



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI BRESCIA

*DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA MECCANICA E INDUSTRIALE*

*Corso di Laurea in Ingegneria*

*Meccanica e dei Materiali*

**Relazione finale**

**INLINE ALPINE SLALOM:**

**DEFINIZIONE E SVILUPPO DI UN SISTEMA DI MISURA  
PER LA VALUTAZIONE DELLE PERFORMANCE**

Relatore: Ing. Simone Pasinetti

Correlatore: Prof. Matteo Lancini

Laureando:  
Alessia Cesaris  
Matricola n. 727283

Anno Accademico 2022/2023



## **Ringraziamenti**

Innanzitutto, vorrei ringraziare l'ing. Simone Pasinetti, il prof. Matteo Lancini e tutto il Laboratorio di Misure Meccaniche e Termiche per l'aiuto che mi hanno fornito e per la possibilità di sviluppare questa tesi.

Vorrei ringraziare il Laboratorio di Sistemi per la Bioingegneria e in particolare il prof. Nicola Francesco Lopomo per avermi permesso di utilizzare i sensori Xsens Motion Capture, indispensabili per la realizzazione di questo lavoro.

Vorrei inoltre ringraziare la società Free Inline a.s.d., a cui vorrei dedicare tutto questo lavoro di tesi, e in particolare Alessandro, Antonio, Elisa, Clara e Lorenza per essersi prestati ad effettuare le prove in campo. Siete stati fondamentali.

Grazie ai miei genitori Rossana e Carlo per avermi sempre supportato e sopportato, alle mie sorelle Martina, Camilla e Lorenza, al mio fidanzato Gabriele, ai miei nonni Marisa e Guelfo e al mio amico Niccolò per esserci sempre stati durante questo percorso e non aver mai smesso di credere in me anche quando io avrei voluto mollare tutto. Sembrano solo delle menzioni su un pezzo di carta ma in realtà sono stati tasselli molto importanti che mi hanno permesso di raggiungere questo grande traguardo.



# Indice

<b>Introduzione.....</b>	<b>1</b>
<b>1. La disciplina dell'inline alpine .....</b>	<b>3</b>
1.1. Inline alpine slalom.....	3
1.2. Studio biomeccanico dell'inline alpine: stato dell'arte.....	8
1.3. Obiettivo tesi.....	10
<b>2. Set up sperimentale .....</b>	<b>12</b>
2.1. Descrizione generale.....	12
2.2. Xsens Motion Capture .....	14
2.3. Solette strumentate.....	15
<b>3. Prove sperimentali.....</b>	<b>17</b>
3.1. Protocollo di misura.....	17
3.2. Prove in campo .....	20
3.3. Elaborazione dati .....	22
<b>4. Risultati.....</b>	<b>28</b>
<b>Conclusioni.....</b>	<b>35</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>37</b>



# Introduzione

L'inline alpine è uno sport veloce e dinamico che consiste nello svolgere con i pattini in linea uno slalom tra dei pali posti su una discesa asfaltata. Non essendo un'attività molto conosciuta e visto la complessità del gesto tecnico questo lavoro di tesi si propone di svolgere un'analisi biomeccanica dell'inline alpine, comparando atleti più e meno esperti, per valutare le loro performance.

La tesi si è concentrata in particolare sulla definizione e sullo sviluppo di un primo setup di misura per la valutazione cinematica dell'inline alpine.

Analizzando il gesto tecnico e alcuni studi biomeccanici sullo sci alpino, sport molto simile, si è deciso di studiare solamente il movimento degli arti inferiori utilizzando un sistema composto da solette strumentate Yeti della 221e e da Xsens Motion Capture, un sistema di misurazione cinematica inerziale di Movella.

In particolare, grazie a questi due sistemi è stato possibile analizzare i parametri che sono considerati i più importanti dell'inline alpine slalom, quali la flessione delle ginocchia, che rappresenta il miglior modo per permettere agli atleti di creare velocità tra un palo e l'altro senza sollevare i pattini dal terreno, e le pressioni esercitate dal piede sul pattino nei diversi tratti di curva.

Dopo aver svolto delle prove preliminari si è deciso di escludere i dati ottenuti con le solette in quanto a causa del pattino molto stretto e una connessione bluetooth poco stabile non acquisivano correttamente i dati.

Sono quindi state svolte delle prove in campo con cinque diversi atleti, le quali poi sono state analizzate per raggiungere lo scopo di questa tesi, ovvero trovare delle possibili correlazioni tra i parametri principali dell'inline alpine. In particolare, viene studiata la relazione tra la flessione delle gambe e la velocità della zona pelvica dell'atleta durante la curva, e l'esplosività del gesto tecnico ovvero la relazione tra la flessione delle gambe dell'atleta e la durata del movimento.

Nel capitolo 1 del presente elaborato viene descritto l'inline alpine slalom e lo stato dell'arte, nel capitolo 2 vengono mostrati i due sistemi di misura utilizzati per questo studio, nel capitolo 3 sono illustrate le prove sperimentali e i passaggi effettuati per cercare un'eventuale correlazione tra i parametri e nel capitolo 4 vengono infine presentati i risultati ottenuti.

# Capitolo 1

## La disciplina dell'inline alpine

### 1.1. Inline alpine slalom

L'inline alpine è una disciplina nata come attività propedeutica allo sci alpino. Nell'ultimo decennio è diventato uno sport a sé soprattutto grazie alla crescita esponenziale che ha avuto in Germania e in Spagna. In Italia non è ancora molto conosciuto ma negli ultimi anni sta cominciando a farsi largo tra i numerosi sport emergenti, questo anche grazie alle competizioni che vengono organizzate sul nostro territorio e agli ottimi risultati che la nazionale italiana sta ottenendo nei circuiti internazionali, che hanno portato a vari titoli europei e ai primi piazzamenti nella top ten mondiale.



Figura 1.1.1: esempio di un tracciato di slalom

L'inline alpine è uno sport veloce e dinamico che si pratica su pattini in linea. Gli atleti devono svolgere nel minor tempo possibile uno slalom, simile a quello mostrato nella fig. 1.1.1, su una discesa asfaltata con una pendenza compresa tra il 6% e il 12% e una lunghezza da 150 m fino a 250 m. Le porte del tracciato sono composte da piastre metalliche di circa 11kg su cui sono avvitati pali snodati simili a quelli dello sci alpino (fig. 1.1.2). Il numero di porte varia per ogni gara ma solitamente è compreso tra i 30 e i 40; le distanze e le angolature tra esse cambiano in base al tipo di pendenza e alle scelte del tracciatore [1],[2].



Figura 1.1.2: piastre con palo snodato

Per prendere velocità, all'inizio del tracciato è collocata la rampa di partenza, fig. 1.1.3, con altezza variabile (0,60 - 2 metri). In cima ad essa vi è il cancelletto del cronometro, il quale una volta aperto dà inizio alla gara. L'atleta deve partire ed arrivare il prima possibile al traguardo cercando di trovare il ritmo e la traiettoria giusti tra le porte. Ogni competizione è formata da due manches. Per stilare la classifica si sommano i tempi ottenuti da ogni atleta in entrambe. Vince l'atleta con il tempo totale minore.



Figura 1.1.3: rampa di partenza

L'inline alpine si articola in tre discipline:

- Slalom: un tracciato rapido con porte distanti 5-8 metri (fig. 1.1.4). Questa specialità è quella che è stata approfondita in questa tesi;
- Gigante: un tracciato più lento e scorrevole con porte distanti 10-15m, come mostrato in fig. 1.1.5. La velocità di percorrenza è superiore allo slalom in quanto ha un arco di curva più ampio;
- Combinata: una gara composta da una manche di slalom e una di gigante.



Figura: 1.1.4: atleta che pratica slalom



Figura 1.1.5: atleta che pratica gigante

Parte fondamentale della disciplina è l'attrezzatura, composta principalmente da:

- Pattino in linea: una scarpetta realizzata in fibra di carbonio leggera e rigida che grazie al sofisticato sistema di chiusura si adatta alla forma del piede in modo tale da permettere agli atleti di essere performanti e reattivi. A questa viene attaccato un carrello la cui dimensione dipende dal treno di ruote che si vuole montare, vedi fig. 1.1.6;



Figura 1.1.6: scarpetta e carrello del pattino in linea

- Ruote: ne esistono di svariate tipologie, si differenziano per diametro (tra gli 80 mm e i 125 mm), oltre che per la miscela di gomma con cui sono costituite, come mostrato nella fig. 1.1.7. Offrono performance differenti in modo tale da avere un treno per ogni necessità: manto asciutto o bagnato, strada pendente o piana, asfalto grosso o fine;



Figura 1.1.7: ruote di varie dimensioni

- Bastoni dotati di paramani: per permettere agli atleti di abbattere i pali durante lo svolgimento del tracciato, simili a quelli in fig. 1.1.8;

- Protezioni: onde evitare abrasioni sull'asfalto e proteggersi dai colpi in caso di caduta, gli atleti indossando un casco con mentoniera, un corpetto con protezioni in plastica per proteggere schiena, arti superiori e petto, delle ginocchiere e un pantaloncino protettivo per riparare gli arti inferiori (fig. 1.1.9).



Figura 1.1.8: bastoni con paramani



Figura 1.1.9: protezioni

L'inline alpine si colloca tra le prime attività che migliorano la forma fisica e il benessere generale. Inoltre, è un esercizio fortemente allenante, che sviluppa le capacità di resistenza e di velocità e che contribuisce a migliorare in modo importante l'equilibrio e la coordinazione di chi la pratica [3].

Non essendo un'attività molto conosciuta e visto la complessità del gesto tecnico è fondamentale svolgere un'analisi biomeccanica, comparando atleti esperti con atleti meno esperti, per valutare le loro abilità. Lo studio biomeccanico risulta fondamentale in quanto ogni gesto tecnico del pattinaggio eseguito in modo corretto è sinonimo di miglior performance.

## 1.2. Studio biomeccanico dell'inline alpine: stato dell'arte

Come già ampiamente specificato nell'introduzione, l'inline alpine slalom non è uno sport conosciuto e sviluppato quindi non sono stati fatti studi approfonditi a riguardo. Di conseguenza, viste le grandi somiglianze, si è deciso di partire dalle ricerche fatte negli anni sullo sci alpino.

