

POLITECNICO DI TORINO

Facoltà di Ingegneria
Corso di Laurea in Ingegneria Biomedica

Tesi di Laurea Magistrale

Studio del comportamento dinamico dello sci alpino
mediante sensori indossabili miniaturizzati



Relatore:
Prof. Aurelio Somà

Candidata:
Elena Puppo

Ottobre 2021

Ringraziamenti

Desidero ringraziare il professore Aurelio Soma', relatore della mia tesi, per avermi concesso l'opportunità di sviluppare uno studio per il quale oltre ad avere applicato le mie conoscenze ingegneristiche acquisite in questi anni di università, mi ha portato anche ad applicare le mie conoscenze e abilità in ambito sciistico.

Ringrazio l'azienda Gabel s.r.l., la quale mi ha fornito i dati necessari per portare avanti il mio studio.

Ringrazio inoltre Caterina Russo, co-relatrice della mia tesi, la quale mi ha seguito, aiutato e supportato in questi mesi di lavoro insieme.

Un ringraziamento particolare va alla mia piccola famiglia, mamma Micaela, papà Stefano, zia Anna e zio Giuliano, la quale mi è sempre stata vicino soprattutto quando le cose si sono fatte difficili e mi ha sempre dato una forte motivazione nell'andare avanti e credere sempre in me stessa e nelle mie capacità.

Desidero ringraziare i miei due più grandi amici che ho trovato all'interno della realtà del politecnico, Andrea P., la prima persona che ho conosciuto all'interno dell'università, mio primo compagno di studio e con il quale condivido una forte amicizia, e Cristina S., la mia fedele compagna e soprattutto amica di corso, una grande complice con cui ho condiviso molte avventure sia dentro che fuori dall'università.

Ringrazio inoltre due persone che, in momenti diversi della mia carriera universitaria, hanno avuto un ruolo molto importante nella mia vita e mi sono stati molto vicini sopportandomi e supportandomi al meglio, i quali mi hanno sempre ricordato di non arrendermi mai, Andrea S. e Simone P.

Infine, vorrei ringraziare le mie più grandi amiche che mi hanno sempre aiutato e sostenuto sulle mie scelte e incoraggiato ad andare avanti in questo percorso, Benedetta G., Noemi O., Carlotta S. e Margaux C.

Sommario

0. Abstract.....	5
1. Introduzione.....	5
1.1 Storia dello sci.....	6
1.1.a Lo sci in Italia.....	7
1.2 Attrezzatura.....	8
1.3 Tecnica dello sci alpino.....	14
1.3.a Movimenti fondamentali.....	14
1.3.b Progressione di uno sciatore.....	14
1.4 Discipline sci alpino.....	17
1.5 Obiettivo tesi.....	20
2. Analisi del movimento.....	21
2.1 Storia sistemi di analisi.....	21
2.2 Sistemi di analisi moderni (Motion Capture)	23
2.3 Sensori utilizzati per lo studio in analisi.....	31
2.3.a Filtri Sensor Fusion.....	32
3. Studi scientifici sullo sci alpino.....	35
3.1 Riferimenti studi scientifici.....	35
3.2 Studio sulla cinematica, e sull'accuratezza dei dati acquisiti sul campo.....	37
3.3 Studio sulla classificazione della sciata tramite sensori inerziali.....	38
3.4 Considerazioni sugli studi effettuabili in ambito sciistico.....	39
..	
4. Studio preliminare sui sensori utilizzati.....	40
4.1 Accelerometro.....	40
4.2 Accelerometro e Giroscopio.....	42
4.3 Angolo relativo tra due sensori.....	45
5. Cinematica dello sci alpino: risultati prove sensori utilizzati.....	49
5.1 Sistemi di misura utilizzati per lo sci alpino.....	49
5.2 Sincronizzazione temporale dei sensori.....	51
5.2.a Pozza di Fassa.....	51
5.2.b Melette di Gallio.....	56
5.2.c Commenti.....	58
5.3 Prove sperimentali Slalom Gigante.....	58
5.3.a Prove eseguite a Pozza di Fassa.....	59
5.3.b Confronti tra Atleti	71
5.4 Prove sperimentali in Slalom Gigante.....	75
5.4.a Prove eseguite a Pozza di Fassa.....	75
5.4.b Analisi e Commenti Atleti a Pozza di Fassa.....	85
5.4.c Melette di Gallio.....	88
5.4.d Analisi e Commenti Atleti a Melette di Gallio.....	101
6. Conclusioni.....	105
6.1 Possibili studi futuri.....	106
7. Appendice.....	107
7.1 Slalom gigante Pozza di Fassa.....	107
7.2 Sloalom Speciale Pozza di Fassa.....	110
7.3 Slalom Speciale Melette di Gallio.....	112
8. Bibliografia	115

0. Abstract

Lo studio della prestazione sportiva con l'utilizzo di sensori sta avendo un grande sviluppo negli ultimi anni, in questa tesi ci siamo concentrati sul comportamento dinamico dello sci alpino. Sono state analizzate le prestazioni sportive di atleti di buon livello in due differenti discipline, Slalom gigante e Slalom Speciale. I sensori utilizzati per lo studio sono sensori inerziali miniaturizzati da cui abbiamo acquisito i dati provenienti da accelerometro e giroscopio. L'acquisizione dei dati risulta semplice poiché i sensori sono direttamente collegati allo smartphone tramite bluetooth, per cui una volta terminata la registrazione durante la prova possono essere direttamente scaricati e inviati tramite mail al nostro computer che utilizzeremo per elaborarli. I sensori utilizzati sono cinque posizionati rispettivamente: uno per ogni scarpone, attaccato al gambaleto posteriore, uno per ogni bastoncino, posizionato sotto la manopola di impugnatura e l'ultimo sulla schiena nella parte centrale lombare. Lo scopo della tesi è ritrovare gli errori che l'atleta effettua durante la discesa nei dati analizzati, per fare ciò ci siamo serviti anche di un'analisi video, così da analizzare prima la sciata da un punto di vista tecnico sciistico e successivamente ricercare gli errori riscontrati a video nei dati a nostra disposizione.

1. Introduzione

Lo sci alpino è una tecnica sportiva che viene praticata in montagna su delle discese innevate, dette piste, lungo le quali lo sciatore scende verso valle tramite attrezzature, gli sci, i quali sono collegati ai piedi tramite gli scarponi che si agganciano agli sci per mezzo degli attacchi.

Nello studio in analisi gli sciatori hanno eseguito delle prove in due tipi di tracciati differenti, Slalom Gigante e Slalom Speciale, gli atleti quindi erano vincolati ad eseguire delle prove con delle curve predefinite.

Per ogni prova sono stati calcolati il tempo di esecuzione dell'intera prova, il tempo medio di esecuzione delle curve eseguite verso destra e quelle eseguite verso sinistra, il numero di curve totale distinguendo anche tra curve destre, sinistre, lunghe, doppie e triple, gli angoli di rollio e imbardata medio degli scarponi.

Durante la discesa dell'atleta si è utilizzato un sistema di ripresa video semplice, un'unica telecamera che riprendeva l'atleta dal fondo del tracciato.

La ripresa video è stata il punto iniziale di analisi delle caratteristiche tecniche dello sciatore, si è quindi eseguita una valutazione tecnico sciistica su questi. Una volta individuati gli errori principali commessi dagli atleti e le differenti tecniche tra atleti differenti si è incominciato a lavorare sui dati acquisiti dai sensori, ricercando le caratteristiche trovate a video nei dati a nostra disposizione.

Le principali caratteristiche che abbiamo individuato nei dati sono inerenti al movimento delle braccia durante una prova sia di Gigante che di Slalom, in questa ultima specialità tramite il movimento delle braccia si possono differenziare gli atleti che anticipano l'ingresso curva con la ricerca del palo tramite la parte alta del corpo e quelli che eseguono un movimento più corretto. Si sono inoltre identificate le inclinazioni interno curva degli atleti e si è dato un giudizio sulle inclinazioni più o meno marcate a seconda del segmento corporeo da dove sono state registrate.

1.1 Storia dello sci alpino

L'origine di tutte le invenzioni dell'uomo l'antico adagio recita: "La necessità aguzza l'ingegno", anche la nascita dello sci è avvenuta inizialmente per necessità dell'uomo. Nei paesi nordici serviva un modo per spostarsi più agevolmente e percorrere distanze anche lunghe nel minor tempo possibile attraversando terreni sconnessi e quasi sempre ricoperti da una coltre bianca. [1] Per le popolazioni nordiche lo sci era un vero e proprio mezzo di trasporto, veniva utilizzato negli spostamenti ma non solo, anche per la caccia, nell'affrontare delle guerre e per i commerci. L'utilizzo di questi attrezzi era più simile allo sci di fondo, che si pratica su terreni piani o poco pendenti.



Figura 1 Prime immagini di sciatori

Lo sci alpino in senso moderno ha cominciato a diffondersi nel diciannovesimo secolo ed entrato nell'immaginario comune con l'avvento della televisione. [2]

Il primo impianto di risalita fu costruito nel 1908 in Germania e diede un nuovo impulso a questo sport che negli anni seguenti iniziò anche a essere un'attività ricreativa e le località sciistiche un'attrazione turistica.

Tra fine Ottocento e inizio Novecento lo sci prende piede in tutte le zone montane in Europa, America, Nuova Zelanda e Australia e sono fondati i primi club locali di sci.

Questo sport si diffuse nelle valli alpine piemontesi e nel 1901 fu fondato il primo sci club italiano, lo Ski Club Torino. La diffusione dello sci in tutto l'arco alpino portò alla fondazione di altri club locali che si riunirono costituendo della Federazione Italiana dello Sci (FIS) nel 1920. Attualmente la federazione italiana ha denominazione FISI (Federazione Italiana Sport Invernali) e comprende anche altri sport oltre allo sci come snowboard, slittino, bob. A livello internazionale è stata fondata nel 1924 la FIS (Federazione Internazionale Sci), e lo sci alpino diventa disciplina olimpica, durante le olimpiadi invernali di Garmisch-Partenkirchen in Germania nel 1936 [3].

1.1.a Lo sci in Italia

Nel 1897 l'ingegnere svizzero, Adolfo Kind,[6] residente a Torino si fece spedire il primo paio di sci, lunghi 2 metri e 20 centimetri e larghi 10 centimetri, questo è stato il primo paio di sci ad arrivare sulle Alpi. Adolfo iniziò ad usare gli sci effettuando le prime uscite sulle Alpi, molti amici si unirono a lui e il 21 dicembre 1901 fondarono il primo sci club, Ski Club Torino.

Nel 1908 il figlio di Adolfo fondò l'Unione sci club italiani che nel 1920 diede origine alla Federazione italiana Sci, che sarebbe diventata nel 1933, l'attuale FISL.

Inizialmente la tecnica dello sci venne modificata e migliorata in Austria e Svizzera, in Italia continuava a rimanere la tecnica del tallone sollevato, Telemark. Solo con la fine della Grande Guerra (1915-1918) lo sci inizia a diffondersi in modo rilevante nelle valli alpine italiane, soprattutto quelle che erano territori austriaci prima della guerra. Vennero ritrovati, nei forti austroungarici, centinaia di sci di fabbricazione austriaca con l'attacco che bloccava il tallone. Grazie al ritrovamento di questi sci in breve tempo anche i giovani italiani impararono la nuova tecnica dello sci alpino.

Dalla fine della grande Guerra e per tutti gli anni Venti la pratica dello sci si diffuse in modo rilevante sulle montagne italiane. Si disputarono gare, sorsero le prime locande alpine per le vacanze e si tennero le prime lezioni di sci, impartite dagli sciatori più bravi che vincevano le gare, non esisteva ancora la figura del maestro.

Nell'inverno 1932-33 si tennero le prime selezioni per maestri di sci Italiani. Il 18 Novembre 1963 a Milano nacque l'Amsi, a tutela della professione del maestro, la cui paziente opera determinerà nel 1991 la Legge "Quadro" per l'insegnamento dello sci in Italia, da cui prenderanno vita i collegi regionali e, l'anno successivo, il Collegio Nazionale.

1.2 Attrezzatura

L'attrezzatura da sci ha un ruolo decisamente importante nella pratica della attività sciistica.

Sci

Lo sci è l'elemento dell'attrezzatura che ha il compito di consentire lo scivolamento dello sciatore e di garantire il controllo della velocità e delle traiettorie durante la discesa, [4] [6] lungo e piatto i primi sci erano fatti completamente di legno oggi sono costituiti da diversi materiali in lamine sovrapposte così da avere migliori prestazioni meccaniche. Gli elementi costitutivi sono nucleo, superficie, fianchi, soletta, lamine, elementi di rinforzo, piaste e rialzi.



Figura 2 Sci [4]

Il **nucleo** è la parte interna dello sci che ne determina il comportamento meccanico. Può essere costituito da vari materiali come legno, schiume sintetiche oppure compositi a nido d'ape. La sua costruzione conferisce allo sci le caratteristiche comportamentali per cui è progettato.

La **superficie** è la parte superiore esterna dello sci, può essere realizzata in materiale metallico o plastico. La sua funzione è di rivestimento e di chiusura della parte portante dello sci detta anima o nucleo. La superficie è preposta alla cosmetica dello sci. Può essere sia verniciata, che stampata per mezzo di tecniche come la sublimazione. In alcuni casi può anche svolgere un ruolo strutturale come nella costruzione detta "monoscocca".

I **fianchi** sono elementi laterali che corrono su entrambe i lati lungo tutto lo sviluppo longitudinale dello sci. Assieme alla superficie hanno il compito di chiudere il nucleo. Durante la discesa consentono di trasmettere alle lamine i movimenti dello sciatore e, viceversa trasmettono le informazioni del terreno allo sciatore. Possono essere realizzati in diversi materiali, generalmente plastici. Le differenti durezze influenzano il comportamento meccanico dello sci, modificandone la torsione e il flex.

La **soletta** è un foglio di polietilene che permette lo scivolamento sulla neve. Per aumentare la scorrevolezza, il polietilene può essere anche arricchito di grafite (solette nere). Posso aumentare la sua prestazione ricoprendola con uno strato di cera, la sciolina.

Le **lamine** sono elementi metallici, generalmente realizzati in acciaio, che hanno il compito di incidere le nevi più dure e/o ghiacciate per garantire il controllo della velocità, la percorrenza delle traiettorie impostate e la sicurezza dello sciatore.

Gli **elementi di rinforzo** sono utilizzati nella costruzione dello sci e sono tipicamente in metallo e/o in fibra. Generalmente questi rinforzi sono inseriti tra la superficie, la soletta e il nucleo centrale. In molti casi sopra il nucleo di legno viene anche chiuso dentro un avvolgimento di fibre (vetro e/o carbonio, chiamata cassa anti-

torsione). Questa lavorazione ha lo scopo di aumentare le resistenze torsionali. L'orientamento delle fibre svolge un ruolo fondamentale per ottenere diversi risultati di resistenza torsionale.

Le **piaste** sono sistemi esterni, fissati agli sci per mezzo di viti che hanno lo scopo di alzare il piano di appoggio dello scarpone (offrendo maggiore leva per incrementare la presa di spigolo e gli angoli d'inclinazione) – Le piastre, se dotate di elementi antivibranti, svolgono inoltre un ruolo di stabilizzatore dello sci e utilizzate su sci di alte prestazioni o da competizione.

