



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale Ingegneria Biomedica

**Caratterizzazione biomeccanica del binomio cavallo-cavaliere
mediante sensoristica indossabile**

Biomechanical characterization of the horse-rider dyad
using wearable sensor

Relatore: Chiar.ma
Prof.ssa Laura Burattini

Correlatrice:
Prof.ssa Valentina Camomilla

Tesi di Laurea di:
Brizzi Arianna

A.A. 2022 / 2023

Alle passioni,
perché fanno battere il cuore.

Alle idee,
perché fanno lavorare il cervello.

Ai sogni,
perché inseguirli non ti permette di arrenderti.

ABSTRACT

L'equitazione si basa su due colonne portanti: il movimento del cavallo e il binomio, cioè lo stretto legame d'interazione che si viene a creare tra cavallo e cavaliere durante il movimento. Quest'ultimo per il cavallo si articola nelle tre andature naturali del passo, del trotto e del galoppo.

Ogni andatura presenta uno specifico schema secondo cui vengono posizionati gli arti, che viene ripetuto ciclicamente durante esse. Un'alterazione di questi modelli potrebbe essere sintomo della presenza di una zoppia, cioè un infortunio del cavallo a livello del sistema locomotore. Questa causa un'asimmetria nel movimento, in quanto il cavallo cerca di distribuire il peso del corpo in modo da non gravare sull'arto malato, e una diminuzione del tempo di sospensione di quella zampa.

È importante sottolineare che, anche se l'equitazione viene considerata uno sport individuale, in esso abbiamo l'interazione di due atleti: il cavallo e il cavaliere. È proprio quest'ultimo a dover modificare le proprie posizioni del corpo, assumendo un assetto corretto, per fare in modo di non ostacolare il movimento del cavallo e assicurarsi che esternamente i due individui sembrino uno unico.

Ad oggi, la valutazione del movimento del cavallo e dell'interazione tra cavallo e cavaliere durante allenamenti o gare, viene fatta esclusivamente in modo visivo, un metodo altamente soggettivo e, quindi, con una più alta probabilità di incorrere in errori. Invece, si potrebbero applicare anche sul cavallo sensori indossabili i cui ottimi risultati sono già stati verificati per la valutazione del movimento cinematico sull'uomo, come i sensori di misura inerziale.

Quest'ultimi grazie alle loro dimensioni e un minor costo rispetto ad altri tipi di sensori con lo stesso utilizzo, come i sensori optoelettronici, oltre a consentire una trasmissione e, quindi un'analisi, in tempo reale dei dati, permettono l'individuazione di diversi parametri per la valutazione oggettiva del movimento del cavallo e del binomio.

A questo scopo, nell'ultimo capitolo di questa tesi è stato valutato il potenziale di una strumentazione di misurazione inerziale prototipale messa a disposizione dalla Start Up Innovativa *Star Horse Riding Care*.

I risultati ottenuti sono molto interessanti e soddisfacenti, portando anche alla conferma di una zoppia leggera in un arto del bipede posteriore, individuata visivamente dal veterinario durante le acquisizioni prototipali.

INDICE

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| INTRODUZIONE | I |
| CAPITOLO 1 – LE FONDAMENTA DELL’EQUITAZIONE: IL MOVIMENTO DEL CAVALLO E IL BINOMIO..... | 1 |
| 1.1 LE ANDATURE | 2 |
| 1.1.1 Il passo | 3 |
| 1.1.2 Il trotto..... | 4 |
| 1.1.3 Il galoppo | 5 |
| 1.2 LA ZOPPIA | 6 |
| 1.3 INTERAZIONI CAVALLO – CAVALIERE: IL BINOMIO | 7 |
| CAPITOLO 2 – CARATTERIZZAZIONE BIOMECCANICA DEL MOVIMENTO DEL CAVALLO E DEL BINOMIO MEDIANTE SENSORISTICA INDOSSABILE | 11 |
| 2.1 SENSORI DI MISURA INERZIALE | 12 |
| 2.1.1 Confronto tra sensori di misura inerziale e sistemi optoelettronici..... | 13 |
| 2.2 PARAMETRI PER LA VALUTAZIONE DEL MOVIMENTO DEL CAVALLO..... | 15 |
| 2.3 PARAMETRI PER LA VALUTAZIONE DEL BINOMIO | 18 |
| CAPITOLO 3 – PROGETTO SPERIMENTALE | 21 |
| 3.1 CODICE PER L’INDIVIDUAZIONE DEL TIPO DI ANDATURA..... | 24 |
| 3.2 CODICE PER IL CALCOLO DELL’INDICE DI SIMMETRIA..... | 26 |
| 3.3 CODICE DI CALCOLO DELLA VARIAZIONE DEL MOVIMENTO ANGOLARE | 28 |
| CONCLUSIONE | II |
| BIBLIOGRAFIA | V |
| RINGRAZIAMENTI | VI |

INTRODUZIONE

Il cavallo nei secoli scorsi, ma ancora oggi, ci ha permesso di prendere in prestito la sua potenza, agilità ed eleganza e di farci uno sport: l'equitazione.

L'equitazione è considerato uno sport individuale, ma definendolo in tal modo si commette un errore grandissimo, perché la base di questo sport è il binomio, attraverso il quale cavallo e cavaliere collaborano per raggiungere ogni obiettivo.

Infatti, con il termine binomio si indica il totale rapporto di fiducia e rispetto che il cavaliere e il cavallo hanno l'uno nei confronti dell'altro. Il raggiungimento di un buon binomio porta alla totale sincronia dei movimenti, al capirsi con un semplice comando, come se cavallo e cavaliere si stessero leggendo nella mente, ed induce coloro che stanno osservando il binomio a pensare che quello che stanno facendo sia semplicissimo.

Dall'importanza che ha il binomio nello sport dell'equitazione, nasce il bisogno di andare a studiare in tempo reale e, nel modo meno invasivo possibile, quanto realmente cavallo e cavaliere siano in sincronia tra loro.

Inoltre, valutare le prestazioni fisiche del cavallo costantemente durante gli allenamenti e le gare permetterebbe di rilevare in tempo reale le problematiche di salute, ed evitare o minimizzare infortuni più seri, che rischierebbero di fermare temporaneamente o definitivamente la sua carriera agonistica.

Questo risulta essere particolarmente importante in quanto, attualmente, la presenza di zoppia in un cavallo non è facilmente identificabile se di leggera intensità. Generalmente questo tipo d'infortunio, che può essere dovuto a diversi fattori, viene identificato visivamente oppure, mentre il cavallo viene montato, da una grande sensibilità del cavaliere nel sentire un'asimmetria nei movimenti. Quindi, ad oggi non esiste un metodo obiettivo per l'identificazione della zoppia, ma ci si affida a metodi soggettivi, influenzati dall'esperienza del veterinario e del cavaliere.

Per queste motivazioni, si è deciso di studiare come caratterizzare, tramite sensori indossabili di misurazione inerziale posizionati su cavallo e cavaliere in punti d'interesse anatomico, la biomeccanica delle andature del cavallo e l'interazione tra cavallo e cavaliere durante esse.

Inoltre, nell'ultima parte di tale studio si è indagato il potenziale di sperimentazione di un prototipo di sensoristica indossabile di misurazione inerziale messo a disposizione da una Start Up Innovativa, la *Star Horse Riding Care*.

CAPITOLO 1

Le fondamenta dell'equitazione: il movimento del cavallo e il binomio

Le colonne portanti dell'equitazione, indipendentemente dalla disciplina praticata, sono il movimento del cavallo e il legame che si viene a creare tra cavallo e cavaliere, indicato in gergo con il termine binomio.

Nei cavalli, come negli umani, il movimento è generato dall'azione dei muscoli, che intervengono nelle varie fasi di esso in modo sinergico tra loro, esercitando delle contrazioni isometriche, concentriche ed eccentriche.

Le prime, che non prevedono una modifica nella lunghezza del muscolo, si hanno quando il cavallo deve mantenere una posizione, mentre quando muove l'articolazione per modificare la sua posizione abbiamo delle contrazioni concentriche, nelle quali il muscolo tende ad accorciarsi. Infine, le contrazioni eccentriche, cioè quando il muscolo si allunga, si hanno quando il cavallo deve opporsi a una forza contraria, ad esempio, l'azione della muscolatura dell'arto anteriore durante la ricezione da un salto.

Dalla contrazione e successiva distensione dei muscoli, in particolare degli arti posteriori, che si comportano come delle vere e proprie molle, si genera una forza, nota sotto il nome d'impulso. Questo, trovando nella colonna vertebrale un asse rigido, permette l'avanzamento della massa, mentre per mezzo degli anteriori, a causa della forza di gravità, si scarica sul terreno.

Per utilizzare al meglio questa spinta prodotta dai posteriori il cavallo deve essere muscolarmente simmetrico, quindi in equilibrio, sia nelle linee rette che nelle linee curve. Nel momento in cui si ha un'interazione tra cavallo e cavaliere è il cavaliere a dover adeguare la sua posizione, cioè il modo di disporre le sezioni del suo corpo, in base al cavallo, in modo da mantenere un equilibrio costante.

La competenza necessaria per eseguire questa azione è definita assetto ed è una caratteristica essenziale per stabilire una comunicazione efficace con il cavallo.

La mancanza di assetto impedisce l'uso adeguato delle gambe, le quali sono impegnate ad aggrapparsi alla sella, e rende difficile la comunicazione con le mani, costantemente in movimento a causa delle oscillazioni del corpo.

1.1 LE ANDATURE

Il cavallo in natura esprime i suoi movimenti, escludendo quelli che compie in stazioni e quelli indesiderati (come calci, sgroppate e impennate), nelle tre andature del passo, del trotto e del galoppo.

Durante queste il cavallo dispone diversamente gli arti, andando a produrre un avanzamento della sua massa, determinato dalla distanza percorsa sul terreno.

Quindi, ogni andatura ha uno schema motorio ben preciso, chiamato schema dell'andatura, che viene ripetuto in maniera ciclica. Ogni ciclo è detto falcata e la frequenza della falcata è indicata come l'inverso del periodo di tempo che il cavallo impiega per completare il ciclo. Il passo avrà una frequenza di falcata più bassa rispetto al trotto, così come quest'ultimo avrà una frequenza più bassa rispetto al galoppo.

Durante ogni falcata gli arti si alternano in due fasi: una di appoggio, detta anche di carico, cioè quando l'arto è in contatto con il terreno, e una di sospensione, che inizia nel momento in cui lo zoccolo lascia il terreno e finisce quando ci si riappoggia. Aumentando il tempo della fase di sospensione, dovrebbe aumentare il tempo di falcata e di conseguenza anche il ritmo. Questo significa che all'interno di una stessa andatura, si possono individuare diversi ritmi che il cavaliere può far mantenere al cavallo, ma è importante che il rapporto tra fase di sospensione e appoggio durante lo schema dell'andatura rimanga invariato, così che il movimento visto esternamente sia regolare.

Inoltre, le andature possono essere simmetriche o asimmetriche e presentare o meno un movimento basculante dell'incollatura, cioè testa e collo.

Nelle andature simmetriche i movimenti delle zampe controlaterali (anteriori e posteriori) sono equamente separati nel tempo e nello spazio, in modo che gli arti sinistri e destri si muovano fuori fase l'uno con l'altro. Invece, nelle andature asimmetriche, i movimenti di una o di entrambe le coppie di controlaterali sono separate da intervalli di tempi differenti, in modo che un breve intervallo di appoggio dello zoccolo si alterni con un lungo intervallo di sospensione di esso (Clayton, 2017; 3-4).

Durante le andature cosiddette basculate, il cavallo abbassa e rileva l'incollatura in modo da mantenere costante il suo equilibrio. Quindi, l'incollatura si comporta come un bilanciante che riporta il baricentro del cavallo sulla sua base di appoggio, cioè la posizione in quell'istante di tempo dei 4 arti.

1.1.1 Il passo

Il passo è un'andatura simmetrica e basculata, con uno schema d'andatura scomponibile in 4 tempi (Figura 1): sospensione dell'anteriore destro con breve appoggio sui 3 piedi; sospensione del posteriore sinistro, con appoggio del bipede diagonale sinistro (posteriore destro e anteriore sinistro); sospensione dell'anteriore sinistro, con appoggio sui 3 piedi; sospensione del posteriore destro, con appoggio sul bipede diagonale destro (posteriore sinistro e anteriore destro).