Cigrovski V. [4] studia lo sci alpino e il pattinaggio in linea e in particolare il ruolo differente della gamba esterna durante la curva in quanto è quella sulla quale vengono esercitate le maggiori pressioni da parte dell'atleta (si veda fig. 1.2.1). Per far questo analizza:

- La dinamica: posizionando negli scarponi delle solette molto sottili dotate di un accelerometro e un giroscopio per misurare le differenti pressioni del piede sul terreno nelle diverse fasi della curva. I parametri presi in considerazione sono forza esercitata dalla parte laterale e centrale del piede, sul tallone e la massima forza esercitata dal piede stesso;
- La cinematica: utilizzando videocamere, sistemi di geolocalizzazione e sistemi di motion capture, studia la posizione dell'atleta. Di solito le zone maggiormente analizzate sono l'angolo del ginocchio (tra parte inferiore e superiore della gamba), dell'anca (tra busto e parte superiore della gamba) e della caviglia (tra piede e parte inferiore della gamba).

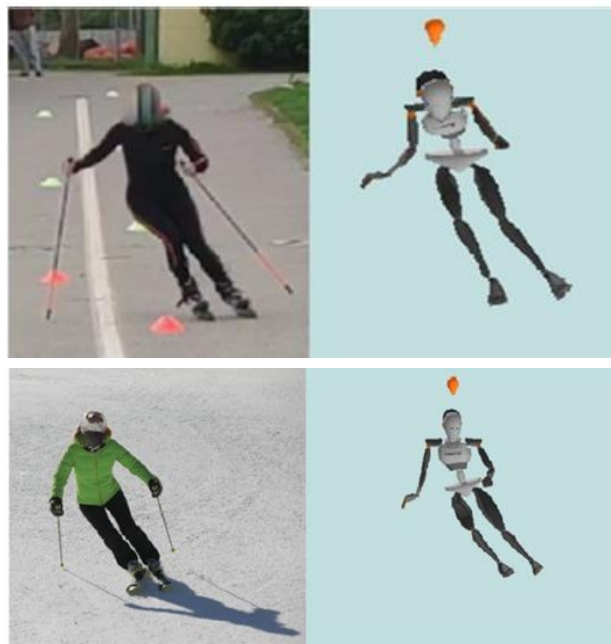


Figura 1.2.1: analisi movimenti nel pattinaggio in linea e nello sci alpino

Hebert-Losier K. nella sua pubblicazione [5] analizza l'importanza dello studio biomeccanico per la valutazione delle performance nello sci alpino. Afferma che i parametri più importanti sono:

- Analizzare il tempo di discesa, in quanto è il primo indicatore utile della performance;
- Considerare solamente una piccola sezione della discesa (massimo tre o quattro pali);
- Comparare gli atleti più veloci con quelli più lenti per osservare le differenze dei movimenti e di conseguenza il tempo guadagnato grazie al mantenimento della corretta postura durante il tracciato. Questo porta a studiare le differenti velocità e accelerazioni in ingresso e in uscita dalle curve;
- Studiare la traiettoria per trovare la linea corretta.

Lidia B. Alejo [6] per analizzare le differenze tra gli atleti nello svolgimento di tre diverse discipline dello sci alpino (slalom speciale, slalom gigante e super-g) confronta le velocità e le accelerazioni in ogni tratto di pista utilizzando un sistema inerziale e un sistema di localizzazione.

Infine, Pérez-Chirinos Buxadé [7] studia la struttura della curva nello sci alpino e afferma che generalmente, per studiare i movimenti e migliorare la performance degli sciatori, si analizza la dinamica e la cinematica, in particolare:

- Per la dinamica si utilizzano molto spesso solette posizionate negli scarponi che misurano le differenti pressioni del piede sul terreno nelle diverse fasi della curva;
- Per la cinematica si utilizzano videocamere e GNSS, questi sistemi permettono di analizzare la posizione della parte dell'atleta che si vuole studiare.

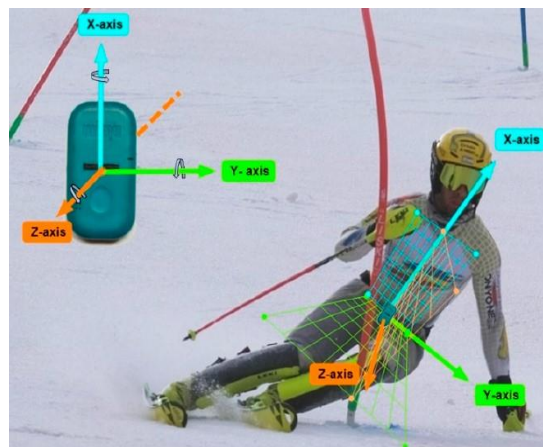


Figura 1.2.2: sistema di misura e orientamento degli assi

### 1.3. Obiettivo tesi

Come affermato nella sezione precedente, non esistono sistemi di misurazione in grado di valutare i parametri biomeccanici e le prestazioni di un atleta che pratica inline alpine slalom. Di conseguenza la presente tesi si propone di affrontare questo problema basandosi sulle tecniche di misurazione utilizzate nello sci alpino, sport molto simile, ma prendendo in considerazione parametri leggermente differenti in quanto alcuni movimenti non coincidono con quest'ultimo.

Dopo un'analisi del gesto tecnico si è deciso di studiare solamente gli arti inferiori, in particolare usando due diversi sistemi di misura: Xsens Motion Capture (Movella) con 8 sensori, in modo tale da monitorare gli angoli del ginocchio, dell'anca e della caviglia; e le solette Yeti (221e) per misurare le pressioni esercitate dal piede nel pattino, come mostrato nella fig. 1.3.1.

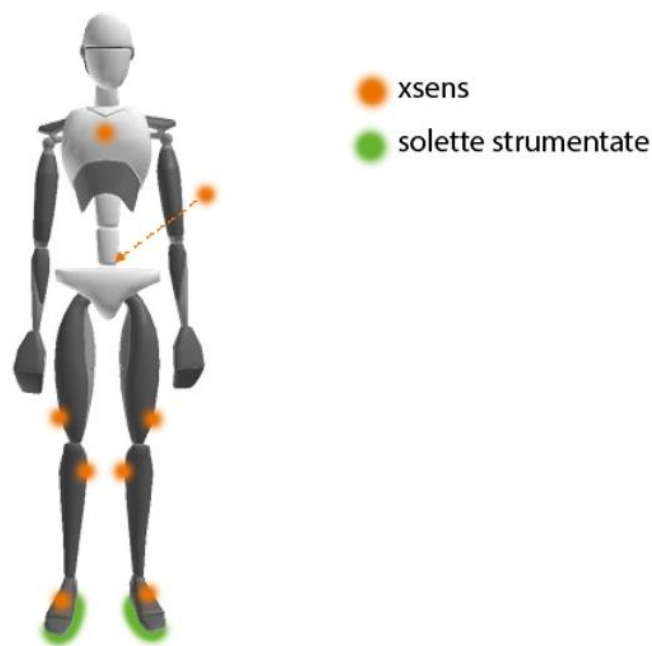


Figura 1.3.1: schema dei sensori utilizzati

Le principali domande di ricerca a cui questa tesi si propone di rispondere sono le seguenti:

- Quali sono i parametri principali da analizzare per valutare le performance nell'inline alpine slalom?
- È possibile trovare una relazione tra la flessione e la distensione delle gambe con la velocità dell'atleta a inizio, durante e a fine curva?
- In che modo le pressioni sul piede influenzano la velocità dell'atleta a inizio, durante e a fine curva?

Per rispondere a queste domande, nel presente lavoro di tesi è stato sviluppato un sistema di misura in grado di misurare cinematica e dinamica dell'inline alpine. Nel capitolo 2 vengono mostrati i due sistemi di misura utilizzati per questo studio; nel capitolo 3 sono illustrate le prove sperimentali e i passaggi effettuati per cercare un'eventuale correlazione tra i parametri citati sopra; nel capitolo 4 vengono infine presentati i risultati ottenuti.

## Capitolo 2

### Set up sperimentale

#### 2.1. Descrizione generale

Per raggiungere questi obiettivi, si deciso di utilizzare due differenti sistemi di misura: Xsens Motion Capture (Movella) e le solette Yeti (221e). Con questi due sistemi è stato possibile analizzare i parametri considerati più importanti, quali:

- La flessione delle ginocchia: questo è un dato fondamentale per la ricerca in quanto nell'inline alpine slalom la flessione e la distensione degli arti inferiori è considerata il miglior modo per permettere agli atleti di creare velocità tra un palo e l'altro senza sollevare i pattini dal terreno, come mostrato in fig. 2.1.1;

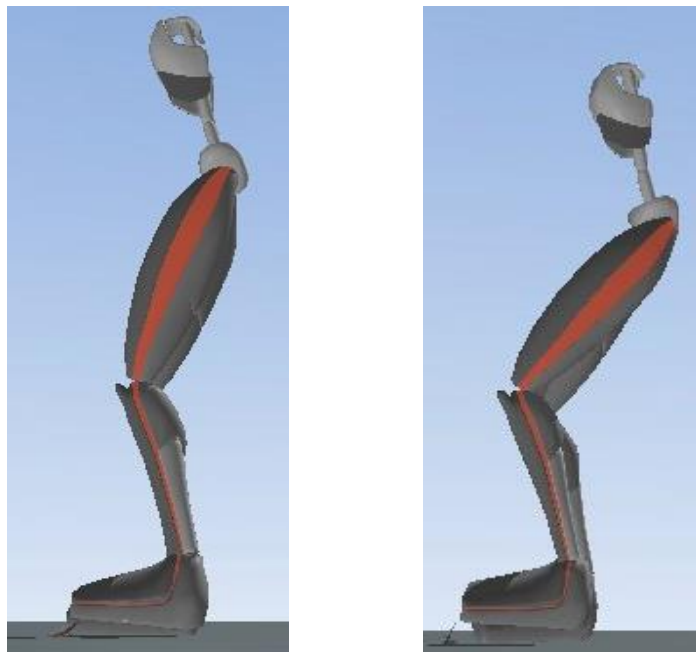


Figura 2.1.1: flessione degli arti inferiori durante il gesto tecnico

- Le pressioni esercitate dal piede sul pattino nei diversi tratti della curva: per permettere di valutare le performance degli atleti analizzando su quale parte del piede esercitano una maggiore pressione nel momento in cui svolgono il gesto tecnico.