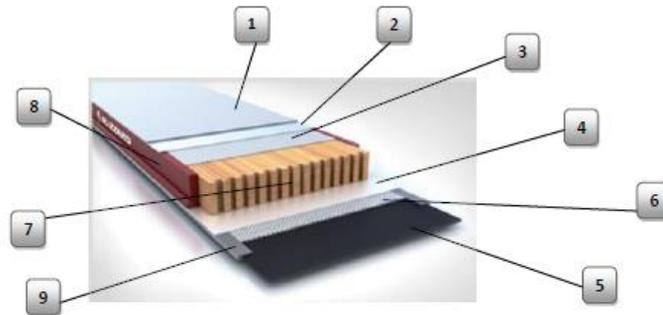


Figura 3 Costruzione dello sci. (1) copertura esterna; (2,4) lamina in alluminio; (3,6) materiale composito a matrice polimerica; (5) soletta; (7) legno; (8) fianchetti; (9) lamina. [4]

Parametri importanti dello sci sono la sciancratura, la flessione, la torsione e la risposta elastica.

La **Sciancratura** è la forma geometrica determinata dalla differenza di larghezza tra le estremità (spatola e coda) dello sci e il centro. Unendo questi punti si otterrà un arco che determina il raggio di curva statico di uno sci (detto anche raggio di sciancratura). I raggi di curvatura variano da sci a sci e a seconda della sciata e dell'uso che ne fa l'atleta. Valori di raggi tipici si aggirano tra i 14-20 metri per gli sci commercialmente usati, raggi minori vengono utilizzati per praticare lo slalom e raggi maggiori per le specialità veloci, come supergigante e discesa libera

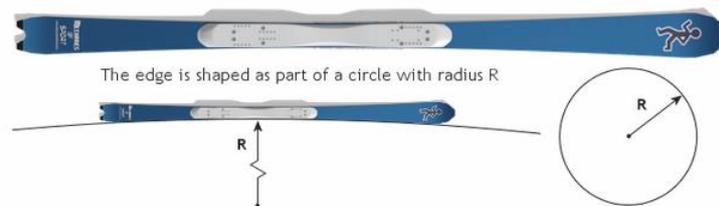


Figura 4 Sciancratura laterale dello sci [4]

La **larghezza** dello sci è indice dell'attitudine dello sci a essere utilizzato sui diversi tipi di terreno. Sci stretti (63-70mm) sono maggiormente indicati per uso in pista. Sci più larghi (90-120mm) aumentano l'attitudine al galleggiamento per un utilizzo su nevi appena caduta, freeride, o in fase di scioglimento, neve primaverile.

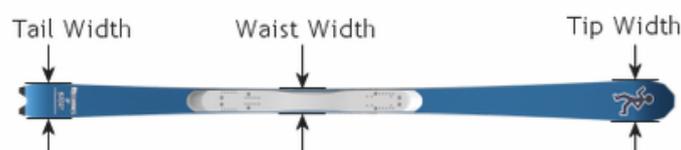


Figura 5 Larghezza dello sci [4]

La **lunghezza** dello sci dipende dall'altezza dello sciatore, alla tipologia di sciata, e in base alla tipologia di disciplina, discipline veloci prediligono sci più lunghi, discipline più lente ma più rapide nei cambi di direzione prediligono sci più corti



Figura 6 Lunghezza dello sci [4]

La **rigidezza a Flessione** è la proprietà dello sci di deformarsi longitudinalmente, se opportunamente sollecitato da una pressione. I differenti sistemi di realizzazione delle strutture possono determinare diversi risultati nella flessione. Per sci destinati a uso agonistico o ad alte prestazioni viene realizzata una struttura capace di resistere a carichi elevati. Quando uno sci è progettato per sciatori leggeri o con capacità tecniche non elevate, si preferisce un flex più morbido. Per sci destinati al Freeride si opta per durezze differenziate, con estremità più morbide che facilitano la galleggiabilità, mentre l'area centrale più dura consente di ottenere migliore tenuta dello sci in presenza di nevi più compatte;

La **rigidezza a torsione** è la deformazione in senso elicoidale che lo sci subisce quando è appoggiato sugli spigoli. Sci particolarmente resistenti a questa deformazione sono indicati per uso in pista, su nevi compatte o dure. Gli sci sono molto precisi nella conduzione ma sono particolarmente nervosi e richiedono ottima tecnica per la gestione dell'esecuzione delle curve. Viceversa, sci meno resistenti a questa deformazione aumentano la maneggevolezza a basse velocità, perdonano eventuali carenze tecniche ma offrono minore capacità di tenuta su nevi dure;

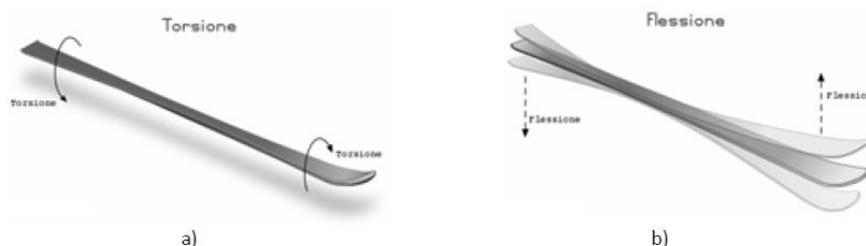


Figura 7 Sci soggetto a sollecitazioni torsionali (a) e flessionali (b) [4]

La **risposta elastica** è la proprietà dello sci di ritornare alla sua condizione iniziale dopo essere stato sollecitato. Sci che hanno un ritorno (risposta elastica) più veloce sono più indicati per esecuzioni di curve ad arco breve. Al contrario un ritorno meno rapido caratterizza sci destinati all'esecuzione di archi lunghi.

Attacchi

Gli sci sono fissati alla punta e al tallone degli scarponi per mezzo degli attacchi. L'attacco ha un sistema di sicurezza con un meccanismo a molle che permette di sganciare gli scarponi quando sono sottoposti a sforzo elevato, ad esempio di torsione in caso di caduta, così da prevenirne gli infortuni. Oggi l'evoluzione tecnica, specialmente nel settore alpino, ha consentito una notevole riduzione degli infortuni, gli attacchi riescono a proteggere da tutti i tipi di cadute siano esse in avanti, all'indietro e laterali. [5]

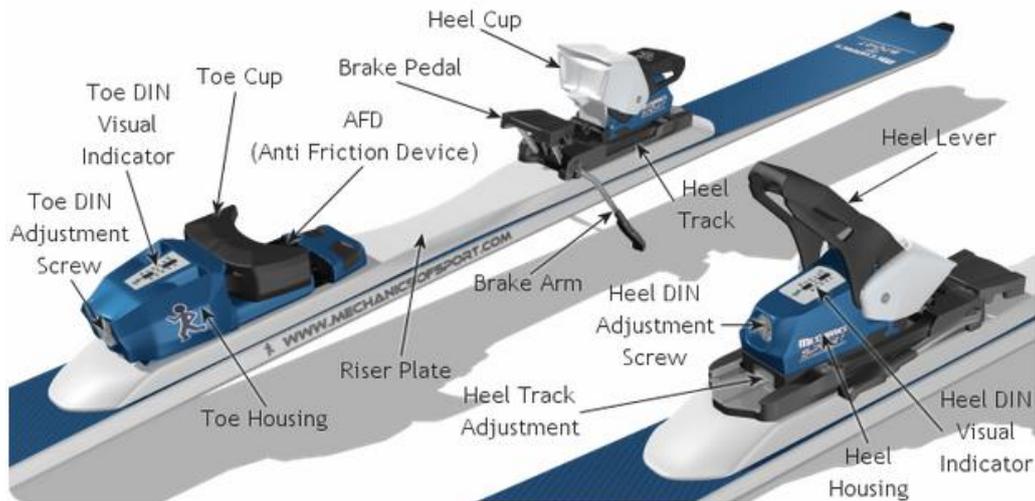


Figura 8 Attacchi dello sci [4]

Gli attacchi sono formati dal puntale (Toe Cup) e la talloniera (Heel Cup) sono le parti che tengono bloccato lo scarpono.[4] La talloniera permette di agganciare e sganciare gli scarponi per mezzo di una leva (Heel Lever). Quando gli scarponi non sono agganciati gli attacchi hanno un freno con due aste (Brake Arm) che bloccano lo sci nella neve. Quando si agganciano gli scarponi agli attacchi si preme il freno (Brake Pedal) e le aste si sollevano liberando lo sci. Anche la talloniera ha un sistema di sgancio automatico dello scarpono, quando è eccessivo lo sforzo lungo l'asse dello sci il tallone dello scarpono viene sganciato verso l'alto. Gli attacchi sono comunemente montati su una base (Riser Plate) che aumenta l'altezza degli scarponi da terra che danno anche una maggiore reattività all'atleta nell'inversione dello spigolo tra una curva e l'altra. Nelle competizioni questa piastra non può superare una certa altezza altrimenti reputata fuori regolamento.

Gli attacchi vengono regolati e adattati alle caratteristiche dello sciatore, bisogna regolare la lunghezza in modo che lo scarpono si possa agganciare correttamente, questa quindi viene regolata in base alla lunghezza dello scarpono, inoltre bisogna regolare il livello di sforzo, il limite oltre il quale l'attacco si sgancerà limitando così gli infortuni agli arti inferiori. Per questa regolazione si usa una scala, valore DIN, il quale viene valutato in base al peso dello sciatore, alla sua età e alla sua abilità di sciata. La taratura del valore di DIN è effettuata regolando le molle interne al puntale e la talloniera con una vite.

Scarponi

Lo scarpone da sci è l'elemento dell'attrezzatura preposto ad «unire» il corpo dello sciatore al sistema attacco-sci.

Lo scarpone svolge l'importante compito di trasmettere tutti i movimenti sia dallo sciatore allo sci, che viceversa fornire allo sciatore tutte le "informazioni" provenienti dal terreno. [6]



Figura 9 Scarpone da sci [4]

Gli elementi costitutivi dello scarpone sono:

Lo **scafo** è l'elemento che ospita la parte inferiore del piede, generalmente realizzato in materiale plastico, e dotato di fori di snodo del gambetto.

Il **gambetto** è l'elemento superiore dello scarpone, preposto al contenimento e fasciatura della parte inferiore della gamba dello sciatore. Fissato allo scafo mediante 2 o più borchie che servono a garantire il movimento antero-posteriore della tibia. Il gambetto svolge l'importante compito di trasmissione impulsi (frontale/laterale) ma anche quello di sostegno dello sciatore (parte posteriore).

La **scarpetta** è l'elemento che è a diretto contatto col piede e gamba dello sciatore. È a sua volta costituita da vari elementi quali, la fodera che costituisce la parte interna della scarpetta, la Tomaia parte esterna della scarpetta a diretto contatto con lo scafo, l'imbottitura la quale riempie gli spazi tra fodera e tomaia e il linguettone parte frontale della scarpetta, il quale garantisce l'appoggio della zona tibiale.

I **Ganci e Rastrelliere** sono elementi di chiusura che sfruttano il principio delle leve di primo genere per esercitare una forza tangenziale che consente l'avvicinamento dei lembi dello scarpone e il conseguente avvolgimento del piede.

Le **Viti e Rivetti** sono elementi meccanici che servono a fissare vari elementi a scafo e gambetto.

Le **Borchie** sono elementi meccanici che svolgono il ruolo di «snodo» per garantire la rotazione del gambetto sull'asse malleolare – l'eventuale forma eccentrica può favorire l'inclinazione laterale del gambetto per adattarsi alla forma anatomica dello sciatore, tale regolazione è nota come CANTING.

La **Fascia velcro** è una fascia posta nella parte superiore del gambetto che garantisce un'ulteriore chiusura del gambetto favorendo l'ideale aderenza della scarpetta alla gamba dello sciatore.

I parametri che danno un'indicazione di utilizzo e posizionamento di uno scarpone sono:

La **Lunghezza** è generalmente la misura dello scarpone è espressa secondo le taglie MONDO POINT, trattasi dell'indicatore della misura in millimetri interna dello scarpone

La Forma (Pianta) è il parametro che indica il volume di alloggiamento del piede. In generale si indica la larghezza espressa in millimetri dell'ampiezza della zona metatarsale. In alcuni casi viene anche indicato un valore volumetrico dello scarpone. Più lo scarpone è largo più è indicativamente confortevole ma al contempo offre minore contatto tra scafo e piede con conseguente perdita di precisione nella trasmissione dei movimenti.

L'**Indice di flessione** (Flex) è parametro indicativo che rappresenta il valore di resistenza che lo scarpone offre alla forza di piegamento anteriore. Più è alto l'indice di flessione più lo scarpone può definirsi rigido.

Bastoncini

I bastoncini vengono utilizzati dagli sciatori per darsi il ritmo nell'esecuzione delle curve, soprattutto quelle a raggi corto, per dare equilibrio all'atleta e per spostarsi nelle zone pianeggianti.[4]



Figura 10 Bastoncini da sci [4]

I bastoncini sono formati da impugnatura, laccio, asta, puntale e rondella.

L'impugnatura è quella che mi permette di tenere in mano i bastoncini, ha tipicamente una forma ergonomica.

I **lacci** servono a tenere legati i bastoncini alle mani e hanno una grandezza regolabile.

L'asta è la parte principale dei bastoncini, fatta tipicamente in alluminio o carbonio. Solitamente è di forma rettilinea ma può assumere forme differenti, più curvate, che seguono la linea del corpo, per dare più aerodinamicità agli sciatori durante le competizioni, soprattutto quando si è in posizione a 'uovo'.

Il **puntale** è la parte del bastoncino che affonda nella neve, possono essere fatti da un rivestimento metallico direttamente sull'asta oppure essere una componente separata dall'asta.

La **rondella** è la parte in plastica a forma di disco che serve a evitare un eccessivo affondamento del bastoncino nella neve. Ha un diametro di circa 5 cm.

1.3 Tecniche dello sci alpino

1.3.a Movimenti fondamentali

Sono stati identificati quattro movimenti fondamentali nella tecnica dello sci alpino, [6] questi si caratterizzano per ampiezza, velocità, intensità, direzione e tempismo esecutivo del movimento.

Le combinazioni dei movimenti possono servire a costruire esercizi che consentano il raggiungimento dell'abilità. Per raggiungere l'obiettivo tecnico lo sciatore deve sperimentare e conoscere i quattro movimenti fondamentali in diverse situazioni.

I quattro movimenti fondamentali sono.[4]

1. Rotazione/Torsione sull'asse longitudinale del corpo
2. Antero Posteriore sull'asse sagittale del corpo
3. Inclinazione su asse trasversale del corpo
4. Alto Basso su asse longitudinale del corpo

Ognuno di questi movimenti ha un diverso utilizzo in riferimento ai livelli tecnici, [7] ad esempio le inclinazioni saranno maggiori in uno sciatore esperto, il quale sostiene velocità maggiori, rispetto ad uno sciatore principiante.

Le **Rotazioni** degli sci, in sciatori esperti che sciano a sci paralleli, impongono la direzione del movimento. Le rotazioni di bacino e spalle non sono sempre uguali alla rotazione degli scarponi ma aiutano lo sciatore nel controllo del movimento, le spalle sono rivolte verso la discesa.

I movimenti **Antero Posteriori**, avanti e indietro, influiscono sulla centralità del corpo rispetto agli sci. Servono per distribuire il peso dello sciatore uniformemente lungo l'asse longitudinale degli sci. Il centro di massa dello sciatore deve essere sopra il centro di massa degli sci, infatti, essendo gli attacchi montati più verso la parte posteriore degli sci, questo deve tenere una posizione leggermente flessa in avanti con le ginocchia piegate, busto dritto e spalle in avanti.