Nel momento in cui viene a mancare la cosiddetta V, formata dai tre arti in appoggio quando si ha la fase di sospensione dell'anteriore, il passo tende a diventare un movimento irregolare, noto sotto il nome di ambio (FISE, 2007; 111). Durante questa particolare andatura il cavallo non si muove più per bipedi diagonali, quindi la coppia anteriore – posteriore di due lati diversi, ma per bipedi laterali, ovvero la coppia anteriore – posteriore dello stesso lato. L'ambio è l'andatura naturale dei cammelli e delle giraffe, ma per i cavalli rappresenta un serio deterioramento del movimento, anche se si mostra come una sincronia perfetta, essendo l'appoggio di un bipede della stessa durata della levata dell'altro.

Durante l'esecuzione del passo il centro di gravità si sposta con cambiare degli appoggi e provoca delle leggere oscillazioni del tronco sul piano verticale, mentre è possibile ascoltare 4 battute distinte (Baroncini, 1988; 86).

In base al ritmo mantenuto durante il passo possiamo distinguere in:

- a. Passo riunito: ogni battuta è più elevata del passo medio, in quanto ogni articolazione flette maggiormente, evidenziando un'andatura attiva.
- b. Passo medio: le falcate sono più ampie e gli zoccoli posteriori si posano leggermente davanti alle impronte degli anteriori.
- c. Passo allungato: il cavallo percorre il maggior terreno possibile, ma senza modificare la sequenza dell'andatura. Gli zoccoli posteriori si posano chiaramente davanti alle impronte degli zoccoli anteriori.

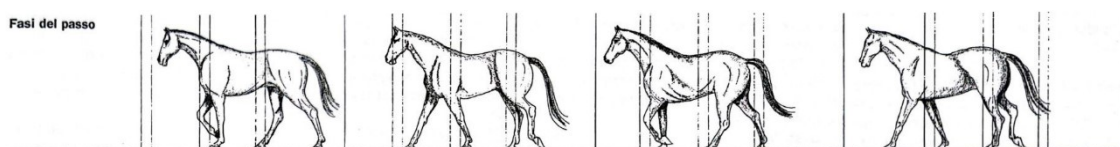


Figura 1 – Schema di andatura del passo: sospensione anteriore destro, seguito da quella del posteriore sinistro; sospensione anteriore sinistro, seguito da quella del posteriore destro. Federazione Italiana Sport Equestri (FISE), 2007; 111.

1.1.2 Il trotto

Il trotto è un'andatura simmetrica, motivo per cui in essa sono facilmente visibili le irregolarità, scomponibile in due tempi separati da un tempo di sospensione. Quindi, il suo schema d'andatura (figura 2) prevede che quando il bipede diagonale destro (anteriore destro – posteriore sinistro) è in sospensione, il bipede diagonale sinistro (anteriore sinistro – posteriore destro) è in appoggio, mentre nel secondo tempo avviene il contrario: quando il bipede diagonale destro è in appoggio, il bipede diagonale sinistro è in sospensione.

Questa è un'andatura non basculata, quindi l'incollatura non si muove, ma svolge comunque la sua funzione di bilanciare. La mancanza di tale movimento basculatorio è dovuta al fatto che il gesto non potrebbe accordarsi con il movimento simultaneo dei due arti diagonali: il gesto che favorirebbe un arto alleggerendolo, contrasterebbe l'altro, aggravando il suo carico. (FISE, 2007; 114)

Come il passo, il trotto si distingue in:

- a. Trotto riunito: l'incollatura è rilevata e arrotondata, mentre gli arti posteriori assumono un ruolo fondamentale caricando il peso e conservando l'energia dell'impulso. Il cavallo ha delle falcate ridotte rispetto al trotto allungato, ma si caratterizzano per una maggiore flessione delle articolazioni
- b. Trotto medio: il cavallo estende moderatamente le sue falcate grazie alla spinta fornita dai posteriori, mantenendo comunque una regolarità. Questo contribuisce a evidenziare un movimento complessivamente armonico e naturale.
- c. Trotto allungato: il cavallo compie il maggior terreno possibile, estendendo al massimo la sua falcata attraverso un considerevole impulso degli arti posteriori. In questa fase, è evidente che i posteriori superano le impronte lasciate dagli anteriori.

Gli anglosassoni considerano anche il "flying", cioè volante, corrispondente al trotto di corsa dei cavalli in gare in pista. In esso il sorpasso dei posteriori è notevolissimo, sviluppando una velocità pura molto elevata e difficile da conservare. (Boroncini, 1990).

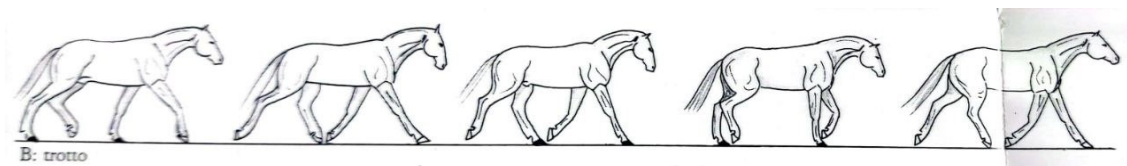


Figura 2 – Schema di andatura del trotto: quando un bipede diagonale è in appoggio l'altro è alzato, alternati da un tempo di sospensione di tutti i 4 arti.

R. Baroncini, 1988; 88-89

1.1.3 il galoppo

Il galoppo è la più rapida fra le tre andature ed è saltata, basculata e asimmetrica. Si compone di 3 tempi seguiti da un tempo di sospensione di tutti gli arti prima della falcata successiva (figura 3). Quindi, lo schema dell'andatura considerando il galoppo destro prevede l'appoggio in successione del posteriore sinistro, del bipede diagonale sinistro (anteriore sinistro – posteriore destro), dell'anteriore destro, a cui segue il tempo di sospensione. Nel caso in cui il galoppo richiesto fosse quello sinistro, gli arti sarebbero semplicemente invertiti, cioè il primo appoggio verrebbe fatto dal posteriore destro, seguito dal bipede diagonale destro (anteriore destro – posteriore sinistro) e, infine, l'anteriore sinistro.

Nell'ambito dell'equitazione, si fa uso del termine “galoppo falso” per descrivere un tipo di andatura che è opposta e scorretta rispetto alla direzione indicata dalla mano del cavaliere in sella. Invece, si indica con “galoppo rovescio” la richiesta al cavallo da parte del cavaliere di mantenere un galoppo inverso rispetto alla mano, ad esempio quando si è a mano sinistra e viene richiesto al cavallo il galoppo destro.

Anche nel galoppo si possono distinguere 3 diversi ritmi:

- a. Galoppo riunito: caratterizzato dalla leggerezza dell'anteriore e dall'impiego del posteriore, in esso il cavallo compie delle falcate più corte che negli altri tipi di galoppo (presenta un'impossibilità di coprire le orme), ma è più leggero e mobile (FISE, 2007)
- b. Galoppo medio: più pronunciato e arrotondato del galoppo allungato, il cavallo, grazie a un vigoroso impulso degli arti posteriori, estende in modo moderato le sue falcate, mantenendone al contempo una regolarità, contribuendo a creare un movimento complessivamente equilibrato e naturale.
- c. Galoppo allungato: viene coperto il maggior terreno possibile, grazie a un grandissimo impulso del posteriore, permettendo di allungare al massimo la falcata, tant'è che abbiamo un sorpasso delle orme.

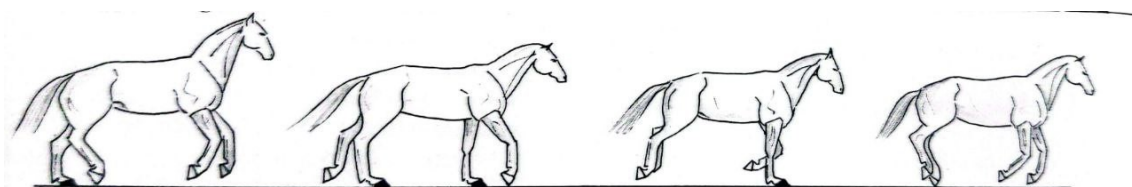


Figura 3 – schema di andatura del galoppo destro: si appoggiano in successione il posteriore sinistro, il bipede diagonale sinistro e l'anteriore destro, segue il tempo di sospensione di tutti gli arti.
R. Baroncini, 1988; 88-89.

1.2 LA ZOPPIA

La zoppia è un infortunio dei cavalli, spesso associato a un dolore ortopedico, che modifica le loro andature abituali e deriva da un problema funzione o strutturale del sistema locomotore.

È stato dimostrato che i veterinari equestri spendono circa il 40% del loro tempo di lavoro valutando le zoppie. (Bosch et al. 2018). Infatti, al giorno d'oggi l'analisi della presenza di una zoppia avviene visivamente (metodo affetto da soggettività), posizionandosi al lato del cavallo in movimento in modo da avere una visione generale di tutti gli arti. Da questo punto, sarà possibile notare il movimento più accentuato del corpo e l'andamento dell'arto malato e di quello sano, con quest'ultimo che presenta una maggiore levata e sgambata, insieme a un tempo e un'intensità di battuta prolungati. (redazione HSJ, 2022).

Tuttavia, la valutazione soggettiva della zoppia ha mostrato alcuni sostanziali inconvenienti, molti a causa delle limitazioni della percezione visiva della simmetria del cavallo e l'effetto di distorsione, che porta in definitiva a una scarsa concordanza tra i veterinari. (Bosch et al. 2018)

Il base alla gravità della zoppia questa potrà essere valutata a una differente andatura: se grave sarà visibile anche al passo, in quanto anche se appoggio e sospensione non creano carichi e tensioni eccessivi, sono sufficienti per esasperare il dolore causato dalla lesione; se di media o leggera entità allora saranno visibili solamente al trotto, in quanto essendo un'andatura saltata carichi e tensioni sono elevati.

Inoltre, la gravità della zoppia è influenzata dalle caratteristiche del terreno su cui il cavallo si sposta: nelle lesioni ossee è più evidente su terreni compatti, mentre su superfici più morbide può intensificarsi in presenza di lesioni muscolari, tendinee o legamentose, a causa dell'incremento dell'assorbimento degli impatti.

Infine, una zoppia si mostra tramite un'asimmetria dei movimenti e in particolare: se negli arti anteriori, quando l'arto sano tocca il terreno la testa si abbassa, mentre al movimento sull'arto malato la testa si solleva; il contrario se nell'arto posteriore, quindi la testa si solleva quando il peso è portato sull'arto sano e si abbassa quando è spostato sull'arto malato. (redazione HSJ, 2022)

1.3 INTERAZIONE CAVALLO – CAVALIERE: IL BINOMIO

Caprilli la chiama “arte dell’equitazione” per sintetizzare la complessità di un esercizio insieme al cavallo, perché l’equitazione non è soltanto una questione di tecnica, ma richiede una continua creatività tra cavallo e cavaliere, formando un “insieme” sia fisico che psicologico.

Come allora, anche adesso, l’equitazione è fatta di carattere del cavaliere, di controllo, di pazienza, di lunga preparazione fisica e di uso di mezzi appropriati per ogni cavallo, perché ognuno ha azioni e reazioni diverse e diverso ogni volta è il comportamento del bravo cavaliere per diventare “naturalmente” tutt’uno col quadrupede. (Baroncini, 1988). Tramite queste frasi si cerca di riassumere il complesso e speciale legame che si instaura tra cavallo e cavaliere quando nasce il cosiddetto binomio: il mostrare all’esterno non due individui separati, ma un unico grande atleta.

Per fare in modo che questo avvenga è il cavaliere che deve disporre le sezioni del suo corpo in base alle esigenze dinamiche del cavallo. La capacità di fare questo, in modo che ci sia un costante equilibrio, è definita come assetto.

Bisogna però sottolineare che il termine assetto può dar luogo ad equivoci: per molti cavalieri, infatti, è sinonimo di “posizione a cavallo”, che è assolutamente errato. Si tratta, invece, di stabilire se il cavaliere è decontratto, sta in sella grazie al solo equilibrio e ha imparato a mettersi “insieme” con i movimenti del cavallo. (Müseler, 1975; 11).

Un elemento fondamentale è, quindi, l’equilibrio e in questo sport ne entrano in gioco ben tre: quello del cavaliere, quello del cavallo e quello del binomio. Si evidenzia, però, il fatto che l’equilibrio del cavaliere non dipende solamente dal suo grado di preparazione, ma anche dalla disciplina in cui è impegnato: nel dressage viene mantenuto tramite il bacino, tenendo allineati spalle anche e talloni, mentre nel salto ostacoli lo si conserva scaricando il peso sugli stinchi, tenendo allineati ginocchi e avampiedi (figura 4).