## 2.2. Xsens Motion Capture

Xsens Motion Capture è un sistema di misurazione cinematica inerziale di Movella, che incorpora dati video sincronizzati, utilizzando ipotesi di modelli biomeccanici. È un sistema completamente portatile; non è limitato a uno spazio al chiuso ma può essere utilizzato ovunque. Anche per questo è stato scelto per questo lavoro di tesi, in quanto ovviamente le prove non potevano essere effettuate in laboratorio.

Per acquisire i dati sono stati utilizzati i motion tracker Xsens: unità di misura inerziali contenenti accelerometri a tre assi, giroscopi a tre assi, magnetometri a tre assi e un barometro. I tracker sono posizionati in punti strategici del corpo (assicurati da delle cinghie, per ridurre al minimo l'artefatto da movimento della pelle) per misurare il movimento di ogni segmento del corpo [8].

Sono stati posizionati 8 motion tracker nelle parti dell'atleta da analizzare: gli arti inferiori e il busto. In particolare, come mostrato in figura 2.2.1: uno in mezzo al petto, uno sopra al coccige e sei simmetrici sulle gambe (sui piedi, sotto e sopra le ginocchia).

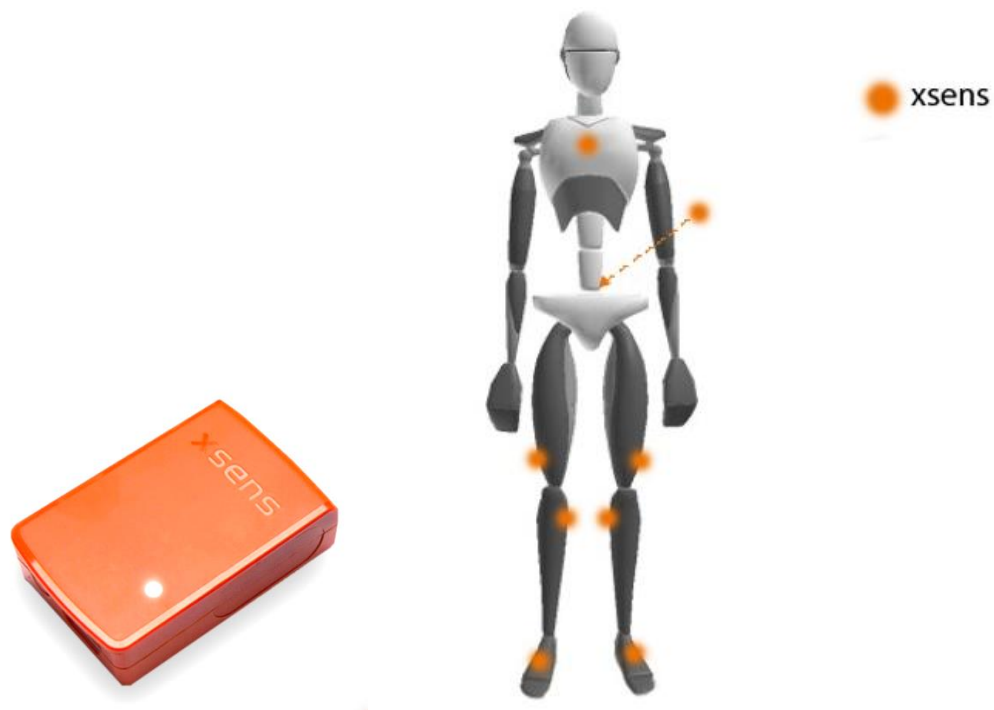


Figura 2.2.1: motion tracker Xsens e posizioni di questi sugli atleti

## 2.3. Solette strumentate

Le solette strumentate della 221e che sono state usate sono composte da:

- Piattaforma Mitch (fig. 2.3.1): è dotata di un accelerometro a tre assi, un giroscopio a tre assi e un magnetometro a tre assi in modo da poter misurare accelerazione, velocità angolari e campi magnetici. Con i componenti aggiuntivi opzionali, può misurare i punti di pressione del piede o della mano, la distanza e la prossimità [9].
- Solette Yeti (fig. 2.3.2): sono dei sensori di pressione a membrana adatti alla misurazione dei punti di pressione del piede. Dispongono di 16 punti di misurazione accuratamente posizionati per massimizzare la quantità di informazioni utili, rilevano e misurano il contatto, la forza e la velocità di variazione di un carico applicato. Questo sensore ha un valore di resistenza inversamente proporzionale alla quantità di forza applicata. All'aumentare della pressione applicata, la resistenza equivalente del sensore diminuisce. I sensori Yeti sono fabbricati come una struttura a sandwich di un foglio di poliestere e inchiostro conduttivo, per uno spessore totale di 240  $\mu\text{m}$ . Il sensore può flettersi e il cavo piatto di interconnessione è ottimizzato per seguire l'ergonomia del piede [9].



Figura 2.3.1: mitch della 221e

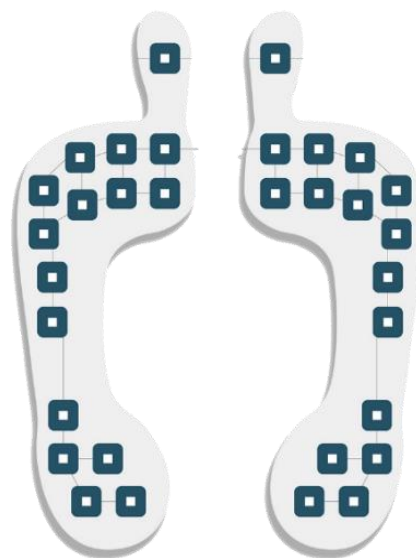


Figura 2.3.2: solette Yeti della 221e

Le solette Yeti sono state collegate alla piattaforma Mitch in modo da utilizzare quest'ultima come sistema di acquisizione (fig. 2.3.3).

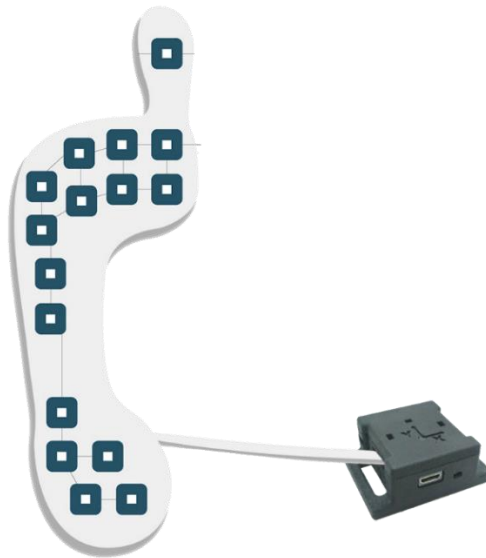


Figura 2.3.3: soletta e mitch collegati

Considerando che la scarpetta del pattino in linea è molto stretta e segue l'anatomia del piede non è stato facile trovare il modo di inserire quest'ultimo all'interno del pattino senza danneggiare la soletta. Per non farla muovere e piegare si è deciso di attaccare sul lato inferiore di questa un nastro adesivo ruvido (fig. 2.3.4) in modo tale da creare attrito tra la soletta e il fondo del pattino ma permettendo comunque al piede di scivolare all'interno della scarpetta.



Figura 2.3.4: nastro adesivo applicato sotto alle solette

## Capitolo 3

### Prove sperimentali

#### 3.1. Protocollo di misura

Prima di effettuare le prove vere e proprie, è stato valutato tutto il sistema di misura su un singolo atleta. Dopo aver posizionato le solette e i motion tracker e aver effettuato la calibrazione di Xsens, il soggetto ha svolto un semplice slalom sul piano in modo tale da valutare la risposta dei sensori.

- Posizionamento dei sensori: grazie al nastro adesivo presentato alla sezione 2.3, l'inserimento delle solette all'interno del pattino non è stato complicato. Il posizionamento dei sensori Xsens, invece, è stato reso più difficile a causa della presenza delle protezioni dell'atleta; infatti, tutti i motion tracker sono stati fissati con le cinghie in dotazione da Xsens e con del tape per ridurre al minimo lo spostamento degli stessi durante i test. (fig. 3.1.1).



Figura 3.1.1: pattino con solette e sensori Xsens fissati con cinghie di sicurezza

- Calibrazione di Xsens: per effettuare la calibrazione dei sensori il soggetto ha effettuato una camminata di qualche metro avanti e indietro. A causa delle ruote del pattino, se la calibrazione viene effettuata su una superficie liscia, il piede scivola e la calibrazione non risulta accurata. Quindi si è deciso di calibrare il sistema Xsens su un manto erboso in modo tale che il pattino non scivolasse. Inoltre, durante la calibrazione, si è notato che Xsens crea qualche problema con il rilevamento dei piedi, probabilmente a causa del fatto che il piede non poggia direttamente sul terreno a causa del carrello e delle ruote. Per cercare di risolvere il problema è stata effettuata la calibrazione impostando l'altezza della suola della scarpa pari a 13 cm (ovvero l'altezza del carrello con le ruote). In questo modo Xsens imposta il suolo a livello dei piedi.
- Sincronizzazione dei sensori: è stato scelto un gesto, riconoscibile durante l'elaborazione dei dati, per poi riuscire a sincronizzare i dati acquisiti dalle solette strumentate e da Xsens. Prima di ogni prova, il soggetto alza la gamba sinistra e poi la destra e batte il piede al suolo.
- Svolgimento dei test: il soggetto ha svolto dieci volte uno slalom semplice e simmetrico sul piano con distanza tra gli ostacoli di 4 m di lunghezza e 1 m di larghezza (fig. 3.1.2).



Figura 3.1.2: soggetto che svolge le prove preliminari

Durante lo svolgimento dei test è stato rilevato un problema con le solette strumentate: una volta inserite nel pattino alcuni sensori rimanevano sempre alla massima pressione e altri non rilevavano nulla. Il motivo potrebbe essere che la soletta era troppo compressa a causa del pattino molto stretto sul piede. Il sistema, inoltre, si collegava ad intermittenza con il computer su cui venivano acquisiti i dati poiché la connessione bluetooth tra questi non era stabile.