Le **inclinazioni** del corpo verso l'interno servono per portare lo sci sulle lamine così da avere la 'presa di spigolo' e garantire il movimento dello sci lungo la sua direzione longitudinale. Tramite le inclinazioni lo sciatore riesce a mantenere l'equilibrio tra la forza peso, forza di reazione della neve sugli sci, e la forza centrifuga, che tende a tirare lo sciatore verso l'esterno della curva.

I movimenti **Alto Basso** sono regolati da una maggiore o minore flessione delle anche e delle ginocchia. Durante la fase di curva ho un'estensione del corpo nella prima parte di curva e una flessione nella seconda parte. I movimenti alto basso servono anche per seguire le deformazioni del terreno, come gobbe, avvallamenti o buchi.

1.3.b Progressione di uno sciatore

Uno sciatore attua una progressione nell'apprendimento della tecnica ed esecuzione di questa. Inizialmente si distinguevano tre livelli: Bronzo, Argento e Oro, ancora oggi molto usati per distinguere i livelli di sciata. Recentemente la Fisi ha aggiornato la distinzione dei livelli numerandoli dal Livello 1 fino al Livello 7 per dare una migliore continuità nella progressione dell'apprendimento.

Per dare una distinzione della tecnica sciistica da principiante a professionista distinguiamo quattro tipologie di curve che rappresentano la progressione dell'apprendimento.

- Curva a Spazzaneve
- Curva Virata
- Curva sci Paralleli
- Curva Sportiva

Curva Spazzaneve

Lo spazzaneve è la prima tecnica che si insegna a adulti e bambini nella pratica dello sci. Consiste in una posizione in cui abbiamo le punte degli sci vicini e le code lontane, a seconda della velocità che si vuole avere si possono aprire più o meno le code. [6]

Da un punto di vista tecnico la diminuzione della presa di spigolo avviene contemporaneamente alla rotazione di entrambi gli sci che continua durante tutta la curva. La parte alta del corpo favorisce la rotazione degli arti inferiori nel senso della curva. Dalla massima pendenza in poi il carico sullo sci esterno avviene contemporaneamente ad un abbassamento del baricentro e un aumento della presa di spigolo. Queste azioni determinano una traiettoria curvilinea e consentono di controllare la velocità di avanzamento.

Dal testo tecnico dei maestri di sci del Piemonte l'esecuzione della curva a spazzaneve viene descritta come:

“Dalla curva precedente, mantenendo la posizione a spazzaneve, iniziare la curva successiva tramite la diminuzione della presa di spigolo e la contemporanea azione rotatoria degli arti inferiori. Dalla massima pendenza proseguire la traiettoria di curva ricercando il carico sullo sci esterno, continuando l'azione rotatoria. Il segmento superiore del corpo rimane solidale con i segmenti inferiori e collabora al mantenimento della centralità”.

Curva Virata

La Virata è il passaggio intermedio tra la sciata a spazzaneve e quella a sci paralleli, si esegue una parte di curva, quella sulla massima pendenza, con la posizione a spazzaneve per poi riavvicinare lo sci interno a quello esterno con una sbandata ed eseguire la seconda parte della curva con gli sci paralleli. [6]

Da un punto di vista tecnico attraverso la diminuzione dell'angolazione si riduce la presa di spigolo che consente di cambiare direzione. La rotazione di entrambi gli arti inferiori avviene contemporaneamente all'apertura di entrambi gli sci a spazzaneve, lo spazzaneve serve a generare sicurezza nello sciatore che si trova ad affrontare un aumento di pendenza. Dalla massima pendenza in poi il carico sullo sci esterno avviene contemporaneamente all'avvicinamento dello sci interno a quello esterno. L'abbassamento del baricentro, l'aumento dell'angolazione e l'azione rotatoria consentono di determinare una traiettoria curvilinea che permette il controllo della velocità di avanzamento.

Dal testo tecnico dei maestri di sci Piemonte l'esecuzione della Virata viene descritta come:

“Dalla curva precedente, diminuendo l'angolazione, iniziare la curva successiva tramite l'azione rotatoria degli arti inferiori e la contemporanea apertura a spazzaneve. Dalla massima pendenza riavvicinare lo sci interno a quello esterno, proseguire con l'azione rotatoria ricercando il carico sullo sci esterno in angolazione.

La parte superiore del corpo collabora al mantenimento della centralità e alla distribuzione del carico sullo sci esterno gestendo le inerzie rotazionali.”

Curva sci Paralleli

L'esecuzione della discesa è effettuata tutta a sci paralleli con l'aiuto dell'appoggio del bastone, l'apertura dell'appoggio mi aiuta anche a regolare l'ampiezza delle curve che andrò ad eseguire, un appoggio più vicino al corpo verso la punta degli sci mi porta ad eseguire curve più ampie, un appoggio del bastone più lontano dal corpo e all'altezza del puntale dell'attacco mi porta ad eseguire curve più strette, poiché vado ad indirizzare la parte alta del corpo verso la massima pendenza in maniera più rapida e marcata. [6]

Da un punto di vista tecnico l'appoggio del bastone è determinante per avere un coretto tempismo esecutivo ed effettuare la traiettoria di curva voluta. Una contemporanea diminuzione dell'angolazione abbinata all'appoggio de bastone permette di effettuare il cambio degli spigoli che varierà in funzione della velocità, della traiettoria di curva, della pendenza e tipologia di neve.

Dal testo tecnico dei maestri di sci Piemonte l'esecuzione della Curva a sci paralleli viene descritta come:

“Dalla curva precedente, diminuendo l'angolazione con l'appoggio del bastone effettuare il cambio degli spigoli e indirizzare gli sci nella traiettoria di curva ricercando la perpendicolarità. Proseguire gestendo l'azione rotatoria, la presa di spigolo e il carico sullo sci esterno. La parte superiore del corpo collabora alla ricerca della centralità e alla distribuzione del carico sullo sci esterno gestendo le inerzie rotazionali.”

Curva Sportiva

La curva sportiva è quella curva eseguita dagli sciatori professionisti che dovranno essere in grado di sopportare tutti i carichi che agiscono sullo sciatore ad alte velocità e grosse inclinazioni, la curva è effettuata sempre sugli spigoli con una forte presa di spigolo senza slittamenti laterali. In questo livello lo sciatore raggiunge capacità tecniche molto elevate che consentono di sfruttare le caratteristiche degli sci al fine di ottenere la massima conduzione possibile anche su pendii molto ripidi. [6]

L'utilizzo ottimale delle azioni motorie durante la fase di indirizzamento permette di sfruttare la deformazione degli sci lungo tutta la traiettoria di curva per ottenere la massima conduzione possibile. Nella seconda parte di curva attraverso la muscolatura dello sciatore viene modulata la forza in relazione alle inerzie che assumono un'importanza determinante. La distribuzione del carico sugli sci durante tutta la curva permette di ottenere la massima conduzione possibile e sfruttare gli sci in funzione della traiettoria, pendio e neve.

Dal testo tecnico dei maestri di sci Piemonte l'esecuzione della Curva Sportiva viene descritta come:

“Dalla curva precedente, diminuendo l'angolazione con l'appoggio del bastone effettuare il cambio degli spigoli e indirizzare gli sci nella traiettoria di curva ricercando la deformazione attraverso la perpendicolarità e il carico sullo sci esterno. Proseguire la traiettoria di curva con la massima conduzione possibile. Modulare la forza muscolare in relazione alle inerzie. La parte superiore del corpo collabora alla ricerca della centralità e all'ottimizzazione del carico sullo sci esterno gestendo le inerzie rotazionali.”

1.4 Discipline dello sci alpino

Lo sci alpino si differenzia in più specialità: Discesa libera, Super Gigante, Slalom Gigante, Slalom Speciale, Combinata, Parallelo (di recente entrato a fare parte delle competizioni mondiali e olimpiche). [8]

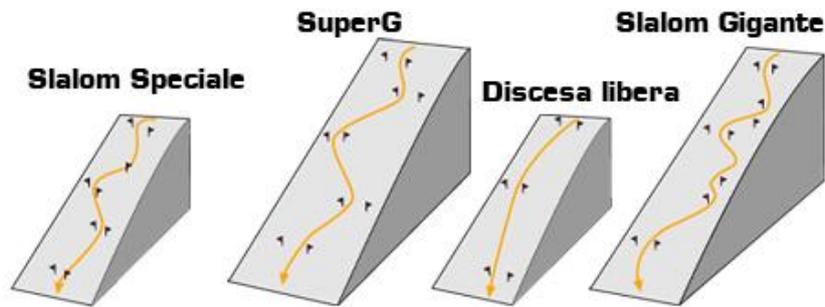


Figura 11 Tracciati delle differenti discipline

Discesa Libera (Downhill)

È la disciplina più antica insieme allo slalom speciale, e la più veloce di tutte. Entrambe vennero disputate nei primi mondiali di sci alpino nel 1931.

Il tracciato in questa disciplina arriva ad un dislivello massimo di 1100 metri per gli uomini e 800 metri per le donne. Il tracciato è formato da coppie di porte, l'interna e l'esterna, posizionate ogni 150 metri circa. Negli ultimi anni i tracciati sono segnati anche da linee trasversali e longitudinali di colore blu che aiutano a riconoscere la traiettoria e i dislivelli. Durante la discesa sono presenti dei salti che hanno bisogno di molta tecnica per essere effettuati e affrontati. Gli sci che si utilizzano in questa disciplina hanno un'altezza di 218 centimetri per gli uomini e 210 centimetri per le donne con un raggio di curvatura di 50 metri.

La velocità più alta registrata in una competizione di discesa libera è avvenuta sulla pista del Lauberhorn a Wengen, in Svizzera, dove sono stati toccati i 161,9 chilometri orari.

Prima delle competizioni si effettuano una o due prove della discesa di gara.



Figura 12 Discesa Libera

Supergigante (Super-G)

È la seconda disciplina più veloce dello sci alpino e anche molto recente, introdotta dalla federazione internazionale nel 1982. È considerato uno slalom, come lo slalom speciale e gigante, ma con distanziamento tra le porte deve essere almeno di 25 metri e la lunghezza degli sci è di 210 centimetri per gli uomini e di 205 centimetri per le donne con un raggio di curvatura pari minimo di 33 metri. Come per la discesa libera le porte sono posizionate a coppie, interna ed esterna, e troviamo linee blu che aiutano a riconoscere traiettoria e dislivelli.

Le velocità di punta raggiunte sono di oltre 120 chilometri orari.

Questa disciplina non prevede delle prove prima della gara ed è disputata in un'unica manche.



Figura 13 Supergigante

Slalom speciale

Nello slalom speciale gli sciatori devono scendere lungo un percorso facendo lo slalom tra i pali snodati posti uno dopo l'altro in rapida successione con la presenza di alcune figure quali, lunghe, doppie, triple e quadruple. Nello slalom i pali vengono toccati durante i passaggi, gli sciatori utilizzano delle protezioni apposite per le mani, gambe e volto. Il distanziamento tra le porte è di 8-12 metri e la lunghezza degli sci in questa disciplina è 165 centimetri per gli uomini e 155 centimetri per le donne con un raggio di curvatura tra i 12 e 14 metri, essendo una disciplina molto più reattiva che veloce si raggiungono al massimo velocità di 35 chilometri orari.

Nelle competizioni si disputano due manche, e si fa la somma dei due tempi.



Figura 14 Slalom Speciale

Slalom Gigante

Venne introdotto dalla federazione negli anni Cinquanta, le curve sono più ampie di quelle da slalom e torniamo ad utilizzare porte non pali. La distanza tra le porte è di un minimo di 15 metri. La lunghezza degli sci è per gli uomini di 195 centimetri e per le donne di 180 centimetri. I raggi di curvatura degli sci sono rispettivamente, 27 metri e 23 metri. La velocità media è tra i 60 e gli 80 chilometri orari.

Come per lo slalom speciale nelle competizioni si disputano due manche e si fa la somma dei due tempi.



Figura 15 Slalom Gigante

Slalom parallelo

È una gara in cui due sciatori scendono in contemporanea l'uno contro l'altro su brevi percorsi a slalom paralleli, le porte usate sono quelle tipiche dello slalom gigante. I percorsi sono tracciati con porte dello stesso colore, uno avrà tutte le porte blu e l'altro rosse. Vengono utilizzati sci con caratteristiche intermedie tra lo slalom speciale e lo slalom gigante. I due atleti eseguono due prove, uno su ogni tracciato, la somma dei due tempi decreterà il vincitore che passerà allo step successivo dove sfiderà un nuovo atleta sempre nel medesimo modo.



Figura 16 Slalom parallelo

Combinata

Specialità introdotta dalla federazione negli anni Settanta e combina una prova di discesa libera e una delle altre tre prove, vince chi ottiene il tempo di percorrenza più basso sommando le due prove. Nel 2005 è stata introdotta la variante, una prova di discesa libera e una di slalom speciale, ad oggi la combinazione più utilizzata. Entrambe le prove si disputano nella stessa giornata.

1.5 Obiettivo Tesi

Questo lavoro di tesi parte dalla collaborazione del Politecnico di Torino con l'azienda Gabel s.r.l. Questa collaborazione nasce da un progetto sullo studio cinematica e dinamica dello Sci Alpino. L'obiettivo di questo lavoro di tesi è la comparazione dei risultati ottenuti tramite un'analisi video e quelli ottenuti tramite un sistema di sensori inerziali presenti sull'atleta.

I sensori inerziali utilizzati negli ultimi anni sono stati usati molto per l'analisi del movimento sportivo, risultano poco ingombranti e meno costosi sia come attrezzatura che in termini di tempo speso nell'analisi dei dati dopo la prova sperimentale. I sensori vengono sincronizzati e si comanda l'accensione e lo spegnimento direttamente dal cellulare, i dati che sono acquisiti vengono mandati via mail così da poterli ritrovare sul computer e analizzarli.

In un primo momento si sono analizzate le riprese video effettuate sugli atleti da un punto di vista tecnico sciistico, di ogni ripresa analizzata siamo a disposizione dei dati registrati dai sensori. L'obiettivo nell'analisi dei video è quello di identificare gli errori che maggiormente caratterizzano la sciata degli atleti e in un secondo momento andare a identificare i medesimi errori nei dati elaborati.

Sono state effettuate due giornate di registrazione dei dati, una giornata a Pozza di Fassa, in cui sono state fatte acquisizioni sia di Slalom Gigante che di Slalom Speciale, e una a Melette di Gallio in cui sono state effettuate registrazioni in Slalom Speciale.

Si è proceduto con una sincronizzazione temporale di tutti i dati provenienti dai sensori posizionati in diverse parti sull'atleta, sulla parte posteriore degli scarponi (due sensori, uno per ogni scarpone), sotto la manopola dei bastoncini (due sensori, uno per ogni bastoncino) e nella parte centrale lombare della schiena (un sensore al centro). Per la verifica della sincronizzazione è stato impostato un cronometro a video, fatto partire nello stesso istante preso come punto di partenza di analisi dei dati, nel nostro caso abbiamo identificato come punto di partenza il picco di accelerazioni dei bastoni sull'asse x, corrispondente alla prima spinta effettuata dall'atleta nell'incominciare la prova. Si è successivamente proceduto a verificare la congruenza degli angoli di rollio degli scarponi, angoli che mi identificano l'inclinazione dell'atleta, in un preciso istante temporale sia nell'analisi video che nell'analisi dei dati elaborati.

Essendo i sensori posizionati in segmenti corporei troppo distanti tra loro non si sono potuti valutare gli angoli relativi tra questi ma si è lavorato sugli angoli di rollio imbardata e pitch dei singoli sensori, individualmente e come confronto tra due sensori differenti.

