento di questa condizione. Il supporto è stato pensato per sostenere il telefono e per essere assicurato, mediante fascette in nylon apribili, alla parte della pedana più vicina alla ruota

posteriore. Questo sistema ha permesso un montaggio efficace, veloce e sicuro. Lo smartphone così assicurato ha permesso di raccogliere dati relativi alle accelerazioni longitudinali del monopattino sul proprio asse delle X. Dal momento che l'applicazione utilizzata non consente la calibrazione del dispositivo prima della acquisizione dati, abbiamo dovuto provvedere a questa problematica in fase di analisi.



*Figura 25. Esempio fissaggio telefono*

Per la prova di pendenza massima superabile abbiamo individuato 4 salite a pendenze differenti, in particolare una a  $8^\circ$  una a  $10^\circ$ , una a  $13^\circ$ , e una a  $15^\circ$ . Dal momento che i 4 tratti asfaltati su cui si è svolta la prova sono molto vecchi, presentano alcune differenze di pendenza e qualche lieve avvallamento. Questo ha reso complicata la valutazione degli angoli di pendenza effettivi delle strade. Per riuscire a capire quale fosse la pendenza media dei tracciati ci siamo avvalsi dell'applicazione "Livello a bolla - Piombino" di NixGame disponibile su PlayStore per Android. Questa applicazione si serve dell'accelerometro dentro allo smartphone e restituisce il valore di inclinazione dello stesso

in tempo reale con un numero impresso sullo schermo. Appoggiando il telefono sul suolo viene così letto il valore puntuale della pendenza. Una serie di misurazioni sul percorso che hanno affrontato i monopattini ha permesso di effettuare una media sui valori ottenendo così la pendenza media del percorso.

#### 4.8. Svolgimento delle Prove

Le prove si sono svolte il giorno 15 Dicembre 2020 nel parcheggio per autovetture di Via Caduti della via Fani e nel vicino spazio Garage dei condomini di Via Serena 1. Abbiamo diviso le prove per monopattino e non per tipologia di prova, siamo così stati più efficienti nel montaggio e smontaggio del supporto smartphone sulle pedane dei monopattini. Abbiamo inoltre assicurato che la posizione del telefono non variasse da una prova all'altra per lo stesso monopattino. Le prove si sono svolte senza intoppi e non abbiamo causato disturbo agli automobilisti che di tanto in tanto arrivavano nel parcheggio o uscivano da esso. Abbiamo effettuato 4 prove per ogni monopattino: due di accelerazione e due di frenata. Prima di ogni prova tramite applicazione su smartphone montato sulla pedana del monopattino, veniva iniziata la scrittura del

SCHEDA RILEVAZIONE DATI  
DATA 15/12/2020

---

Monopattino: 1 / 2 / 3  
Tipo di prova: accelerazione/frenata n°.....  
Orario: ..... : .....  
Conducente: .....  
Peso: .....

PRIMA DELLA PARTENZA LEGGERE LE  
INFO ALLA VIDEOCAMERA

Nome file dati: default\_ ..... .txt  
Note.....  
.....  
.....

---

Figura 27. Format per prove sui monopattini



Figura 26. Esempio schermata Accelerometer Analyzer

file di risultati. Il file era salvato alla fine di ogni prova così che ogni file contenesse solo l'acquisizione della prova a cui faceva riferimento. Prima dell'inizio della prova veniva accesa la videocamera e veniva filmata la prova nella sua interezza. Anche in questo caso ogni video contiene una singola prova. Eventuali note e informazioni relative alla prova sono state scritte a mano su fogli formattati apposta per queste prove. Per la prova di frenata è stato inoltre necessario misurare la distanza percorsa dal monopattino

con l'ausilio di un metro. Le prove sono state svolte dal professor Mattia Strangi e dall'ingegner Lorenzo Lalli, i proprietari dei monopattini: d'ora e in poi nominati "Conducente 1" e "Conducente 2".

Le prove si sono svolte in assoluta sicurezza fatta eccezione per una prova di frenata con il monopattino 1. Come precedentemente descritto un veicolo a 2 ruote è propenso al ribaltamento più di altri veicoli se si verificano certe condizioni. Durante la prova il conducente 1 ha effettuato la frenata di emergenza applicando però troppa forza alla leva del freno anteriore. Il monopattino ha cominciato a ribaltarsi in avanti, ma un tempestivo rilascio della leva ha permesso al conducente e al monopattino di ricadere sulle due ruote senza conseguenze. La prova è stata analizzata, per quanto possibile, senza la pretesa di essere accurata ed esaustiva.



*Figura 28. Pericolo ribaltamento*

Per la valutazione della pendenza massima superabile abbiamo eseguito diverse prove per ogni monopattino. Abbiamo inizialmente constatato che fosse impossibile per il conducente posizionarsi fermo sul tratto in salita e darsi una spinta abbastanza forte da far entrare in funzione il motore elettrico. Abbiamo quindi concluso che i monopattini dovessero arrivare alla base della salita da effettuare con una velocità non nulla. Siamo consapevoli del fatto che, dal momento che con questo metodo abbiamo aggiunto la componente inerziale risultante dalla velocità, i monopattini hanno beneficiato di questo aiuto per il completamento della prova. È stato quindi necessario ripetere le prove più volte per essere sicuri che ogni monopattino arrivasse alla base delle salite alla velocità più bassa possibile compatibilmente con la capacità di mantenere l'equilibrio del conducente e con la possibilità di far intervenire il motore elettrico per accelerare a fondo alla base della salita.

L'esito della prova è considerato positivo se il monopattino ha raggiunto la sommità di ogni pendenza. Se il conducente durante la percorrenza di una salita si accorgeva che il monopattino perdeva velocità, tentava nuovamente la prova partendo da una velocità inferiore per assicurarsi che la pendenza fosse effettivamente superabile. Dopo diversi tentativi, la prova era considerata non superata se la velocità si riduceva tanto da staccare l'alimentazione del motore con conseguente arresto del veicolo.

## 5.

# Risultati

### 5.1. Costruzione grafici risultati accelerazione e frenata

I files di dati provenienti dallo smartphone sono in formato .txt e contengono i valori di accelerazione in X, Y e Z registrati durante le prove. Con l'aiuto del programma Microsoft Excel abbiamo potuto trasportare i valori registrati nelle celle così da poterli elaborare. Come già accennato, i valori delle accelerazioni longitudinali del monopattino sono state scritte come numero lungo l'asse X dello smartphone. L'applicazione "Accelerometer Analyzer" restituisce, oltre ai valori delle accelerazioni registrate nei 3 assi, anche il tempo trascorso tra una acquisizione e quella successiva espresso in millisecondi. Abbiamo costruito per ogni prova un grafico avente in ascissa i valori del tempo ed in ordinata i valori di accelerazione istantanea. Dal momento che la frequenza di campionamento delle accelerazioni è molto elevata, i dati grezzi contengono una serie di oscillazioni derivanti dalle vibrazioni del terreno. Questi disturbi rendono illeggibili i grafici generati con questi valori ed è quindi stato necessario applicare un filtro opportuno. Abbiamo effettuato questa operazione con una media mobile a 10 valori ottenuta da questa formula:

$$\frac{x_n + x_{n-1} + x_{n-2} + \dots + x_{n-9} + x_{n-10}}{10} \quad (8)$$

Dove gli  $x_n$  sono i valori delle accelerazioni registrati dallo smartphone. Una volta effettuata la media mobile abbiamo trasportato i valori sullo stesso grafico costruito in precedenza in modo da confrontare le due curve risultanti. Una volta riportata sul grafico la media mobile e i dati grezzi, abbiamo proceduto con la calibrazione. L'opzione di auto-calibrazione del dispositivo non era infatti consentita da questa applicazione. Per consentire questa operazione, all'inizio di ogni prova, una volta che l'acquisizione delle accelerazioni era già cominciata, il monopattino veniva tenuto in posizione eretta e immobile per alcuni secondi. Questo ci ha permesso di effettuare facilmente la calibrazione. Nell'analizzare i risultati di ogni prova, è stata individuata la zona del grafico descrittiva della situazione di monopattino fermo ed in posizione eretta. Abbiamo, quindi, effettuato una media delle accelerazioni in questo intervallo ed il grafico relativo alla media mobile è stato corretto con questo valore. Nelle fotografie 29 e 30 è presente un esempio del procedimento appena descritto.

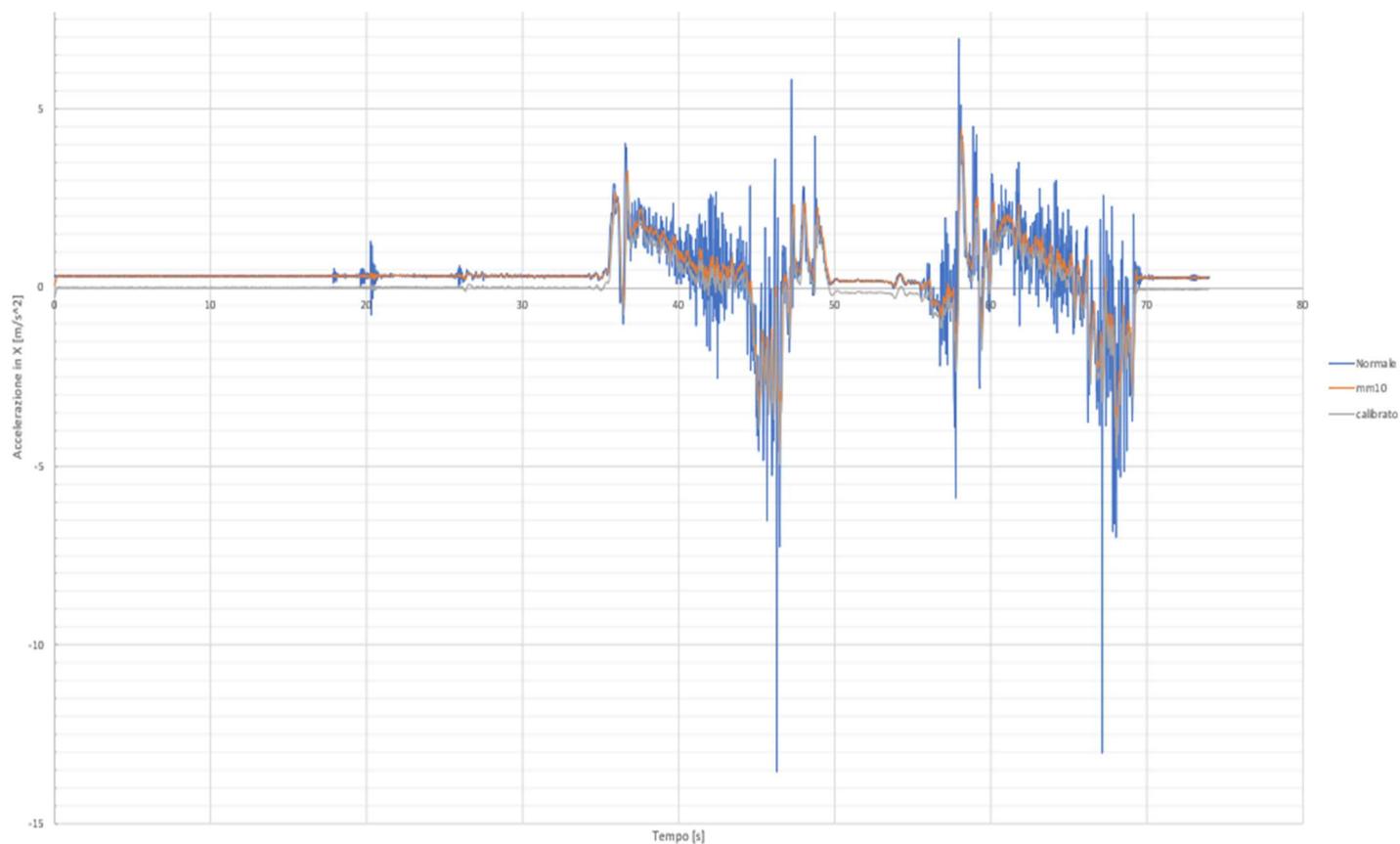


Figura 29. Esempio grafico completo. Blu=dati grezzi, Arancione=media mobile, Grigio=calibrato