Nonostante solo in alcune siano stati ottenuti dati corretti, si è deciso di provare ad utilizzare comunque le solette strumentate durante i test in campo ed eventualmente scartare i test aventi dati non completi durante la loro elaborazione.

Successivamente, sono state svolte le prove vere e proprie su una strada asfaltata in discesa con cinque soggetti aventi diverse abilità nell'inline alpine, in modo tale da poter paragonare atleti più e meno esperti.

## 3.2. Prove in campo

Le prove di valutazione del sistema sono state svolte su cinque atleti con diverse abilità nell'inline alpine in modo tale da comparare le differenti performance. I soggetti scelti avevano le seguenti caratteristiche:

- 2 maschi e 3 femmine
- Et :  $16 \pm 2$  anni
- Altezza:  $179 \pm 14$  cm (altezza atleti che indossano i pattini)

Nonostante le prove siano state svolte in giorni differenti, tutti gli atleti hanno avuto uguali condizioni di test: stessa strada, stesso tracciato e condizioni climatiche simili (questo   stato favorevole in quanto i soggetti hanno avuto la stessa tenuta delle ruote sull'asfalto).

I test si sono svolti su una strada asfaltata in discesa con diverse pendenze, dal 2% al 6% (fig. 3.2.1).

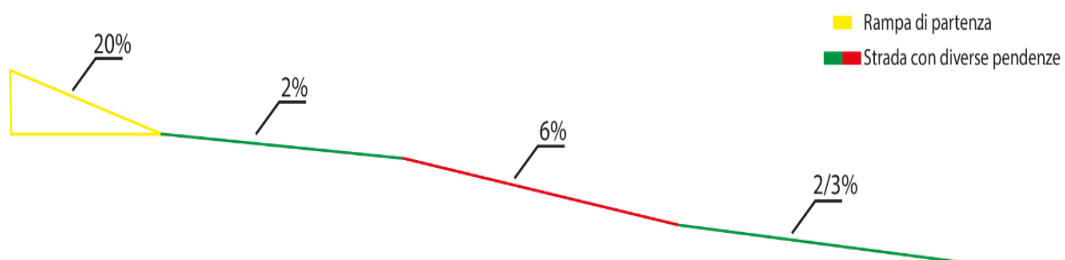


Figura 3.2.1: pendenze della strada in cui si sono svolti i test

  stato redatto un tracciato di slalom con 20 porte, molto regolare e simmetrico in modo tale da permettere agli atleti di concentrarsi sul gesto tecnico. Infatti non sono state inserite figure, ovvero porte lunghe (due porte consecutive dallo stesso lato) e porte triple o quaduple (curve strette molto vicine tra loro). La distanza tra le porte   6 m in lunghezza e 1,5 m in larghezza (fig. 3.2.2).

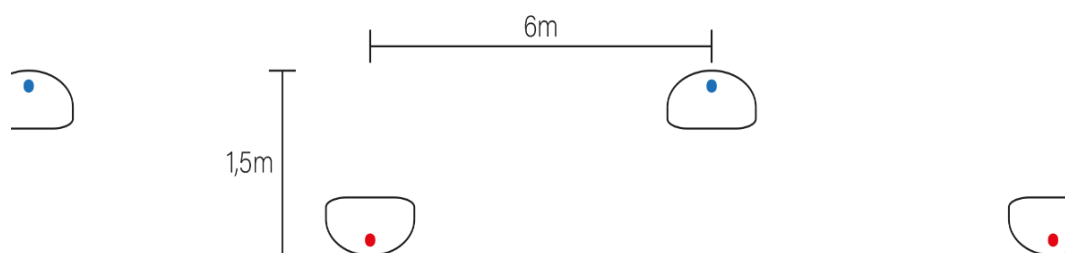


Figura 3.2.2: distanza tra le porte

Ogni soggetto ha avuto la possibilità di provare il tracciato due volte prima di effettuare i test in modo tale da prendere confidenza con lo stesso. Dopo avere indossato le solette strumentate della 221e e i motion tracker di Xsens (fig. 3.2.3), gli atleti hanno effettuato la calibrazione camminando su un manto erboso, in modo tale da non far girare le ruote e rendere la calibrazione più accurata.



Figura 3.2.3: posizionamento dei sensori

Tutti gli atleti hanno percorso per tre volte lo stesso tracciato di slalom. Per rendere lo studio più uniforme tra i diversi atleti, è stato chiesto loro di spingere con la pattinata solo nelle prime porte del tracciato e poi di lavorare e creare accelerazione solo con la flessione e la distensione degli arti inferiori, senza alzare i piedi da terra.

Oltre ad aver acquisito i dati con Xsens e con le solette, le prove di tutti i soggetti sono state filmate e cronometrate, per avere un riscontro sia visivo che temporale.

Successivamente sono state selezionate le due migliori prove di ognuno, ovvero quelle che presentavano meno errori e sbavature. Inoltre, per ogni manche si è deciso di escludere le prime e le ultime porte, analizzando così le cinque curve verso sinistra e verso destra più rilevanti, ovvero quelle sul tratto di discesa più ripido.

### 3.3. Elaborazione dati

Analizzando i dati si è notato che, nella maggior parte delle prove, le solette strumentate non hanno acquisito i dati correttamente, come si era già rilevato nelle prove preliminari (sezione 3.1). Quindi, per evitare di utilizzare dati incompleti, si è deciso di escludere tutte le informazioni registrate con le solette Yeti e di focalizzarsi solo sui dati acquisiti con i sensori Xsens.

Per ogni curva si sono studiati solo gli angoli della gamba esterna alla curva stessa, cioè quella che effettua più movimento durante il gesto tecnico. Avendo cinque soggetti, due manches per ognuno e 10 curve per ogni manche, sono state analizzate in totale 100 curve, in particolare 50 curve verso sinistra, studiando la gamba destra, e 50 verso destra, studiando la gamba sinistra.

Per leggere i successivi grafici correttamente è bene specificare che:

- I joint angle analizzati sono espressi in gradi e indicano l'angolo, appartenente al piano sagittale, tra un segmento e il segmento adiacente (fig. 3.3.1).

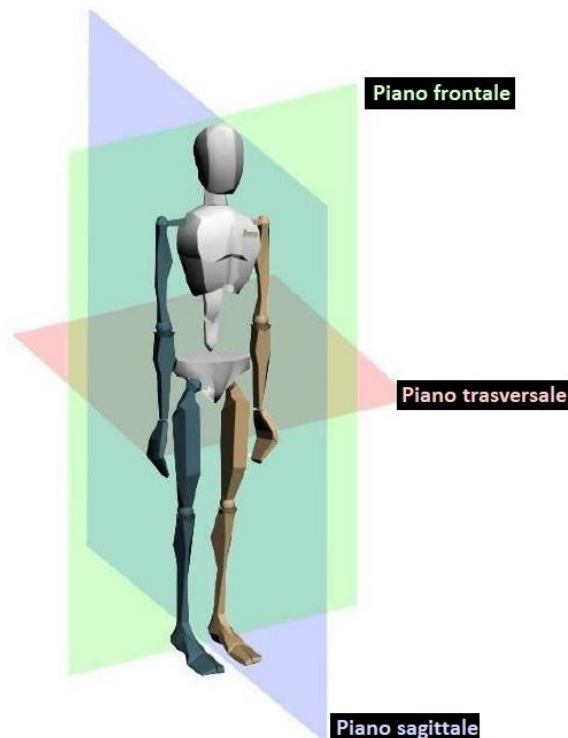


Figura 3.3.1: piani del modello anatomico

- Gli angoli sono nulli quando il soggetto è in piedi con gambe distese ortogonali ai piedi, come mostrato nel modello anatomico di Xsens in fig. 3.3.2.

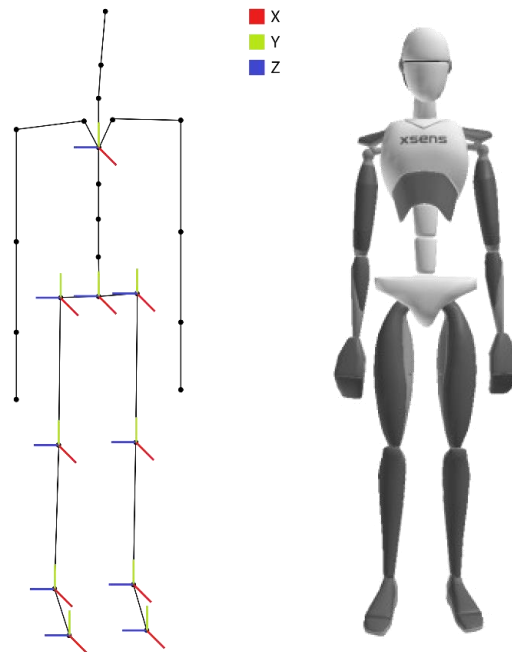


Figura 3.3.2: modello con joint angle nulli

- Gli angoli studiati (fig. 3.3.3) sono:
  - Angolo H (hip): tra l'asse pelvico e il segmento femorale;
  - Angolo K (knee): tra il segmento femorale e quello tibiale;
  - Angolo A (ankle): tra il segmento tibiale e il piede.



Figura 3.3.3: rappresentazione angoli H, K e A

- La frequenza di campionamento è costante a 100Hz. Ogni tracciato dura circa 20 secondi e ogni intervallo di curva circa 1 secondo. Sull'asse orizzontale dei grafici mostrati in seguito sono riportati i frames acquisiti.
- Le velocità sono calcolate integrando le accelerazioni misurate nella zona pelvica e hanno unità di misura m/s.

In questo lavoro di tesi si è deciso di concentrarsi solamente su un angolo degli arti inferiori. È stato preparato quindi un grafico per ogni prova di ogni soggetto evidenziando gli angoli H, K e A per stabilire quale dei tre fosse più significativo. Nella figura 3.3.4 sono mostrati i tre parametri (rosso H, verde K, blu A) del soggetto 1 durante la prima prova, e sono evidenziati i tre diversi tratti del tracciato: iniziale, centrale e finale.