I principali errori che abbiamo identificato sono: i movimenti esagerati delle braccia durante una prova, l'inclinazione verso l'interno curva con conseguenze perdita di appoggio dello sci esterno e la ricerca del palo con le braccia nello Slalom Gigante.

2. Analisi del movimento

2.1 Storia sistemi di analisi

Fino dall'antichità il movimento umano ha destato curiosità tra gli uomini. [9] I primi studi rinvenuti appartengono a civiltà come Sumeri, Egizi e Maya. Le prime notizie certe ci arrivano dall'antica Grecia con Aristotele, che nel suo "De Motu Animalium" definisce il movimento degli animali, l'azione dei muscoli e il movimento delle articolazioni.

Dal Rinascimento in poi vennero chiariti alcuni concetti matematici, grazie a Galileo Galilei inizia il moderno metodo scientifico, basato su ragionamenti sperimentali. Giovanni Alfonso Borelli, allievo di Galilei fu il primo che eseguì un'analisi del cammino e a concludere che le forze interne ai tendini e ai muscoli sono maggiori dei carichi applicati esternamente.

I fratelli Weber eseguirono prove con l'aiuto di un cronometro un nastro di misurazione e un telescopio per ottenere risultati quali: la lunghezza del passo e la cadenza di questo al variare della velocità, inoltre tentarono di capire la posizione degli arti in 14 diversi istanti del ciclo del passo.

Uno dei primi grandi studi effettuati fu eseguito da Jules Etienne Marey che effettuò un'analisi del cammino umano con l'utilizzo di una scarpa con dei trasduttori di pressione, nella scuola, così da registrare le forze tra piede e suolo.

Uno dei primi contributi nell'analisi quantitativa del movimento basata su una registrazione strumentale è stato quello del fotografo britannico Edward Muybridge nel 1877. Muybridge si servì di un sistema di fotocamere che si attivavano in sequenza lungo il tracciato di una corsa ippica, ottenendo così singoli fotogrammi della corsa del cavallo e potendo dunque rispondere ad una curiosità che ci si poneva all'epoca: "C'è un istante in cui tutti e quattro gli zoccoli del cavallo sono sollevati durante la corsa?". Grazie a questo studio si potette dire che quell'istante esiste. Questo esperimento può essere considerato il primo sistema di analisi del movimento per mezzo di immagini, antenato dei moderni sistemi di cattura del movimento tramite telecamere.

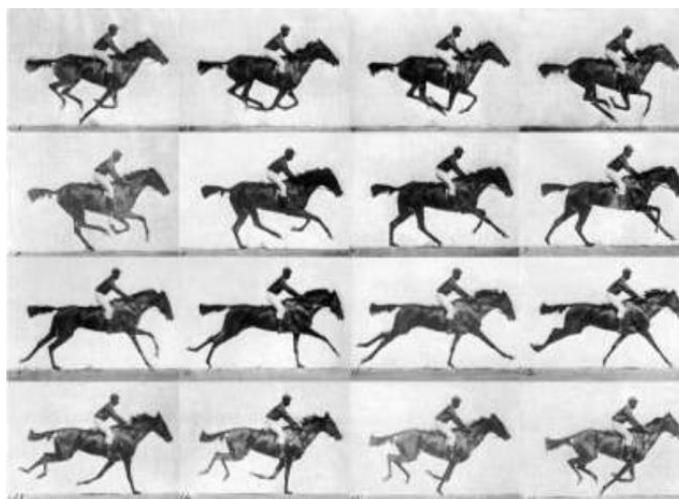


Figura 17 Cattura movimento di un cavallo al galoppo

Muybridge ha grande successo e ottiene una sovvenzione dell'Università di Pennsylvania, [10] grazie a cui compie approfonditi studi sul moto degli uomini e degli animali; 20.000 fotografie furono pubblicate come *Animal Locomotion* nel 1887.

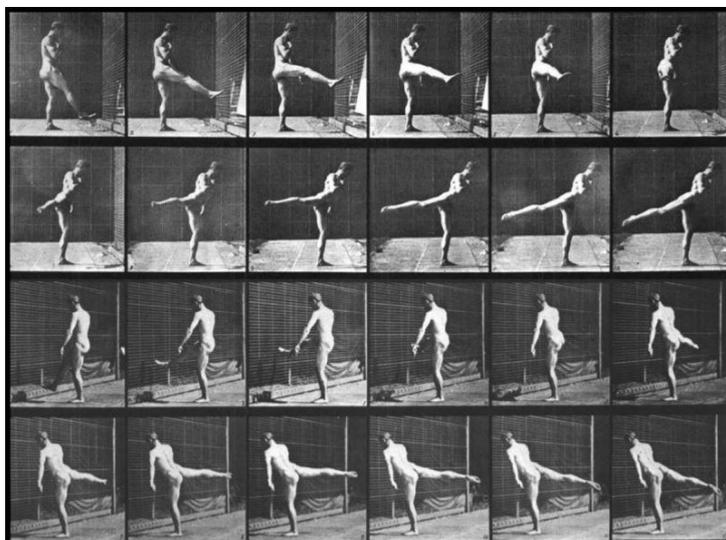


Figura 18 Eadward Muybridge, Studio di movimento maschile, da *Animal Locomotion*, Philadelphia [10]

Muybridge cerca uno strumento che conferisca alle immagini in successione il senso del movimento che lo porta a servirsi prima del fenachistoscopo, disco rotante su cui sono impresse una serie di immagini corrispondenti ai vari stadi del movimento, poi mette a punto nel 1879 una sua variante, lo Zoopraxiscopio.



Figura 19 Coppia Danzante, disco fenachistoscopo (a) Movimento dell'asino, disco Zoopraxiscopio (b) [10]

Muybridge, tuttavia, non era uno scienziato, la scelta delle immagini nelle sue rappresentazioni era principalmente una scelta artistica non una sequenza oggettiva. Etienne-Jules Marey, che abbiamo già incontrato, cercò un metodo oggettivo per la registrazione del movimento e lo trovò nella "cronofotografia", gli scatti successivi della macchina erano regolati da un cronometro. Le immagini ottenute erano sovrapposte e le misurazioni risultavano difficili, per scavalcare questo problema Marey con Georges Demeny misero a

punto un sistema di markers per facilitare le analisi. Tramite l'utilizzo di strisce di materiale riflettente sul soggetto vestito di scuro era permessa una rappresentazione più stilizzata del movimento e una più facile ricostruzione della traiettoria e della velocità di punti anatomici caratteristici in un piano.

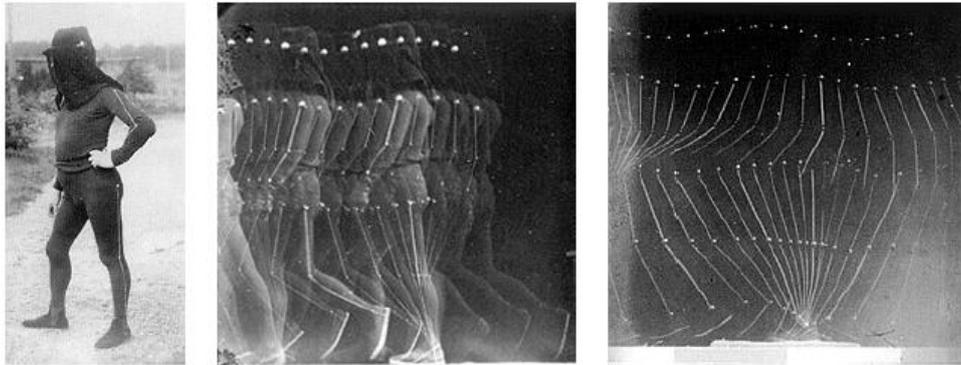


Figura 20 Cattura del movimento di un uomo durante una camminata da parte di Marey. [11]

L'origine della stereofotogrammetria nell'analisi del cammino risale al 1985 dai tedeschi Braune e Fisher, i quali proposero l'utilizzo di due telecamere, una frontale e una laterale, in modo da costruire le pose del soggetto in un ambiente tridimensionale, rimaneva però il problema della sincronizzazione delle due.

Nel ventesimo secolo si iniziò ad utilizzare nuovi strumenti per l'analisi del movimento, quali pedane di forza ed elettromiografia.

Negli anni si sono trovati molti campi di applicazione della registrazione del movimento umano, in campo medico viene utilizzata per valutare patologie e percorsi riabilitativi, nel settore cinematografico viene utilizzato come base del movimento dei personaggi ricostruiti in digitale e nel campo sportivo ha un ruolo nell'analisi e ottimizzazione del gesto tecnico.

2.2 Sistemi di analisi Moderni (Motion Capture)

Per fare una analisi biomeccanica bisogna definire il sistema che interessa e rappresentare le forze esterne agenti in modo da stimare le forze interne o muscolari con lo scopo di ottimizzare la performance sportiva, migliorare il gesto atletico e prevenire infortuni. [11] [12] L'obiettivo è di usare approcci strumentali semplici, test facili da applicare e che abbiamo una certa validità. In ambito sportivo i sistemi di misura sono semplici, facilmente indossabili, non devono modificare la performance.

I sistemi di analisi moderni servono per dare una valutazione quantitativa oggettiva e rigorosa. Inoltre, permettono anche una valutazione prolungata nel tempo. Per poter essere usati devono essere veloci, affidabili e ripetibili, i dati devono essere limitati ma utili all'utilizzo e applicazione.

Oggi si hanno precisioni di 0.1 mm e 0.1°. Se osserviamo il corpo come tanti segmenti collegati da articolazioni, possiamo descrivere il movimento del soggetto nel tempo mediante la descrizione della posizione e l'orientamento dei segmenti nello spazio. Solitamente si identifica un segmento radice (in genere il tronco), del quale si identifica la posizione nello spazio (le 3 coordinate spaziali x, y, z) e l'orientamento nello spazio (i 3 angoli μ, κ, λ) definiti in maniera distale rispetto al nodo radice.

Per ricostruire la posa del soggetto ci serve:

- posizione e l'orientamento del segmento radice
- gli angoli articolari formato dai segmenti distali rispetto ai prossimali
- le dimensioni delle misure antropometriche
- conoscere connessioni dei segmenti con i relativi limiti di movimento
- conoscere l'entità della deformazione dovuta ai tessuti (artefatto di pelle).

Noi conosciamo la posizione dei marker sulla pelle o la posizione o l'orientamento dei marker. Oltre alla posizione possiamo osservare anche la dinamica (momento), la potenza sviluppata di un'articolazione o le forze interne durante un movimento. Si ha la necessità di decidere qual è il sistema di monitoraggio più adatto, e questo lo si fa valutando i criteri più adatti.

Questi criteri sono:

- **Accuratezza:** dice l'errore di stima tra la reale posa dell'oggetto e la posa stimata dal sistema è la differenza tra la posa di un oggetto e la posa riportata.
- **Risoluzione:** è vista come la granularità che il sistema di tracciamento può distinguere punti diversi o orientamenti. ES: 2 segmenti che si trovano a 1mm di distanza. Se ho una risoluzione inferiore al mm riesco a discriminarli, altrimenti per me risultano nella stessa posizione.
- **Jitter**(precisione): errore di valutazione della posizione o dell'orientamento di un oggetto che è stazionario. Ad ogni campionamento non fornisce sempre la stessa misura (si muove attorno a un valore medio stimabile che tipicamente rappresenta la posizione reale)..
- **Drift:** variazione incrementale nella stima della posizione e/o orientamento, è tipico dei sistemi inerziali. Ho oggetto fermo di cui voglio stimare la posizione e ottengo una posizione che dal valore iniziale si sposta in modo costante sempre nella stessa direzione.
- **Lag** (latenza): ritardo tra quando faccio la misura e quando ho il dato a disposizione per l'elaborazione: è tipicamente legata al tempo di acquisizione del dato e al tempo di trasmissione (specie nei wireless). Se non voglio fare valutazioni in real time la latenza non è un aspetto estremamente importante.
- **Frequenza di acquisizione** (scelta in funzione della rapidità dei movimenti osservati): È influenzata dal sistema di trasmissione dei dati che uso: posso avere anche $f_s = 500$ Hz, ma se poi li trasmetto wireless e a pacchetti di 50, la frequenza di aggiornamento scende a $1/10$. Se non ho applicazioni real time non è un problema.
- **Campo di misura:** potrei aver bisogno di studiare un soggetto su spazi ampi (campo da tennis, pista di 400 m, sci di discesa), più è grande il range e più si riduce l'accuratezza (a parità di costi)
- **Fonti di interferenza e rumore del sensore:** i sensori sono affetti in modo diverso da interferenze esterne. Alcuni sono affetti da ambienti illuminati da luce del sole (es IR). Le principali fonti di interferenza sono l'occlusione, presenza di metalli nel caso di sistemi inerziali basati su magnetometri (i metalli distorcono il campo magnetico).
- **Massa, inerzia e ingombro:** vanno ridotti il più possibile, non devo influenzare le caratteristiche del movimento

- **Numero di posizioni tracciabili:** dipende dalla complessità del modello di scheletro che uso
- **Prezzo:** è importante, tutti gli studi sono funzione del budget a disposizione.

I sistemi Motion Capture si dividono in:

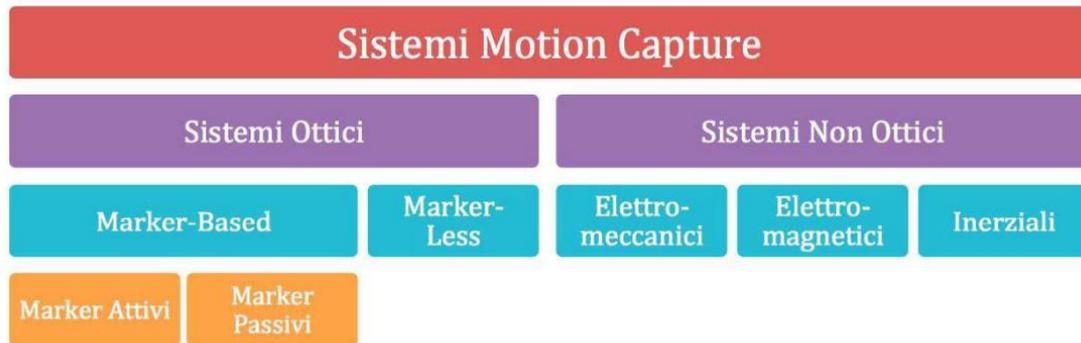


Figura 21 classificazione sistemi Motion Capture [11]

Sistemi Ottici con l'utilizzo di Marker

Vengono utilizzate telecamere ad infrarossi che illuminano i Marker, questi vengono posizionati sui segmenti corporei di interesse nell'analisi del soggetto, hanno una forma sferica, sono molto piccoli (pochi mm) e dopo il posizionamento non hanno bisogno di cablaggio. La telecamera riprende solo la luce riflessa dai marker tutto il resto è sfondo nero. Posso ricostruire posizione e orientamento dei diversi segmenti, con una telecamera ottengo la posizione del marker sul piano immagine (2D), con due o più telecamere ottengo la posizione del marker nello spazio (3D).

I Marker possono essere Attivi o Passivi, la differenza è che gli attivi emettono luce, hanno quindi bisogno di una fonte di energia, i passivi non hanno bisogno di una fonte di energia ma si possono riscontrare difficoltà a capire a quale spot di luce corrisponde il marker. I marker attivi possono essere illuminati individualmente tramite un controller sincronizzato con le telecamere, istante per istante so quale marker fosse attivo.