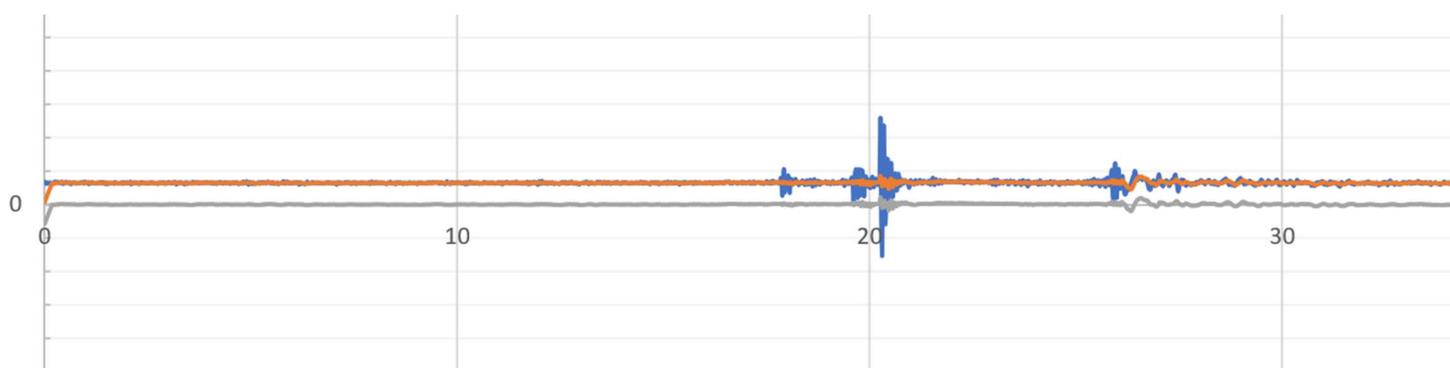


Figura 30. Esempio calibrazione

## 5.2. Analisi delle accelerazioni

Per valutare l'andamento delle accelerazioni erogate dal monopattino durante le prove di accelerazione, ci siamo avvalsi delle riprese video ad alto frame-rate. Abbiamo per prima cosa stabilito l'istante zero dell'inizio di ogni prova come l'istante in cui il monopattino inizia a muoversi a seguito della spinta del conducente. Successivamente abbiamo contato il numero di fotogrammi tra questo istante e l'istante in cui la ruota anteriore del monopattino arriva in corrispondenza del primo marcatore. Proseguendo il procedimento fino alla fine della prova siamo riusciti a trascrivere il valore del tempo trascorso dal monopattino per passare da un marcatore al successivo sapendo che un fotogramma descrive un intervallo temporale equivalente a 0.00833 secondi. Abbiamo quindi costruito un grafico spazio-tempo cumulato con i valori appena trovati sapendo, ovviamente, che ogni marcatore era posizionato ad una distanza di due metri dagli altri. I punti (in blu) inseriti nel grafico hanno in ascissa il valore del tempo ed in ordinata il valore dello spazio come in figura 31.

La curva che si genera (in rosso), essendo costituita da soli 8 punti, non risulta abbastanza

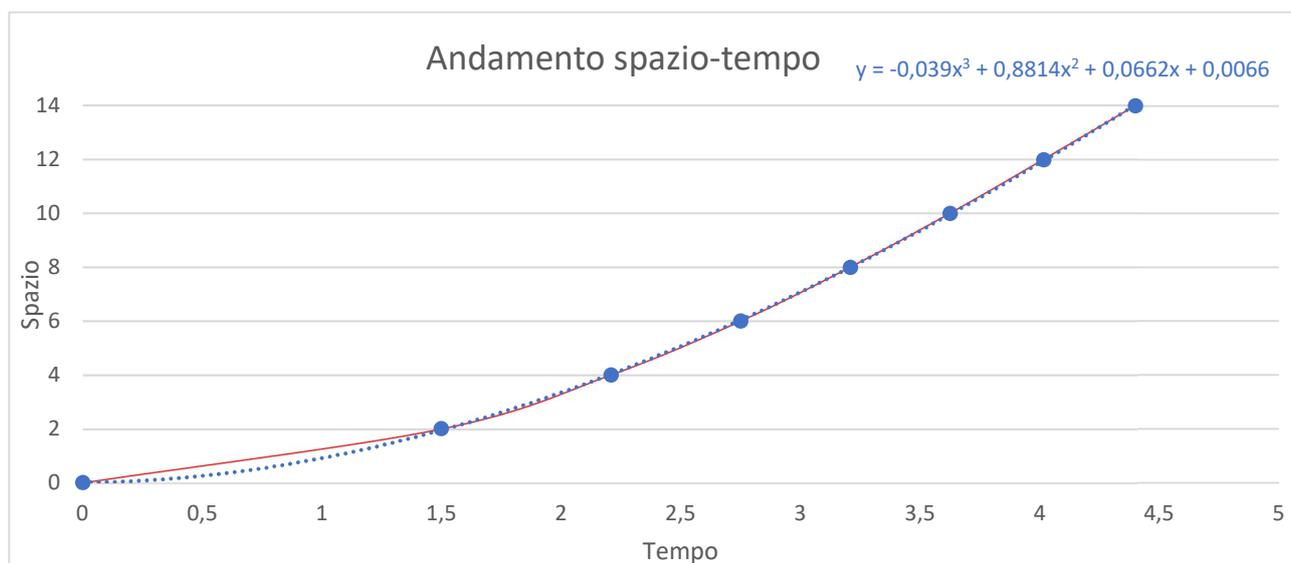


Figura 31. Andamento spazio-tempo

discretizzata da permettere calcoli approfonditi. Tramite la funzione del programma di Excel dal nome: "Linea di tendenza", è possibile far disegnare al programma una curva polinomiale che tenta di approssimare l'andamento dei punti inseriti nel grafico con un polinomio. Questa funzione viene poi resa disponibile all'utente parametrizzata in x e y. Le polinomiali approssimate restituite dal programma possono arrivare sino al sesto grado, ma, in linea con le nostre necessità, abbiamo utilizzato le polinomiali di terzo grado. Come accennato precedentemente, la formula più semplice che meglio approssima l'andamento dello spazio nel nostro studio delle accelerazioni è la (6). Questa equazione descrive l'andamento dello spazio in funzione del tempo, appunto, con un polinomio di

terzo grado. Abbiamo, quindi, scartato le polinomiali di secondo grado che descriverebbero un moto ad accelerazione costante, decisamente non descrittivo delle nostre prove. Le polinomiali di ordine superiore, invece, nonostante approssimino abbastanza bene la curva originale entro i primi metri della prova, descrivono un moto in cui la velocità comincia a calare prima della fine della prova. Benché possa sembrare strano, questo andamento deriva dal valore negativo e costante del coefficiente che moltiplica la variabile  $x$  al grado nel polinomio. Questo fenomeno accade anche per le polinomiali di terzo grado. In esse, il coefficiente che moltiplica la  $x$  al terzo grado è infatti, il Jerk. Se il Jerk rimane costante l'accelerazione continuerà a

$$y = -0,039x^3 + 0,8814x^2 + 0,0662x + 0,0066$$

input su X	Calcolato con formula 3 grado	derivando lo spazio	derivando la velocità
tempo [s]	spazio [m]	velocità [m/s]	accelerazione [m/s^2]
0	0,01	0,07	1,76
0,1	0,02	0,24	1,74
0,2	0,05	0,41	1,72
0,3	0,10	0,58	1,69
0,4	0,17	0,75	1,67
0,5	0,26	0,92	1,65
0,6	0,36	1,08	1,62
0,7	0,47	1,24	1,60
0,8	0,60	1,40	1,58
0,9	0,75	1,56	1,55
1	0,92	1,71	1,53
1,1	1,09	1,86	1,51
1,2	1,29	2,01	1,48
1,3	1,50	2,16	1,46
1,4	1,72	2,30	1,44
1,5	1,96	2,45	1,41
1,6	2,21	2,59	1,39
1,7	2,47	2,72	1,37
1,8	2,75	2,86	1,34
1,9	3,05	2,99	1,32
2	3,35	3,12	1,29
2,1	3,67	3,25	1,27
2,2	4,00	3,38	1,25
2,3	4,35	3,50	1,22
2,4	4,70	3,62	1,20
2,5	5,07	3,74	1,18

Figura 32. Esempio calcolo velocità e accelerazioni con derivate

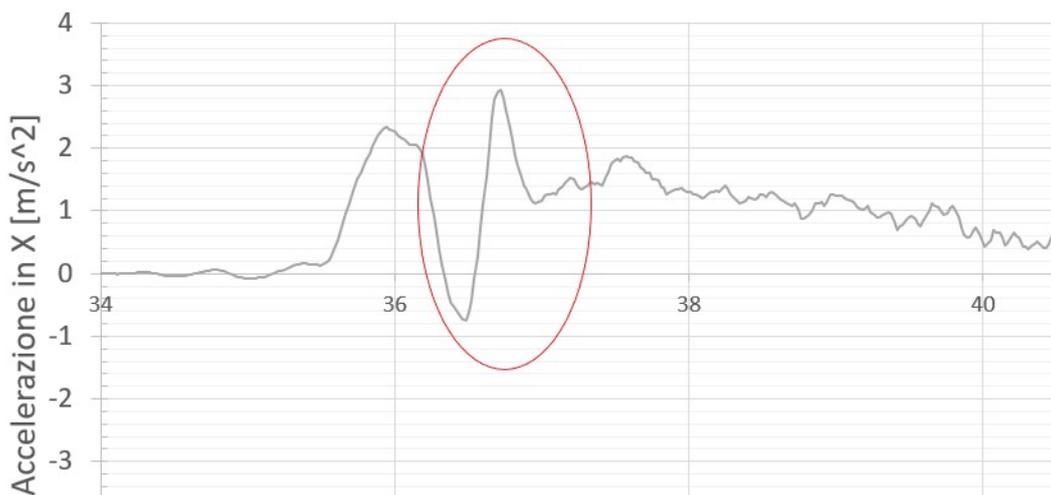
diminuire costantemente più il valore del tempo aumenta. Questo andamento, quindi, per valori di tempo elevati, non descrive accuratamente l'andamento della prova poiché era stato chiesto ai conducenti di accelerare a fondo fino alla fine del percorso. Dal momento che alla fine del percorso nessun monopattino ha mai registrato il raggiungimento della velocità massima, è, inoltre, inverosimile che l'accelerazione del monopattino abbia raggiunto lo zero entro i 14 metri. Per questi motivi abbiamo scartato le curve di grado superiore al terzo. La formula approssimata con relativa equazione è presente sul grafico (Figura 31) come una curva tratteggiata blu.

Una volta scelta la polinomiale corretta e ricavata la relativa formula, abbiamo suddiviso il tempo della prova in intervalli da 0.1 secondi. Tramite la formula fornita abbiamo calcolato lo spazio percorso  $y$ , ad ogni intervallo di tempo  $x$ . Volendo confrontare il valore di tempo relativo al raggiungimento dei 14 metri calcolato con polinomiale ed osservato con le riprese video, abbiamo risolto l'equazione di terzo grado conoscendo il valore dello spazio di 14 metri ed avendo come incognita il tempo impiegato,  $x$ . Per trovare, invece, la velocità raggiunta in ogni intervallo di tempo

è bastato effettuare il calcolo di derivata prima rispetto al tempo sulla formula polinomiale e ripetere tutti i conti con la nuova formula. Abbiamo, quindi, proseguito l'analisi oltre ai 14 metri previsti inserendo come input valori di tempo successivi alla fine della prova per osservare quale fosse il valore della velocità massima raggiungibile dal monopattino secondo questa equazione. Effettuando ancora una volta la derivata nel tempo, abbiamo potuto osservare l'andamento delle accelerazioni che abbiamo successivamente confrontato con i dati provenienti dall'applicazione smartphone.

Una volta costruiti i grafici delle accelerazioni ricavate dall'accelerometro dello smartphone, è possibile fare delle considerazioni sul funzionamento di ogni monopattino. I valori istantanei dell'accelerazione ci permettono di trarre subito conclusioni in merito alle forze esercitabili dal veicolo.

- Monopattino 1: l'analisi del tracciato delle accelerazioni per le due prove effettuate ci fa capire come, dopo la spinta necessaria al raggiungimento della velocità alla quale il motore elettrico entra in funzione, il motore entri in funzione con un impulso per poi proseguire ad accelerazioni minori. In tutte e due le prove, dopo la spinta iniziale il motore interviene repentino con un'accelerazione intorno ai  $3\text{m/s}^2$  ( $0.3g$ ). Dopo questa prima spinta ad impulso, il tracciato si abbassa a circa  $2\text{m/s}^2$  e prosegue diminuendo linearmente. Altri picchi presenti subito dopo la spinta iniziale possono essere collegati alla componente inerziale altalenante a cui è appena stato sottoposto il sistema monopattino-conducente; oppure più semplicemente a vibrazioni indotte dal suolo.



*Figura 33. Picco accelerazione monopattino 1*

- Monopattino 2: Dai grafici di queste prove possiamo notare come dopo la spinta iniziale del conducente il monopattino non accelera in maniera lineare. Si innesca, infatti, un fenomeno oscillatorio che si smorza dopo 2.5 secondi circa. Le oscillazioni alternanti sono caratterizzate da picchi fino a  $3\text{m/s}^2$  e valli che tendono ad un'accelerazione nulla. Il grafico successivamente diventa più lineare mantenendo un'accelerazione circa costante a  $0.8\text{-}0.6\text{ m/s}^2$ . Sarebbe interessante osservare il comportamento in accelerazione del monopattino iniziando la prova senza che sia necessaria la spinta iniziale, con motore già in funzionante, in modo da osservare se il fenomeno oscillatorio persiste.