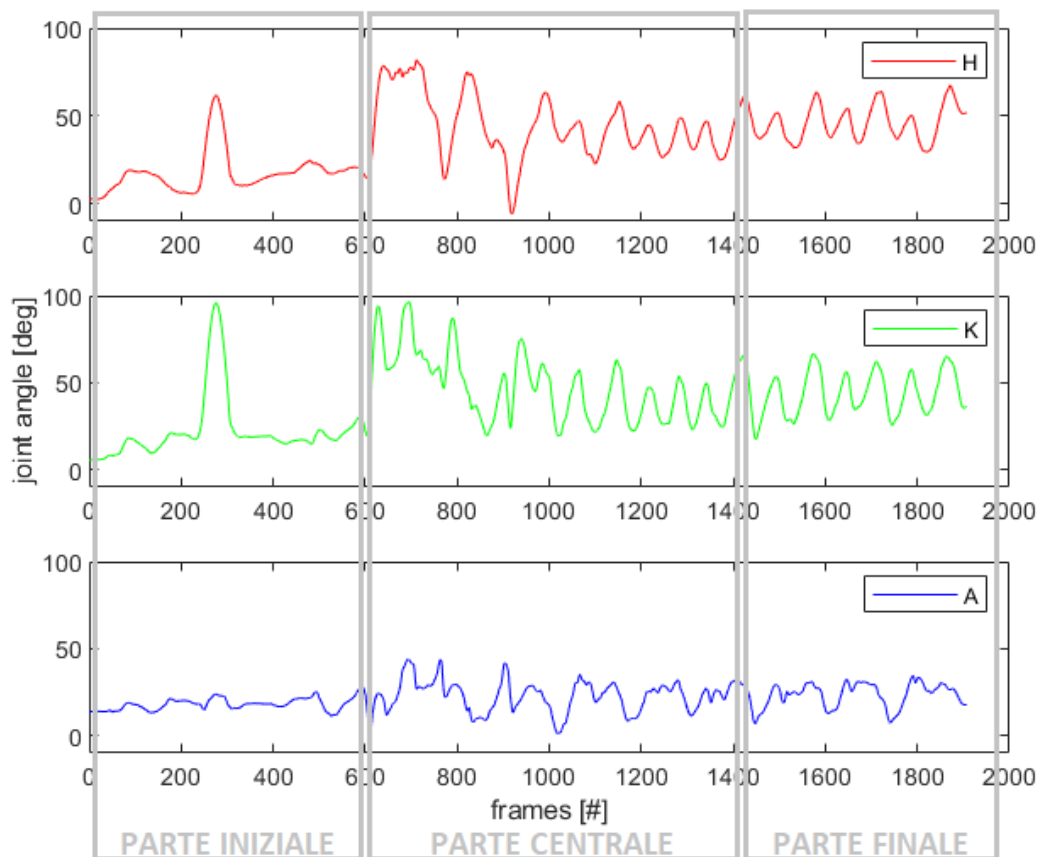


Figura 3.3.4: grafico angoli H, K, A

Si è quindi deciso di concentrarsi solamente sull'angolo K in quanto secondo la letteratura analizzata rappresenta il miglior modo per prendere velocità.

Successivamente si è cercato il tratto di curva in cui l'atleta effettua la parte centrale del gesto tecnico, sono stati quindi analizzati i dati della flessione del ginocchio sovrapposti alla velocità della zona pelvica nella parte centrale del

tracciato (vedi fig. 3.3.5). Si è scelto di considerare la velocità delle pelvi in quanto è il punto, tra quelli analizzati, più vicino alla zona baricentrica del corpo umano. In particolare nel grafico sono mostrati: in rosso con linea continua gli angoli K e in blu con linea tratteggiata la velocità delle pelvi.

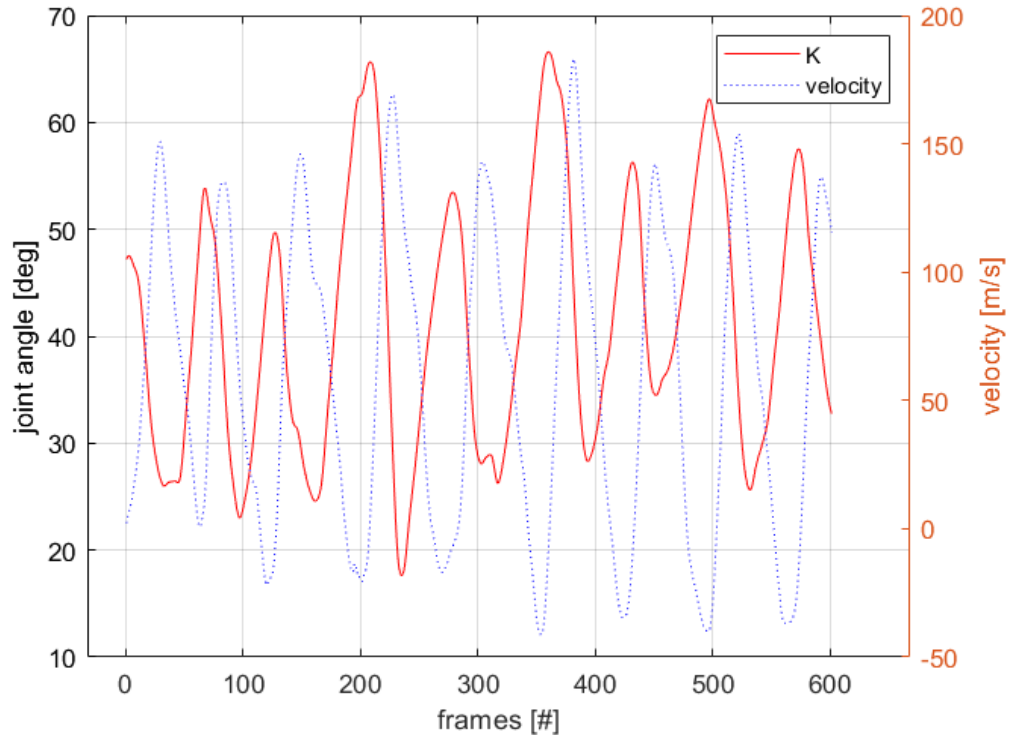


Figura 3.3.5: grafico velocità delle pelvi e angolo K

Attraverso questo grafico si nota che effettivamente la gamba esterna fa un movimento più ampio rispetto a quella interna, infatti osservando la curva rossa si vedono alternati un picco più alto (la gamba analizzata è esterna alla curva) e un picco più basso (la gamba analizzata è interna alla curva).

Analizzando la figura 3.3.5, si osserva che la parte di curva in cui l'atleta lavora maggiormente con gli arti inferiori è da metà del tratto rettilineo tra un palo e l'altro fino a metà curva successiva, ovvero i tratti evidenziati nella fig. 3.3.6.

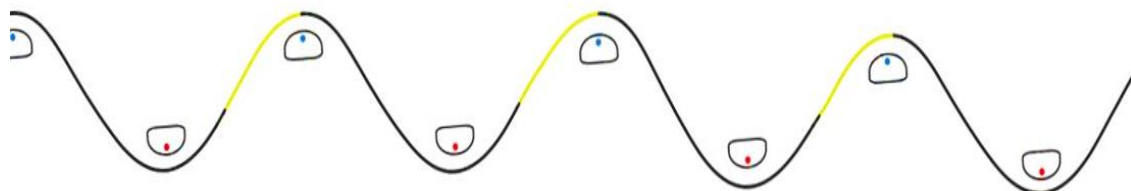


Figura 3.3.6: schema di un tracciato di slalom, con evidenziato in giallo i tratti di ogni curva verso destra studiati

I dati sono quindi stati suddivisi in intervalli con la seguente logica: ogni intervallo è formato dal tratto di curva in cui l'angolo K è maggiore di  $40^\circ$  (cioè quando il ginocchio subisce un'alta flessione), ovvero i tratti di curva evidenziati in giallo nella fig. 3.3.7. In particolare si fa notare che i picchi sono stati presi in modo alternato in quanto, come già detto, si considera solo la gamba esterna.

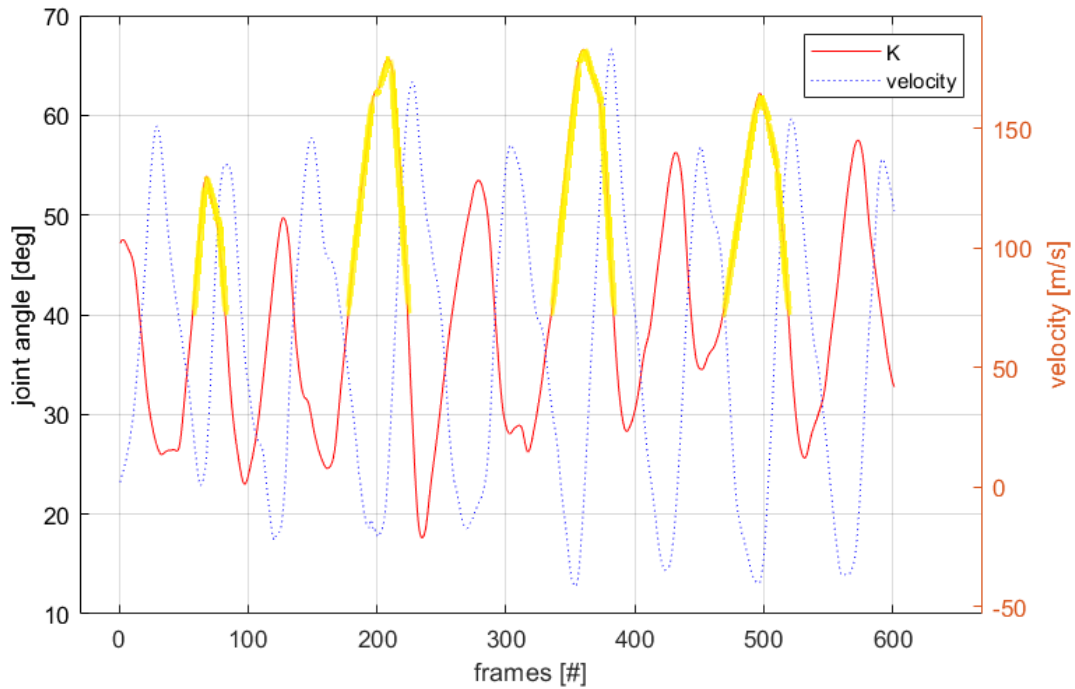


Figura 3.3.7: grafico velocità delle pelvi e angolo K, con evidenziato in giallo i tratti di ogni curva studiati

Successivamente, ogni intervallo è stato normalizzato rispetto alla sua durata ed è stato prodotto un grafico in cui vengono sovrapposte la flessione effettuata dal ginocchio (angolo K) in ogni curva e la rispettiva velocità delle pelvi, entrambe normalizzate, come mostrato nella fig. 3.3.8. Ogni colore rappresenta una curva, le linee continue mostrano l'angolo K e le linee tratteggiate rappresentano la velocità della zona pelvica.