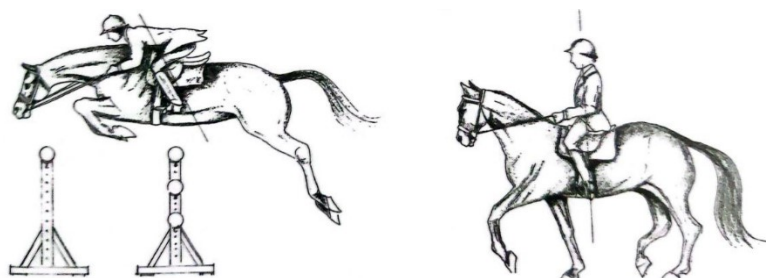


Figura 4 – mantenimento dell’equilibrio del cavaliere in base alla disciplina praticata (dressage a destra, salto ostacoli a sinistra).

Federazione Italiana Sport Equestri, 2007; 77

Invece, l'equilibrio del cavallo dipende fortemente dal suo livello di addestramento: un cavallo all'inizio del lavoro distribuisce naturalmente il suo peso del corpo 40% sul bipede posteriori e il 60% sul bipede anteriore, mentre durante l'addestramento si cercherà di caricare di più i posteriori, in modo da equilibrare maggiormente la distribuzione di peso fra gli arti, portando a una diminuzione di infortuni e a una più lunga vita attiva del cavallo.

Il baricentro del solo cavallo quando è in piedi, si trova circa a metà fra il garrese e il ventre (sotto i quarti della sella vicino al sottopancia), mentre quando il cavaliere è in sella il baricentro del binomio si trova circa il 10% più in alto rispetto al baricentro del solo cavallo, ma sulla stessa verticale.

Ogni movimento del cavallo, per esempio allungare o sollevare l'incollatura, fletterla a sinistra o destra, fa spostare più o meno il centro di gravità. Quindi, il cavaliere si trova nella necessità di far coincidere nuovamente il suo centro di gravità con quello del cavallo. In altri termini deve ristabilire l'equilibrio (Müseler, 1975; 37). In particolare, durante i movimenti, è essenziale che il cavaliere trasferisca il proprio peso in avanti in modo proporzionale alla velocità. Questo assicura che il cavaliere si muova in sintonia con il cavallo, mantenendo un'armonia costante, piuttosto che risultare distante o in ritardo rispetto al movimento dell'animale.

Un principio che basta rispettare per rimanere sempre in perfetto accordo con il cavallo (il che significa un contatto dolce di gambe e di reni) è: *le anche del cavaliere devono essere sempre parallele alle anche del cavallo; le spalle del cavaliere devono essere sempre parallele alle spalle del cavallo.* (Müseler, 1975; 37)

L'equilibrio e l'insieme del cavallo sono ottenuti dal porre e mantenere il proprio baricentro vicino al baricentro del cavallo

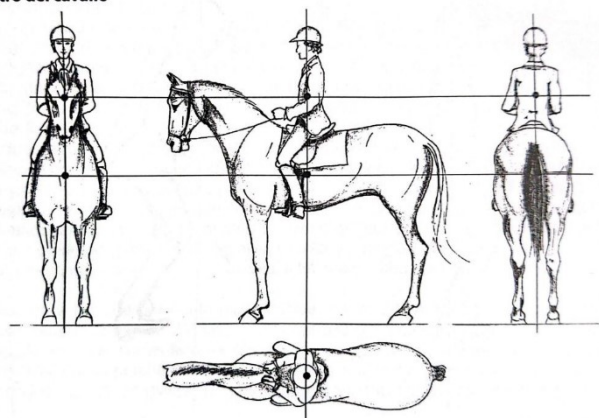


Figura 5 – spiegazione del principio per rimanere in perfetto accordo con il cavallo: le linee di spalle e anche di cavallo e cavaliere sono perfettamente parallele le une alle altre. Federazione Italiana Sport Equestri, 2007; 77

Quindi, per mantenere un equilibrio stabile a cavallo, è imperativo muoversi in sincronia con l'andatura di esso: senza questa armonia, la comunicazione risulta compromessa e si rischia di perdere la stabilità in sella. Il movimento del cavallo e, di conseguenza quello del cavaliere, varia in base alle differenti andature:

- ❖ Al passo: occorre seguire i movimenti del dorso, che oscilla con gli arti posteriori, e dell'incollatura, la quale bascula avanti e indietro a ritmo con ciascuna zampa posteriore. L'assetto del cavaliere scivola leggermente in avanti e indietro due volte ogni passo, in modo da seguire il dondolio del cavallo, mentre le braccia seguono il movimento dell'incollatura aprendo e chiudendo le articolazioni di spalle e gomiti. (Micklem, 2007; 98).
- ❖ Al trotto: il cavaliere si alza e abbassa dalla sella durante una falcata, cioè rimane seduto durante il primo tempo e si alza durante il secondo. Questa tecnica, chiamata trotto battuto, consente di seguire più facilmente il movimento del cavallo, in quanto il cavaliere si alza di sella quando il cavallo alza il dorso. Al contrario, per adeguarsi a questa oscillazione durante il trotto seduto è necessario possedere un elevato controllo della zona lombare, che deve compiere anch'essa delle piccole oscillazioni in modo da rimanere seduti in sella e in sincronia con il cavallo. Bisogna però fare attenzione a non lasciare andare la zona renale quando il cavallo si solleva, altrimenti si scaricherebbe troppo peso sull'animale, oppure inclinarsi all'indietro, spezzando il trotto.
- ❖ Al galoppo: il cavaliere per seguire il sollevarsi, durante la fase di sospensione di tutti gli arti, e l'abbassarsi, quando gli arti toccano terra, del cavallo deve lasciare rispettivamente che il suo assetto si sollevi, spostandosi leggermente in avanti, per poi tornare indietro. È fondamentale garantire che durante il movimento le spalle mantengano un allineamento con il bacino, mentre le mani si adattano al leggero allungamento dell'incollatura del cavallo durante la fase di sospensione.

Due grandi fraintendimenti che compaiono quando si parla di equilibrio, impedendo al binomio di esprimere a pieno le loro capacità, riguardano la credenza secondo cui il cavaliere possa mantenere in equilibrio il cavallo tramite le redini e migliorare l'equilibrio del cavallo spostano il peso all'indietro in sella, indipendentemente da come il cavallo procede (Micklem, 2007; 95).

Per quanto riguarda il primo errore, è fondamentale ricordare che il cavaliere è trasportato dal cavallo e non il contrario. Inoltre, è fisicamente impossibile per l'uomo sostenere il

cavallo in equilibrio, ma può contribuire a mantenere l'equilibrio incoraggiando il cavallo a trovare la giusta velocità e impulso.

Invece, modificare la propria postura all'indietro impedisce al cavallo di utilizzare correttamente il dorso, sovraccaricando il bipede posteriore e influenzandone negativamente la funzionalità.

In conclusione, l'acquisizione di un assetto equilibrato permette di montare senza aggrappi o usare troppa forza, lasciando gambe e braccia libere di dare segnali chiari all'animale, mentre muoversi in armonia con il cavallo permette ad esso di reagire agli aiuti del cavaliere in piena libertà di movimento. Inoltre, mantenere un buon equilibrio, la giusta posizione degli stinchi e l'armonia con il cavallo, permette di sentirsi più sicuri in sella (Micklem, 2007; 100) aumentando il legame del binomio ed anche le prestazioni durante allenamenti e gare.

CAPITOLO 2

Caratterizzazione biomeccanica del movimento del cavallo e del binomio mediante sensoristica indossabile

Al giorno d'oggi le caratteristiche del movimento dell'uomo possono essere facilmente individuabili e successivamente analizzabili e studiabili mediante sensoristica indossabile di diverso tipo, come sensori inerziali e sensori optoelettronici.

Al contrario, nell'equitazione l'analisi del movimento del cavallo, per rilevare anche eventuali zoppie, e le prestazioni del binomio durante gare agonistiche o in allenamento viene svolto totalmente in modo visivo. Questo metodo è fortemente soggettivo, dipendendo dall'esperienza dell'osservatore, che potrebbe essere un veterinario per quanto riguarda il movimento del cavallo o un giudice di stile per la valutazione del binomio nelle gare o ancora un istruttore durante gli allenamenti.

Invece, se si utilizzassero dei sensori indossabili si potrebbe dare un parere oggettivo sulle prestazioni dell'animale così come del binomio, in modo da fornire un aiuto all'osservatore. Importate sottolineare che tali strumenti possano soltanto fornire un ausilio al lavoro di veterinari, istruttori e giudici, in quanto nella valutazione finale non possono e non devono rimpiazzare il pensiero umano.

Queste sono state le motivazioni che hanno spinto diversi studiosi a intraprendere delle ricerche in tale ambito, in modo da poter adattare tutti quei sensori utilizzabili sull'uomo anche al di sopra del cavallo.

Infatti, dopo aver individuato quale sensore indossabile fosse meglio utilizzare in questo sport e quali siano le posizioni che offrono maggiori risultati, sono stati rilevati diversi parametri che permettono la caratterizzazione non soltanto del movimento del cavallo e, di conseguenza, la presenza di eventuali zoppie, ma anche l'interazione che si ha tra cavallo e cavaliere durante gli allenamenti e in normali situazioni di scuderia.

2.1 SENSORI DI MISURA INERZIALE

I sensori di misura inerziale, in inglese Inertial Measurement Unit (IMU), sono strumenti del secondo ordine e permettono di analizzare il movimento dell'uomo. Al loro interno possiamo trovare 3 tipi di rilevatori: l'accelerometro, il giroscopio e il magnetometro.

La misura dell'accelerometro è basata sull'inerzia di una porzione del sensore di accelerare linearmente come risposta a una forza impressa su di esso. Possono essere di due tipologie:

- a. Capacitivi: costituiti da due piastre di un condensatore, il loro funzionamento si basa sul fatto che spostando una delle due piastre si modifica la capacità del sensore stesso.
- b. Piezoelettrici: composti da cristalli piezoelettrici, i quali fanno valere la proprietà di piezoelettricità, che prevede che se i cristalli vengono compressi, si genera un passaggio di cariche all'interno dello stesso, che crea una tensione. Il numero di cristalli piezoelettrici è elevato (sono circa dieci in ogni sensore) in quanto poco sensibili, cioè la tensione generata dall'oscillazione è molto piccola.

Bisogna però porre attenzione al fatto che l'accelerometro misura l'accelerazione lineare e in aggiunta anche la reazione di gravità. Quindi, in condizioni statiche l'accelerometro lavora come un inclinometro e durante l'analisi dei dati occorrerà rimuovere l'accelerazione di gravità per studiare la vera misura d'interesse.

Abbiamo poi i giroscopi, la cui misura è basata sull'inerzia di una porzione del sensore di accelerare attorno a un asse in risposta a un momento impresso su di esso. Generalmente i giroscopi degli IMU usano elementi meccanici vibranti come elementi sensibili per rilevare la velocità angolare e, per questo, sono chiamati giroscopi capacitivi a ruota vibrante e sono biassiali.

Infine, i magnetometri misurano il campo magnetico in una determinata regione dello spazio, basandosi sulla legge della forza di Lorentz, rilevandone l'intensità, la direzione e, in alcuni casi, la variazione temporale. È importante sottolineare che il vettore del campo magnetico terrestre varia in base alla latitudine, allineandosi con la gravità ai poli e risultando perpendicolare ad essa all'equatore e, quindi, per la maggior parte delle posizioni sulla terra, sia le componenti verticali che orizzontali del campo magnetico non sono trascurabili. Infatti, quest'ultime vengono utilizzate come riferimento sul piano orizzontale per ottenere le informazioni complementari all'accelerometro per stimare la direzione.

2.1.1 Confronto tra sensori inerziali e sensori optoelettronici

Sia i sistemi di misura inerziali che i sensori optoelettronici permettono l'analisi cinematica, cioè la valutazione dei movimenti interni ed esterni dei segmenti corporei durante la locomozione.

I sensori optoelettronici, considerato “gold standard” dell'analisi cinematica (Bosch et al., 2018) utilizzano dei marcatori riflettenti attaccati al corpo del soggetto e diverse camere all'infrarosso distribuite nella stanza che tracciano le posizioni tridimensionali dei marcatori. Importante per ottenere delle misure complete e corrette è che le telecamere siano posizionate non troppo lontano dai marcatori e che ogni marcatore sia puntato da almeno due telecamere.