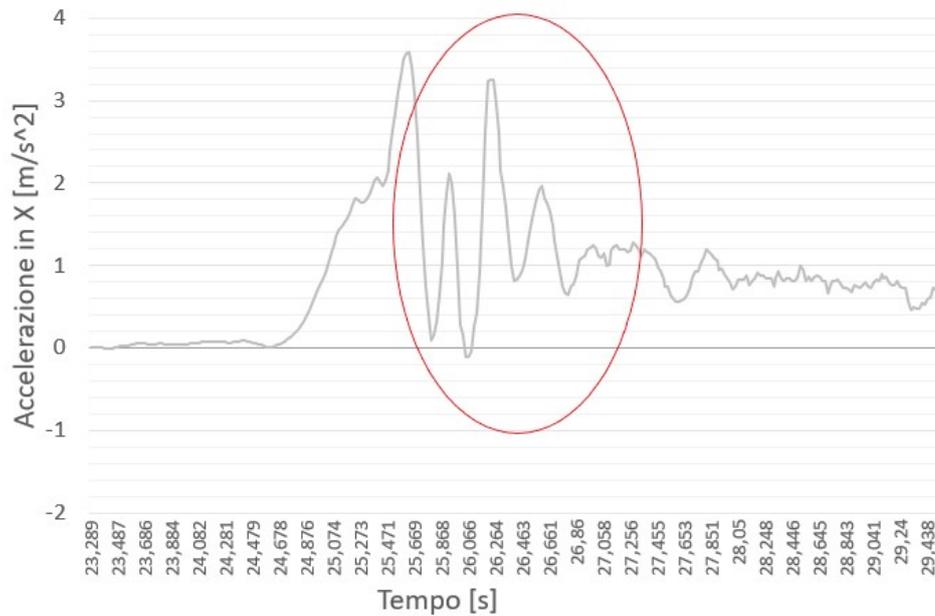


Figura 34. Oscillazioni accelerazione monopattino 2

- Monopattino 3: Dai grafici possiamo desumere che l'accelerazione sia decisamente più lineare rispetto ai due casi precedenti. Dopo la spinta iniziale il monopattino raggiunge una accelerazione di circa  $1.5\text{ m/s}^2$  che decresce dolcemente.

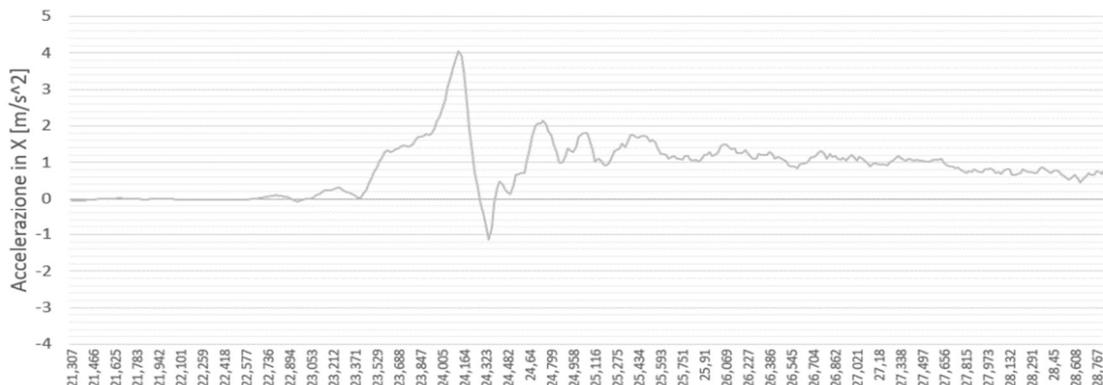


Figura 35. Accelerazione lineare monopattino 3

Nella tabella seguente è presente una comparativa di alcune caratteristiche delle prove. Viene valutato sul tracciato delle accelerazioni, ricavate tramite smartphone, il tempo trascorso tra l'istante in cui comincia la prova, con la spinta del piede del conducente, ed il momento in cui le accelerazioni scendono stabilmente sotto al valore di  $1 \text{ m/s}^2$ . Viene poi calcolato lo stesso valore con l'ausilio della polinomiale approssimativa. Abbiamo successivamente calcolato la velocità massima raggiungibile secondo l'equazione polinomiale utilizzando il metodo derivativo descritto in precedenza e confrontato il risultato con la velocità massima raggiungibile da ogni monopattino:  $25 \text{ km/h}$ . Per comprendere quale sia mediamente il comportamento di un monopattino in fase di accelerazione, abbiamo calcolato l'accelerazione media con due metodi diversi. Il primo è una media con i valori ottenuti dallo smartphone. L'intervallo considerato ha come inizio il momento in cui la curva delle accelerazioni, partendo da 0, aumenta di pendenza e ha come fine il punto corrispondente all'istante di tempo precedente sommato alla durata complessiva della prova, secondo quanto rilevato dalle riprese video. Il secondo metodo invece è una media tra i valori delle accelerazioni ottenuti mediante equazione polinomiale dall'istante 0 all'istante di raggiungimento dei 14 metri previsti dalla prova, sempre secondo la polinomiale. Viene infine comparato il valore del tempo necessario al monopattino per completare la prova in base all'osservazione dei video con il calcolo dalla formula polinomiale. Per ottenere questo valore è necessario risolvere l'equazione di terzo grado avendo "x" come incognita e "y" nota uguale a 14 metri. Essendo questa equazione di partenza di terzo grado, essa ammette 3 soluzioni: nel nostro caso tutte appartenenti all'insieme dei numeri reali. L'individuazione del risultato corretto è sempre stata una pratica semplice. Una soluzione aveva sempre segno negativo, mentre un'altra aveva un valore molto elevato. Il valore della terza soluzione, quello corretto, era invece molto simile al valore discretizzato del tempo che più si avvicinava a 14 metri nel calcolo dello spazio con la formula polinomiale.

Nella tabella, i dati provenienti dalla lettura dei grafici costruiti con i valori forniti da smartphone sono segnati da (s), i dati provenienti dai calcoli effettuati con la polinomiale sono contrassegnati con (p) e i dati ricavati direttamente dai video sono contrassegnati con (v).

Monopattino	prova #	conducente #	tempo[s] da max a $1 \text{ m/s}^2$			Vmax [m/s]		differenza %
			(p)	(s)	differenza %	(p)	Reale	
Monopattino 1	1	2	3,56	3,54	0,6	6,78	6,94	2,3
	2	1	3,26	3,15	3,5	6,71	6,94	3,3
Monopattino 2	1	2	2,80	3,28	14,8	5,61	6,94	19,2
	2	1	2,24	2,26	0,8	5,16	6,94	25,6
Monopattino 3	1	2	1,71	2,48	31,0	5,67	6,94	18,3
	2	2	2,56	3,26	21,6	5,09	6,94	26,7

			Accelerazione media [m/s <sup>2</sup> ]		tempo[s] per 14m			
Monopattino	prova #	conducente #	(s)	(p)	diffe- renza%	(v)	(p)	differenza %
Monopattino 1	1	2	1,30	1,45	11,8	4,32	4,31	0,4
	2	1	1,23	1,25	1,6	4,40	4,41	0,2
Monopattino 2	1	2	1,14	1,16	1,9	4,53	4,53	0,1
	2	1	0,95	0,95	0,5	4,92	4,92	0,0
Monopattino 3	1	2	1,05	0,89	15,2	4,56	4,74	3,7
	2	2	1,21	1,08	10,7	4,58	4,65	1,5

Per quanto riguarda la verifica della velocità massima raggiungibile seguendo la curva polinomiale, troviamo nei monopattini 2 e 3 delle differenze percentuali consistenti rispetto al valore vero. Questo non significa che le velocità ottenute in questo modo siano errate, ma che le equazioni approssimate non sono ottime per i calcoli successivi ai 14 metri della prova. Se avessimo proseguito le prove pratiche oltre questo limite probabilmente le equazioni sarebbero differite da quelle riportate. Avremmo di contro riscontrato maggiori approssimazioni nelle prime fasi della prova. Queste approssimazioni sarebbero figlie del fatto che probabilmente la curva di accelerazione di questi monopattini non coincide esattamente con una polinomiale e questo sembra essere maggiormente vero per i monopattini 2 e 3. È d'altronde immaginabile che i valori di accelerazione siano gestiti dal software del singolo monopattino per questioni di sicurezza e di durata della batteria.

### 5.3. Analisi delle frenate

L'analisi di queste prove ha come obiettivo quello di valutare le prestazioni e l'efficienza di una frenata di emergenza per i monopattini elettrici. È infatti importante capire quali sono i tempi di reazione di questi veicoli unitamente alla loro capacità di fermarsi in sicurezza in spazi brevi. Il primo passo di questa analisi consiste nella valutazione del tempo tecnico di attivazione dell'impianto frenante. Questo è il tempo che passa dal momento in cui viene azionata la leva del freno al momento in cui viene raggiunta la massima potenza frenante. L'accadere di questa condizione è verificato dal blocco della ruota. Nelle nostre prove abbiamo valutato questo tempo usando la ruota posteriore come riferimento. Come già accennato il blocco della ruota anteriore per un veicolo a due ruote può rivelarsi una situazione molto pericolosa; questo, quindi, il motivo della nostra scelta. Nel nostro caso il tempo tecnico è la somma di due componenti: una è il tempo trascorso tra l'azionamento della leva del freno all'istante di accensione della luce di stop posteriore: l'altra è il tempo tra l'accensione della luce di stop all'istante di blocco della ruota. Per la prima componente è stata effettuata una ripresa (Figura 23), con il monopattino fermo, del braccio che comanda il pistoncino della pinza del freno (tutti i

freni posteriori sono di tipologia a disco meccanici) insieme al fanale di stop posteriore. La ripresa video a 240 fps ci ha permesso di individuare facilmente il momento esatto in cui la leva cominciava a muoversi ed il momento esatto in cui la luce rossa dello stop si accendeva. Al conducente è stato chiesto di azionare velocemente la leva come durante una frenata d'emergenza. L'alta frequenza di campionamento ci ha permesso di avere una definizione di 0.004167 secondi: durata temporale tra un fotogramma ed il successivo. La seconda componente invece è stata acquisita tramite il video a



*Figura 36. Istante accensione luce posteriore monopattino durante le prove*

120 fps della prova con l'ausilio nel nastro bianco installato sulle ruote posteriori dei monopattini. Il valore ricercato equivale al numero di fotogrammi che descrivono l'intervallo di tempo tra l'accensione della luce di stop (Figura 36) ed il momento in cui la ruota posteriore si blocca, moltiplicato per la durata in secondi del tempo che intercorre tra un fotogramma ed il successivo, in questo caso 0.008333 secondi.

Mentre quello appena descritto è un tempo tecnico valutato visivamente, il tempo tecnico che abbiamo calcolato attraverso i dati delle accelerazioni forniti dallo smartphone è di tipo numerico. In particolare abbiamo valutato il tempo trascorso tra l'istante in cui lo smartphone iniziava a registrare le accelerazioni negative tipiche della frenata e l'istante in cui veniva registrato il valore di decelerazione massimo (Figura 37).