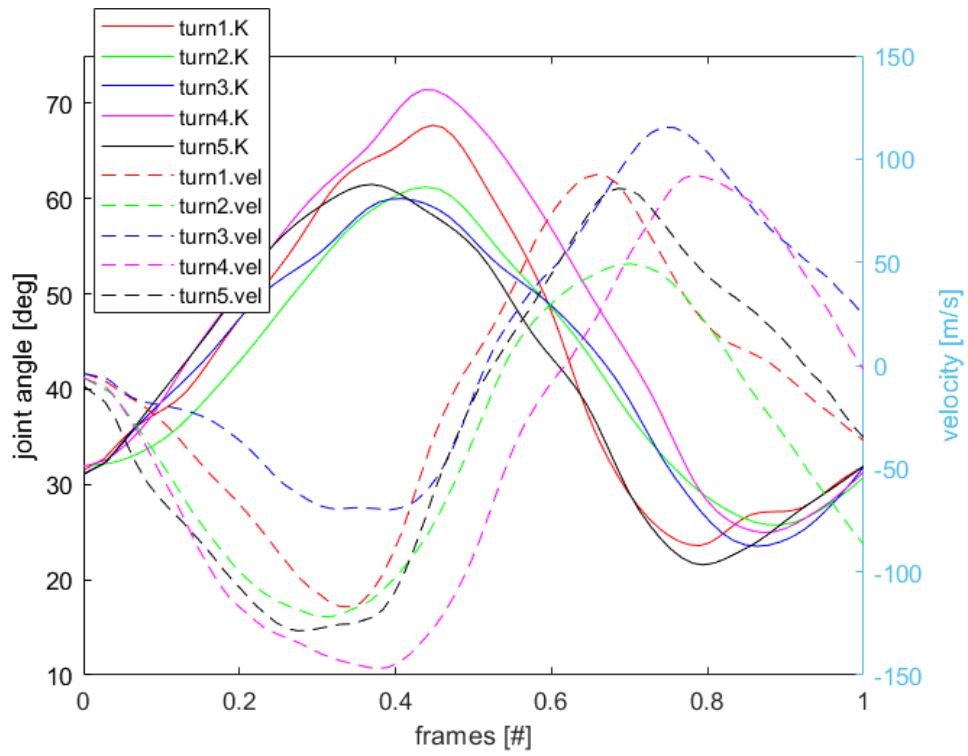


Figura 3.3.8: grafico angolo K e velocità pelvi normalizzato rispetto al tempo

Nel prossimo capitolo vengono discusse le possibili correlazioni tra questi dati.

# Capitolo 4

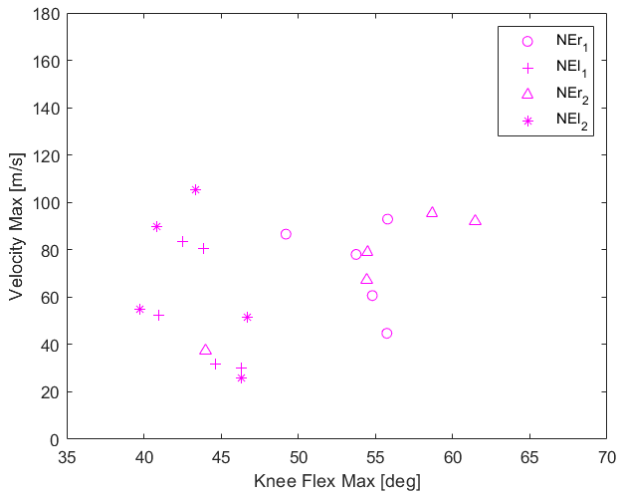
## Risultati

Come accennato nel capitolo 3, sono ora mostrati i risultati sperimentali, in particolare verranno analizzate due possibili correlazioni tra i dati:

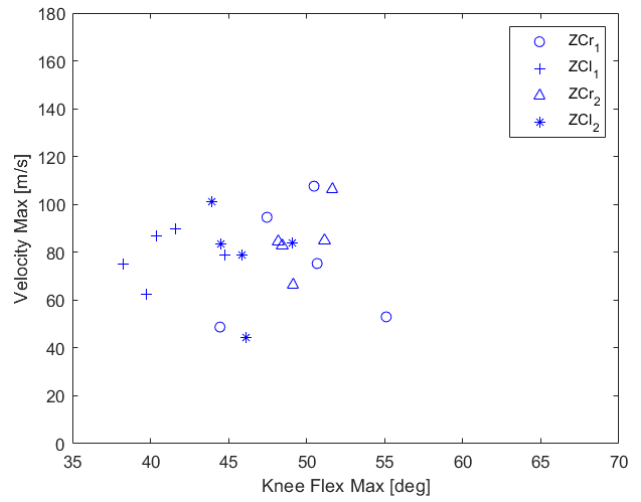
### 1. Correlazione tra angolo K e velocità zona pelvica:

Partendo dal grafico 3.3.8, per tutte le curve di ogni atleta sono stati calcolati il punto massimo della flessione del ginocchio e quello della rispettiva velocità. Quindi, per ogni atleta, è stato creato un grafico (fig. 4.1) con le seguenti caratteristiche:

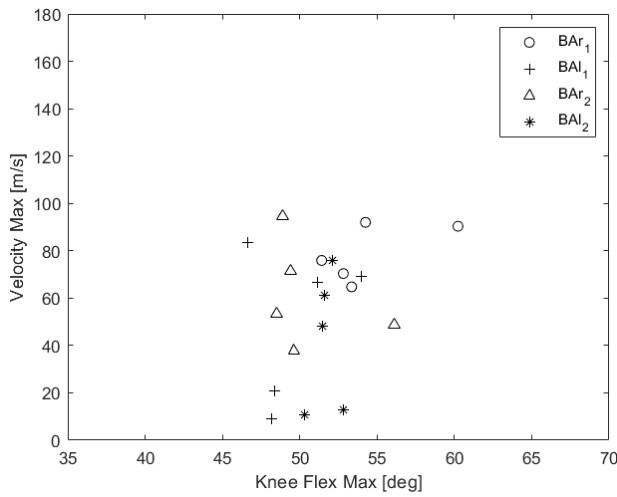
- Massima flessione delle ginocchia sull'asse delle ascisse;
- Massima velocità delle pelvi sull'asse delle ordinate;
- Ogni colore rappresenta un soggetto:
  - Rosso soggetto 1;
  - Verde soggetto 2;
  - Blu soggetto 3;
  - Nero soggetto 4;
  - Fucsia soggetto 5.
- Ogni simbolo rappresenta le curve effettuate da una gamba in una prova, e in particolare:
  - Gamba destra prova 1 è rappresentata da ○
  - Gamba sinistra prova 1 è rappresentata da +
  - Gamba destra prova 2 è rappresentata da Δ
  - Gamba sinistra prova 2 è rappresentata da \*



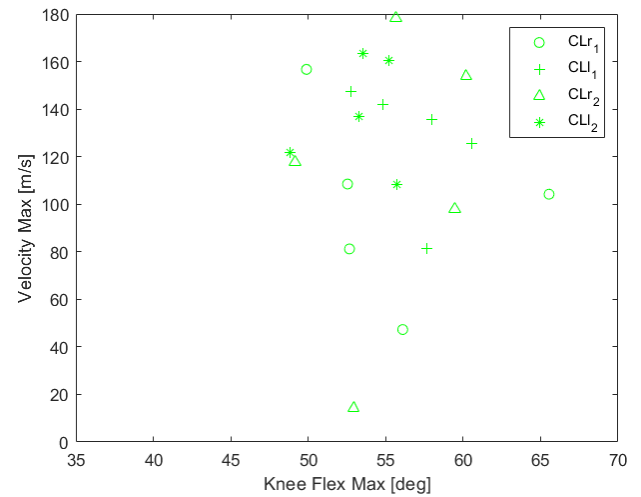
(a) soggetto 5



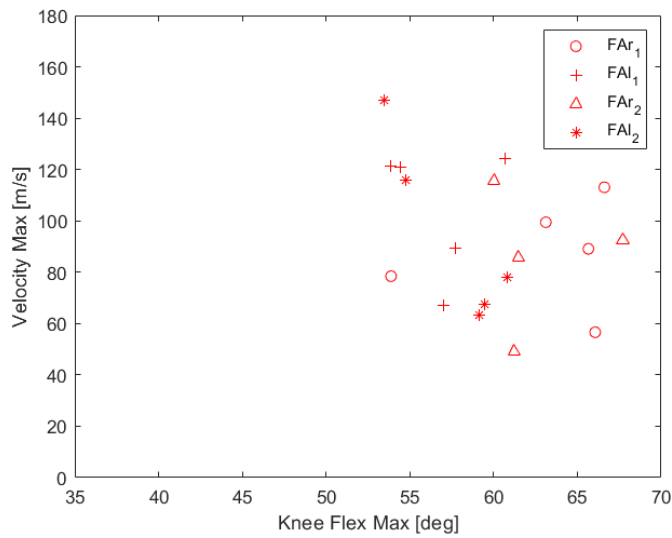
(b) soggetto 4



(c) soggetto 3



(d) soggetto 2



(e) soggetto 1

Figura 4.1: grafici punti massima flessione delle ginocchia e massima velocità delle pelvi di ogni curva

Successivamente, per ognuno di essi è stata calcolata la regressione lineare per verificare se effettivamente esista una correlazione tra i punti di massima flessione delle ginocchia e quelli di massima velocità della zona pelvica.

Calcolando il coefficiente di correlazione, si nota che non esiste una forte correlazione tra i parametri analizzati:

- Soggetto 1:  $R^2 = 0,0858$ ;
- Soggetto 2:  $R^2 = 0,0025$ ;
- Soggetto 3:  $R^2 = 0,0868$ ;
- Soggetto 4:  $R^2 = 0,0052$ ;
- Soggetto 5:  $R^2 = 0,0834$ ;

Inoltre, è stato creato un grafico con tutti i soggetti insieme (fig. 4.2) e si è ottenuto un coefficiente di correlazione pari a 0,0687.