Anche se questo sistema è altamente accurato e preciso, nel caso in cui si volesse catturare l'intero corpo del cavallo durante il movimento in un largo volume si dovrebbero utilizzare un numero significativo di telecamere optoelettroniche, che significa un elevato aumento dei costi. Inoltre, in relazione alla scala, alla misura e alla complessità del sistema, si consideri il fatto che ogni volta che il sistema viene spostato deve essere ricalibrato da un esperto, sarebbe difficile ricollocare in altri luoghi questa tipologia di sensori. Questo significa che l'applicazione di sistemi optoelettronici è limitato all'ambiente di un laboratorio e, in casi eccezionali, a larghe cliniche. (Bosch et al., 2018). Tale limitazione comporta che non si possa osservare il movimento del cavallo durante una sessione normale di lavoro, ma solamente sotto esercizi standardizzati, diminuendo la variabilità delle situazioni che potrebbero incorrere. Inoltre, durante tali test si potrebbe anche verificare la situazione in cui non si rilevi il numero minimo di falcate, circa venti, richiesto per un risultato accettabile (Hagen et al., 2021), portando a doverli ripetere più volte.

Altra problematica riguardante i sensori optoelettronici riguarda la cruciale importanza di visibilità dei marcatori da parte delle camere all'infrarosso. In molti casi non è possibile prevenire le eventuali occlusioni dei marcatori dovute dal movimento degli arti del cavallo o da quello del portatore dell'animale (ove non venga montato, ma portato a mano), oppure, nel caso in cui il marcatore sia posizionato sullo zoccolo, dall'affondo del piede in terreni morbidi (Hagen et al., 2021), come il terreno sabbioso dove avvengono generalmente gli allenamenti. Tali ostruzioni comportano una mancanza di dati e una diminuzione dell'accuratezza nella definizione delle diverse fasi dell'andatura.

Alternativa valida ed economicamente vantaggiosa ai sistemi optoelettronici sono i sensori di misura inerziali (Bosch et al., 2018). Quest'ultimi a parità di risultati permettono di avere lo stesso, se non un più alto, grado di accuratezza e precisione, essendo più sensibili anche ai più piccoli cambiamenti.

Gli IMU possono utilizzare sistemi wireless di comunicazione, permettendo di non disporre numerosi cavi nel luogo di acquisizione, mantenendo comunque un'accurata sincronizzazione tra i sensori, e un'analisi dei dati in tempo reale. (Bosch et al., 2018). Questo, però, potrebbe creare dei problemi nel caso in cui si utilizzi una connessione bluetooth, in quanto comporta una limitata area di movimento, dipendente dalla portata del sensore, e si potrebbe incorre in una mancanza di dati in caso di perdita del segnale. Per evitare queste problematiche è stata prevista la possibilità di salvare in locale nel sensore tutte le acquisizioni e passarle successivamente al dispositivo in cui ne verrà fatta l'analisi. In questo si perde però il vantaggio di un'analisi in tempo reale, ma si guadagna nella possibilità di un più libero e ampio movimento, consentendo così la valutazione di una sessione normale di lavoro o durante una gara.

In conclusione, con l'obiettivo dell'analisi del movimento del cavallo e la sua interazione con il cavaliere, l'utilizzo di sensori di misura inerziale è migliore rispetto a quello di sensori optoelettronici, essendo i primi più pratici e veloci, sia dal punto di vista dell'acquisizione che del fissaggio del sensore stesso, oltre a consentire un più ampio volume di movimento e a un minor costo del sensore.

2.2 PARAMETRI PER LA VALUTAZIONE DEL MOVIMENTO DEL CAVALLO

Nel momento in cui si analizza il movimento del cavallo durante una sessione normale di lavoro in cui vengono richieste tutte le tre andature naturali dell'animale, un primo importante passaggio è quello d'individuare a quale di esse il cavallo sta procedendo.

Per fare questo si potrebbe utilizzare la frequenza dell'andatura, data dall'inverso del periodo di tempo impiegato per compiere una falcata. Tuttavia, essendo che all'interno di una stessa andatura si possono mantenere diversi ritmi, potrebbe accadere che la frequenza del ritmo più alto di un'andatura coincida all'incirca con la frequenza del ritmo più basso dell'andatura successiva, ad esempio tra trotto allungato e galoppo riunito (Viry et al., 2013).

Per risolvere questa problematica ci si può servire della frequenza dello spostamento lungo l'asse verticale delle zone superiori del corpo relate agli arti, cioè nelle posizioni del garrese, dello sterno (ovvero nella zona tra il bipede anteriore, detta anche dorso-ventrale) oppure delle pelvi/sacro. Come mostrato nella figura 6, lo spostamento della zona dello sterno presenta due oscillazioni ripetute durante ogni falcata al trotto (due fasi di appoggio e una fase di sospensione), contro una sola oscillazione al galoppo. Di conseguenza, la corrispondente frequenza di spostamento al trotto sarà più alta di quella del galoppo (Viry et al., 2013), indipendentemente dal ritmo mantenuto durante esse.

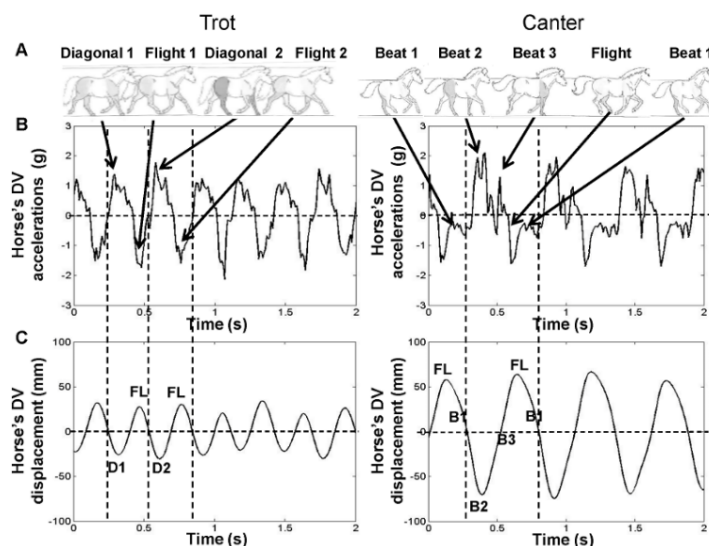


Figura 6 – analisi dello spostamento lungo l'asse verticale al trotto e al galoppo.

Nel pannello A vengono rappresentati gli schemi delle due andature, mentre nel pannello B sono riportati i segnali di accelerazione della zona dorso-ventrale (DV). Nel pannello C è calcolato lo spostamento. Le linee tratteggiate verticali rappresentano l'inizio e la fine della falcata.

Viry et al., 2013; 3

Quindi, utilizzando la frequenza dello spostamento lungo l'asse verticale di una zona superiore del corpo riusciamo a identificare in modo inequivocabile a quale andatura il cavallo sta procedendo.

A questo punto, considerando il fatto che le andature come il passo e il trotto sono simmetriche, un parametro importante da calcolare è l'indice di simmetria (simmetry index – SI) della parte superiore del corpo del cavallo durante esse.

Come mostrato nella figura 6, ad ogni falcata di trotto lo spostamento lungo l'asse verticale delle zone superiori del corpo presentano due picchi e due avvallamenti. Se il cavallo si muove perfettamente simmetricamente, tali estremi saranno allo stesso livello. Parametro d'interesse per calcolare l'indice di simmetria è l'ampiezza verso il basso, denominata anche “range-down”, cioè la differenza tra un picco e il suo successivo avvallamento. Essendoci due picchi in ogni falcata, avremo due differenti valori di questa ampiezza (figura 7), dai quali calcoliamo SI tramite la formula (1):

$$SI_{down} = \frac{Range_{down,1} - Range_{down,2}}{\text{massimo}[Range_{down,1}, Range_{down,2}]} \quad (1)$$

Se il valore di SI è ± 1 significa che il cavallo si sta muovendo in maniera completamente asimmetrica (dove il segno dipende dall'arto interessato), quindi, potremmo essere in presenza di una zoppia, mentre valori intorno o uguali allo zero indicano una completa simmetria. (Bosch et al., 2018).

Parlando di questo parametro ci si è riferiti a tutte le zone superiori del corpo, ma per collegare più correttamente il risultato ottenuto al movimento degli arti, soprattutto se interessati a identificare una zoppia, le migliori posizioni in cui collocare i sensori sono la zona pelvica/sacrale (per il bipede posteriore), dorso-ventrale/sterno oppure sul garrese (per il bipede anteriore).

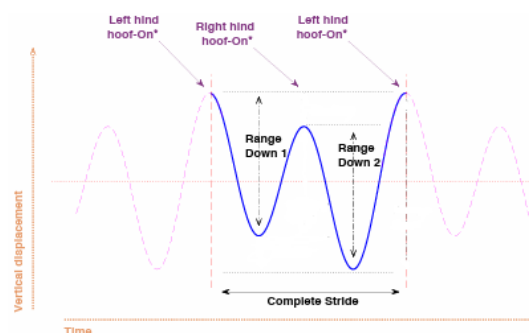


Figura 7 – segnale di spostamento lungo l'asse verticale delle zone superiori del corpo, con indicate le due ampiezze verso il basso, parametro utilizzato per il calcolo dell'indice di simmetria, di una falcata completa di passo o trotto. Il tempo in cui avviene il contatto dello zoccolo è approssimativo.

Bosch et al., 2018; 6

Inoltre, è importante sottolineare che, come gli esseri umani, anche i cavalli possono essere più o meno simmetrici in una direzione rispetto all'altra e, nel caso di zoppia, l'asimmetria potrebbe essere accentuata alla mano¹ corrispondente all'arto zoppo. Quindi, calcolare l'indice di simmetria per l'intera andatura, non considerando eventuali cambi di mano, sarebbe un errore, mentre, per procedere correttamente, si dovrebbero differenziare e confrontare i valori di simmetria alle due direzioni.

Un ultimo parametro riguarda direttamente il movimento degli arti ed è il range di movimento angolare delle zampe lungo l'asse orizzontale. Questo viene calcolato per ogni falcata come il valore assoluto della differenza tra il massimo e il minimo valore angolare (Pagliara et al., 2022), che corrisponde rispettivamente all'estensione e alla flessione della zampa.

Graficando i valori di questi angoli, nei cavalli sani al trotto le curve devono essere caratterizzate da una forma e un'ampiezza simile tra le coppie di gambe analizzate, mentre nel caso di cavalli zoppi le curve della zampa malata mostrano una costante diminuzione dell'ampiezza, comportando anche una diminuzione dei valori del range di movimento angolare (figura 8).

Inoltre, calcolando il coefficiente di variazione, cioè la divisione tra la deviazione standard e la media, moltiplicando per cento il risultato in modo da avere un valore percentuale, della variazione del movimento angolare, nel caso di cavalli zoppi questo risulta essere più elevato rispetto ai cavalli sani. (Pagliara et al., 2022).

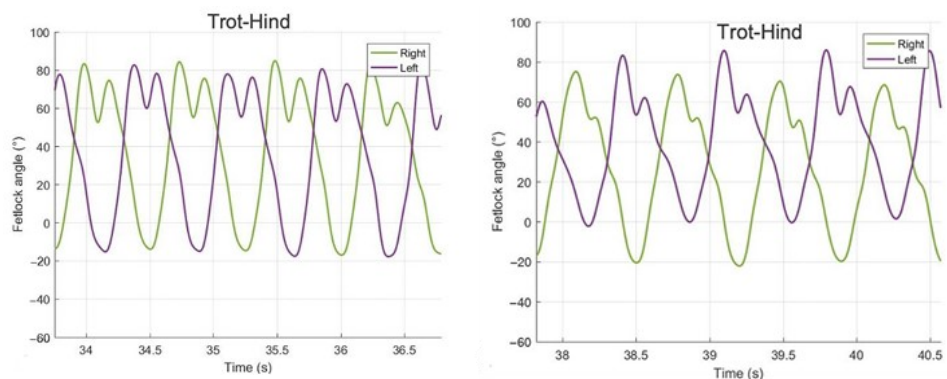


Figura 8 – curva degli angoli del ginocchio del bipede posteriore al trotto.

Il grafico di sinistra è di un cavallo sano e si può notare come la forma e l'ampiezza della curva sia uguale per i due arti. Al contrario, il grafico di destra appartiene a un cavallo zoppo al posteriore sinistro, in cui si nota come, anche se la forma rimanga circa la medesima, l'ampiezza della curva sia minore (Pagliara et al., 2022)

¹ Con il termine mano si indica la direzione lungo la quale il cavallo si sta muovendo, riferendosi alla mano del cavaliere che si trova verso l'interno del campo. Quindi, se il cavallo sta procedendo a mano sinistra, la mano sinistra del cavaliere si troverà verso l'interno del campo.

2.3 PARAMETRI PER LA VALUTAZIONE DEL BINOMIO

Le migliori posizioni dei sensori inerziali per la misurazione dei parametri di valutazione del binomio sono quella dello sterno per il cavallo, mentre per il cavaliere nella zona del tronco posteriore, cioè nella parte lombare della schiena.