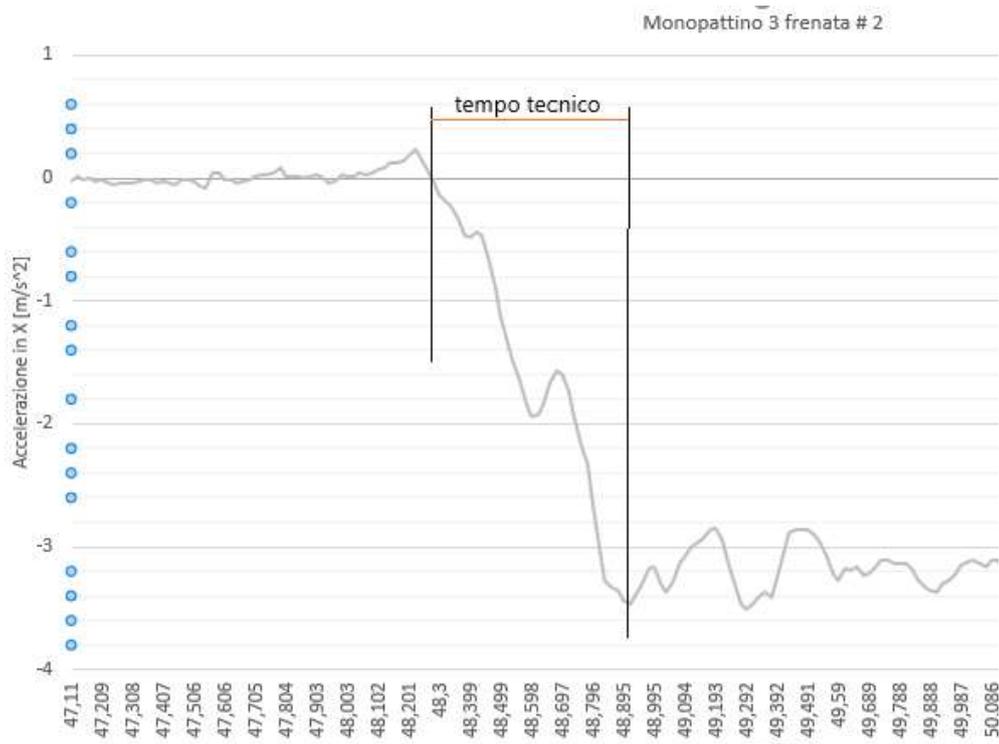


Figura 37. Esempio calcolo tempo tecnico su grafico

Abbiamo voluto calcolare quale fosse la decelerazione massima esprimibile dal monopattino. Per quanto riguarda il metodo grafico abbiamo proceduto individuando quali fossero i picchi di

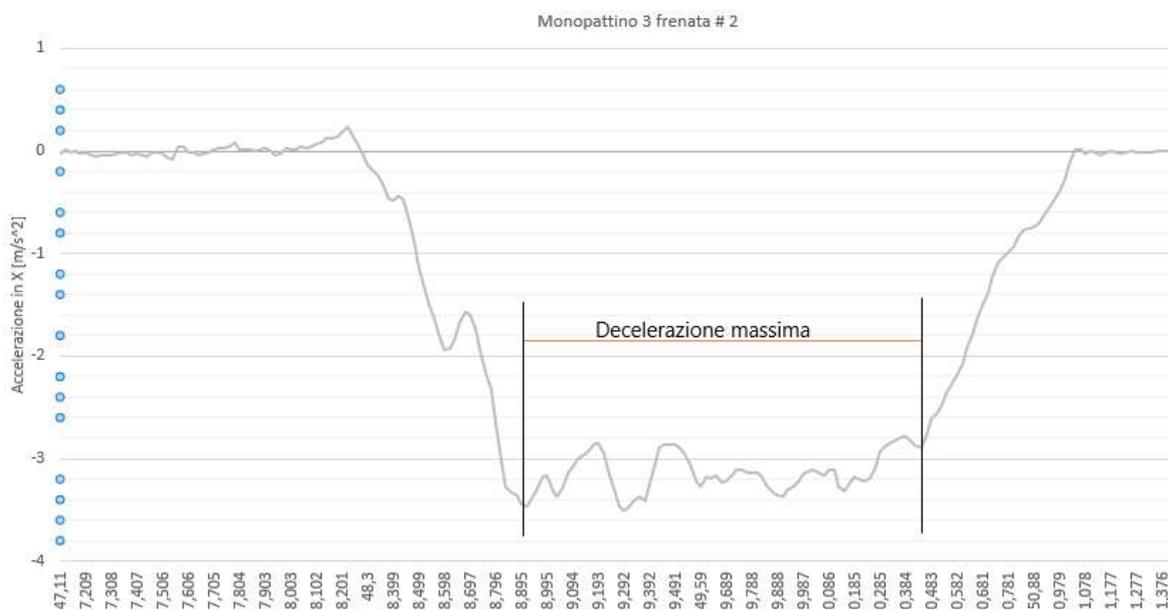


Figura 38. Esempio calcolo decelerazione massima media

accelerazione (Figura 38). Il primo di essi è quello coincidente con la fine del tempo tecnico calcolato come spiegato. L'ultimo, invece, è quello relativo alla fermata del monopattino. L'istante in cui i

valori delle accelerazioni iniziano a diminuire per poi arrivare nell'intorno dello 0, rappresenta l'ultimo picco, il secondo estremo tra cui calcolare la decelerazione media. Mediante la funzione "Media" di Excel, siamo riusciti ad ottenere il valore ricercato. Per quanto riguarda il calcolo della decelerazione massima media ottenuta attraverso l'analisi video abbiamo dovuto ricavare lo spazio percorso e il tempo, riferiti alla situazione di interesse. La decelerazione massima incomincia verosimilmente quando la ruota posteriore del monopattino si blocca e finisce quando il monopattino si arresta completamente. Una volta ricavati spazio e tempo, tramite osservazione dei video, abbiamo calcolato la decelerazione media partendo dalla formula (1) riportata per praticità:

$$S = \frac{1}{2} \times a \times t^2 + V_0 \times t \quad (1)$$

Sappiamo che "S" e "t" sono noti grazie all'osservazione dei filmati delle prove mentre "a" e "V<sub>0</sub>" sono incognite. Purtroppo non è possibile ricavare il valore di "V<sub>0</sub>" dal momento che esso non si riferisce alla velocità di ingresso prova del monopattino di 25km/h, bensì alla velocità che esso ha quando la ruota comincia a strisciare. Possiamo però sostituire questo valore dalla formula (2) andando ad esplicitare "V<sub>0</sub>":

$$V_0 = V - a \times t \quad (9)$$

Otteniamo così:

$$S = \frac{1}{2} \times a \times t^2 + V \times t - a \times t^2 \quad (10)$$

Sappiamo inoltre che la velocità "V" è nulla dal momento che si riferisce al valore corrispondente all'istante di tempo finale. Essendo, quindi, noti tutti i termini, possiamo scrivere:

$$a = - \frac{2 \times S}{t^2} \quad (11)$$

Siamo così riusciti a trovare il valore di decelerazione massima media calcolato attraverso l'osservazione video.

Infine, per valutare la correttezza dei dati acquisiti tramite smartphone, abbiamo proceduto con il calcolo della velocità di ingresso alla prova del monopattino. Individuati sul grafico i punti di inizio frenata e fine frenata, abbiamo ricavato il tempo trascorso tra i due punti e la media delle accelerazioni tra essi.

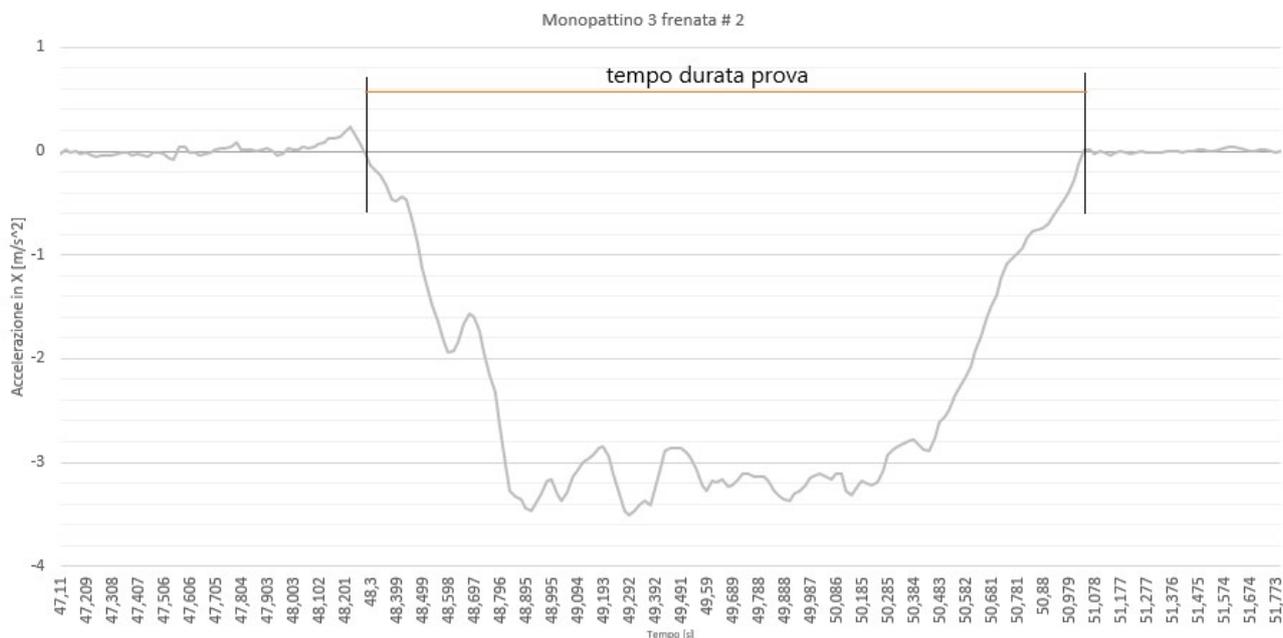


Figura 39. Esempio estremi durata prova frenata

Il calcolo della velocità di ingresso alla prova è stato calcolato mediante la (2) sapendo che “V”, riferendosi alla velocità finale, è nulla.

Viene riportata ora una tabella con tutti i risultati calcolati come descritto precedentemente. Sono stati inserite le colonne di differenza percentuale in ottica comparativa tra i due metodi di acquisizione dati: con video e con accelerometro. Come nella tabella comparativa delle accelerazioni sono marcati con (v) i dati ricavati direttamente dalle riprese video, con (s) i risultati provenienti dall’analisi dei valori delle accelerazioni fornite dallo smartphone.

	prova #	Conducente	tt accensione luce [s] (v)	tt luce-blocco ruota [s] (v)	tt video totale [s] (v)	tt frenata max [s] (s)	tt smartphone totale [s] (s)	differenza %
Monopattino 1	1	2	0,25	0,10	0,35	0,14	0,39	10,9
	2	1	0,25	0,10	0,35	0,62	0,87	147,1
	3	1	0,25	0,62	0,87	0,62	0,87	0,1
Monopattino 2	1	1	0,08	-	-	0,40	0,48	-
	2	2	0,08	-	-	0,38	0,46	-
Monopattino 3	1	2	0,15	-	-	0,38	0,53	-
	2	2	0,15	0,33	0,48	0,64	0,79	64,7

	prova #	Conducente	tempo totale frenata [s] (s)	decelerazione massima media [m/s^2] (s)	decelerazione massima media [m/s^2] (v)	differenza %	V ingresso reale	V ingresso calcolata [m/s] (s)	differenza %
Monopattino 1	1	2	1,7	4,34	4,41	1,6	6,94	6,75	2,7
	2	1	3,6	-	~ 1,63	-	6,94	-	-
	3	1	1,8	4,01	3,81	5,1	6,94	6,21	10,5
Monopattino 2	1	1	2,2	3,12	3,35	7,4	6,94	6,38	8,0
	2	2	2,0	3,57	3,66	2,6	6,94	6,48	6,7
Monopattino 3	1	2	2,4	3,01	-	-	6,94	6,39	7,9
	2	2	2,8	3,14	3,29	4,8	6,94	6,70	3,5

Nella spiegazione della tabella è necessario motivare l'assenza di alcuni dati. Per quanto riguarda il monopattino 2, nelle riprese video abbiamo constatato come, all'inizio della frenata, la luce di stop posteriore non si è accesa per nessuna delle prove. Abbiamo, infatti, potuto facilmente osservare il blocco della ruota posteriore e, solo dopo diversi fotogrammi, la luce di stop si accendeva per la prima volta. Questo problema deriva probabilmente da un errore del software di gestione del monopattino. Abbiamo, infatti, effettuato le riprese del movimento del pistoncino del freno e della luce di stop posteriore a monopattino fermo constatando l'apparente buon funzionamento del sistema. Questo problema ci ha quindi impedito di poter valutare il tempo tecnico di attivazione dell'impianto frenante mediante analisi video.

I dati mancanti nella seconda prova del monopattino 1 sono tali a causa dell'insuccesso della prova. Come già accennato, il conducente 1 ha dovuto interrompere la frenata ed attuare manovre di emergenza per evitare il ribaltamento. Ciò ha falsato i dati acquisiti con lo smartphone. La componente di accelerazione lungo l'asse X, infatti, a causa del non più soddisfatto parallelismo tra pedana e suolo, ha registrato valori comprendenti in parte l'accelerazione di gravità, falsando di fatto i dati registrati. Abbiamo comunque cercato di restituire un valore plausibile per quanto riguarda la decelerazione media mediante l'analisi video. La prima parte della prova è infatti priva di difetti: il ribaltamento occorre solo nella seconda parte. Questo ci ha reso possibile la determinazione del punto in cui cominciava la frenata a massima efficienza e il calcolo del tempo tecnico.

La terza prova relativa al monopattino 1 è leggermente falsata a causa del mancato blocco immediato della ruota posteriore nelle prime fasi della frenata. Questo evento occorre dopo ben 0.62 secondi dall'accensione della luce di stop posteriore contro i 0.1 secondi delle prime due prove dello stesso monopattino. Potremmo collegare questo tempo dilatato ad un comportamento più prudente adottato dal conducente 1 dopo la prova precedente. Questa prova è da considerarsi comunque riuscita dal momento che durante una frenata di emergenza, il conducente non è interessato a bloccare una o entrambe le ruote del proprio veicolo, quanto a fermarsi nel più breve spazio possibile mantenendo direzionalità e senza perdere il controllo. La mancanza di alcuni dati nella prima prova del monopattino 3 è dovuta alla corruzione e successiva perdita del file video.