Da queste analisi sembra quindi che in base ai dati acquisiti, non esista una forte correlazione tra la flessione del ginocchio e la velocità di picco in uscita dalla curva.

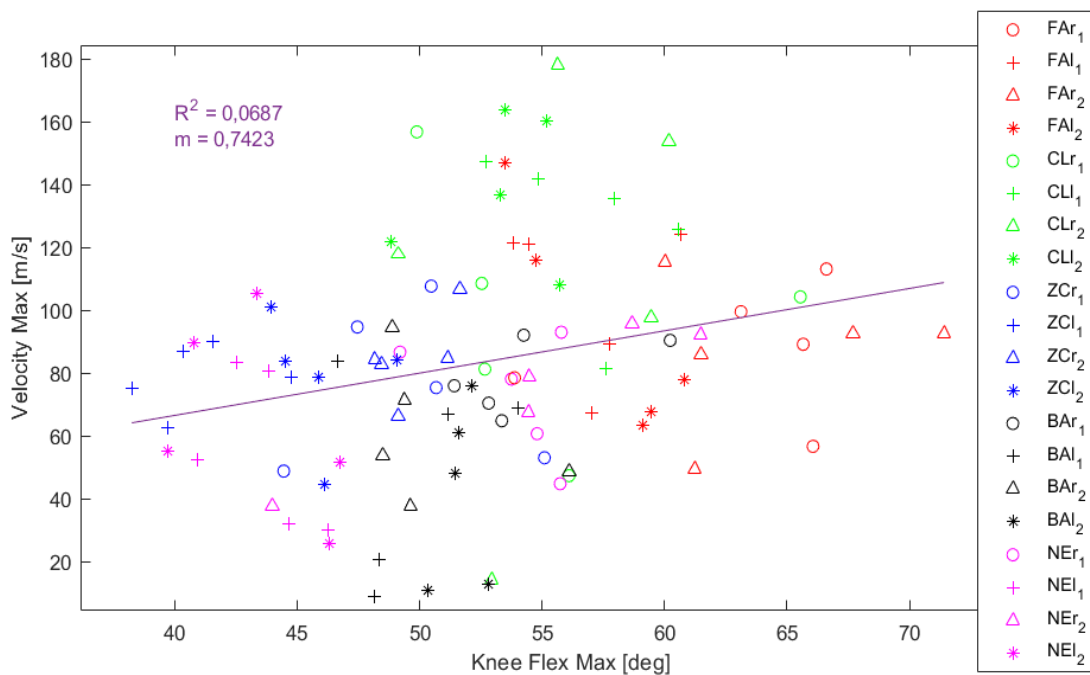


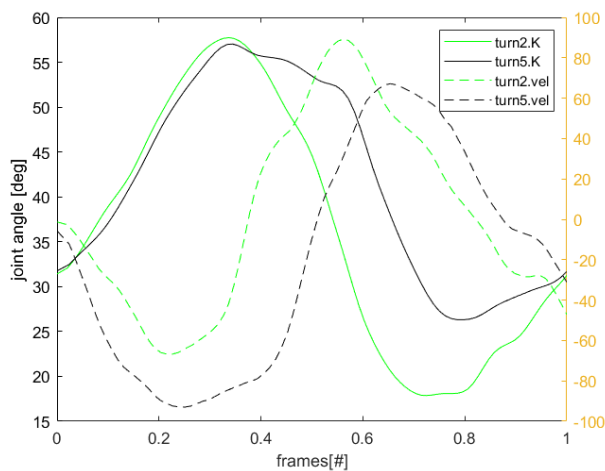
Figura 4.2: grafico punti massima flessione delle ginocchia e massima velocità delle pelvi di ogni curva con retta di regressione lineare

## 2. Esplosività del gesto tecnico:

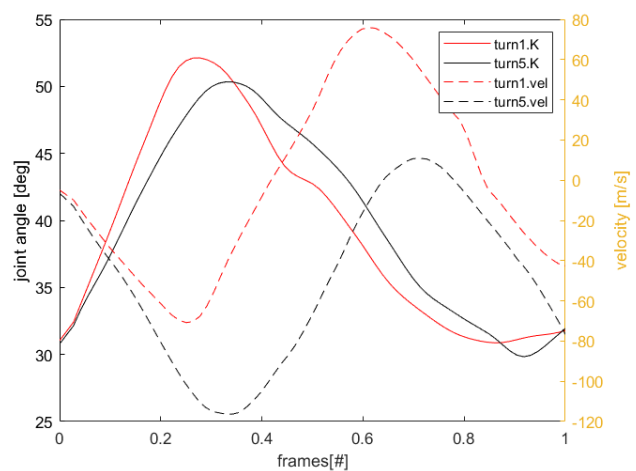
Di norma per acquisire più velocità durante la curva l'atleta deve svolgere una flessione delle ginocchia rapida ed esplosiva dirigendosi il prima possibile verso la curva successiva. È stata quindi analizzata l'esplosività del gesto tecnico, ovvero la durata della flessione delle ginocchia durante l'intervallo di curva. Si è deciso di verificare se le curve durante la quale i soggetti sono stati più tempo flessi sulle ginocchia (ovvero quelle che hanno una curva dell'angolo K più piatta), presentano velocità minore.

Nella fig. 4.3 sono riportati due esempi in cui è meglio spiegato il concetto, in particolare:

- La linea continua rappresenta l'angolo K;
- La linea tratteggiata rappresenta la velocità della zona pelvica;
- Ogni colore rappresenta una curva differente.



(a) soggetto 1 gamba sinistra curve 2 e 5



(b) soggetto 4 gamba sinistra curve 1 e 5

Figura 4.3: grafici particolare dell'angolo K e della velocità zona pelvica normalizzati rispetto al tempo

Attraverso questi due esempi:

- Nella fig. 4.3a si osserva che entrambe le curve presentano il punto massimo dell'angolo K circa uguale, ma la velocità presentata dalla curva raffigurata in verde è maggiore rispetto a quella della curva rappresentata con il colore nero. Si nota che la curva dell'angolo K nera è molto più piatta rispetto alla verde;

- Nella fig. 4.3b la curva rappresentata con il colore rosso fornisce una velocità molto maggiore rispetto alla curva raffigurata in nero, nonostante l'angolo K rosso non raggiunga un punto massimo molto maggiore dell'angolo K nero. Si può notare che l'angolo K rosso presenta una curva più a picco e quello nero più piatta.

Per verificare la validità generale di questo concetto, per ogni curva è stato calcolato il valore corrispondente all'80% del punto massimo dell'angolo K e sono stati contati quanti punti sono presenti sopra a questa percentuale. Nella figura 4.4 è riportato un esempio:

- Nel grafico a sx con linea continua e con differenti colori sono presenti due curve dell'angolo K del soggetto 3 e con linea tratteggiata l'80% del rispettivo punto massimo dell'angolo K;
- A dx, invece, attraverso un grafico a barre sono riportati il numero di punti appartenenti alle rispettive curve presenti sopra alla linea tratteggiata. Il grafico a barre rappresenta quindi l'esplosività del gesto: più la barra è bassa, meno la flessione del ginocchio è durevole e quindi più il gesto è esplosivo.

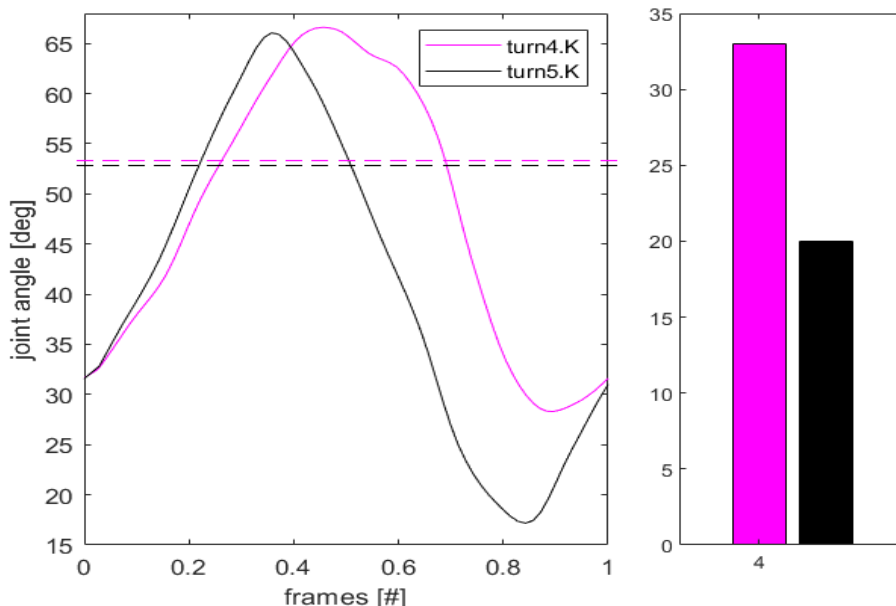
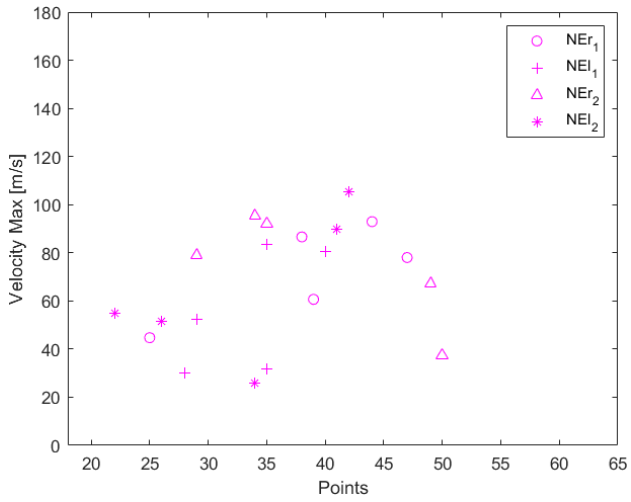
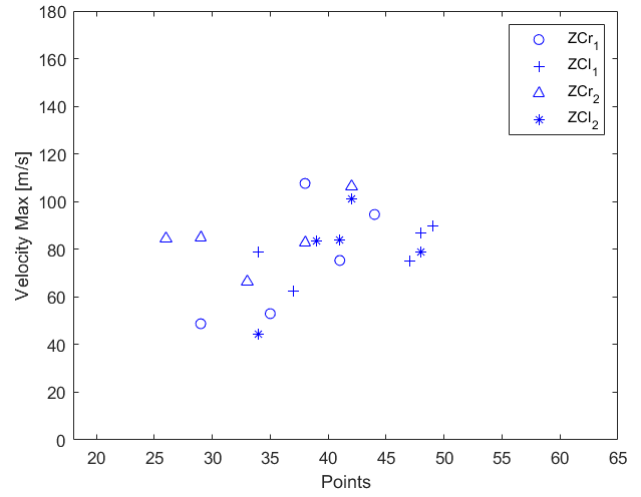