Figura 22 sistemi ottici con l'utilizzo di marker [11]

Le caratteristiche sono le migliori dal punto di vista della performance:

- Ho informazioni su 6 GDL
- Accuratezza e risoluzioni molto buone
- No errore di Drift
- Moderato ritardo nella trasmissione dei dati, qualche decina di ms (non risulta un problema in ambito sportivo)
- Frequenza campionamento 30-500 Hz
- Utilizzo tre marker per ogni segmento scheletrico così da definire un sistema di riferimento locale del segmento
- Prezzo varia in base alle caratteristiche del sistema

Sistemi Markerless

Si basano sull'utilizzo di più telecamere che lavorano nel visibile per fare una ricostruzione 3D. Attuano una sogliatura per identificare lo sfondo rispetto all'oggetto di interesse in modo da riuscire a ricostruire la silhouette del soggetto e seguirla frame dopo frame. Questo sistema non è semplice nell'utilizzo abbiamo molti errori legati a rumori sparsi nell'immagine. Questo sistema è un sistema utilizzato in ambito ricreativo o cinematografico, non è ancora pronto per la clinica.



Figura 23 sistemi Markerless [11]

Sistemi Elettromagnetici o EM Trackers

Sensori che si basano sulla creazione e misura di un campo elettromagnetico. [11] [12] Una centralina genera un Campo Elettromagnetico i sensori posti sul soggetto leggono il campo magnetico e derivano la loro posizione nello spazio da esso.



Figura 24 Sistemi Elettromagnetici [11]

Sono formati da tre avvolgimenti ortogonali l'uno all'altro e in ognuno scorre una corrente che genera un campo magnetico noto. Inserendo il sensore nel campo magnetico e spostandolo nei filamenti di questo si genera una corrente che sarà correlata alla distanza e all'orientamento del sensore rispetto al campo magnetico generato.

Un problema del campo magnetico è che si attenua in modo significativo con l'aumentare della distanza tra sorgente ed emettitore. Questo comporta una riduzione della risoluzione nella misura non costante nello spazio sono quindi usati per valutare il movimento di un soggetto abbastanza statico che non si distanzi troppo dall'emettitore.

Caratteristiche:

- 6 GDL restituiti (3 posizione + 3 orientamento)
- La distorsione spaziale è 0.6 mm per posizione 0.025° per orientamento
- Risoluzione buona vicino al trasmettitore, diminuisce allontanandosi
- Precisione dipende dal sistema (alcuni mm altri cm)
- No errori di drift
- La latenza tra misura e dato disponibile è 4 ms circa
- Riesco a campionare fino a 120 Hz, sufficienti per molti movimenti
- Range di movimenti è un problema grosso (5 piedi di distanza massimo)
- Sistemi moderni permettono sensori wireless rispetto a quelli riportati
- La principale sorgente di interferenza è la presenza di oggetti metallici nel campo di misura
- Massa ed inerzia contenuti
- Prezzo 4000\$-15000\$ - è abbastanza contenuto

Vantaggi: Piccoli e miniaturizzati e oggi wireless, basso costo, buone performance vicino all'emettitore.

Svantaggi: Affetti dalla presenza di materiali metallici e CM, piccolo range di misura.

Sistemi elettromeccanici

Usano goniometri elettrici che servono per la misurazione degli angoli delle articolazioni. Si usano sistemi basati su fibra ottica, emettitore + ricevitore che legge la luce di ritorno in funzione della deformazione della fibra, ma i primi erano potenziometri di precisione. Esistono sistemi su goniometri per tutto il corpo, una sorta di esoscheletro, ma hanno lo svantaggio di essere un sistema ingombrante e che deve essere adattato alle misure antropometriche del soggetto, centro di rotazione del sensore e dell'articolazione devono essere allineati.



Figura 25 Sistemi Elettromeccanici [11]

Nell'ambito sportivo interessa la movimentazione degli arti superiori, inferiori e del tronco. Esistono esoscheletri che ricostruiscono la struttura scheletrica e che in corrispondenza di ogni articolazione hanno dei goniometri articolari che possono leggere più gradi di libertà in funzione della complessità dell'articolazione. Leggeri e facilmente indossabili, ma è evidente che vanno a limitare la prestazione.

Caratteristiche:

- Frequenza di campionamento fino a 1 kHz.
- Alta accuratezza.
- Complessivamente poco cari.
- Non hanno problemi di occlusione, corrispondenza con l'articolazione (fraitendimenti).
- Ingombro del sistema regolazione.
- Non ho la posizione globale del soggetto nello spazio.

Vantaggi: posso campionare con frequenza campionamento elevata (500 Hz), elevata accuratezza, poco costosi, non hanno problemi di occlusione.

Svantaggi: Limitazione del movimento per la struttura meccanica, Necessità di adattarli al soggetto, Non forniscono la posizione globale solo gli angoli articolari

Sistemi Inerziali

Sono i sistemi che hanno avuto un grande sviluppo negli ultimi anni, si basano sulla combinazione di informazioni ottenute da più strumenti: accelerometro, giroscopio e magnetometro. Utilizzando le informazioni fornite da questi 3 strumenti per una migliore stima dell'orientamento del sensore nello spazio.



Figura 26 Sistemi inerziali [11]

Accelerometro

Questo dispositivo misura la forza di accelerazione nell'unità 'g' e può effettuare una misurazione su uno, due o tre assi, gli accelerometri a tre assi sono i più comunemente usati i quali misurano un'accelerazione nelle tre direzioni corrispondenti ai tre assi, x y e z. [13]

Se l'accelerazione su uno dei tre assi avviene in direzione opposta a quella in cui è diretto il sensore, l'accelerometro misurerà una accelerazione negativa, in caso contrario l'accelerazione misurata sarà positiva.

Nel caso in cui nessuna accelerazione esterna influisce sul dispositivo, l'accelerometro misurerà unicamente l'accelerazione terrestre, ossia la forza di gravità.

Esistono diversi tipi di accelerometri:

- **Accelerometri MEMS**

Gli accelerometri capacitivi basati sulla tecnologia MEMS sono i sensori più economici, più comuni e più piccoli di questo genere.

L'accelerometro è costituito da una piccola massa di prova libera di muoversi lungo un asse ed esternamente è composto da un telaio fisso all'oggetto di cui si vuole misurare l'accelerazione, tra i due componenti ho un elemento elastico, modellizzato con una molla e un sistema che misura lo spostamento relativo tra la massa di prova e il telaio.

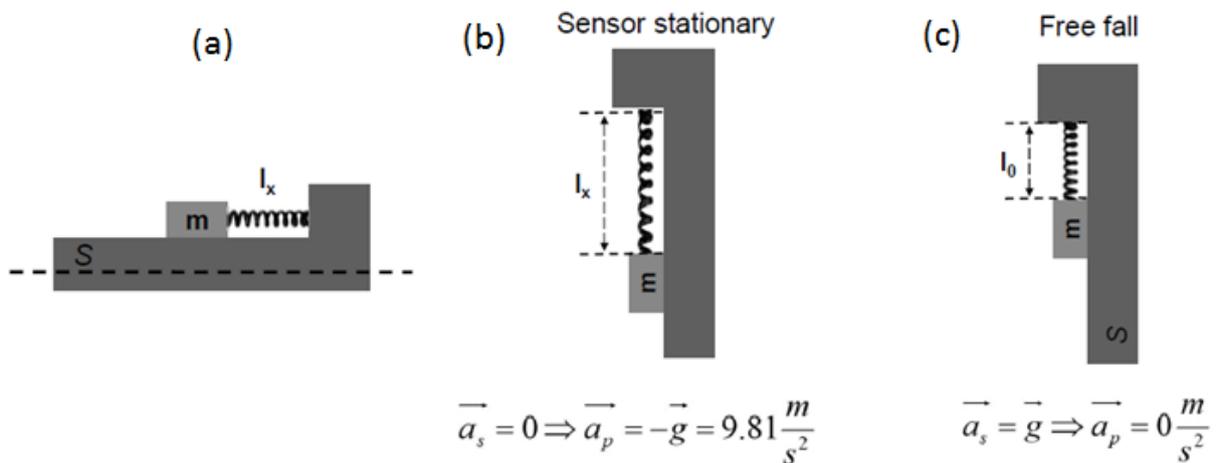


Figura 27 Funzionamento Accelerometro MEMS [4]

Il telaio del nostro dispositivo è soggetto ad una accelerazione a_s , il nostro dato di interesse, tuttavia il sensore ricava l'allungamento della molla, l'accelerazione che mi restituisce è detta proper acceleration a_p , data dalla differenza tra l'accelerazione del telaio e la componente di accelerazione gravitazionale che agisce sul sistema sensibile.

$$\vec{a}_p = \vec{a}_s - \vec{g}$$

Questi tipi di accelerometri vengono utilizzati principalmente nei dispositivi indossabili, negli apparecchi mobili. Con questo tipo di accelerometro non si possono fare misurazioni con grandi ampiezze e frequenza, non sono quindi dispositivi adatti ad applicazioni industriali specialistiche

- **Accelerometri piezoelettrici**

Sono provvisti di un materiale piezoelettrico, che sotto l'influsso di una forza esterna si deforma, causando una variazione della resistenza, questa variazione viene trasformata in un segnale elettrico che viene ricevuto

dal ricevitore, integrato nell'accelerometro. Viene trasformata una deformazione fisica in una carica elettrica. La tensione elettrica generata ha un valore elettrico predeterminato poiché l'influsso dell'accelerazione non fa variare la resistenza.

Questi accelerometri hanno un'ampia banda di misura, sono in grado di effettuare registrazioni di vibrazioni con elevata ampiezza e frequenza, caratteristica utile nei test di crash sulle automobili, ma non possono essere utilizzati per misurare quantità costanti poiché la banda di utilizzo non parte dallo 0. Inoltre, possono misurare segnali a variazione lenta, caratteristica che gli permette di essere impegnati nei sistemi di navigazione inerziale, per il calcolo della velocità e del movimento dei componenti del sistema.

Questo dispositivo è suscettibile alle variazioni della temperatura ambiente, è richiesta quindi una compensazione della temperatura.

Giroscopio

Il principio di funzionamento su cui si basa il giroscopio è quello della legge di conservazione del momento angolare, secondo cui il momento angolare rimane costante a meno che agisca su di esso una forza esterna. [15] Quando questo accade il corpo tende a mantenere un orientamento fisso, con l'asse che punta nella direzione della rotazione.

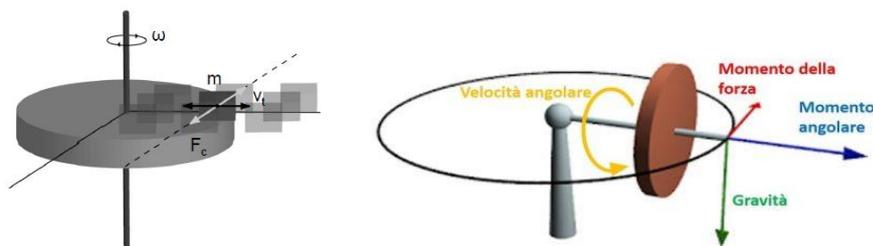


Figura 28 Funzionamento Giroscopio [15] [4]

Nell'immagine il disco marrone rappresenta un corpo in grado di muoversi intorno al proprio asse, al quale posso applicare una forza di rotazione, indicata dalla freccia rossa che esprime il momento della forza, il disco inizia a ruotare con una velocità angolare ω , indicata dalla freccia gialla, si crea un momento angolare L che viene misurato come: $L=I \times \omega$ dove I rappresenta il momento di inerzia e ω la velocità angolare.

Il giroscopio è costituito da una piccola massa che viene fatta vibrare lungo un asse, con velocità V_t , il sensore ruota con una velocità ω , è possibile ricavare queste velocità a partire dalla misura della forza di Coriolis F_c :

$$F_c = -2 m V_t \times \omega$$

Questa forza fa spostare la massa sensibile sull'asse ortogonale agli assi di V_t e all'asse di rotazione ω .

Anche in questo sensore la forza è ricavata a partire dallo spostamento, misurato da un sensore capacitivo.

Magnetometro

Il Magnetometro mi restituisce informazioni sull'orientamento del sensore rispetto al campo magnetico terrestre. Nel caso in cui il soggetto si trovasse in ambienti in cui sono presenti oggetti ferromagnetici, il magnetometro diventa un sensore poco affidabile.

Questo strumento non sfrutta l'inerzia come principio di funzionamento ma è spesso associato ad accelerometro e giroscopio nelle applicazioni dove si cerca di ottenere posizione e orientamento del sensore nello spazio.

Il principio di funzionamento di un magnetometro si basa sull'effetto Hall, il quale mi descrive come in un conduttore le cariche elettriche vengono deviate sotto l'effetto di un campo magnetico.

Tramite tecniche di Sensor fusion è possibile integrare le informazioni provenienti dai tre strumenti e ottenere una stima dell'orientamento del sensore inerziale nello spazio, questo perché usandoli tutti assieme è possibile compensare gli errori di uno con le informazioni ottenute dall'altro.

A seconda del movimento sportivo che si vuole analizzare bisogna valutare i segmenti corporei su cui posizionarli poiché ogni sensore da l'orientamento di un segmento, e conoscendo l'orientamento di due segmenti corporei adiacenti posso ricavare l'angolo articolare tra i due e ricostruire la posa del soggetto nello spazio.

Le caratteristiche principali di questi sensori sono:

- Buona accuratezza
- Buona risoluzione
- Errore Jitter basso
- Errore Drift alto
- Frequenza campionamento 50-110Hz

Vantaggi: Costo ragionevole, vasto campo di misura, informazione sull'orientamento molto accurata, interferenza limitata, poco ingombrante.

Svantaggi: Necessità di calibrazione, Errori di Drift.

Questi tipi di sensori hanno avuto successo nell'analisi del movimento, con applicazioni anche sportive per diverse ragioni: il posizionamento dei sensori avviene direttamente sul corpo del soggetto studiato senza il contributo di sistemi esterni, questo implica quindi che siano leggeri e poco ingombranti, risultano molto semplici nell'utilizzo e a costi ridotti, hanno un basso consumo energetico, la batteria quindi ha una durata molto lunga, infine basta un realizzare algoritmo di analisi per poter ricavare informazioni dai dati subito dopo l'acquisizione.

2.3 Sensori utilizzati nello studio in analisi

I sensori inerziali che sono stati usati per questo studio sono i MetaMotionR (MMR). [14] Questi sensori forniscono un'alta accuratezza nella registrazione dei dati e lavorano in Real-time, vengono collegati ad un dispositivo portatile, quale smartphone tablet, e i dati vengono direttamente scaricati sul dispositivo una volta terminata la registrazione.

Per poter usufruire di questa connessione diretta è necessario scaricare sul nostro dispositivo l'applicazione MetaBase App, applicazione scaricabile gratuitamente e disponibile sia per Android che iOS.



Figura 29 MetamotionR Sensor

Ogni Metasensor ha diversi tipi di sensori di movimento e ogni unità comprende:

- Microcontrollore ARM MCU, il quale offre alte performance e garantisce un'efficienza della batteria notevole.
- Bluetooth a bassa energia
- 8 MB di memoria
- Un LED
- Un bottone di accensione
- Una batteria ricaricabile

Le caratteristiche principali di questi sensori sono:

- Dimensione: 17mm x 25mm x 5mm
- Batteria: 100mAh ricaricabile

All'interno dei sensori sono presenti un Accelerometro a tre assi, un Giroscopio a tre assi, un Magnetometro a tre assi, un altimetro, un barometro e un sistema di analisi della pressione.