Analizzando i dati ottenuti possiamo osservare come il tempo tecnico ricavato mediante l'analisi delle accelerazioni differisca percentualmente di molto rispetto allo stesso dato ottenuto con l'analisi video. Questi due valori si riferiscono a tempi leggermente differenti. Mentre dall'analisi video si osserva solo ed esclusivamente il tempo necessario alla ruota posteriore per bloccarsi da quando viene azionata la leva del freno, l'analisi con l'accelerometro restituisce il valore di tempo necessario per

arrivare alla massima decelerazione registrata. Questi tempi differiscono tra loro in modo diverso per ogni monopattino. Il monopattino 1 essendo dotato di 2 leve del freno per comandare distintamente la ruota anteriore e la posteriore, ha valori che differiscono proprio a causa di questo grado di libertà concesso al conducente. Se ad esempio venisse azionata repentinamente la sola leva del freno posteriore fino al blocco della ruota e solo successivamente e gradualmente la leva del freno anteriore, il tempo tecnico calcolato a video sarebbe molto più piccolo di quello calcolato mediante analisi delle accelerazioni, dove la decelerazione massima occorrerebbe sicuramente dopo il blocco della ruota posteriore. I monopattini 2 e 3 possono seguire le stesse regole per via della similitudine tra i loro impianti frenanti: freno a disco posteriore e frenata rigenerativa anteriore. In tutti i grafici di queste prove viene riscontrato nella zona del tempo tecnico una lieve flessione della curva di decelerazione crescente. Questa flessione potrebbe indicare l'intervento della frenata rigenerativa (Figura 40). Si comprende quindi che il tempo tecnico calcolato mediante accelerometro è più elevato a causa dell'intervento lievemente tardivo del freno anteriore; non considerato nell'analisi video.

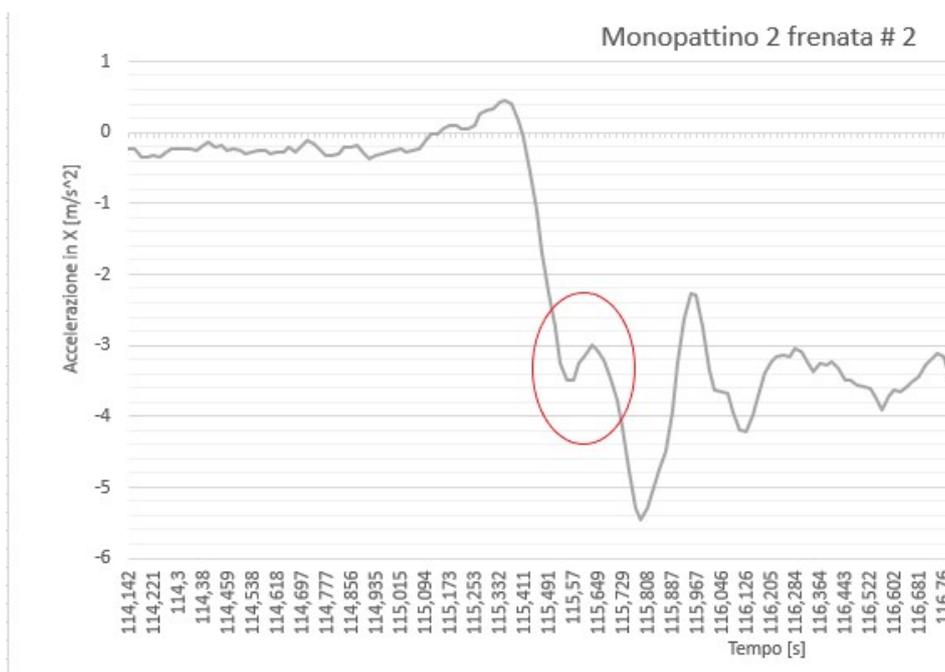


Figura 40. Esempio flessione curva decelerazione

## 5.4. Risultati prove di pendenza massima superabile

Le prove di pendenza massima superabile sono state concepite come prove di tipo qualitativo. Eravamo interessati a sapere se i monopattini riuscissero o meno a raggiungere la sommità di pendenze definite. Le velocità di ingresso ad ogni pendenza non sono state registrate dal momento che ogni prova è stata ripetuta più volte nel tentativo di percorrere la pendenza alla velocità più bassa possibile. Questo accorgimento è stato utilizzato per evitare di falsare la prova mediante l'aggiunta della componente inerziale data dalla velocità. Le discriminanti di successo o insuccesso nella prova possono essere riassunte con le seguenti:

- se durante la percorrenza del tratto in salita veniva riscontrata un'accelerazione da parte del conducente, la prova era considerata superata.
- Se durante la percorrenza del tratto in salita il monopattino rallentava fino ad arrestarsi la prova era ripetuta. Se questa condizione persisteva la prova era considerata non superata.
- Se durante la percorrenza del tratto in salita il conducente riteneva che il monopattino mantenesse un moto a velocità costante, la prova era ripetuta. Se la condizione persisteva la prova era considerata superata.

È importante sottolineare che prima di stabilire il risultato finale di ogni prova, essa veniva ripetuta diverse volte. Per una questione di praticità se un monopattino riusciva a superare con successo una salita di una certa pendenza, venivano considerate passate anche le salite a pendenza inferiore. Allo stesso modo se una certa pendenza non veniva superata, tutte le salite a pendenza maggiore erano considerate non superate.

In seguito è riportata una tabella riassuntiva sull'esito delle prove. Per rendere i risultati comparabili con altre pendenze li riportiamo come valori percentuali. Ricordando alcune regole base della trigonometria, la pendenza percentuale, che è calcolata come dislivello affrontato diviso la proiezione sull'asse orizzontale del tratto di strada in salita, si può calcolare come:

$$Pendenza\% = \frac{l \times \sin(\alpha)}{l \times \cos(\alpha)} \times 100 \quad (12)$$

dove "l" è la lunghezza del tratto in salita e "α" è l'angolo che la strada forma con il piano orizzontale. Le pendenze affrontate ad angoli di 8°, 10°, 13°, 15°, corrispondono a pendenze percentuali di 14%, 17,6%, 23%, 26.8%.

		Pendenza Salita			
		14%	17.6%	23%	26.8%
Monopattino	Monopattino 1	✓	✓	✓	limite
	Monopattino 2	limite	✗	✗	✗
	Monopattino 3	✓	limite	✗	✗

Nella tabella la dicitura “limite” indica che il monopattino riesce effettivamente a superare la pendenza a condizione di non ricevere perturbazioni esterne atte a diminuirne la velocità. Nel normale utilizzo, nella percorrenza di salite “limite” più lunghe di quelle della prova, il monopattino in questione sarebbe in grado di superare la pendenza probabilmente perdendo velocità ma senza fermarsi. Salite di pendenza maggiore risulterebbero invece più ardue da superare e senza una buona componente velocità iniziale il monopattino si fermerebbe dopo pochi metri. È interessante notare come, nonostante la potenza nominale identica per i monopattini 2 e 3, ci sia effettivamente una differenza seppur lieve sulle prestazioni. È probabile che questa differenza sia legata a due fattori: la potenza di picco del monopattino 3 è leggermente superiore a quella del monopattino 2: 600W contro 550W. Il diametro esterno degli pneumatici, inoltre, è differente per i due veicoli: 8.5” per il monopattino 3 contro i 10” del monopattino 2. Quest’ultima differenza, a parità di coppia erogata, risulta in una minor forza esercitata sul terreno a causa del maggior braccio della ruota.



*Figura 41. Avvicinamento alla salita di pendenza 15°*

## 6.

# Considerazioni finali

Questa tesi si pone come obiettivo quello di valutare quanto sono sicuri i monopattini elettrici da un punto di vista del veicolo. È importante capire le caratteristiche tecniche, i punti di forza e i punti su cui c'è spazio di miglioramento. La sicurezza è un aspetto di molto importante in tema di spostamenti. In un paese civile come l'Italia non si dovrebbe morire durante un semplice spostamento. Investire in regolamenti, manutenzione delle strade, educazione dei cittadini e migliorie sui veicoli dovrebbe essere di primaria importanza.

Questa tesi ha sottolineato come un nuovo mezzo di trasporto come il monopattino elettrico può avere ripercussioni molto positive sulla mobilità personale e sulla congestione del traffico. Non di minore importanza è l'utilità di questi veicoli in merito alla situazione sanitaria odierna. La possibilità di effettuare spostamenti mantenendo il distanziamento sociale è una grandissima opportunità. È stato però messo in luce come questi veicoli abbiamo anche favorito l'innescarsi di atti di vandalismo e odio nei confronti dei monopattini. L'aspetto più drammatico riguarda però il numero crescente di ingressi al pronto soccorso a causa di incidenti con questi veicoli. Su questo punto abbiamo svolto un'analisi approfondita cercando di capire quali possono essere le cause più comuni di incidenti.

### 6.1. Soluzioni tecniche reparto veicolo

- Manubrio largo.

I monopattini a propulsione fisica sono stati progettati, nella stragrande maggioranza dei casi, per soddisfare le esigenze ludiche dei bambini e ragazzi. Essendo comunque non dotati di motore le loro caratteristiche non permettono grandi doti di stabilità e capacità frenante. Basti pensare che la maggior parte dei monopattini per ragazzi è dotata di un solo freno posteriore a pedale: decisamente non efficace per fermarsi ad alte velocità. I primi monopattini elettrici, purtroppo, assomigliano decisamente ai loro gemelli senza motore, con la differenza della possibilità di raggiungere velocità elevate senza alcuno sforzo. Le uniche differenze ciclistiche tra i due veicoli riguardano la dimensione e composizione degli pneumatici, la presenza di ammortizzatori funzionali su pochi modelli e un impianto frenante più completo ma non sempre sufficiente. Dal punto di vista della sicurezza alcune di queste caratteristiche potrebbero essere migliorate per una guida più sicura.

Un manubrio largo rappresenta il primo componente che è possibile sostituire con poca spesa sia in termini economici sia in termini di ingegnerizzazione del prodotto. Un manubrio largo porta benefici alla stabilità generale del monopattino. Il punto di posizionamento delle mani del conducente poste più lontane dall'asse di rotazione dello sterzo, rendono il controllo del monopattino più semplice grazie alle minor forze richieste per applicare le opportune coppie. Un manubrio più largo permette di ottenere una maggiore sensibilità sul direzionamento della ruota anteriore. I benefici apportati da questa modifica in termini di sicurezza sono grandi, ma è bene non eccedere con le dimensioni. Alla guida di un monopattino elettrico il busto del conducente rimane spesso molto vicino al manubrio e una sua dimensione troppo grande potrebbe risultare scomoda. Un manubrio troppo largo modifica anche le dimensioni laterali massime del monopattino andandolo a rendere più ingombrante e meno comodo da trasportare.

- Ruote alte.

Le ruote costituiscono un altro punto migliorabile dal punto di vista della sicurezza. Un diametro molto piccolo ha come conseguenze una riduzione dell'avancorsa, una maggior propensione all'impuntamento e all'instabilità. Aumentare il diametro delle ruote migliorerebbe sicuramente la stabilità del veicolo e con essa la sicurezza globale. Per far fronte ad un'eventuale sensazione di pesantezza dello sterzo che comporterebbe questa modifica, un manubrio più largo potrebbe mitigare la situazione. Esistono per alcuni monopattini degli pneumatici con una dimensione del fianco aumentata per ottenere un aumento globale del diametro della ruota. Questa economica modifica porta diversi benefici in termini di sicurezza.

Una ulteriore modifica relativa agli pneumatici riguarda la loro composizione. Accorgimento maggiormente indirizzato ai monopattini in condivisione, riguarda l'uso di pneumatici "pieni" che non necessitano di aria per mantenere il tono. Si tratta di pneumatici anti-foratura la cui composizione fornisce da sola il sostentamento di monopattino e conducente. Non necessitano di manutenzione e non si forano. D'altra parte peccano per impossibilità di regolazione della durezza per pesi differenti e la miscela utilizzata non assicura la stessa aderenza degli pneumatici tradizionali.



*Figura 42. Pneumatico pieno*

- Impianto frenante.