In queste collocazioni i sensori si trovano sulla stessa linea verticale ed è quindi più facile andare a relazionare le eventuali misurazioni.

Un primo parametro per la valutazione dell'interazione tra cavallo e cavaliere durante il movimento è la correlazione tra di essi. Lo studio di Wolframm et al. del 2013, riporta come risultati alti valori di correlazione cavallo-cavaliere al galoppo rispetto al trotto e al passo, supportando le affermazioni aneddotiche secondo cui il galoppo è l'andatura più facile da seguire, mentre il passo è l'andatura più difficile da cavalcare. Inoltre, le non significative differenze tra il trotto battuto² e il galoppo potrebbero indicare che il cavaliere sollevandosi dalla sella per la durante di una fase della falcata, evitando di essere "sbattuto" fuori dalla sella, contribuisca a prevenire la destabilizzazione della coordinazione del movimento. (Wolframm et al., 2013)

Altro metodo per la valutazione del binomio si basa sulla misurazione della fase relativa (Relative Phase – RP) dello spostamento lungo l'asse verticale, cioè la differenza di fase tra il cavaliere e il cavallo durante ogni falcata. Essendo che le oscillazioni di spostamento lungo l'asse verticale non sono perfettamente armoniche, nello studio di Viry et al. del 2013 è stato deciso di calcolarla nel punto più basso di inversione del segnale di spostamento. Quindi, la formula applicata per il calcolo della fase relativa discreta (2) è:

$$RP = \frac{T_{min(cavaliere)} - T_{min(cavallo)}}{duranta\ di\ una\ falcata} * 360 \quad (2)$$

In questo modo la durata è espressa in gradi relativamente al periodo di una falcata del cavallo. Quando lo spostamento di cavallo e cavaliere sono in fase in quel punto, la fase relativa ha un valore vicino allo zero, mentre, un valore negativo della RP indica che il cavaliere è davanti al cavallo e un valore positivo la situazione opposta. (Viry et al., 2013).

Nel caso in cui si fosse interessati alla valutazione del binomio durante l'intero movimento, questa potrebbe essere fatta in maniera visiva tramite il grafico di Lissajous.

² Il trotto battuto è quando il cavaliere si alza e abbassa durante ogni falcata, alzandosi dalla sella per una battuta (mezza falcata) e scendendo per toccare leggermente la sella durante la seconda battuta del trotto. (Viry et al, 2013). Per procedere correttamente il cavaliere dovrà "battere sul diagonale esterno", quindi dovrà sedersi quando l'anteriore del cavallo posto esternamente al campo è nella fase di appoggio.

Mettendo in relazione lo spostamento lungo l'asse verticale di cavallo e cavaliere all'interno del grafico, in base al suo profilo potremmo dedurre se il binomio è o meno in fase. In particolare, se il profilo del grafico di Lissajous è circa lungo la linea obliqua (45° a destra) gli spostamenti verticali del binomio sono abbastanza in fase tra loro (figura 9 pannello A), mentre deviazioni dalla linea perfetta rappresentano un costante ritardo temporale nella relazione spazio-temporale, portando ad avere una forma più arrotondata del grafico (figura 9 pannello B). Inoltre, si sottolinea che un valore di fase relativa positivo è associato con un senso di rotazione antiorario del grafico di Lissajous. (Viry et al., 2013).

Invece, utilizzando sensori indossabili per il monitoraggio della variazione della frequenza cardiaca, si potrebbe studiare come lo stato psicologico e fisiologico della persona è percepito dal cavallo. Infatti, la frequenza cardiaca e il comportamento del cavallo si sono rilevati essere indicatori sensibili e affidabili di paura o ansia nell'animale: in situazioni di disagio si mostravano più aggressivi verso gli umani o presentavano un aumento della frequenza cardiaca, dell'attività motoria e delle vocalizzazioni. (Guidi et al., 2016).

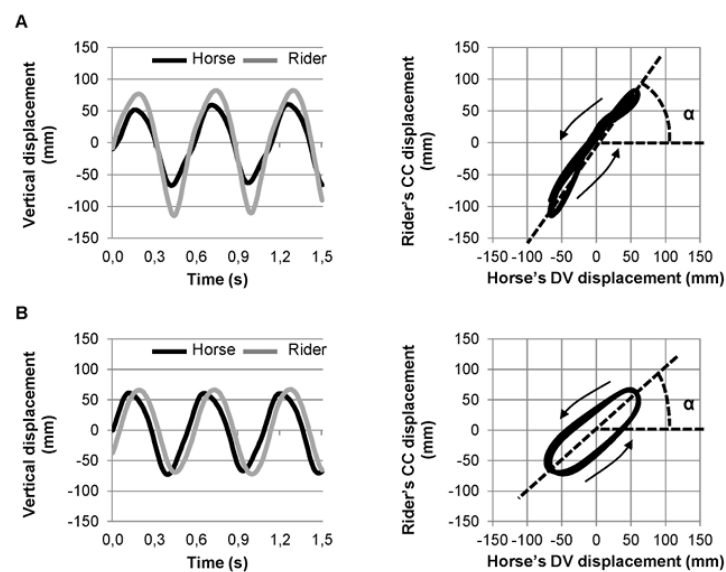


Figura 9 – grafico di Lissajous dello spostamento lungo l'asse verticale del cavallo (asse x) e del cavaliere (asse y).

La forma globale del grafico di Lissajous mostra le differenze nella relazione spazio-temporale (fase relativa) tra il cavallo e il cavaliere. Inoltre, il senso di rotazione del grafico indicato dalle frecce è collegato al segno della fase relativa: nel caso di rotazione antioraria il segno della RP sarà positivo, indicando un movimento del cavaliere dietro a quello del cavallo.

Viry et al. 2013; 5

Nello studio di Guidi et al del 2016 un risultato d'interesse riguardava il fatto che durante la terza fase del protocollo, corrispondente a un'azione di spazzolamento del corpo del cavallo, si aveva una perdita di similarità tra i segnali di variabilità della frequenza cardiaca della persona e del cavallo. Una possibile giustificazione di questo fenomeno è stata trovata nella natura dell'interazione. Probabilmente, quando persona e cavallo avevano un contatto fisico, si comportavano in modo diffidente l'un l'altro, con una diminuzione delle similarità e un aumento della distanza tra le due attività cardiache.

Secondo una mia opinione personale, il problema riguarda invece il fatto che non è stata considerata la familiarità del cavallo con la persona che andava ad interagire con esso. Infatti, nello studio di Scopa et al. del 2020, viene dimostrato che i cavalli risultano essere più rilassati durante delle interazioni fisiche con persone a loro familiari rispetto al medesimo compito svolto da un qualcuno di non familiare.

I risultati mostravano come la banda ad alta frequenza (da 0.07 a 0.6 Hz) dello spettro della variabilità della frequenza cardiaca del cavallo era significativamente più alta quando il cavallo veniva spazzolato da una persona familiare rispetto a quando tale procedura era svolta da una persona non familiare. Questa variazione dell'equilibrio simpatico-vagale verso una predominanza vagale, indica che i cavalli erano più rilassati quando erano con persone che conoscevano e mentre interagivano con loro.

Questo esito rappresenta l'evidenza oggettiva della capacità dei cavalli di riconoscere individualmente una persona familiare, aggiungendo la familiarità del cavaliere come componente fondamentale nell'interazione tra essere umano e cavallo. (Scopa et al. 2020)

CAPITOLO 3

Progetto sperimentale

Il progetto sperimentale riguarda l'analisi di due insiemi di dati messi a disposizione dalla Start Up Innovativa *Star Horse Riding Care* e misurati tramite dei sensori prototipali di misurazione inerziale. Quest'ultimi contenevano al loro interno un accelerometro, un giroscopio e un magnetometro, le cui acquisizioni avvenivano lungo i tre assi cartesiani. I soggetti analizzati erano due cavalli, denominati come C1 e C2, di cui nel secondo il veterinario aveva rilevato visivamente una leggera zoppia ad un arto del bipede posteriore. Entrambi sono stati montati da un uomo di 36 anni, istruttore e cavaliere con patente di 2° grado olimpico.

Per il primo cavallo i sensori a disposizione erano sette e sono stati posizionati sulla nuca, sulle pelvi, a metà dello stinco di ogni arto del cavallo e nella zona lombare della schiena del cavaliere (figura 10). Invece, per il secondo cavallo i dispositivi di misura inerziale a disposizione erano solamente due, ed avendo il veterinario rilevato una zoppia in un arto del bipede posteriore, è stato deciso di posizionarli solamente a metà dello stinco di tale bipede.

Inoltre, essendo la strumentazione utilizzata di tipo prototipale, le acquisizioni dei dati sono state fatte con due metodologie differenti, comportando l'utilizzo anche di due diversi protocolli.

Per il primo cavallo (C1) i dati venivano salvati in locale all'interno del sensore per poi essere successivamente passati al computer per la loro analisi, permettendo un più ampio volume di movimento.



Figura 10 – posizionamento dei sensori di misura inerziale su cavallo C1 e cavaliere.
Nell'immagine di sinistra si può vedere il posizionamento dei dispositivi su nuca, pelvi a metà dello stinco di ogni arto, mentre nella figura di destra mostra la posizione del sensore sul cavaliere nella zona lombare della schiena.

Infatti, il cavallo C1 è stato montato partendo da mano destra per un tratto rettilineo per poi cambiare di mano e tornare al punto di partenza, da cui veniva richiesta l'esecuzione di due circoli³ ad ogni mano, partendo da mano sinistra (figura 11 pannello A). Tale protocollo è stato applicato ad ogni andatura naturale del cavallo, quindi passo, trotto e galoppo. Occorre sottolineare che la partenza al galoppo terminata la sessione di trotto è stata fatta tramite una transizione a scendere al passo. Quindi, conclusa la fase di protocollo al trotto, è stato richiesto al cavallo di procedere per qualche falcata al passo, per poi farne qualcuna al trotto e alla fine raggiungere il galoppo e continuare con il tracciato previsto dal protocollo.

Invece, i sensori utilizzati per le misurazioni del cavallo C2 prevedevano la trasmissione tramite una connessione bluetooth in tempo reale dei dati. Questo ha portato a ridurre il volume di movimento, in modo da rimanere nella portata del sensore, utilizzando un protocollo che prevedeva l'esecuzione di quattro circoli ad ogni mano, partendo sempre da mano sinistra (figura 11 pannello B), ad ogni andatura. Inoltre, la partenza al galoppo in questo caso è stata fatta direttamente terminata la sessione di trotto.

In base alla posizione dei sensori i parametri selezionati per l'analisi biomeccanica del movimento del cavallo sono stati la frequenza dello spostamento lungo l'asse verticale della zona delle pelvi, l'indice di simmetria misurato in base ai dati rilevati nella medesima posizione, la variazione di movimento angolare (Range Of Motion angolare – ROM angolare) e i valori positivi e negativi della velocità angolare lungo l'asse orizzontale degli arti. Quest'ultimi parametri sono stati applicati solamente ai dati acquisiti sul bipede posteriore dei due cavalli, avendo a disposizione per il secondo cavallo solamente tali misurazioni.

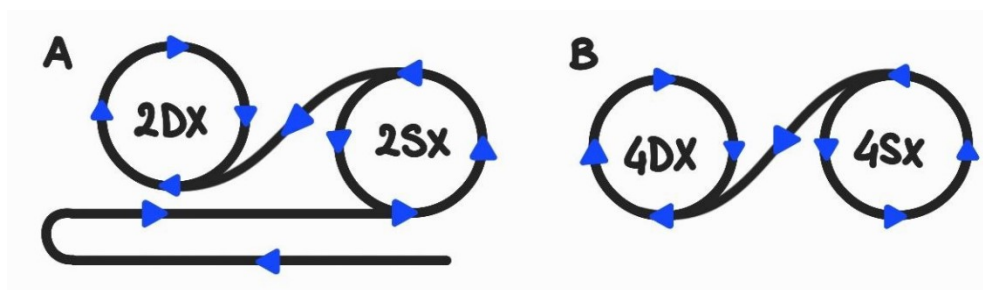


Figura 11 – protocolli utilizzati per le due acquisizioni dei dati: pannello A per il cavallo C1; pannello B per il cavallo C2.

³ Il termine “circolo” indica una figura di maneggio in cui viene richiesto al cavallo di percorrere un cerchio di diametro di almeno 20m.

Invece, la frequenza del segnale di spostamento lungo l'asse verticale e l'indice di simmetria sono parametri applicati solamente ai dati acquisiti sul cavallo C1, in quanto la posizione dei sensori sul cavallo C2 non permetteva tale analisi.