2.3.a Filtri Sensor fusion

Nel nostro studio dinamico sul movimento sportivo di uno sciatore si sono usati accelerometro e giroscopio, l'utilizzo dei due contemporaneamente prevede l'utilizzo di un filtro che possa fondere i due segnali restituiti dal sensore assieme.[21][22]

È bene usare contemporaneamente questi due segnali poiché il giroscopio ha dei problemi di deriva per cui i valori dopo poco tempo sono completamente sbagliati, l'accelerometro restituisce un valore vero quando l'accelerazione è progressiva, ma risente molto delle vibrazioni restituendo quindi angoli errati.

Esistono due tipi di filtri che ci permettono di unire insieme i segnali provenienti dall'accelerometro e il giroscopio:

- Kalman Filter
- Complementary Filter

Il Kalman filter è il filtro più completo che si possa utilizzare, è considerato il filtro migliore, ma a suo discapito è anche molto difficile da progettare.

I filtri Complementari, di più recente scoperta, sono più semplici da usare siccome operano la combinazione di un filtro passa alto, per eliminare la deriva del giroscopio, e un filtro passa basso, per eliminare le vibrazioni dovute all'accelerometro.

Si è notato che combinando in modo opportuno questi due filtri otteniamo un buon segnale senza le complicazioni del filtro Kalman.

Un filtro complementare può essere di primo o secondo ordine, il secondo mi restituisce un segnale migliore, ma non così tanto rispetto al primo, tenendo in considerazione la complessità della funzione che si va ad aggiungere operando con un complementare del secondo ordine.

Lo schema da seguire per combinare i segnali tramite filtro complementare di primo ordine è il seguente:

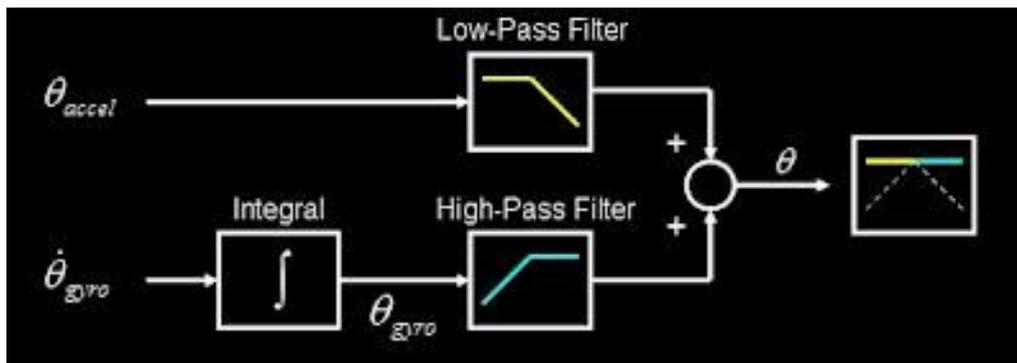


Figura 30 Filtro Complementare

Nel nostro studio in analisi la creazione del filtro complementare l'abbiamo eseguita come segue:

Il segnale proveniente dall'accelerometro viene filtrato tramite la funzione smooth di Matlab, selezionando uno span di 0.2, e come metodo 'moving', otteniamo così un filtro passa basso con coefficienti di filtro pari al reciproco dello span.

Il segnale proveniente dal giroscopio è una velocità, calcolata in gradi al secondo [deg/s], per prima cosa si integra il segnale rispetto al tempo, così da ottenere i gradi.

La costante di tempo la definisco come:

$$\partial t = 1 \div fc$$

Dove fc è la frequenza di campionamento che impostiamo al momento dell'acquisizione dei dati:

$$fc = 50 \text{ Hz}$$

Successivamente opero un filtraggio Passa Alto per eliminare l'errore di Drift, per costruire il filtro identfico:

- Costante di tempo $\tau = 0.1$
- Frequenza di taglio $f_t = 1 \div (2 \times \pi \times \tau)$
- Coefficiente del filtro $\alpha = \tau \div (\tau + \Delta t)$
- Angolo_filtrato(1)=0

Inizializzati questi coefficienti posso procedere al filtraggio del segnale integrato precedentemente proveniente dal giroscopio tramite un ciclo for che partirà da 2 fino alla lunghezza del segnale che sto andando a filtrare tramite la formula data da:

$$\text{angle_filtrato}(i) = (\alpha * \text{angolo_filtrato}(i-1) + \alpha * (\text{angolo_originale}(i) - \text{angolo_originale}(i-1)));$$

Una volta ottenuti i nostri dati filtrati opero la combinazione con il filtro complementare andando a dare più importanza al segnale acquisito tramite l'accelerometro, utilizzo all'interno di un ciclo for su matlab la formula:

$$\text{ang_Comp_filter}(i) = \text{angolo_giro_filter}(i) * 0.02 + 0.98 * \text{angolo_acc_filter}(i);$$

3. Studi scientifici sulla disciplina dello sci alpino

La tecnica dello sci alpino e la biomeccanica associata ad essa è di interesse di studio da quasi un secolo. Negli ultimi anni ci sono stati notevoli cambiamenti nel design dell'attrezzatura e nei modelli di movimento dello sci alpino. Questi sviluppi sono stati accompagnati da metodi di analisi dei movimenti applicabili sul campo che hanno portato a nuove intuizioni sulle abilità di questo sport. Le tecniche analitiche utilizzate comprendevano: elettromiografia, metodi cinetici e cinematici e simulazioni al computer.

Müller e Schwameder [15] distinguono tre fasi nella letteratura che si occupa della biomeccanica dello sci:

- Prima fase: studi qualitativi delle forze e delle conseguenti sequenze di moto durante il gesto sciistico
- Seconda fase: specifiche descrizioni quantitative dei processi di movimento che caratterizzano lo sci alpino tramite metodi biomeccanici, il primo fu Moser nel 1957 che sviluppò un dinamografo a forma di sci, con l'utilizzo di questo dispositivo potevano essere registrate le forze di reazione che agiscono sullo sci durante la discesa. Dagli anni '70 sono stati pubblicati diversi studi in cui vengono descritti vari metodi per l'analisi delle tecniche sciistiche.
- Terza fase: inizia ad avere sviluppo dagli anni '80, e vengono introdotti i metodi biomeccanici. Si iniziano ad avere informazioni sia dal lato della tecnica del movimento e dall'altro forniscono informazioni che possono causare lesioni tipiche dello sci.

3.1 Riferimenti di studi scientifici

Al giorno d'oggi gli strumenti più utilizzati per lo studio dello sci sono l'analisi video con sistemi optoelettronici, analisi con sistemi inerziali, elettromiografia, metodi cinetici e cinematici e simulazioni al computer.[15]

Nachbauer e Rauch (1991) hanno valutato l'influenza della traiettoria sul tempo di esecuzione durante competizioni di slalom gigante e slalom speciale.

Nachbauer e Kaps (1991) hanno valutato gli aspetti aerodinamici della posizione eretta dello sciatore e la loro influenza sul tempo di esecuzione.

Scharfenberg (1992) e Mester (1997) hanno indirizzato i loro studi sulla regolazione e perfezionamento del movimento sportivo dello sci.

Nachbauer e Kaps (1995), Niessen e Müller (1999) hanno analizzato le forze e i carichi muscoloscheletrici durante una discesa collegandoli a possibili cause di infortunio. Questi tipi di ricerca sono stati un punto fondamentale della ricerca sulla biomeccanica dello sci.

Nakazato et al.[16] (2011) ha sviluppato una metodologia basata su forze di reazione al suolo generate da piastre di forza integrate tra gli attacchi degli sci e le solette a pressione. Venne così definito il momento di cambio curva come il valore minimo della forza verticale di reazione al terreno, determinata dalla somma delle forze verticali di entrambe le gambe. Eseguendo più analisi con sensori in posizioni differenti si sono identificati i punti migliori di posizionamento dei sensori per il rilevamento delle virate: bacino, stinchi e piedi.

Supej et al. eseguì uno studio su un sistema di rilevamento per suddividere la discesa in curve singole, trovando l'istante in cui si passa dalla curva precedente a quella successiva. Il sistema di studio era basato su una analisi video e identificarono come istante di inizio curva l'intersezione tra la proiezione del centro di massa (CoM) sulla pendenza e la media aritmetica della traiettoria degli sci sullo stesso piano.

Negli anni lo sviluppo di una tecnologia wireless più piccola e di lunga durata ha permesso di implementare diversi sensori nell'attrezzatura sportiva così da rendere la raccolta dei dati più semplice, con il supporto delle solette a misura di pressione e dell'analisi video si sono ottenuti risultati migliori nello studio della cinematica durante una discesa con gli sci.

Tuttavia, ancora oggi questi metodi presentano alcune imprecisioni, tempi di set-up, volumi di lavoro elevati, sistemi di post-elaborazione. Di conseguenza non è ancora possibile per sciatori utilizzare regolarmente tali sistemi come strumento per migliorare le prestazioni, fornire riscontri sulla qualità del movimento o ridurre il rischio di lesioni.

Sono stati effettuati inoltre studi per dare un'interpretazione dello stile di sciata e delle forze che entrano in gioco durante le diverse discipline.

Müller e Schwameder [16] proposero uno studio per valutare le differenze tra la tecnica carving e quella a sci paralleli tradizionale, lo studio si basa sull'utilizzo di tre telecamere, per ricostruire lo sciatore tridimensionalmente, due solette di pressione per valutare la distribuzione di pressione sulla soletta dello scarpone e la forza di reazione al terreno, hanno inoltre usufruito di un sistema elettromiografico per avere un'idea dei muscoli degli arti inferiori che si attivano e in quale circostanza.

Le differenze riscontrate tra le due sciata si basano sulla distribuzione del carico sugli sci, nella tecnica carving la condivisione del carico è condivisa tra i due arti inferiori, mentre nella tecnica tradizionale l'arto esterno nella curva sostiene quasi la totalità del carico. Questa differenza è rilevante anche nell'elettromiografia del quadricipite femorale, il quale ha una attivazione continua nella tecnica carving mentre nella tecnica tradizionale si attivano i due quadricipiti alternandosi uno all'altro, è quindi rilevante l'attivazione del muscolo dell'arto esterno alla curva.

Per quanto riguarda gli angoli articolari notiamo che in entrambe le tecniche nella fase di curva l'arto esterno mantiene un angolo costante. La flessione dell'articolazione al ginocchio interno alla curva risulta più graduale per la tecnica carving rispetto alla tecnica tradizionale, dove risulta essere più veloce.

Un'ulteriore differenza riscontrata tra le due tecniche è data dalle fasi di durata della curva: per la tecnica carving la fase di inizio curva risulta essere più lunga e la fase di chiusura molto più rapida, mentre per la tecnica tradizionale la prima e la seconda fase hanno durata simile.

Ulrich et al [19] studio i movimenti verticali di uno sciatore tramite l'uso di sette sensori inerziali, il parametro su cui si basò era la distanza del centro di massa dalle articolazioni di caviglia. Per far ciò è necessario sviluppare un modello tridimensionale di uno sciatore a partire dai sensori a disposizione, la posizione del sensore rispetto alle articolazioni, le dimensioni e i pesi dei segmenti corporei devono essere noti.

Questo metodo venne applicato per attuare un confronto tra due diverse discipline, Slalom Gigante e Slalom Speciale. Sono state prese in considerazione due curve consecutive e si è analizzato che nello slalom gigante il movimento verticale è più marcato, ho maggiori differenze tra massimi e minimi e le distanze tra le caviglie e il centro di massa sono maggiori

Nakazato et al. [20] utilizzano solette di pressione e sensori di forza montati tra sci e scarponi per la misura della forza di reazione del terreno confrontando oltre alla tecnica carving e tradizionale anche la capacità di sciatori di diverso livello e la pendenza della pista.

3.2 Studio sulla cinematica, e sull'accuratezza dei dati acquisiti sul campo

Per la ricerca biomeccanica di diversi sport tra cui lo sci alpino risultano molto importanti gli esperimenti sul campo poiché questo genere di sport si pratica in condizioni che non possono essere riprodotte in laboratorio. [17] L'acquisizione di dati direttamente sul campo risulta molto costosa, dispendiosa e ingombrante, soprattutto in discipline sportive dinamiche e con molti fattori esterni che possono influire sulle performance. Nel caso di un'analisi cinematica tramite l'utilizzo di telecamere su una pista da sci bisogna sviluppare un assetto adeguato a coprire l'ampia area di prova, vengono quindi utilizzate un gran numero di telecamere fisse o videocamere con panoramica, inclinazione e funzioni di zoom. Nell'utilizzare sistemi di acquisizione del movimento con telecamere entrano in gioco diversi problemi metodologici legati alla ricostruzione del moto umano.

Una serie di studi di Leardini e collaboratori (2019) hanno esaminato i problemi derivanti dal metodo di analisi. Per questo studio sono stati valutati gli errori sistematici (errori di imprecisione di calibrazione), errori casuali (sfarfallio del marker durante la prova) e gli errori causati dal movimento dei segmenti corporei e della pelle sotto i marker. Leardini ha proposto quindi uno studio per determinare la precisione e l'affidabilità della cinematica dei dati raccolti sul campo da sci per validarne l'assetto cinematico.

Al soggetto in studio vengono applicati dei marker nei punti di repere, punti utilizzati per identificare una regione del corpo in maniera univoca, e viene fatto scendere su una pista delimitata da telecamere lungo tutta la discesa.

I dati sono acquisiti su tre sciatori per due tecniche differenti, carving e slittamento, su un pendio uniformemente inclinato, sono stati poi analizzati solo le acquisizioni relative alla terza porta in un tracciato da cinque porte, le prime due e le ultime due servivano all'atleta per acquisire velocità e trovare il ritmo nella discesa.



Figura 31 Setup dell'attrezzatura utilizzata per lo studio in analisi [17]

I risultati ottenuti da questi studi hanno indicato che l'accuratezza dei dati acquisiti sul campo è simile, al più leggermente inferiore, a quella osservata in ambienti di laboratorio. Si può concludere quindi che un'accurata raccolta e analisi dei dati cinematici può essere eseguita in un campo di grandi dimensioni. Tuttavia, la validità della raccolta dei dati dovrebbe essere verificata su ogni esperimento sul campo, poiché questi dipendono fortemente dalle condizioni circostanti, le quali possono cambiare anche in poche ore.

3.3 Studio sulla classificazione della sciata tramite sensori inerziali

Uno studio recente eseguito da Salzburg Research Forschungsgesellschaft m.b.H. (Austria) effettuato con l'utilizzo di sensori inerziali è stato svolto per identificare la progressione del movimento di apprendimento tramite i differenti metodi nell'esecuzione della curva.[18]

Lo studio è stato effettuato per classificare la curva da sci in uno dei quattro stili di sciata: spazzaneve, virata, sci paralleli e carving (curva sportiva).

Per questo studio sono stati utilizzati due sensori IMUs montati sul gambaletto posteriore di ogni scarpone, bloccati tramite una cinghia in modo che il sensore non si dislochi durante la discesa.

L'asse Y del sensore è allineato con l'asse verticale dello scarpone rivolto verso l'alto, l'asse X è allineato con l'asse laterale rivolto verso destra e l'asse Z è allineato con l'asse di rollio rivolto posteriormente.

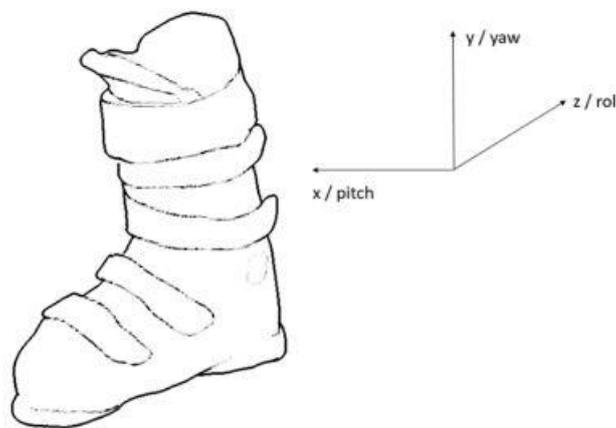


Figura 32 Orientamento assi [18]

I dati sono stati collezionati tra Gennaio e Marzo 2019 in Austria su piste di media difficoltà, e in condizioni di neve differenti: manto nevoso ghiacciato, grumoso, con 10 cm di neve fresca.