Un elemento ciclistico che già permette buone prestazioni è l'impianto frenante. Nelle prove effettuate sul campo abbiamo valutato le capacità di decelerazione di tre monopattini differenti: due di fascia media e uno di fascia alta. Queste prove non hanno voluto essere rappresentative della massima potenza frenante esprimibile dai veicoli in prova, quanto osservare l'efficienza frenante di un monopattino elettrico durante una frenata di emergenza; manovra che auspicabilmente non deve essere effettuata quotidianamente da un conducente. Il valore medio di massima decelerazione calcolato è di  $3,53 \text{ m/s}^2$ , valore ottenuto mediante analisi del grafico delle accelerazioni; mentre è di  $3,7 \text{ m/s}^2$  calcolato con analisi video. Il valore massimo calcolato è di  $4,41 \text{ m/s}^2$ , circa  $0,45g$ , ovviamente relativo al monopattino di fascia alta dotato di doppio freno a disco. È stato interessante riscontrare che la maggior potenza frenante non è necessariamente sinonimo di maggior sicurezza. Nella seconda prova del monopattino 1, il conducente, frenando eccessivamente con il freno anteriore, ha sollevato involontariamente la ruota posteriore da terra rischiando il ribaltamento. Il valore di  $1,63 \text{ m/s}^2$ , stima la decelerazione media del monopattino durante la prova, risultando quindi essere il valore più basso tra quelli calcolati. La gestione della frenatura delle ruote è un problema già noto a ciclisti e motociclisti. In particolare, le motociclette più datate e di cilindrata più piccola difficilmente sono provviste di sistemi anti-bloccaggio ABS delle ruote. La maggior parte degli incidenti che si verificano con motociclette sono spesso caratterizzati da un improprio utilizzo dell'impianto frenante da parte del motociclista. Le situazioni che si possono verificare sono il completo bloccaggio della ruota anteriore con conseguente caduta del conducente, o un eccessivo uso del freno posteriore a scapito di quello anteriore. I veicoli a due ruote con frenata separata e non controllata sono quindi generalmente più difficili da gestire in fase di decelerazione e i monopattini non sono da meno. La gestione della frenata attraverso un solo comando risulta decisamente più facile. Questa caratteristica è propria dei monopattini 2 e 3 i quali, come abbiamo avuto modo di constatare attraverso l'osservazione dei veicoli a nostra disposizione, erano provvisti di una sola leva a comando dell'intero impianto frenante. La leva presente su questi veicoli comanda meccanicamente il freno a disco posteriore ed elettronicamente la frenata rigenerativa alla ruota anteriore. Sebbene questa combinazione di freni non garantisce le migliori prestazioni di decelerazione, diminuisce se non annulla il rischio di caduta del conducente prima di un eventuale impatto. Sarebbe opportuno implementare un sistema frenante più potente ma comunque gestibile sulla ruota anteriore e includervi, se possibile, un sistema ABS.

Abbiamo confrontato i risultati delle nostre prove sul campo con quelle ottenute da altri enti che hanno a loro volta effettuato questo tipo di prova su altri monopattini. In particolare l'istituto Dekra

[38] ha effettuato prove di decelerazione su un monopattino elettrico riscontrando valori di decelerazione media di  $4.6 \text{ m/s}^2$ . Il monopattino in esame era equipaggiato con 2 freni a tamburo comandabili separatamente. Anche l'ente TCS [30] ha effettuato delle prove di frenata su diversi monopattini elettrici. I dati che vengono forniti sono valori di spazi di frenata relativi a prove di decelerazione con velocità iniziale di  $15 \text{ km/h}$ . I calcoli da noi svolti per calcolare la decelerazione media utilizzano questa formula:

$$a = - \frac{V_0^2}{2 \times S} \quad (12)$$

proveniente da sostituzioni tra le formule (1) e (2). Infine, grazie alla formula 2 è stato possibile calcolare il tempo per l'esecuzione della manovra.

	V_0 (km/h)	S(m)	a (m/s^2)	t (s)
Vmax R20	15	2,39	-3,63	1,15
streetmot. Tech 2	15	2,79	-3,11	1,34
Soflow pop	15	3,27	-2,65	1,57
Razor E200	15	2,91	-2,98	1,40
Micro condor X3	15	2,23	-3,89	1,07
Etwow S+	15	2,59	-3,35	1,24
Segway ES1	15	2,66	-3,26	1,28

Il valore medio di decelerazione calcolato è di  $3.27 \text{ m/s}^2$ .

Possiamo concludere che i valori di accelerazioni da noi trovati possono essere comparabili con quelli trovati da questi due enti.

Per capire se questi valori sono accettabili in senso assoluto potremmo compararli con quelli tipici di una bicicletta. Per normativa europea UNI EN 14764, le biciclette omologate per uso su strada dovrebbero essere in grado di ottenere una frenata di lunghezza pari o inferiore a 6 metri partendo da una velocità di  $25 \text{ km/h}$ . Secondo la formula utilizzata per i calcoli precedenti, questi dati corrisponderebbero ad una decelerazione media di  $4 \text{ m/s}^2$ . I monopattini nella nostra prova rientrerebbero quindi a fatica in questa normativa: solo il modello con impianto frenante più potente supererebbe la prova. È comunque da considerare che questa normativa prescrive il valore minimo da ottenere in condizioni di frenata a massima efficienza. Tenuto quindi conto che non abbiamo voluto testare la massima efficienza dell'impianto frenante di ogni veicolo, quanto piuttosto le sue performance durante una frenata di emergenza, e tenendo conto che questa normativa è indirizzata ad

un'altra categoria di veicoli, si può complessivamente affermare che i monopattini elettrici siano sicuri dal punto di vista della frenata.

- Accelerazioni

Abbiamo osservato l'andamento delle accelerazioni nelle prime fasi di partenza per un monopattino elettrico. Abbiamo notato in due veicoli, sul totale dei tre a nostra disposizione, delle anomalie nella curva di accelerazione. Abbiamo individuato un caso in cui il motore del monopattino entrava in funzione con uno spunto molto elevato per poi assestarsi, ed un altro caso in cui l'intervento del motore generava oscillazioni lungo l'asse orizzontale. Queste caratteristiche sono da ritenersi non desiderabili dal momento che possono generare instabilità nel moto del veicolo. Quando, infatti, viene azionato un comando regolabile, come un acceleratore, un freno o una frizione, per i veicoli provvisti, la scarsa modulabilità, se vengono restituite prestazioni molto differenti da quelle desiderate, può rappresentare un pericolo. La scarsa affidabilità e modulabilità del comando può certamente essere pericolosa per un utente alle prime armi, dal momento che la diversa risposta fornita rispetto a quella attesa coglie impreparato il conducente. La stessa considerazione vale inoltre per l'utente medio. Il conducente, sapendo della scarsa modulabilità del comando, pone molta attenzione nella modalità di azionamento dello stesso e si concentra sulle eventuali manovre da effettuare per bilanciare il funzionamento imprevisto. Le attenzioni rivolte al comportamento del veicolo distraggono, di conseguenza, il conducente da ciò che accade intorno a lui, incrementando il tempo di risposta ad un eventuale situazione di pericolo.

Al di là della modulabilità del comando, è importante concentrarsi sulle accelerazioni medie ottenute durante le prove. L'accelerazione media registrata è di  $1.15 \text{ m/s}^2$  ottenuta mediante dati provenienti da smartphone e di  $1.13 \text{ m/s}^2$  ottenuta mediante polinomiali. Il valore massimo è del monopattino 1 ed è uguale a  $1.45 \text{ m/s}^2$  ottenuto mediante polinomiale. Questi valori possono essere compresi meglio se comparati con i valori ottenuti dalla ricerca svolta in Inghilterra [44] sulle accelerazioni e velocità medie delle biciclette. Le tipologie considerate in questa ricerca non comprendono biciclette a pedalata assistita. I valori medi di accelerazione sono stati ottenuti mediante l'utilizzo di un GPS montato appositamente sulle biciclette in prova. I valori medi di accelerazioni riscontrati sono di  $0.247 \text{ m/s}^2$  con una velocità media raggiunta di  $21.5 \text{ km/h}$ . Questi dati sono ottenuti per un conducente medio che viaggia in assenza di pendenze senza velleità sportive.

Questo confronto mette in luce quando effettivamente siano più prestazionali i monopattini elettrici rispetto alle biciclette. Non è sbagliato ritenere che le accelerazioni dei monopattini siano alte a livello assoluto. Possono, difatti, presentarsi problemi di stabilità se il conducente non è preparato alla spinta

iniziale, ma questi non sussistono se viene adottata una corretta postura di gambe e piedi sulla pedana. La celerità di raggiungimento della velocità massima e l'assenza di sforzo, potrebbero facilmente portare il conducente a mantenere andature troppo veloci rispetto al suo senso di sicurezza o alle caratteristiche della strada. Tralasciando la modulabilità del comando in sé, rimane comunque a discrezione del conducente la decisione di quanto accelerare e quale velocità raggiungere, considerate le condizioni della strada e il livello di prudenza richiesto dalla situazione specifica.

- **Pendenza massima superabile**

Abbiamo verificato come monopattini elettrici di potenze diverse siano capaci di superare certi gradi di pendenza con maggiore o minor facilità. I valori di pendenza massima superabile sono da considerarsi buoni se non ottimi per diversi motivi. In primis è da considerare la normativa che regola le pendenze massime di costruzione di nuove strade. Questo Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti [45] elenca, tra le altre cose, quali debbono essere le pendenze massime ammesse per una strada di nuova costruzione, riportate nella tabella.

Le pendenze massime adottabili per i diversi tipi di strada sono indicate nella tabella seguente

TIPO DI STRADA		AMBITO URBANO	AMBITO EXTRAURBANO
AUTOSTRADA	A	6%	5%
EXTRAURBANA PRINCIPALE	B	-	6%
EXTRAURBANA SECONDARIA	C	-	7%
URBANA DI SCORRIMENTO	D	6%	-
URBANA DI QUARTIERE	E	8%	-
LOCALE	F	10%	10%

Viene poi accennato come le pendenze massime possano essere aumentate progressivamente solo con apposite verifiche sul traffico veicolare in ottica di riduzione della velocità dei veicoli e del loro deflusso. Notiamo quindi che anche il monopattino meno prestante da questo punto di vista sarebbe in grado di affrontare qualsiasi tipo di pendenza senza fermarsi. Rimane però da considerare come le strade costruite in anni precedenti a quelli del decreto (2001) non rispettano necessariamente queste direttive. Esistono infatti strade a pendenza maggiore. La capacità di superamento di una pendenza come già accennato non è relativa solo alla potenza del monopattino e alla pendenza stessa, ma anche alla velocità iniziale del veicolo e alla lunghezza del tratto in salita. Le variabili sono molte e non è

possibile trarre una conclusione univoca per tutte le strade. Dal momento, però, che la normativa che regola l'uso dei monopattini elettrici [22] prevede che essi possano essere utilizzati esclusivamente in ambito urbano o su piste ciclabili, è inverosimile dover affrontare pendenze tipiche collinari o montane, quantomeno nelle grandi città in pianura.

- Le compagnie di “sharing”

Alcune compagnie di monopattini in “sharing” hanno deciso di investire dopo i primi tempi sulla sicurezza dei loro veicoli. È il caso di Lime che nella versione più recente di monopattino ha aumentato il diametro delle ruote, inserito una forcella telescopica come sospensione anteriore. La frenata è assicurata da un freno a tamburo anteriore e un meno efficiente freno a pedale posteriore. Alcuni accorgimenti come l'impermeabilità e la copertura dei fili elettrici dello scooter, gli permettono di resistere ad indesiderati atti di vandalismo senza comprometterne la sicurezza.

- Velocità massima

Un aspetto quasi scontato riguarda la possibilità di ridurre la velocità massima a cui possono viaggiare i monopattini elettrici. Questa modifica alle regole che governano i monopattini porterebbe a benefici su più aspetti. In una frenata di emergenza, una velocità di partenza minore diminuisce la distanza percorsa dal monopattino nel tempo impiegato dal conducente dall'avvistamento di un pericolo al momento in cui vengono azionati i freni. Una velocità ridotta può anche rendere meno gravi i risultati di un incidente. È comunque bene sottolineare quanto non sia giusto diminuire eccessivamente la velocità massima in nome di una aumentata sicurezza. Esistono infatti situazioni in cui una velocità anche ridotta risulta eccessiva: basti pensare al limite di 6 km/h nelle zone pedonali. Sarebbe probabilmente più corretto ed efficiente educare gli utenti a mantenere un'andatura adeguata al percorso affrontato. Il report di Dekra [38] afferma che un'educazione alla mobilità sia utile ed efficiente se insegnata a studenti di giovane età. Quello dell'eccesso di velocità non è infatti un problema che riguarda i soli monopattini, ma anche tutti i veicoli di mobilità individuale.