Per i parametri appena citati sono stati creati tre codici Matlab per la loro individuazione. Per quanto riguarda la valutazione dell'interazione tra cavallo-cavaliere, non è stato possibile applicare alcun parametro di quelli nominati al capitolo 2.3, a causa della non corrispondenza della posizione del sensore sul cavallo.

Essendo queste acquisizioni prototipali, ho proposto per futuri studi di spostare il sensore collocato sulla nuca, inutilizzato nell'analisi dei dati in quanto il movimento della testa è soggetta a troppi fattori non direttamente collegati al movimento degli arti del cavallo, nella zona dello sterno, lungo la linea verticale che passa per il sensore posizionato nella zona lombare della schiena del cavaliere. In questo modo, con il medesimo numero di sensori, si potrebbe studiare l'interazione del binomio durante il movimento oltre a poter calcolare l'indice di simmetria anche per un'altra zona superiore del corpo, in modo da aver maggiori informazioni anche sul movimento relazionato al bipede anteriore.

3.1 CODICE PER L'INDIVIDUAZIONE DEL TIPO DI ANDATURA

Per individuare l'andatura a cui il cavallo stava procedendo in un determinato periodo di tempo e, quindi, riuscire a segmentare il segnale per lavorare solamente con l'andatura d'interesse, ho utilizzato la frequenza del segnale di spostamento lungo l'asse verticale della zona delle pelvi.

L'accelerometro nelle sue misurazioni somma al valore d'interesse quello dell'accelerazione di gravità. Per rimuovere quest'ultimo valore dai dati acquisiti ho rimosso il valore di media del segnale, essendo questo in modo approssimativo simile al valore di accelerazione di gravità. Inoltre, per lavorare con dati la cui unità di misura fosse il metro ho diviso l'intera acquisizione per 10000.

Essendo che l'accelerometro triassiale all'interno del sensore acquisisce l'accelerazione lungo gli assi e non lo spostamento, per trovare quest'ultimo ho applicato una doppia integrazione trapezoidale cumulativa, tramite la funzione “*cumtrapz*”.

A questo punto per rimuovere la deviazione dovuta alla doppia integrazione ho applicato al segnale di spostamento un filtro passa-banda Butterworth del quarto ordine con frequenza di taglio inferiore a 1 Hz e superiore a 30 Hz. (figura 12)

Essendo troppo complesso analizzare l'intera sessione di movimento del cavallo alle tre andature, ho deciso di focalizzare l'individuazione delle tre andature nella finestra temporale corrispondente alla partenza del galoppo, nella quale si potevano ritrovare qualche falcata di ogni andatura naturale del cavallo.

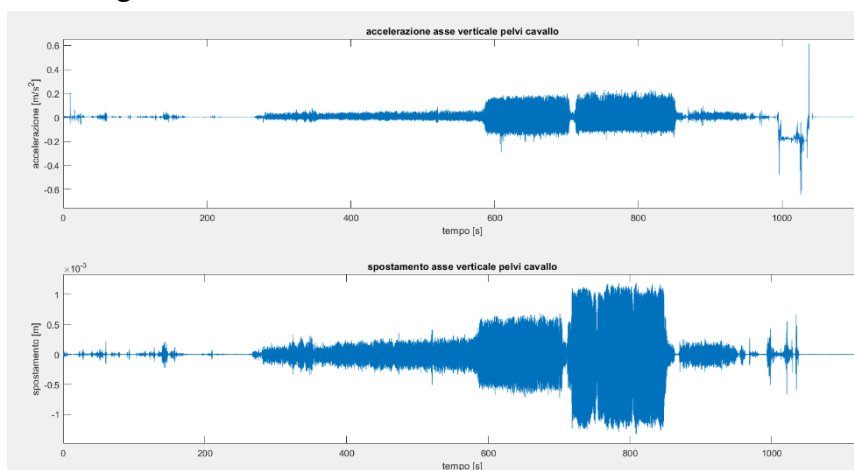


Figura 12 – grafici di accelerazione (pannello superiore) e spostamento (pannello inferiore) lungo l'asse verticale (asse z nelle acquisizioni) del cavallo C1 della zona pelvica in relazione al tempo. Nel grafico di spostamento si possono ben individuare visivamente le tre diverse andature, determinare da una netta differenza di ampiezza del segnale.

Individuata visivamente tale finestra temporale d'interesse, per indentificare i valori di spostamento lungo l'asse verticale (asse Z nelle nostre acquisizioni) all'interno della sola finestra, ho realizzato un ciclato il vettore tempo tramite un *for*, inserendo una condizione di *if* con parametri i valori d'inizio e fine della finestra temporale.

In questo modo, ho creato due vettori con i soli valori d'interesse temporale e di spostamento. Di quest'ultimo ho individuato i picchi massimi, tramite la funzione "*findpeaks*", salvandomi come posizione dei picchi l'istante temporale in cui si verificavano. (figura 13)

A questo punto ho calcolato il periodo di tempo tra due picchi successivi, semplicemente applicando la funzione "*diff*" al vettore contenente la posizione dei picchi.

Essendo che le andature non si differenziano soltanto per la frequenza del segnale, ma anche in base alla sua ampiezza, ho creato un ciclo *for* dei valori dei picchi, nel quale veniva calcolata il valore assoluto della differenza di ampiezza tra due picchi successivi: se questa era minore di un determinato valore individuato visivamente, il che significa che all'incirca erano della stessa ampiezza, allora veniva calcolata la frequenza come l'inverso del periodo corrispondente ad essi, altrimenti nel vettore in cui venivano salvati i valori di frequenza erano inserito un valore di zero.

In questo modo, visualizzando il vettore delle frequenze erano ben separati i valori corrispondenti ad ogni andatura.

Avendo inserito manualmente la condizione di *if* riguardante l'ampiezza dei picchi ed avendo individuato le frequenze solamente per un breve intervallo di tempo, il codice dovrà essere ampliato in modo da ottenere una segmentazione automatica del segnale.

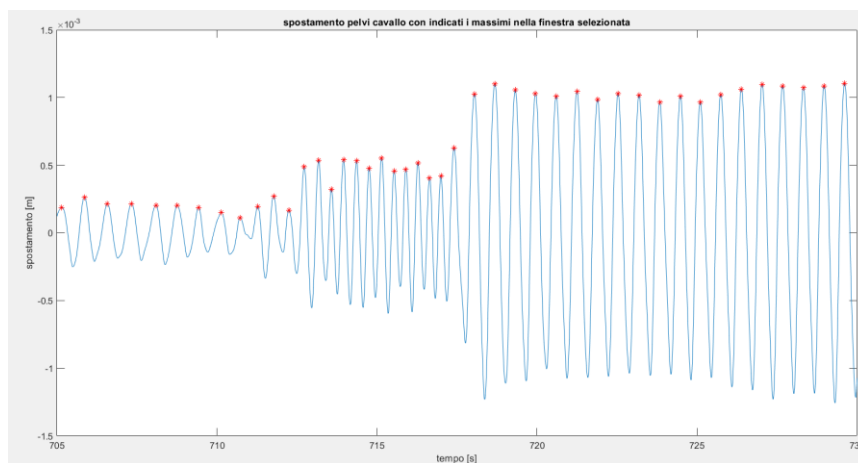


Figura 13 – grafico di spostamento delle pelvi del cavallo C1 lungo l'asse verticale nella finestra temporale d'interesse della partenza al galoppo con indicati i valori di massimo (asterischi rossi). Si può notare come le tre andature si differenzino per frequenza ed ampiezza del segnale.

3.2 CODICE PER IL CALCOLO DELL'INDICE DI SIMMETRIA

Avendo come obiettivo ultimo dello studio quello di verificare se tramite sensori di misura inerziali si possa in modo oggettivo confermare la presenza di un'eventuale leggera zoppia individuata visivamente, l'indice di simmetria è stato calcolato per l'andatura del trotto, anche se il cavallo in questo caso preso in considerazione (C1) è sano.

Il primo passaggio è quello di individuare la finestra temporale all'interno della quale il cavallo procede al trotto e, questo, viene fatto in maniera visiva tramite il codice del capitolo 3.1. Quindi, ciclando con un *for* il vettore tempo all'interno del quale ho inserito una condizione di *if* con valore d'inizio e fine della finestra di tempo d'interesse, ho salvato i valori di accelerazione lungo l'asse verticale al trotto.

Ho però già sottolineato l'importanza di calcolare tale indice in base alla mano a cui sta procedendo il cavallo, in quanto essi come anche gli esseri umani, possono essere più o meno simmetrici in una direzione rispetto all'altra. Quindi, siamo interessati ad individuare le due finestre temporali in cui il cavallo procede a mano destra e a mano sinistra. Per fare questo ho utilizzato i dati del magnetometro sul piano orizzontale (cioè i valori acquisiti lungo gli assi cartesiani x e y), andandoli a graficare tramite la funzione "plot3" in relazione al tempo in cui il cavallo procede al trotto (inserito come componente z del grafico). Dalla figura 14, rappresentate il grafico ottenuto, è facile notare due cambi di direzione, che possiamo associare rispettivamente al cambio di mano dopo il tratto rettilineo e conclusi i due circoli a mano sinistra.

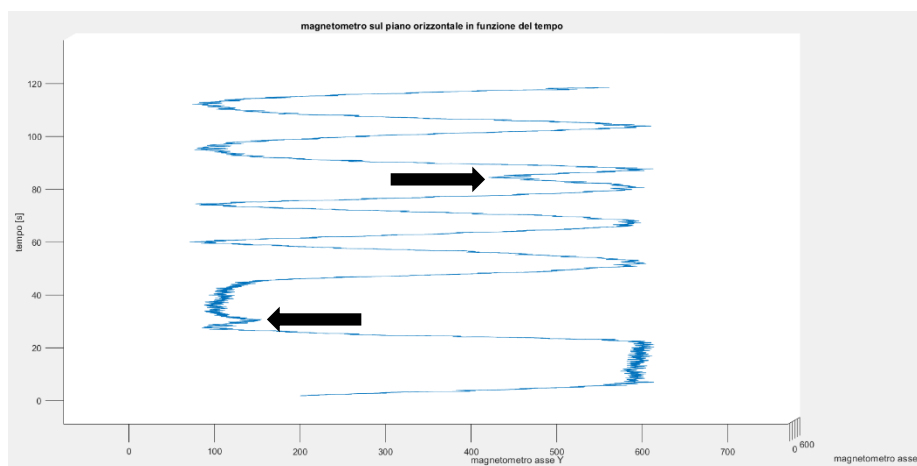


Figura 14 – grafico del magnetometro sul piano orizzontale in funzione del tempo. Le frecce indicano i due punti corrispondenti ai cambi di direzione rispettivamente terminato il tratto rettilineo a mano destra e i due circoli a mano sinistra.

Quindi, avendo individuato visivamente i valori d'inizio e fine delle finestre di trotto a mano destra e sinistra durante i circoli, ho creato due cicli *for* con una condizione di *if* contenente i valori d'inizio e fine delle finestre, in modo da suddividere il vettore dei valori di accelerazione al trotto in base alle due mani.

Essendo interessati ai valori di spostamento lungo l'asse verticale e non a quelli di accelerazione, ho applicato come nel codice precedente per l'individuazione dell'andatura in base alla frequenza di spostamento (capitolo 3.1) una doppia integrazione trapezoidale cumulativa e un filtro passa-banda per l'eliminazione della distorsione derivante dalla doppia integrazione (medesime funzioni, con stesso ordine del filtro e valori delle frequenze di taglio), mantenendo sempre separi i valori in riferimento alle due mani.

A questo punto, per calcolare l'indice di simmetria dobbiamo prima calcolare i valori di ampiezza verso il basso di ogni falcata. Quindi, dopo aver individuato i picchi massimi e minimi del segnale di spostamento (figura 15), ho creato due cicli *for* uno interno all'altro di tali picchi, nei quali ho calcolato e salvato in un vettore le differenze tra un picco massimo e il successivo picco minimo, imponendo una condizione di *if* per fare in modo che tale situazione si verificasse.

Infine, tramite un ultimo ciclo *for* del vettore delle ampiezze verso il basso ho applicato la formula dell'indice di simmetria (1).

I risultati ottenuti per il cavallo C1 calcolati per la zona pelvica sono a mano sinistra 0 ± 0.1 , mentre a mano destra 0 ± 0.2

Quindi, possiamo concludere che il cavallo C1 è simmetrico ad entrambe le mani quando procede al trotto.