I segnali acquisiti vengono filtrati opportunamente e inviati al telefono tramite bluetooth dove vengono archiviati per ulteriori elaborazioni.

Sono stati reclutati venti sciatori per partecipare a questo studio, di diversi livelli, da principianti ad atleti FIS. Ogni atleta ha eseguito una discesa di dieci curve. Nell'analisi dei dati la prima e l'ultima curva sono state poi scartate per eliminare un'accelerazione e una decelerazione potenzialmente atipica.

L'algoritmo utilizzato per valutare i dati di interesse è stato costruito utilizzando il 75% dei dati acquisiti come set di allenamento del classificatore, il restante 25% è servito come dati di test per convalidare il modello addestrato.

Per attuare una classificazione tra curva a sci paralleli e non paralleli è stato costruito un albero decisionale basato su: la massima simmetria della velocità angolare dell'asse di rollio, la massima simmetria della velocità angolare sull'asse di imbardata e la velocità angolare massima assoluta dell'asse di rollio.

Queste caratteristiche sono state analizzate e si è individuato che: la massima velocità angolare sull'asse di rollio è più alta per le curve a sci paralleli che non paralleli, la massima simmetria della velocità angolare dell'asse di imbardata e rollio è più piccola per le discese a sci paralleli che non paralleli.

Vengono utilizzate quattro metriche per il confronto: accuratezza, sensibilità, specificità e media geometrica.

Si è quindi proceduto ad una prima classificazione tra discesa con sci paralleli e non paralleli e successivamente un'ulteriore classificazione che divide queste due categorie in altre due sottocategorie: carving e drifting per le discese a sci paralleli e spazzaneve e virata per le discese a sci non paralleli. Questi risultati vengono restituiti tramite Confusion Matrix per averne un'interpretazione visiva.

Le variabili più importanti dell'albero decisionale per curve a sci paralleli sono: la velocità massima per curva, la deviazione standard della velocità angolare assoluta dell'asse di rollio della curva e la deviazione standard della velocità angolare dell'asse di rotazione del giroscopio durante la curva.

Le variabili più importanti dell'albero decisionale per curve a sci non paralleli sono: la media dell'angolo di inclinazione massimo stimato del piede destro e sinistro durante la curva, la media dell'accelerazione massima sull'asse delle x del piede destro e sinistro durante la curva e la durata di ogni singola curva.

Tramite questi metodi di analisi si è ottenuta una precisione superiore al 93% nel caso di sciata a sci paralleli e del 88% nel caso di sciata a sci non paralleli. Questa precisione di classificazione potrebbe essere migliorata considerando la pendenza della pista e le condizioni meteorologiche e si potrebbe apportare una maggiore accuratezza del modello di classificazione potenziandolo a seconda dei diversi tipi di neve, delle condizioni delle piste e i vari livelli di abilità degli sciatori.

3.4 Considerazioni sugli studi effettuabili in ambito sciistico

Si è potuto notare tramite gli studi effettuati negli ultimi anni sulla disciplina dello sci che i vari sistemi di analisi vengono impiegati separatamente o accoppiati poiché mi restituiscono indici di valutazione differenti.

I sistemi di analisi inerziali, che comprendono accelerometro, giroscopio e magnetometro, vengono fissati direttamente allo sciatore e registrano l'accelerazione lineare e le velocità angolari sui tre assi. Hanno il vantaggio di essere molto piccoli ed economicamente accessibili, bisogna però fare attenzione nella fase di elaborazione dei dati, poiché l'integrazione numerica di questi porta ad avere una deriva nel calcolo degli angoli caratteristici, velocità e posizione e orientamento. Per essere più precisi nel calcolo della traiettoria si usano algoritmi di sensor fusion, filtro Kalman o filtro complementare, che mi permettono di avere una stima più accurata della posizione dello sciatore.

L'analisi video mi permette di ricostruire il modello tridimensionale del nostro soggetto e valutarne velocità e accelerazioni di tutti i segmenti corporei, ricostruendo così la postura dell'atleta in più fasi della curva. Gli svantaggi di questa tecnica sono: area limitata in cui è possibile effettuare un'analisi video, volume di cattura, e tempi di analisi e calibrazione molto lunghi. Questa analisi è generalmente il riferimento per stabilire la validità degli altri metodi.

Le solette per il calcolo della pressione e quindi la reazione vincolare al terreno sono state molto utili per la comprensione della distribuzione del carico sugli sci nelle diverse fasi della curva e nelle diverse discipline, e per identificare il momento in cui si passa dalla curva precedente alla successiva come il momento in cui la forza verticale di reazione vincolare al terreno ha valore minimo.

4. Studio preliminare sui sensori utilizzati

La prima fase di questo lavoro di tesi consiste in uno studio preliminare dei sensori utilizzati, per approfondirne la conoscenza ed operare successivamente un'analisi più specifica sulla biomeccanica dello sci alpino.

Il sensore utilizzato è un sensore MMR, un dispositivo indossabile che offre un monitoraggio continuo e in tempo reale dei dati dei sensori ambientali e di movimento.

Questi sensori hanno al loro interno un accelerometro, un giroscopio, un magnetometro e un sensore barometrico.

L'orientamento dei sensori è:

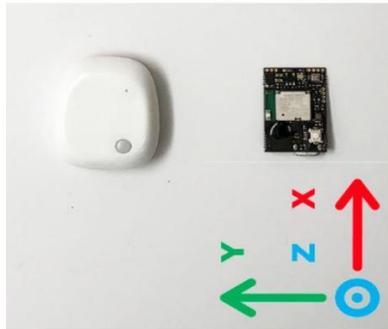


Figura 33 orientamento assi sensori

4.1 Accelerometro

L'accelerometro misura l'accelerazione del corpo in analisi, l'accelerazione è data dal movimento del corpo e dalla forza di gravità.

L'accelerometro può essere utilizzato per studiare l'angolo di inclinazione, per ottenere una misura accurata dell'angolo vengono utilizzati in combinazione con i giroscopi.

Accelerometri digitali forniscono informazioni utilizzando un protocollo seriale, mentre gli accelerometri analogici emettono un livello di tensione entro un livello predefinito che bisogna convertire in un valore digitale tramite un convertitore analogico digitale.

L'accelerometro misura l'accelerazione, la quale per un oggetto statico è dovuta alla gravità.

I segnali acquisiti sono campionati ad una frequenza di campionamento pari a 50 Hz, e viene applicata una sottrazione della media dei primi 100 campioni, sensore fermo, così da operare una taratura sui nostri dati.

Opero un filtraggio a media mobile tramite la funzione smooth di Matlab, selezionando uno span di 0.2, e come metodo 'moving', un filtro passa basso con coefficienti di filtro pari al reciproco dello span.

Procediamo con il calcolo degli angoli su x e y andando ad effettuare delle inclinazioni elementari su questi due assi.

- **Inclinazione su asse x**

Acquisisco segnali con il sensore posto in verticale, andando ad effettuare delle inclinazioni di circa 45° sull'asse x.

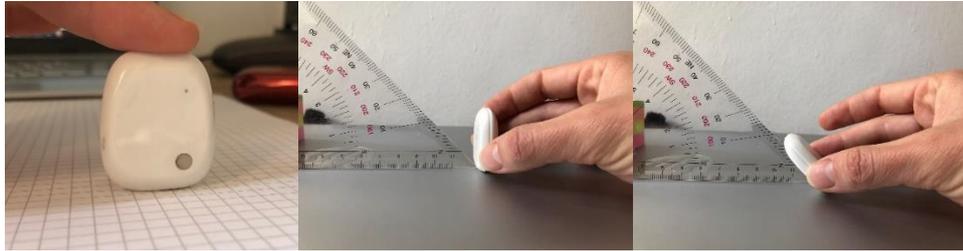


Figura 34 inclinazione su asse x

Si procede con il calcolo dell'angolo attraverso 3 assi, la variazione angolare che otteniamo dovrebbe andare a coincidere con una variazione dell'angolo sull'asse delle x di circa 45° .

La variazione angolare ottenuta risulta essere:

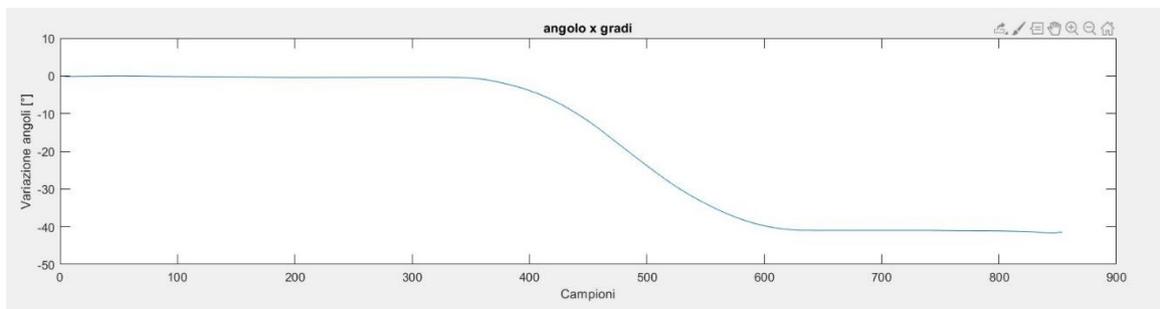


Figura 35 variazione angolare su asse x

Considerando il punto maggiore e il minore della nostra inclinazione si è identificata un'inclinazione di 43.42° , concorde con quello che ci aspettavamo.

- **Inclinazione su asse y**

Procediamo nello stesso modo eseguito per individuare le inclinazioni sull'asse delle y, acquisendo i segnali con il sensore posto in orizzontale ed effettuando inclinazioni sui 45° .

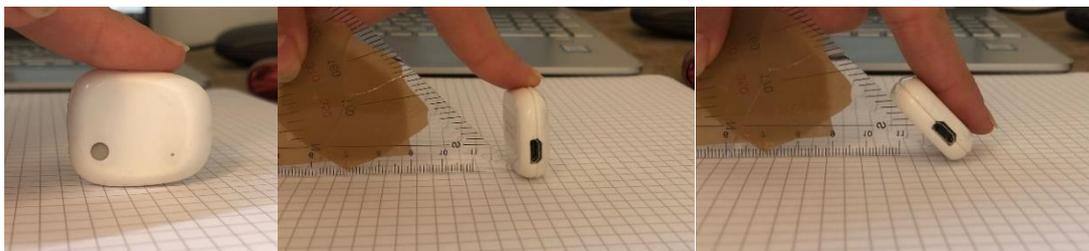


Figura 36 inclinazione sensore su asse y

L'angolo di inclinazione ottenuto risulta essere:

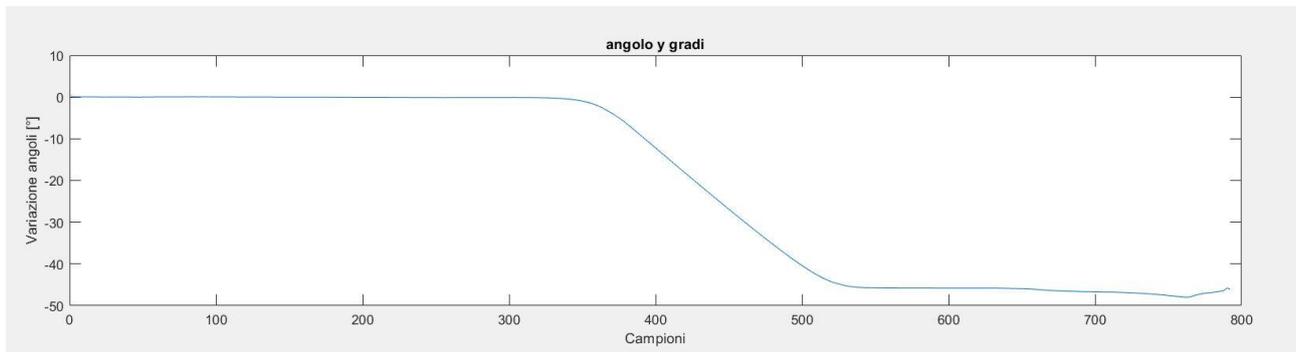


Figura 37 variazione angolo su asse y

Considerando il punto maggiore e il minore della nostra inclinazione si è identificata un'inclinazione di 46.42° , concorde con quello che ci aspettavamo.

4.2 Accelerometro e Giroscopio

Successivamente si è andato ad operare con accelerometro e giroscopio combinati tra loro tramite il filtro complementare, [cap. 2.3.a], il quale ci permette di fondere assieme i due.

Effettuiamo ora delle prove dove operiamo inclinazioni del nostro sensore note così da poter andare a confrontare i risultati.

- **Flesso estensione del gomito**

Operiamo un flesso estensione tra i $60-90^\circ$ posizionando il sensore sulla mano tesa in avanti e il gomito vicino alle anche, effettuiamo una flessione del gomito portando così la mano e il sensore verso la spalla, e successivamente riportato nella posizione originale.



Figura 38 Inclinazione effettuata

Dati gli assi del sensore identificati come in Figura 33, ci aspettiamo di notare una variazione dell'angolo sull'asse x e z.

La rappresentazione dei due angoli ottenute sono:

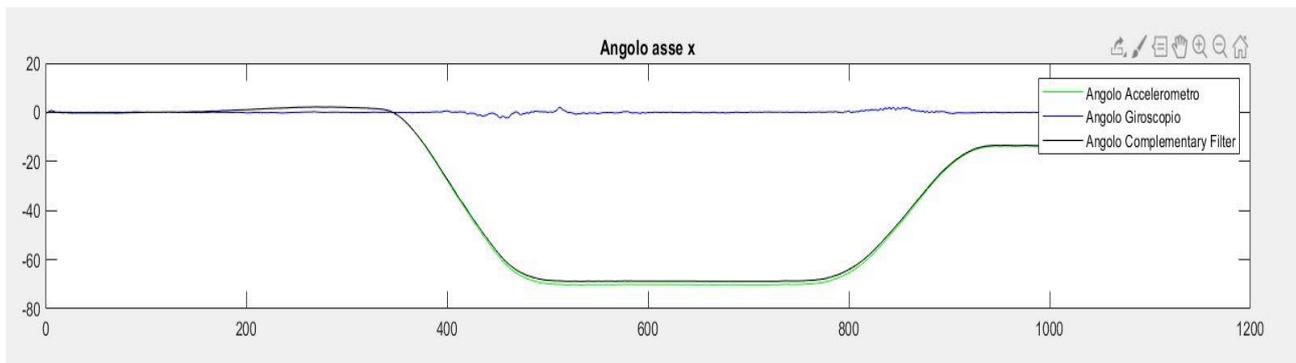


Figura 39 Angolo inclinazione su asse x

Tramite la funzione `fprintf` si stampa la variazione dell'angolo durante la flessione del gomito e durante l'estensione per tornare in posizione originale.

Fase flessione l'angolo di inclinazione su x risulta essere: 71.08°

Fase estensione gomito, non effettuata fino al punto di partenza come risulta anche da grafico, l'angolo di inclinazione su x risulta essere: 55.63° .