## 6.2. Soluzioni per il conducente

- Segnalazione della svolta

Come è stato approfondito, in Italia vige l'obbligo della segnalazione della svolta mediante l'ausilio della mano quando si è alla guida di un monopattino elettrico o di una bicicletta. A causa delle caratteristiche tecniche di questi veicoli, l'obbligo può rendere questa manovra molto pericolosa. Mentre viene ipotizzata una segnalazione della svolta con l'uso di una gamba, di più facile attuazione sarebbe l'utilizzo di indicatori di direzione installati direttamente sul monopattino. L'impianto elettrico a gestione di questo ulteriore sistema di segnalazione non peserebbe incisivamente né in ambito di progettazione né in ottica di minor durata della batteria. Un impianto di questo tipo sarebbe facilmente montabile sul manubrio per essere visto anteriormente ed in corrispondenza del parafrangente posteriore per essere visto posteriormente. Rimane in dubbio la robustezza di questo sistema nei confronti di atti di vandalismo verso i monopattini in condivisione. L'adozione di indicatori di direzione potrebbe risultare economicamente non conveniente se esso è destinato a rompersi facilmente e dover essere quindi rimpiazzato frequentemente.

- Il casco

L'educazione proposta dal report del Dekra propone, inoltre, l'utilizzo del casco. È affermato che l'educazione sia più efficiente di una regolazione rigida che ne imponga l'obbligo. Sebbene l'uso del casco non sia molto diffuso, molti studi sull'incidentalità sia in monopattino che in bici dimostrano che esso può ridurre drasticamente le lesioni al cranio e, in alcuni casi, salvare la vita. Il motivo per cui ad oggi il casco è raramente usato dai ciclisti e quasi mai indossato dai monopattinisti risiede principalmente nella tipologia di veicolo in uso. Mentre alla guida di moto o quad la quasi totalità delle persone indossa il casco, chi guida veicoli più leggeri e lenti è restio a farlo. Esattamente come succede per la maggior inosservanza delle regole da parte di ciclisti e monopattinisti rispetto ai conducenti di automobili, la minor sensazione di rischio collegato al mezzo leggero e lento, può portare alla sottovalutazione dei rischi collegati ad una caduta. L'assenza di abbigliamento protettivo è di solito sinonimo di maggior lesioni riportate a causa di un incidente. Un più diffuso uso del casco porterebbe sicuramente ad un miglioramento in termini di sicurezza degli utenti in monopattino, ma sorge un grande interrogativo sul come convincere gli utenti ad indossarlo. Il problema è molto pressante per la mobilità in "sharing". Un elemento vincente del monopattino elettrico in condivisione, infatti, riguarda la possibilità di usufruire del servizio in maniera rapida, con estrema facilità e con molta libertà. Se si pensa che per questi veicoli non è necessario alcun tipo di addestramento, si può

immaginare come sia ancora più complicato dover prevedere l'obbligo del casco. In tal senso le compagnie che forniscono il servizio di monopattini elettrici in condivisione si sono mosse attivamente. È, ad esempio, il caso di Bird che incentiva all'uso del casco consegnandone [39] su richiesta uno per ogni iscritto al solo costo di spedizione. La compagnia Lyft invece li regala agli iscritti in punti informazioni dedicati. Alcune compagnie, inoltre, forniscono sconti sulla tariffa di noleggio se si dimostra di aver utilizzato il casco durante la propria corsa con una fotografia da caricare sui social che, verosimilmente, dovrebbe incentivare a questa pratica anche gli altri utenti. L'idea del casco obbligatorio non è comunque nuova in Italia. Nei primi mesi del 2019 era nata la proposta di rendere le bici più simili a moto e scooter con l'inserimento di obbligo di targa, assicurazione e casco per i conducenti [40]. Questa proposta nata con l'intento di responsabilizzare i ciclisti e di renderli riconoscibili in caso infrazione delle regole è però stata scartata. L'introduzione di questi obblighi si sarebbe tradotta in un disincentivo all'utilizzo di questi veicoli. L'incremento dei costi, degli obblighi e della possibilità di utilizzare questi veicoli senza vincoli fiscali avrebbe prodotto l'effetto contrario al tentativo di diminuzione del numero di veicoli inquinanti. Discussioni e conclusioni simili anno avuto luogo in America dove era stato proposto l'obbligo del casco per i ciclisti [41]. L'intento di rendere la guida di una biciletta più sicura avrebbe in realtà disincentivato questa pratica ambientalmente sostenibile.

### 6.3. Il ruolo delle istituzioni

- Aggiornamento delle infrastrutture

Le proposte avvallate in luogo dell'obbligo di utilizzo del casco, sono state quelle di aggiornare ed ampliare le strutture adibite alla circolazione dei velocipedi. Alcuni esempi possono essere quelli di ridurre lo spazio per i veicoli a motore ed aumentare quello dedicato alla mobilità di biciclette e monopattini e separare queste zone tramite barriere di protezione. Un passo in questo senso è stato fatto dal governo

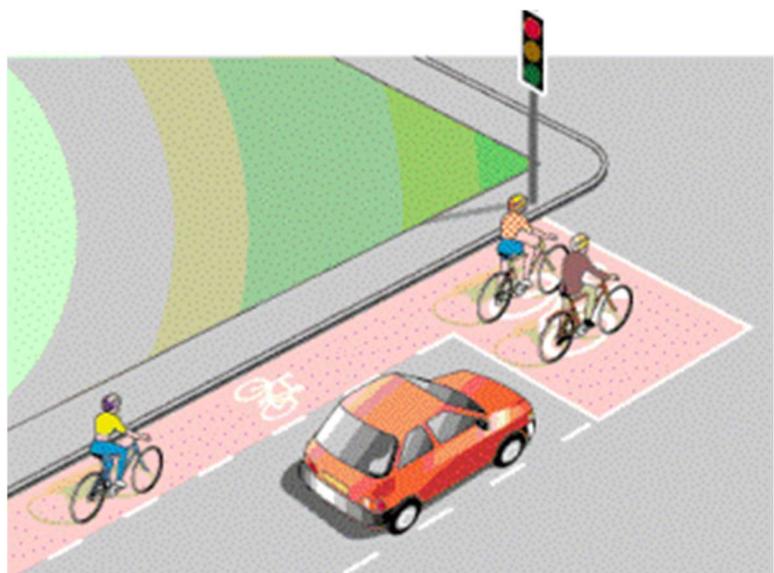


Figura 43. Corsia ciclabile che termina con casa avanzata

italiano mediante l'immissione di 2 elementi nelle strade cittadine. Questi elementi vengono descritti nella Legge 17 luglio 2020, n. 77 [42] e si tratta della "corsia ciclabile" e della "casa avanzata" (Figura 43). Essendo realizzate per le biciclette ed essendo i monopattini elettrici equiparati alle biciclette, risultano utilizzabili da tutte e due le tipologie di veicolo. Esse sono pensate per evitare che monopattinisti compiano manovre spericolate tra le auto con l'intento di raggiungere più in fretta la loro destinazione. La definizione di spazi separati favorisce, inoltre, il senso di accettazione che gli altri utenti della strada hanno nei confronti dei monopattini elettrici, in quanto con la definizione di corsie differenti non vi è una idea di condivisione dello stesso spazio e per questo nessun utente può essere di intralcio agli altri.

- Educazione dei cittadini

In Italia il Decreto del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti sulla micro-mobilità elettrica, prevede che i comuni organizzino delle campagne informative per i cittadini. È l'esempio di Milano dove a Settembre 2020 sono stati incaricati i cosiddetti "Steward" per l'educazione dei monopattinisti. Questa manovra prevista dalla normativa ha come obiettivo quello di rendere i monopattinisti più consapevoli degli obblighi che hanno come utenti della strada e renderli quindi propensi ad una guida sicura. I monopattini elettrici sono veicoli recenti e il la loro guida in sicurezza non è una abilità scontata.

- Metodo di tariffazione

Il costo dei monopattini elettrici in condivisione si eguaglia per modalità tra tutte le compagnie fornitrici del servizio: una certa somma per lo sblocco del veicolo più alcuni centesimi per ogni minuto di utilizzo. Alcuni abbonamenti prevedono in alcuni casi un certo numero di minuti già pagati e tutti quelli al di fuori del piano di abbonamento vengono pagati a parte. Risulta così lampante come il fattore tempo per ogni conducente sia importante per rendere il proprio viaggio meno costoso. È quindi logico, per chi usa i monopattini in condivisione, aumentare la velocità il più possibile per risparmiare. Ovviamente questo comportamento influisce negativamente sulla sicurezza dei conducenti e degli altri utenti della strada. Mentre da un lato è vero che per le compagnie di monopattini in condivisione è più conveniente una tariffazione che tiene conto del tempo di utilizzo, non è vero che questa politica sia idonea per garantire la sicurezza degli utenti. Come mera ipotesi si potrebbe pensare ad una tariffazione al chilometro che calcoli il costo totale di ogni viaggio in base alla distanza percorsa. Potrebbero essere imposti limiti per i quali, se un monopattino risulta fermo per un lungo intervallo di tempo, si spegne e torna ad essere disponibile per altri utenti. In via

puramente teorica questo metodo di tariffazione potrebbe indurre gli utenti ad adottare una guida più lenta e più sicura.

## **7. Conclusioni**

Risulta evidente come ad oggi i monopattini elettrici cerchino di ricoprire il ruolo del tassello mancante nella mobilità dell'ultimo miglio. Le doti di leggerezza, costo contenuto, facilità di fruizione lo rendono il mezzo ideale in sostituzione di veicoli più pesanti ed ingombranti. Il momento storico di alti livelli di inquinamento dell'aria e la necessità di mantenere le distanze tra individui a causa della condizione sanitaria, li rende molto interessanti sia per il singolo cittadino sia per la legislatura. Essi però non sono esenti da aspetti negativi legati prevalentemente alla sicurezza. Con la stessa velocità con cui sono apparsi nelle città di tutto il mondo, sono iniziati ad aumentare vertiginosamente i numeri dei feriti e dei morti a causa di incidenti in monopattino. L'obiettivo di questa tesi è stato quello di comprendere quali fossero le motivazioni legate prevalentemente alla natura tecnica del veicolo in esame che portassero a questo incremento. La trattazione delle possibili cause che portano ad incidenti non può ovviamente mancare di elencare le altre cause di natura etica e legata alle infrastrutture. Tutte queste cause di incidente sono intrinsecamente legate tra loro e una non prescinde dall'altra. Come già detto i monopattini elettrici hanno una storia temporalmente breve nella loro fruizione su larga scala e spesso le loro caratteristiche possono non soddisfare i requisiti di sicurezza minimi richiesti dall'utente medio a cui si rivolgono. Implementare soluzioni migliorative del livello di sicurezza del veicolo è una questione di grande importanza e i produttori di monopattini elettrici si stanno muovendo in questa direzione. Dal loro lato le istituzioni stanno facendo il possibile per regolamentare intelligentemente questa nuova categoria di veicolo. Non mancano interventi migliorativi ed innovativi sulle infrastrutture e sulle campagne di sensibilizzazione ed informazione. L'ultima parola spetta però all'utilizzatore medio di questa categoria di veicoli. L'elevato numero di incidenti, la pratica del parcheggio selvaggio, l'inosservanza delle regole, potrebbero portare le istituzioni a vietare i monopattini elettrici per questioni di salute pubblica. La micro-mobilità ecologica ha un buon potenziale; spetta all'utente finale la decisione di sfruttarlo o meno.