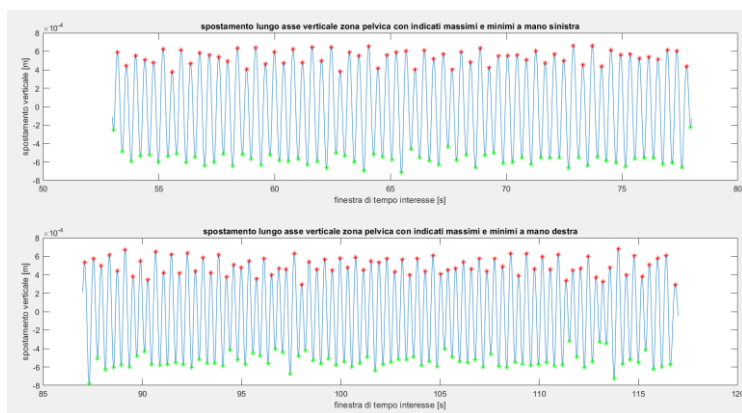


Figura 15 – grafici del segnale di spostamento lungo l'asse verticale della zona pelvica del cavallo C1 con indicati i valori si massimo (asterischi rossi) e minimo (asterischi verdi) alle due mani (pannello superiore mano sinistra, pannello inferiore mano destra)

3.3 CODICE PER IL CALCOLO DELLA VARIAZIONE DEL MOVIMENTO ANGOLARE

Tale programma ha come obiettivo quello del calcolo della variazione del movimento angolare lungo l'asse orizzontale durante il trotto, in quanto un aumento del coefficiente di variazione di tale parametro o una diminuzione del valore stesso di un arto potrebbe indicare la presenza di zoppia.

In questo studio, il codice è stato applicato solamente al bipede posteriore di entrambi i cavalli presi come soggetti (essendo le uniche misurazioni prototipali disponibili), ma può essere applicato a qualsiasi arto.

I codici per l'individuazione della variazione del movimento angolare sono i medesimi anche per i due cavalli, ma avendo utilizzato una strumentazione prototipale, le frequenze di campionamento dei sensori applicato su C1 e su C2 sono differenti, rispettivamente 200Hz e 500Hz. Quindi, per il cavallo C2 prima dell'applicazione del codice vero e proprio ho ri-campionato il segnale di giroscopio tramite la funzione "risample", in modo da poter confrontare i risultati.

Inoltre, avendo anche due protocolli differenti e per il cavallo C2 non avendo a disposizione i dati del magnetometro, per individuare le finestre temporali in cui il cavallo stava procedendo in circolo a mano destra e sinistra abbiamo considerato che: essendo il numero di circoli percorsi da C2 il doppio di quelli percorsi da C1 ad ogni mano, allora anche la finestra temporale di riferimento alla determinata mano sarà lunga il doppio per il cavallo C2 rispetto al cavallo C1.

Tenendo conto di tali considerazioni, il primo passaggio di tale codice prevede l'individuazione visiva tramite i valori di giroscopio della finestra di tempo alla quale il cavallo sta procedendo al trotto. Una volta identificata, tramite ciclo *for* ho salvato i valori d'interesse, cioè i valori di giroscopio lungo l'asse orizzontale (asse z delle misurazioni), e li ho suddivisi in due vettori in riferimento alla mano destra e alla mano sinistra.

A questo punto, per eliminare eventuale rumore dal segnale grezzo del giroscopio, l'ho filtrato passa-basso tramite un Butterworth del quarto ordine con frequenza di taglio a 10 Hz.

Di tale segnale ho individuato e salvato tramite la funzione "*findpeaks*" i picchi positivi e negativi, relativi alle due mani, in quanto anche di questi eravamo interessati a comparare i coefficienti di variazione tra i due cavalli.

Ci tengo a precisare che, avendo individuato visivamente alcuni errori nella rilevazione da parte della funzione dei picchi massimi e minimi (figura 16), li ho rimossi manualmente tramite ciclo *for* imponendo all'indice solo la finestra di valori corretti.

A questo punto ho applicato un'integrazione trapezoidale cumulativa, tramite la funzione "cumtrapz", così da ottenere i valori angolari d'interesse, che ho filtrato passa-alto con un Butterworth del quarto ordine a frequenza di taglio 0.3 Hz in modo da rimuovere la deviazione dovuta all'integrazione.

Di tale segnale, sempre tramite la funzione "findpeaks", ho individuato i valori dei picchi massimi e minimi.

Tramite due cicli *for* uno interno all'altro dei valori appena individuati, ho calcolato il valore della variazione angolare ad ogni falcata come il valore assoluto della differenza tra il picco massimo e il precedente picco minimo, imponendo una condizione di *if* per fare in modo che tale requisito fosse rispettato.

Anche di questo parametro, mantenendo separati gli arti e le mani a cui il cavallo stava procedendo, ho calcolato i coefficienti di variazione.

I risultati di tale coefficiente ottenuti per i due cavalli per i parametri di variazione di movimento angolare, massimi e minimi di velocità angolare alle due mani sono riportati nella tabella 1.

Inoltre, volendo individuare quale arto presentasse la leggera zoppia, vengono riportati nella tabella 2, i valori medi di ROM angolare del cavallo C2 alle due mani per i due arti.

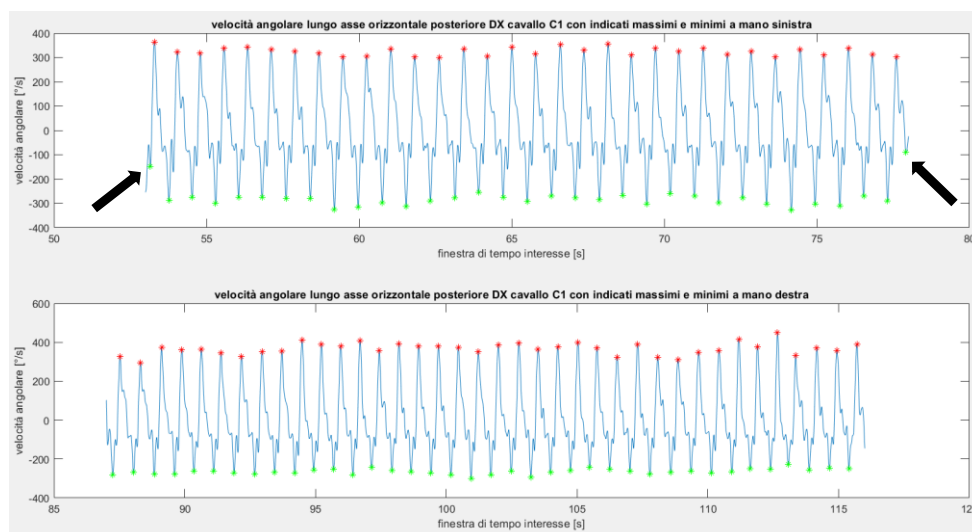


Figura 16 – segnali di velocità angolare lungo l'asse orizzontale del posteriore destro del cavallo C1 con indicati i picchi positivi (asterischi rossi) e negativi (asterischi verdi) alle due mani (pannello superiore mano sinistra, pannello inferiore mano destra). Le frecce indicano gli errori di individuazione da parte della funzione eliminati manualmente tramite ciclo *for*.

Tabella 1 – coefficienti di variazione dei parametri di variazione del movimento angolare (ROM angolare) dei massimi e dei minimi della velocità angolare per i due cavalli, calcolati per ogni arto del bipede posteriore alle due mani. È facile notare come i valori per il cavallo C2 per ogni parametro e per ogni arto, indipendentemente dalla mano, siano più elevati di quelli del cavallo C1. Questo porta a confermare la presenza di zoppia individuata visivamente dal veterinario sul cavallo C2.

| Coefficienti di variazione | | ROM angolare | | Massimi velocità angolare | | Minimi velocità angolare | |
|----------------------------|---------------------|--------------|--------|---------------------------|--------|--------------------------|---------|
| | | C1 | C2 | C1 | C2 | C1 | C2 |
| Mano destra | Posteriore destro | 3,5 % | 5,7 % | 8,6 % | 19,8 % | -5,6 % | -17,3 % |
| | Posteriore sinistro | 5,0 % | 13,2 % | 5,4 % | 28,2 % | -6,6 % | -10,3 % |
| Mano sinistra | Posteriore destro | 3,8 % | 8,5 % | 5,3 % | 20,2 % | -6,3 % | -12,8 % |
| | Posteriore sinistro | 4,2 % | 14,8 % | 5,1 % | 8,7 % | -6,5 % | -18,9 % |

Tabella 2 – valori medi della variazione del movimento angolare del cavallo C2, nel quale il veterinario aveva individuato visivamente una leggera zoppia, alle due mani per ogni arto del bipede posteriore. Si può notare come indipendentemente dalla mano, il posteriore sinistro presenti dei valori di ROM più bassi, portandomi ad affermare che il posteriore che presenta la leggera zoppia sia il sinistro.

| Valori medi del ROM angolare del cavallo C2 (zoppo) | Mano destra | | Mano sinistra | |
|-----------------------------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| | Posteriore destro | Posteriore sinistro | Posteriore destro | Posteriore sinistro |
| | 23,3° | 13,7° | 21,2° | 15,2° |

CONCLUSIONE

Lo scopo della tesi era quello di riuscire a caratterizzare mediante sensoristica indossabile, in particolare con sensori di misura inerziale posizionati su cavallo e cavaliere in punti d'interesse anatomico, la biomeccanica del movimento del cavallo alle diverse andature e l'interazione del binomio, cioè la relazione tra cavallo e cavaliere, durante esse.

Una prima importante conclusione riguarda la corretta scelta dell'utilizzo di sensori di misurazione inerziale rispetto ad altri tipi di sensori indossabili per la valutazione della cinematica del movimento, come i sensori optoelettronici. Questo in quanto, i sensori di misura inerziale, oltre che economicamente vantaggiosi, sono di piccole dimensioni e permettono una comunicazione wireless con il dispositivo in cui verranno analizzati i dati, consentendo una trasmissione in tempo reale e la possibilità di non disporre numerosi fili nel luogo dell'acquisizione. Inoltre, concedendo anche il salvataggio all'interno del sensore stesso delle misurazioni, si possono evitare e recuperare le eventuali mancanze di dati dovute alla perdita della connessione, senza dover ripetere la misurazione, e utilizzare un protocollo di acquisizione che coinvolge un più ampio volume di movimento, non sottoponendo il cavallo ad esercizi standardizzati, ma osservandolo in una normale sessione di lavoro.

I parametri individuati per caratterizzare il movimento del cavallo e l'interazione di esso con l'uomo sono molteplici e, di questi, ne ho applicati soltanto alcuni per indagare il potenziale di sperimentazione di un prototipo di sensoristica indossabile messo a disposizione della Start Up Innovativa *Star Horse Riding Care*.

In particolare, la selezione dei parametri d'interesse l'ho fatta in base alla corrispondenza tra le posizioni utilizzate durante le acquisizioni della Start Up Innovativa e quelle impiegate negli articoli da cui ho ricavato i parametri. Proprio per questo motivo, non è stato possibile indagare sul potenziale del prototipo per quanto riguarda l'interazione cavallo-cavaliere, non avendo corrispondenza tra le posizioni.

Una possibile soluzione a questo problema da me proposta, utilizzando lo stesso numero di sensori impiegati per il cavallo C1, è stata quella di spostare il sensore posizionato sulla nuca del cavallo, inutilizzato durante la mia analisi, essendo la testa soggetta non soltanto a movimenti relazionati agli arti ma anche a disturbi esterni e richieste del cavaliere, nella zona dello sterno (tra gli arti del bipede anteriore) lungo la linea verticale passante per il sensore posizionato nella zona lombare della schiena del cavaliere.

Per quanto riguarda i parametri selezionati relazionati al movimento del cavallo per la valutazione del potenziale dei sensori prototipali, cioè la frequenza del segnale di spostamento lungo l'asse verticale della parte superiore del corpo del cavallo, l'indice di simmetria della medesima zona e la variazione angolare lungo l'asse orizzontale degli arti, riportano tutti risultati positivi e interessanti.

In particolare, anche se il codice per l'individuazione dell'andatura tramite la frequenza del segnale di spostamento debba essere ampliato, avendo considerato solamente una piccola finestra del segnale (corrispondente alla partenza al galoppo) e avendo inserito manualmente la condizione sulle differenze di ampiezza dei picchi, sono riuscita a creare un vettore delle frequenze, all'interno del quale erano separate le diverse andature tramite un valore zero in base all'ampiezza del segnale.

Inoltre, visualizzando il vettore ho potuto confermare che, come previsto dalla letteratura, il trotto fosse l'andatura con la frequenza più alta, mentre passo e galoppo presentavano valori abbastanza simili.