Figura 4.4: grafico con evidenziati i punti sopra all'80% del massimo dell'angolo K

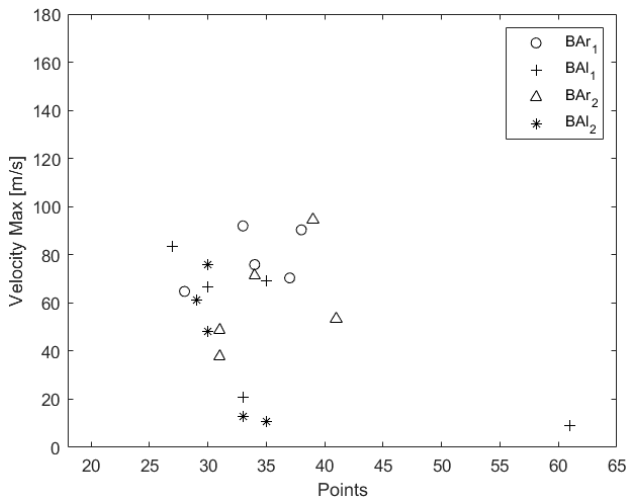
Quindi per ogni atleta è stato creato un grafico (fig 4.5) in cui sono presenti il punto di massima velocità delle pelvi (sulle ordinate) e il numero di punti tra il massimo dell'angolo K e l'80% dello stesso (sulle ascisse) per ogni curva.



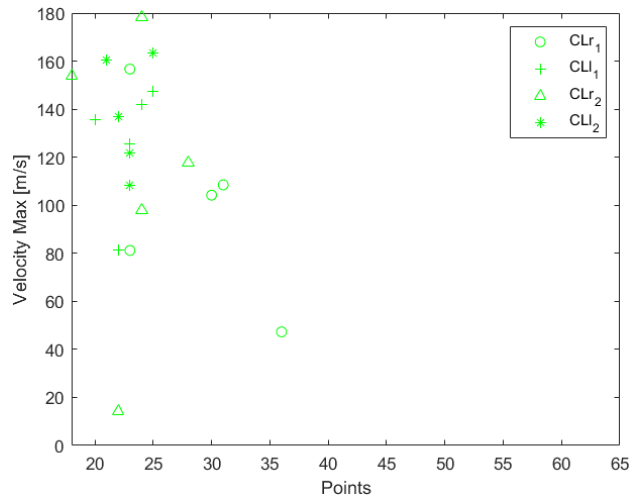
(a) soggetto 5



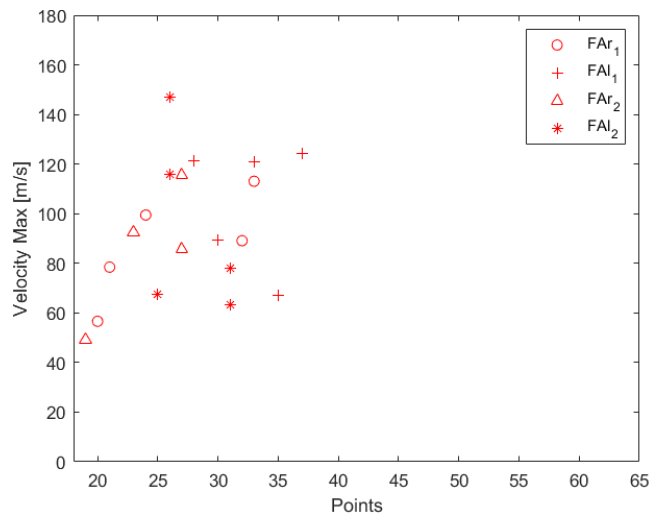
(b) soggetto 4



(c) soggetto 3



(d) soggetto 2



(e) soggetto 1

Figura 4.5: grafici punti massima velocità delle pelvi di ogni curva e punti sopra all'80% del massimo dell'angolo K

Successivamente per ognuno di essi è stata calcolata la regressione lineare, i coefficienti di correlazione risultano essere:

- Soggetto 1:  $R^2 = 0,1163$ ;
- Soggetto 2:  $R^2 = 0,1195$ ;
- Soggetto 3:  $R^2 = 0,1031$ ;
- Soggetto 4:  $R^2 = 0,1084$ ;
- Soggetto 5:  $R^2 = 0,1656$ ;

Tra la massima velocità delle pelvi di ogni curva e i punti sopra all'80% del massimo dell'angolo K, ovvero l'esplosività del gesto tecnico, è presente una correlazione maggiore rispetto a quella presente tra la massima flessione delle ginocchia e la massima velocità delle pelvi, ma è comunque molto scarsa.

Si può quindi concludere che sia la correlazione tra angolo K e velocità pelvi che quella dell'esplosività sono presenti ma non sono molto forti. Questo può essere causato dal fatto che in questo lavoro di tesi si è deciso di concentrarsi solo su alcuni parametri tralasciandone molti altri i quali sono comunque influenti sulla velocità dell'atleta (quali ad esempio l'angolo dell'anca e della caviglia).

Quest'ultima infatti è anche influenzata da:

- Dimensione delle ruote e tipo di pattino in linea (non tutti i soggetti avevano lo stesso equipaggiamento);
- Movimento delle braccia durante il gesto tecnico;
- Posizione dell'atleta propensa verso l'avanti o arretrata;

Per ottenere correlazioni più forti è quindi necessario ripetere le prove utilizzando il sistema Xsens completo e analizzare più atleti e più curve per ognuno, concentrandosi sull'intera cinematica dell'atleta.

## Conclusioni

In questa tesi è stato descritto l'inline alpine slalom, uno sport ancora poco conosciuto in Italia ma che si sta sviluppando molto all'estero. Visto i pochi studi che sono stati condotti a riguardo, si è deciso di svolgere un'analisi biomeccanica del gesto tecnico per valutare le performance degli atleti, in particolare sulla definizione e sullo sviluppo di un primo setup di misura per la valutazione cinematica dell'inline alpine.

Successivamente ad una descrizione dei materiali necessari e a un'analisi degli articoli scientifici sullo sci alpino, sport molto simile, si è deciso di analizzare solo gli arti inferiori e in particolare la flessione delle ginocchia, attraverso il sistema di misurazione cinematica inerziale Xsens Motion Capture di Movella, e le pressioni esercitate dai piedi sul pattino grazie alle solette strumentate Yeti della 221e.

I dati acquisiti dalle solette sono stati però esclusi in quanto dopo le prove preliminari si è notato che non erano completi, a causa della connessione bluetooth non stabile e della scarpetta del pattino troppo stretta.

Sono state quindi studiate due diverse correlazioni:

1. la relazione tra la flessione delle gambe e la velocità della zona pelvica dell'atleta durante la curva;
2. l'esplosività del gesto tecnico ovvero la relazione tra la flessione delle gambe dell'atleta e la durata del movimento.

È risultata una correlazione debole in entrambi i casi, questo poiché sono stati trascurati alcuni parametri, i quali risultano essere più influenti del previsto. Si propone quindi di svolgere nuovamente le prove analizzando più atleti e considerando la totalità della cinematica dell'atleta.

Nonostante questo, il presente lavoro di tesi rappresenta un primo approccio per lo studio dell'inline alpine, sport per ora poco studiato in letteratura. Il setup di misura studiato risulta essere un buon punto di partenza per uno studio oggettivo del gesto atletico. Tramite il setup di misura sviluppato è potenzialmente possibile studiare eventuali correlazioni tra parametri fisici e performance atletiche calcolando key-performance indicators (kpi) che possono aiutare gli allenatori e gli atleti di inline alpine a progredire in questo sport.

## Bibliografia

- [1] “Federazioni Italiana Sport Rotellistici” [Online]. Disponibile: <https://www.fisr.it/alpine-inline/la-disciplina.html>
- [2] “World Skate Rad, regolamento disciplina” [Online]. Disponibile: <https://www.worldskate-alpine.org/>
- [3] “Be Sport” [Online]. Disponibile: <https://besport.org/sportmedicina/pattinare>
- [4] Cigrovski V., Očič M., Bon I., Matkovič B. e Šagát P., “*Inline Skating as an Additional Activity for Alpine Skiing: The Role of the Outside Leg in Short Turn Performance*”, *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2022, 19, 1747
- [5] Hébert-Losier K., Supej M. e Holmberg H.C., “*Biomechanical Factors Influencing the Performance of Elite Alpine Ski Racers*”, Springer International Publishing Switzerland 2013
- [6] Lidia B. Alejo, Jaime Gil-Cabrera, Almudena Montalvo-Pérez, David Barranco-Gil, Jaime Hortal-Fondón e Archit Navandar, “*Performance Parameters in Competitive Alpine Skiing Disciplines of Slalom, Giant Slalom and Super-Giant Slalom*”, ”, *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2021, 18, 2628
- [7] Carla Pérez-Chirinos Buxadé, Josep Maria Padullés Riu, Dani Gavaldà Castet, Michela Trabucchi, Bruno Fernández-Valdés, Sílvia Tuyà Viñas e Gerard Moras Feliu, “*Influence of Turn Cycle Structure on Performance of Elite Alpine Skiers Assessed through an IMU in Different Slalom Course Settings*”, *Sensors* 2022, 22, 902.
- [8] Xsens [Online]. Disponibile: <https://www.movella.com/products/motion-capture>
- [9] 221e, mitch e solette [Online]. Disponibile: <https://www.221e.com/>