# Bibliografia

1. Shared Mobility Pilot Program Summary Report. Accessibile online: [https://www.smgov.net/uploadedFiles/Departments/PCD/Transportation/SantaMonicaSharedMobilityEvaluation\\_Final\\_110419.pdf](https://www.smgov.net/uploadedFiles/Departments/PCD/Transportation/SantaMonicaSharedMobilityEvaluation_Final_110419.pdf) . Accesso il 28-11-2020
2. Milano, il Comune sospende la circolazione dei monopattini: vanno ritirati entro tre giorni. Accessibile online: [https://milano.corriere.it/notizie/cronaca/19\\_agosto\\_15/milano-sospende-circolazione-monopattini-ritirati-entro-tre-giorni-75a45216-bf19-11e9-a77b-3ae559b41f58.shtml](https://milano.corriere.it/notizie/cronaca/19_agosto_15/milano-sospende-circolazione-monopattini-ritirati-entro-tre-giorni-75a45216-bf19-11e9-a77b-3ae559b41f58.shtml). Accesso il 1-11-2020
3. By Jijo K. Mathew, Ph.D. (M), Mingmin Liu, Sonya Seeder, Howell Li, and Darcy M. Bullock, Ph.D., P.E. (M). Analysis of E-Scooter Trips and Their Temporal Usage Patterns. *Institute of Transportation Engineers*. ITE Journal, **2019**, 89, 44-49.
4. Daniel Schellong, Philipp Sadek, Carsten Schaetzberger, and Tyler Barrack. The promise and pitfalls of e-scooter sharing. *Boston Consulting Group*. **2019**. [https://image-src.bcg.com/Images/BCG-The-Promise-and-Pitfalls-of-E-Scooter%20Sharing-May-2019\\_tcm9-220107.pdf](https://image-src.bcg.com/Images/BCG-The-Promise-and-Pitfalls-of-E-Scooter%20Sharing-May-2019_tcm9-220107.pdf)
5. 2018 E-Scooter Findings Report. *Portland Bureau of Transportation (PBOT)*. **2018**. [https://www.portland.gov/sites/default/files/2020-09/pbot\\_escooter\\_report\\_final.pdf](https://www.portland.gov/sites/default/files/2020-09/pbot_escooter_report_final.pdf)
6. 2018 E-Scooter Pilot User Survey Results, *Portland Bureau of Transportation (PBOT)*, **2018**. [https://www.portlandoregon.gov/transportation/article/700916?utm\\_medium=email&utm\\_source=govdelivery](https://www.portlandoregon.gov/transportation/article/700916?utm_medium=email&utm_source=govdelivery)
7. Bird Rides, Inc. takes plea deal and will pay \$300,00. Accessibile online: <https://www.smdp.com/bird-rides-inc-takes-plea-deal-and-will-pay-300000/164437> Accesso il 30-10-2020
8. Shared Electric Scooters Permit Applicaton. . *Portland Bureau of Transportation (PBOT)*. **2019**. <https://www.portlandoregon.gov/transportation/article/726366>
9. Bird, Lime planning comeback as city rolls out application for scooter firms. Accessibile online; <https://www.ibj.com/articles/69905-bird-lime-planning-comeback-as-city-rolls-out-application-for-scooter-firms> . Accesso il 30-11-2020
10. James, O.; Swiderski, JI; Hicks, J.; Teoman, D.; Buehler, R. Pedestrians and E-Scooters: An Initial Look at E-Scooter Parking and Perceptions by Riders and Non-Riders. *Sustainability* **2019**, 11, 5591. <https://doi.org/10.3390/su11205591>
11. 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*. **2020**, 85, 102702, ISSN 0966-6923. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102702>
12. Appendix B: E-Scooter Parking Solutions 2019 E-Scooter Findings Report. *Portland Bureau of Transportation (PBOT)*. **2019**. <https://www.portland.gov/sites/default/files/2020-09/appendix-b-e-scooter-parking-solutions.pdf>
13. Rimozione monopattini in divieto, si inizia da Milano. Accessibile online: [https://www.asaps.it/71058-\\_rimozione\\_monopattini\\_in\\_divieto\\_si\\_inizia\\_da\\_milano\\_.html](https://www.asaps.it/71058-_rimozione_monopattini_in_divieto_si_inizia_da_milano_.html). Accesso il 31-10-2020
14. A Milano in strada i primi monopattini elettrici di Hel-biz. Accessibile online: [https://www.corriere.it/tecnologia/18\\_ottobre\\_19/a-milano-strada-primi-monopattini-elettrici-helbiz-35788662-d3ba-11e8-9c86-2e2300d9ad9c.shtml](https://www.corriere.it/tecnologia/18_ottobre_19/a-milano-strada-primi-monopattini-elettrici-helbiz-35788662-d3ba-11e8-9c86-2e2300d9ad9c.shtml). Accesso il 05-01-2021

15. Regolamento (UE) n. 168/2013 del parlamento europeo e del consiglio. 15-01-2013 “relativo all ‘omologazione e alla vigilanza del mercato dei veicoli a motore a due o tre ruote e dei quadricicli” <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R0168&from=EN>
16. Torino, arriva la prima maxi-multa a un monopattino elettrico. Accessibile online: [https://www.tgcom24.mediaset.it/cronaca/torino-arriva-la-prima-maxi-multa-a-un-monopattino-elettrico\\_10449392-201902a.shtml](https://www.tgcom24.mediaset.it/cronaca/torino-arriva-la-prima-maxi-multa-a-un-monopattino-elettrico_10449392-201902a.shtml). Accesso il 30-10-2020
17. Legge 30 dicembre 2018, n. 145 “Bilancio di previsione dello Stato per l'anno finanziario 2019 e bilancio pluriennale per il triennio 2019-2021” . GU Serie Generale n.302 del 31-12-2018 - Suppl. Ordinario n. 62. <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2018/12/31/18G00172/sg>
18. Decreto del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti. Prot. 0000229 del 04-06-2019 [http://www.mit.gov.it/sites/default/files/media/notizia/2019-06/schema%20DM%20micromobilit%C3%A0%20229\\_2019%20%283%29.pdf](http://www.mit.gov.it/sites/default/files/media/notizia/2019-06/schema%20DM%20micromobilit%C3%A0%20229_2019%20%283%29.pdf)
19. Decreto-Legge 14 ottobre 2019, n. 111 “Misure urgenti per il rispetto degli obblighi previsti dalla direttiva 2008/50/CE sulla qualita' dell'aria e proroga del termine di cui all'articolo 48, commi 11 e 13, del decreto-legge 17 ottobre 2016, n. 189, convertito, con modificazioni, dalla legge 15 dicembre 2016, n. 229” . GU Serie Generale n.241 del 14-10-2019. <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2019/10/14/19G00125/sg>.
20. Testo Coordinato del Decreto-Legge 14 ottobre 2019, n. 111. “Testo del decreto-legge 14 ottobre 2019, n. 111 (in Gazzetta Ufficiale - Serie generale - n. 241 del 14 ottobre 2019), coordinato con la legge di conversione 12 dicembre 2019, n. 141 (in questa stessa Gazzetta Ufficiale - alla pag. 1 ), recante: «Misure urgenti per il rispetto degli obblighi previsti dalla direttiva 2008/50/CE sulla qualita' dell'aria e proroga del termine di cui all'articolo 48, commi 11 e 13, del decreto-legge 17 ottobre 2016, n. 189, convertito, con modificazioni, dalla legge 15 dicembre 2016, n. 229.»” . GU Serie Generale n.292 del 13-12-2019. <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/gu/2019/12/13/292/sg/pdf>
21. Decreto-Legge 30 dicembre 2019, n. 162 “Disposizioni urgenti in materia di proroga di termini legislativi, di organizzazione delle pubbliche amministrazioni, nonche' di innovazione tecnologica” . GU Serie Generale n.305 del 31-12-2019. <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2019/12/31/19G00171/sg>
22. Legge 28 febbraio 2020, n. 8 “Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 30 dicembre 2019, n. 162, recante disposizioni urgenti in materia di proroga di termini legislativi, di organizzazione delle pubbliche amministrazioni, nonche' di innovazione tecnologica” . GU Serie Generale n.51 del 29-02-2020 - Suppl. Ordinario n. 10. <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2020/02/29/20G00021/sg>
23. Decreto-Legge 19 maggio 2020, n. 34 “Misure urgenti in materia di salute, sostegno al lavoro e all'economia, nonche' di politiche sociali connesse all'emergenza epidemiologica da COVID-19” . GU Serie Generale n.128 del 19-05-2020 - Suppl. Ordinario n. 21. <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2020/05/19/20G00052/sg>
24. Cossalter, Vittore. **2008**, *Motorcycle Dynamics*
25. E-Scooter Ride-Share Industry Leaves Injuries and Angered Cities in its Path. Accessibile online: <https://www.consumerreports.org/product-safety/e-scooter-ride-share-industry-leaves-injuries-and-angered-cities-in-its-path/> . Accesso il 26-10-2020

26. Dockless electric scooter-related injuries study. *Austin Public Health (APH)*. **2018**.  
[https://www.austintexas.gov/sites/default/files/files/Health/Epidemiology/APH\\_Dockless\\_Electric\\_Scooter\\_Study\\_5-2-19.pdf](https://www.austintexas.gov/sites/default/files/files/Health/Epidemiology/APH_Dockless_Electric_Scooter_Study_5-2-19.pdf)
27. Birdgraveyard. Accessibile online: <https://www.instagram.com/birdgraveyard/?hl=it> . Accesso il 30-10-2020
28. Cultura - Dal monopattino (1916) allo scooter... e ritorno. Accessibile online:  
<https://www.gpone.com/it/2020/07/12/moto-news/cultura-dal-monopattino-1916-allo-scooter-e-ritorno.html>.  
 Accesso il 13-01-2021
29. 14 Months, 120 Cities, \$2 Billion: There's Never Been a Company Like Bird. Is the World Ready? Accessibile online: <https://www.inc.com/magazine/201902/will-yakowicz/bird-electric-scooter-travis-vanderzanden-2018-company-of-the-year.html>. Accesso il 13-01-2021
30. I monopattini elettrici sotto esame. *Touring Club Svizzero (TCS)*. 2019. <https://www.tcs.ch/mam/Digital-Media/PDF/Crash-Test/i-monopattini-elettrici-sotto-esame.pdf>
31. Trivedi TK, Liu C, Antonio ALM, et al. Injuries Associated With Standing Electric Scooter Use. *JAMA Netw Open*. **2019**;2(1):e187381. doi:10.1001/jamanetworkopen.2018.738
32. Cicchino, Jessica B. / Kulie, Paige E. / McCarthy, Melissa L. Injuries related to electric scooter and bicycle use in a Washington, DC, emergency department. *Insurance Institute for Highway Safety*. October **2020**
33. Mayhew LJ, Bergin C. Impact of e-scooter injuries on Emergency Department imaging. *J Med Imaging Radiat Oncol*. **2019** Aug;63(4):461-466. doi: 10.1111/1754-9485.12889.
34. Lagina R. Scott, Shahrzad Bazargan-Hejazi, Anaheed Shirazi, Deyu Pan, Steven Lee, Stacey A. Teruya & Magda Shaheen (**2019**) Helmet use and bicycle-related trauma injury outcomes, *Brain Injury*, 33:13-14, 1597-1601, DOI: 10.1080/02699052.2019.1650201
35. Thompson DC, Rivara FP, Thompson R. Helmets for preventing head and facial injuries in bicyclists. *Cochrane Database Syst Rev*. **2000**;1999(2):CD001855. doi: 10.1002/14651858.CD001855.
36. Nach Unfall-Serie: Lime zieht in der Schweiz alle E-Trottis aus dem Verkehr. Accessibile a:  
<https://www.watson.ch/schweiz/basel/512230041-nach-unfall-serie-lime-zieht-in-der-schweiz-alle-e-trottis-aus-dem-verkehr>. Accesso il 15/10/2020
37. Monopattini vandalizzati: la micro-mobilità in sharing si trasforma in un incubo. Accessibile a:  
<https://www.lastampa.it/torino/2019/12/15/news/monopattini-vandalizzati-e-rubati-la-micro-mobilita-in-sharing-si-trasforma-in-un-incubo-1.38214130>. Accesso il: 29/10/2020
38. Road Saefy Report 2020 Mobility on Two Wheels. Steps Toward Making Vision Zero a Reality. Dekra. **2020**.  
<https://www.dekra-roadsafety.com/media/dekra-evs-report-2020-en.pdf>
39. Bird Helmets. Accessibile online: <https://birdhelmets.myshopify.com/collections/frontpage/products/free-helmet>.  
 Accesso il: 30-10-2020
40. Bici come scooter: casco, targa e assicurazione obbligatori in un ddl. Accessibile online:  
<https://www.sicurauto.it/news/codice-della-strada/bici-come-scooter-casco-targa-e-assicurazione-obbligatori-in-un-ddl/>. Accesso il 30-10-2020
41. SURPRISE! Federal Panel Seeks Mandatory Helmet Laws. Accessibile a:  
<https://nyc.streetsblog.org/2019/11/05/surprise-federal-panel-seeks-mandatory-helmet-laws/> Accesso il 31-10-2020.

42. Legge 17 luglio 2020, n. 77 Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 19 maggio 2020, n. 34, recante misure urgenti in materia di salute, sostegno al lavoro e all'economia, nonché di politiche sociali connesse all'emergenza epidemiologica da COVID-19. (20G00095). (GU Serie Generale n.180 del 18-07-2020 - Suppl. Ordinario n. 25)
43. Andreas Löcken, Pascal Brunner, Ronald Kates, and Andreas Riener. 2020. Impact of Hand Signals on Safety: Two Controlled Studies With Novice EScooter Riders. In 12th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI ' 20), September 21 - 22, 2020, Virtual Event, DC, USA. ACM, New York, NY, USA, 9 pages. <https://doi.org/10.1145/3409120.3410641>
44. Parkin, John & Rotheram, Jonathon. (2010). Design speeds and acceleration characteristics of bicycle traffic for use in planning, design and appraisal. *Transport Policy*. 17. 335-341. 10.1016/j.tranpol.2010.03.001.
45. Decreto Ministeriale 5 Novembre 2001, n. 6792 (S.O. n.5 alla G.U. n.3. del 4.1.02) Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade. [https://www.mit.gov.it/mit/mop\\_all.php?p\\_id=1983](https://www.mit.gov.it/mit/mop_all.php?p_id=1983)

# Appendice 1: Grafici prove monopattini