Invece, il codice per il calcolo dell'indice di simmetria, applicato solamente al cavallo C1 in quanto unicamente tale soggetto aveva un sensore che ne permetteva la valutazione (posizionato nella zona delle pelvi), mi ha consentito di confermare in maniera oggettiva che il cavallo C1 fosse sano. Questo in quanto, i risultati ottenuti ad entrambe le mani per l'SI, erano intorno allo zero e, quindi, il cavallo si stava muovendo in maniera simmetrica indipendentemente dalla direzione.

L'ultimo codice, cioè quello per il calcolo della variazione del movimento angolare degli arti lungo l'asse orizzontale, è quello che riporta le maggiori informazioni per quanto riguarda la salute dei due cavalli e il grandissimo potenziale della strumentazione prototipale.

In particolare, come si può vedere dalla tabella 1 al capitolo 3.3 che riporta i risultati del coefficiente di variazione dei parametri di ROM angolare, massimi positivi e negativi della velocità angolare, il cavallo C2 ha sempre percentuali più elevate rispetto al cavallo C1, come ci si aspettava in base a quanto riportato nello studio di Pagliara et al. del 2022. Questo mi permette di affermare in modo oggettivo che il cavallo C2 è zoppo al bipede posteriore.

A questo punto per determinare quale arto del bipede posteriore di C2 fosse zoppo, ho valutato i valori medi del ROM angolare (riportati nella tabella 2 al capitolo 3.3).

Questi, indipendentemente dalla mano, mostravano un valore più basso di ROM angolare del posteriore sinistro. Quindi, sapendo che nel caso di arto zoppo l'ampiezza del segnale di spostamento angolare dell'arto lungo l'asse orizzontale è minore rispetto a quella dell'arto sano e, di conseguenza, si avrà anche una ROM angolare dell'arto zoppo minore rispetto a quella dell'arto sano, ho dedotto che il posteriore sinistro fosse quello che presentasse la leggera zoppia.

Mostrando tale risultato al veterinario, non sapendo io all'inizio dello studio quale arto del bipede posteriore presentasse la zoppia nel cavallo C2, ha confermato la mia deduzione.

In conclusione, la strumentazione prototipale utilizzata dalla Star Up Innovativa *Star Horse Riding Care* ha un grandissimo potenziale all'interno dello sport dell'equitazione. Grazie alle piccole dimensioni dei dispositivi impiegati, sarebbe possibile integrarli all'interno dell'attrezzatura normalmente utilizzata in questo sport, come stinchiere e sottopancia, permettendone un corretto posizionamento e un utilizzo giornaliero anche ai non esperti, oltre a fornire la possibilità di una valutazione oggettiva del movimento del cavallo durante gare e allenamenti a istruttori, giudici o cavalieri, e aiutando i veterinari nel determinare la presenza di eventuali leggere zoppie che sarebbe difficile individuare visivamente.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Andrea Guidi, Antonio Lanata, Paolo Baragli, Gaetano Valenza, Enzo Pasquale Scilingo. A Wearable System for the Evaluation of the Human-Horse Interaction: A Preliminary Study. *MDPI* (2016); 5: 63
- [2] Chiara Scopa, Alberto Greco, Laura Contalbrigo, Elisabetta Fratini, Antonio Lanatà, Enzo Pasquale Scilingo, Paolo Baragli. Inside the Interaction: Contact With Familiar Humans Modulates Heart Rate Variability in Horses. *Frontiers in Veterinary Science* (2020); 7: 582759.
- [3] Eleonora Pagliara, Maddalena Marenchino, Laura Antenucci, Mario Costantini, Giacomo Zoppi, Mario Dante Lucio Giacobini, Michela Bullone, Barbara Riccio, Andrea Bertuglia. Fetlock Joint Angle Pattern and Range of Motion Quantification Using Two Synchronized Wearable Inertial Sensors per Limb in Sound Horses and Horses with Single Limb Naturally Occurring Lameness. *MDPI* (2022); 9: 456
- [4] Federazione Italiana Sport Equestri (F.I.S.E), Testo guida per la formazione professionale dell'istruttore di equitazione, 2007, terza edizione
- [5] Hagen Jenny, Franziska Theresa Jung, Joris Brouwer, Ramon Bos. Detection of Equine Hoof Motion by Using a Hoof-Mounted Inertial Measurement Unit Sensor in Comparison to Examinations with an Optoelectronic Technique - A Pilot Study. *Journal of Equine Veterinary Science* (2021); 101: 103454
- [6] Inga A. Wolframm, Jurjen Bosga, Ruud G.J. Meulenbroek. Coordination dynamics in horse-rider dyads. *Human Movement Science* (2013); 32: 157-170
- [7] R. Baroncini, *Conosci il tuo cavallo*, Edizioni Equestri, 1988, quarta edizione
- [8] Redazione HSJ. Zoppia nel cavallo: una valutazione in rapporto alle andature. *Horse Show. Horse Show Jumping* (2020).
- [9] Stephan Bosch, Filipe Serra Bragança, Berend Jan van der Zwaag, Mihai Marin-Perianu, Raluca Marin-Perianu, John Voskamp, Willem Back, René van Weeren, Paul Havinga. EquiMoves: A Wireless Networked Inertial Measurement System for Objective Examination of Horse Gait. *MDPI* (2018); 18: 850
- [10] Sylvain Viry, Rita Sleimen-Malkoun, Jean-Jacques Temprado, Jean-Philippe Frances, Eric Berton, Michel Laurent, Caroline Nicol. Patterns of Horse-Rider Coordination during Endurance Race: A Dynamical System Approach. *PLOSE One* (2013); 8: e71804

- [11] Valentina Camomilla. M1.7 Magneto-Inertial Sensor (MIMU). Laboratory of Bioengineering and Neuromechanics of Movement – University of Rome “Foro Italico” (2021).
- [12] Wilhelm Müseler, *Tecnica equestre*, Edizioni Equestri, 1975
- [13] William Micklem, *Manuale completo di equitazione*, Mondadori, 2007, terza edizione

RINGRAZIAMENTI

Mi sono sempre paragonata ad un astuccio pieno di colori, rappresentati le mie passioni, le mie idee e i miei sogni, che ha però un difetto: la cerniera fa fatica ad aprirsi. Nonostante questo, ci sono delle persone che con pazienza, perseveranza, gioia, comprensione e supporto hanno aperto quella cerniera e hanno dato modo a quei colori di imbrattare, anche solo in un angolino, la tela del mondo e delle loro vite. Per questo motivo, penso non ci sia occasione migliore di questa, per ringraziarvi.

Grazie alla mia Relatrice Chiar.ma prof.ssa Burattini Laura, che appena ha saputo della mia passione per l'equitazione ha fatto in modo che io potessi unirla al mio percorso di studi, permettendomi così anche di chiudere un cerchio iniziato con l'ammissione al programma "studente-atleta".

Grazie alla mia Correlatrice prof.ssa Camomilla Valentina, non che tutor aziendale durante il tirocinio, per avermi seguito in ogni momento, ma soprattutto per avermi dato la possibilità di conoscere e lavorare in questo progetto innovativo, che sono certa potrà essere rivoluzionario all'interno dell'equitazione.

Un grazie megagalattico ai miei genitori: voi che mi supportate nelle mie passioni, voi che mi assecondate nelle mie idee, voi che mi permettete di inseguire i miei sogni. Grazie per avermi ascoltato ripetere tutte le materie di ogni esame, anche fino a mezzanotte inoltrata. Grazie per avermi preparato la cioccolata calda quando arrivava la crisi del "ma non lo passerò mai". Grazie per avermi accompagnato fino ad Ancona in macchina quando avevo un esame e, soprattutto, grazie per aver creduto in me quando non lo facevo nemmeno io, non assecondandomi quando durante il tragitto chiedevo in lacrime di tornare a casa non sentendomi pronta. Grazie per esserci sempre.

Un grazie speciale, al mio fratellone Alessandro. Sei il mio programmatore di fiducia, senza di te una parte di questa tesi non esisterebbe, ma soprattutto grazie per essere il mio posto sicuro. Ovunque tu sia so che posso chiamarti per sfogarmi e confidarmi, grazie per essere sempre la mia spalla, non soltanto sostenendomi, ma anche affiancandomi nella mia passione e consigliandomi nelle decisioni.

Devo ringraziarti, mio caro fratellone, anche per aver fatto entrare nella mia vita, colei che ormai considero come una sorella, la Marica.

Grazie Mari perché non sei mai stata soltanto la fidanzata e poi moglie di Ale, ma sei stata, sei e sarai una mia amica. Grazie per le serate film, che siano a casa sul divano con la camomilla o al cinema dopo una cena. Grazie per non lasciarmi mai sola, anche quando siete con i vostri amici. Grazie per permettermi di credere che l'amore che leggo nei libri ancora esiste, perché voi ne siete la mia prova concreta ogni giorno.

Ho scritto più e più volte all'interno di questa tesi che l'equitazione è fatta da un binomio e, quindi, un ringraziamento va anche al mio dado. Grazie Zibibo, per essere il mio personale Peter Pan, regalandomi le tue ali per volare sulla mia personale Isola Che Non C'è, permettendomi in questo modo di staccare completamente la testa da tutto quello che mi circonda. Grazie per mostrarmi ogni giorno che gli ostacoli, di qualsiasi altezza essi siano, si possono superare e per avermi insegnato che un gesto in silenzio vale più di mille parole.

Rimanendo in tema equitazione, voglio ringraziare anche coloro che non soltanto sono mie compagne di squadra, ma anche amiche. Grazie Bro (Wandi), Giadi, Michelle e Auri. Grazie per aver ascoltato i miei mille drammi sull'università, grazie per i momenti di gossip prelezione, grazie per i mille consigli sul percorso dopo le gare, grazie per le foto pazze insieme: ricordi di momenti indimenticabili.

Grazie a quelle amiche che ci sono da sempre e sempre ci saranno: Laura e Camilla. Grazie per le ore passate in biblioteca insieme durante l'estati più calde. Grazie per avermi sempre difeso a spada tratta. Grazie per avermi sopportata sempre durante tutti quest'anni. Grazie di esserci nei momenti più importanti, anche se non riusciamo a vederci ogni giorno.

Al nostro terzetto si sono però aggiunte anche altre due ragazze: Silvia e Clarissa, con cui è risorto il gruppo "Polpette". Grazie ragazze per le magnifiche serate a tema gelato in vaschetta e giochi da tavola, per le notti di Ferragosto passate in piscina a chiacchierare, per tutti i capodanni passati insieme, perché iniziare l'anno con voi lo ha sempre reso un anno magnifico.

Infine, ma non meno importanti, grazie a chi ha condiviso in prima persona con me tutto il percorso universitario.

Grazie Ali, o come ti ho salvata in rubrica "rinfresca memoria", perché è grazie a te che mi ricordo ogni giorno che esistono persone intorno a me di cui posso fidarmi, con cui posso confidarmi e condividere gioie e dolori. Grazie per i mille viaggi in treno insieme,

per le chiacchiere, le pause pranzo, le lezioni una a fianco all'altra. Grazie per aver stravolto la mia idea che l'università fosse un percorso solitario, perché dal momento che sei entrata a far parte del mio, lo hai solo che migliorato.

Grazie Samu, o come ti chiamo ogni tanto Simba. Il nome non è scelto a caso, sei un leone: gentile e premuroso con le persone a cui tieni, ma attaccante e grintoso quando devi farti valere. Fai sentire sempre il tuo ruggito, la tua voce, perché hai dei pensieri e delle idee magnifiche e devo ringraziarti di averle condivise con me. Grazie per aver sempre risposto ai miei messaggi quando ti scrivevo "momento sfogo". Grazie nonostante tutto.

Grazie Ari, non so quante volte avrò ripetuto che avrei voluto conoscerti prima. Grazie per la tua dolcezza e per tutto il sostegno che mi hai dato e mi stai dando, grazie per credere in me e nei miei sogni.

Grazie Franci per i mille passaggi dall'Università alla stazione, non so quanti treni avrei perso senza di te, e grazie anche per tutte le spiegazioni di quei teoremi impossibili, che sentiti da te sembravano la barzelletta più divertente.

Grazie Leandro e Benny per i mille appunti passati a fine lezioni per capire quale pezzo mi fossi persa o quando ero in gara e grazie per avermi tenuto il posto a lezione quando il treno ritardava.

Quindi, per concludere, grazie a tutti voi che state leggendo o a cui ho letto questi ringraziamenti, perché se siete arrivati a questo punto significa che avete aperto un pezzetto di quella cerniera difettosa, cioè mi avete conosciuto per quello che sono veramente e siete rimasti.

Arianna Brizzi