Tramite la funzione `fprintf` si stampa la variazione dell'angolo durante la flessione del gomito e durante l'estensione per tornare in posizione originale, l'inclinazione dell'angolo z risulta essere maggiore rispetto all'angolo x siccome sulla parte finale del piegamento del gomito è stato registrato anche un piegamento finale del polso che porta ad avere un angolo inclinazione su z più marcato.

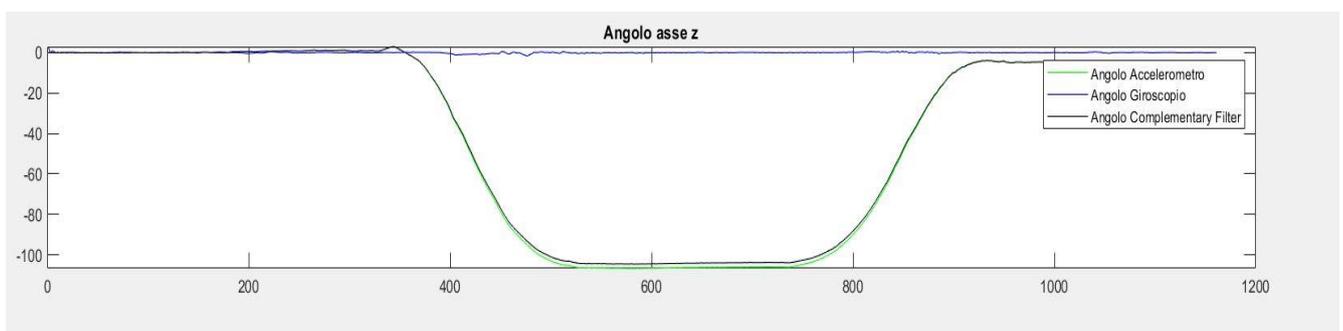


Figura 40 Angolo inclinazione su asse z

Fase flessione gomito l'angolo di inclinazione su z risulta essere: $107,5^\circ$

Fase estensione gomito l'angolo di inclinazione su z risulta essere: 100.8°

- **Oscillazioni intorno alla posizione verticale di partenza**

Posiziono il sensore in mano con il braccio lungo parallelo al bacino e effettuo delle oscillazioni con il braccio in avanti e indietro per andare a valutare una variazione più completa dell'angolo. Le variazioni di angolo che ci aspettiamo sull'asse y rispetto alla posizione di partenza varieranno in un intervallo di -45° $+45^\circ$, approssimativamente, per un'oscillazione totale sui 90° .

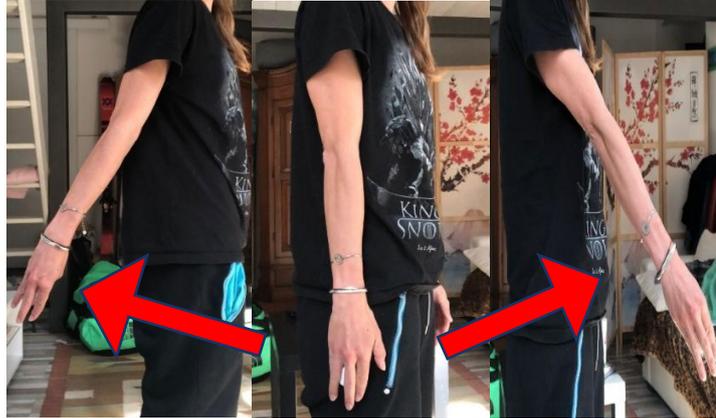


Figura 41 oscillazioni intorno alla posizione verticale di partenza

Dato il posizionamento degli assi del nostro sensore, Figura 33, ci aspettiamo una variazione degli angoli sull'asse y.

L'immagine della variazione dell'angolo ottenuto è:



Figura 42 variazione angolare su asse y

La rappresentazione dell'angolo durante questo movimento mi fa vedere bene le oscillazioni effettuate passando dal punto di partenza individuato sullo zero.

Per il calcolo dell'angolo utilizzo una funzione findpeaks, che mi permette di trovare i picchi e le valli adiacenti così da poter calcolare la variazione totale dell'angolo durante tutto il movimento.

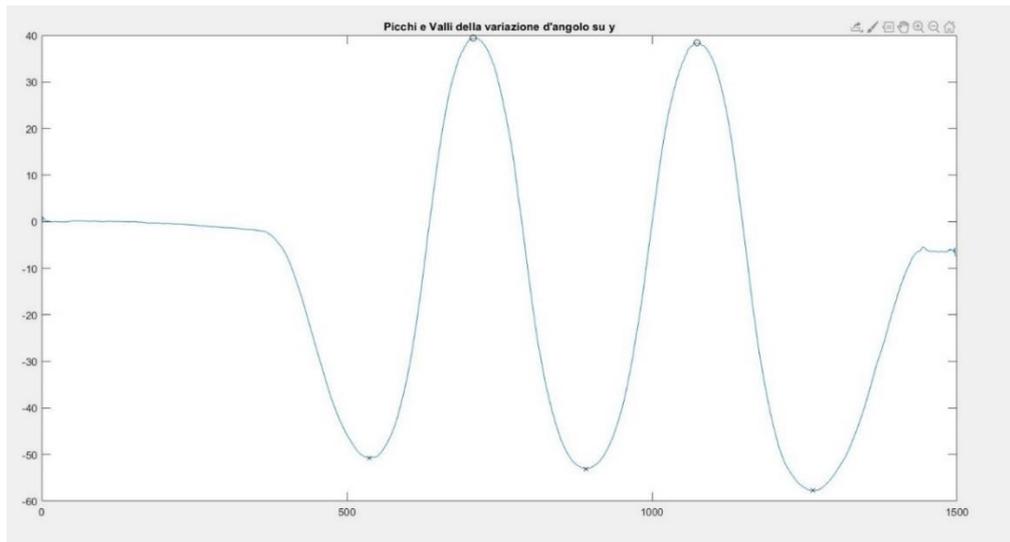


Figura 43 Picchi e valli identificati su asse y

La variazione totale di angolo tra le valli e i picchi viene calcolata su matlab come somma tra le rispettive posizioni e le variazioni totali risultano essere:

Tra prima valle e primo picco 90.12°

Tra primo picco e seconda valle 92.52°

Tra seconda valle e secondo picco 91.52°

Tra secondo picco e terza valle 96.19°

I risultati risultano essere concordi all'esperimento fatto.

4.3 Angolo relativo tra due sensori

Una volta aver capito il funzionamento dei sensori utilizzati eseguendo prove con movimenti semplici e aver verificato che i risultati che otteniamo sono coerenti con i movimenti effettuati, iniziamo a lavorare con due sensori simultaneamente per andare ad individuare l'angolo relativo che si forma tra due segmenti ossei sui quali è stato posizionato un sensore per segmento osseo.

Per acquisire simultaneamente i dati dai due sensori, viene creato un gruppo sull'applicazione del cellulare che conterrà i due sensori in modo che una volta impostati i parametri di acquisizione e avviata la registrazione i dati vengano acquisiti in modo contemporaneo per entrambi i sensori.

Prima di elaborare i dati è necessario effettuare una verifica di sincronizzazione ed eventualmente migliorarla, in questa prima fase di analisi la sincronizzazione è stata effettuata operando sulla prima colonna del file Excel relativa a tutte le acquisizioni fatte (Accelerometro per il sensore 1 e 2, Giroscopio per il sensore 1 e 2), si operano modifiche sulla colonna per far combaciare gli istanti di tempo di inizio e fine per tutti i dati in modo da avere nello stesso arco temporale lo stesso numero di campioni per tutti i file di dati, successivamente per l'analisi dello sci si è operata una sincronizzazione più accurata tramite codice matlab [cap 5.2].

Effettuata la sincronizzazione elaboriamo i dati come fatto nelle prove precedenti su entrambi i sensori:

1. Togliamo la media dei primi 200 campioni dal segnale, segnale stazionario.
2. Calcolato angolo del giroscopio lo filtro passa alto per eliminare l'errore di Drift.
3. Filtro passa basso sui dati ottenuti dall' accelerometro con fa funzione smooth e calcolo dell'angolo di quest'ultimo.
4. Filtro complementare che mi mette insieme l'angolo ottenuto dall' accelerometro e dal giroscopio.
5. Differenza tra gli angoli ottenuti dal filtro complementare per il sensore 1 e il sensore 2 sui diversi assi, questo ultimo punto è quello che mi permette di calcolare l'angolo relativo tra i due segmenti corporei.

- **Flesso Estensione Polso**

Flesso estensione del polso con i sensori posizionati a cavallo dell'articolazione e valuto l'angolo relativo tra i due.

Partenza mano tesa in avanti poi si sono effettuate due flessioni:

- Flessione dorsale della mano.
- Flessione plantare della mano.



Figura 44 Flesso estensione polso

Andando a calcolare l'angolo relativo sui tre assi, come differenza tra gli angoli calcolati per i due sensori otteniamo il plot degli angoli:

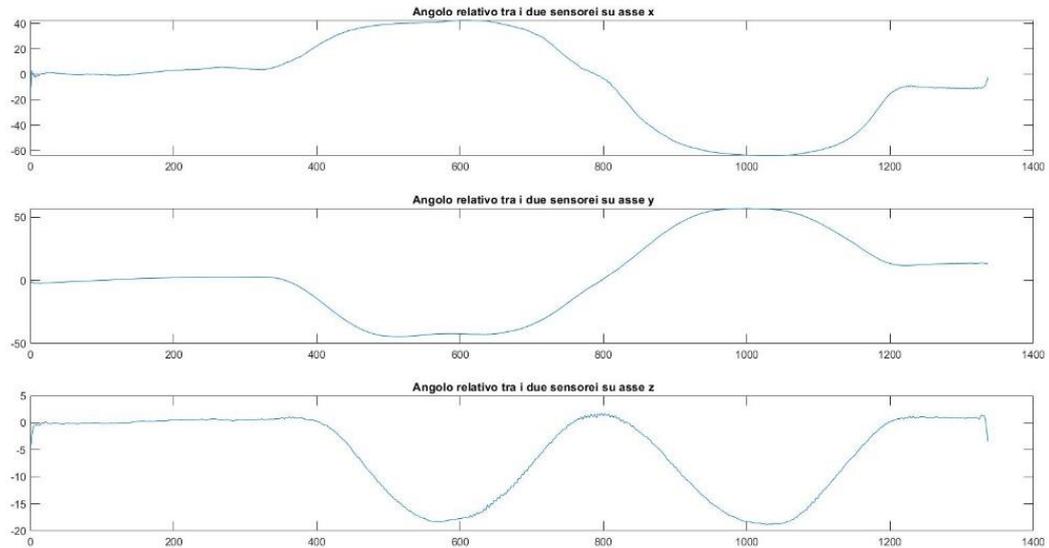


Figura 45 angoli relativi tra gli assi

Utilizzando la funzione findpeaks vado ad individuare i picchi e le valli del nostro plot per andare a identificare l'angolo relativo tra i due sensori:

Asse X, l'angolo identificato su tutto il movimento, flessione dorsale più flessione plantare, è di 67.11° .

Asse Y, l'angolo identificato su tutto il movimento, flessione dorsale più flessione plantare, è di 101.54° .

Asse Z, l'angolo della flessione dorsale risulta essere 20.04° , l'angolo della flessione plantare risulta essere 20.54° .

- **Flessione avambraccio su braccio**

Braccio teso in avanti con un sensore posto sul braccio e uno sull'avambraccio.

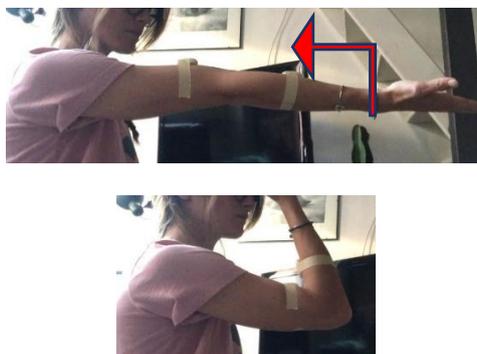


Figura 46 Flessione avambraccio su braccio

Operando con una sottrazione dell'angolo complementare ottenuto dal sensore 1 e quello ottenuto dal sensore 2 otteniamo le variazioni relative dell'angolo rappresentate nel plot seguente:

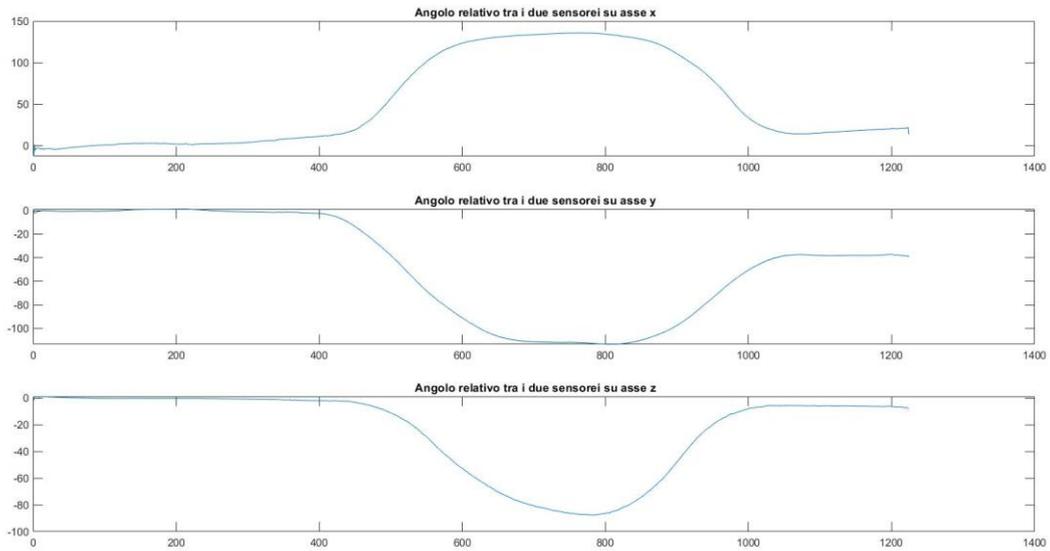


Figura 47 plot variazioni angolari relative sui 3 assi

Tramite la funzione findpeaks che mi identifica i picchi e le valli, e considerando l'angolo relativo massimo generato, mi vengono restituite le variazioni angolari sugli assi:

Asse X, 141.4°

Asse Y, 114.6°

Asse Z, 88.8°

5. Cinematica dello sci alpino: risultati prove sensori utilizzati

Operata una conoscenza opportuna sui sensori che andremmo ad utilizzare iniziamo a lavorare con i dati acquisiti su sciatori in prove di gigante e slalom.

Le acquisizioni hanno seguito tutte lo stesso procedimento:

- a) Posizionamento dei sensori, grazie alle apposite fascette/supporti acquistate insieme ai sensori.
- b) Scelta del tracciato e del punto di partenza della discesa
- c) Posizionamento dell'atleta sul punto di partenza
- d) Accensione BLE e visualizzazione dei sensori sulla App
- e) I sensori vengono nominati con la parte del corpo a cui sono associati
- f) Viene creato un gruppo (raccolge insieme i 5 sensori) per far sì che i sensori inizino a registrare tutti nello stesso istante
- g) Si scelgono le grandezze da misurare
- h) Delle grandezze da valutare si può scegliere anche il fondoscala e la frequenza di campionamento
- i) Si inizia la registrazione e il tester può effettuare la discesa
- j) Terminata la discesa i dati vengono scaricati, nominati in maniera efficace per il riconoscimento della discesa e inviati immediatamente sul Laptop per essere analizzati

5.1 Sistemi di misura utilizzati per analisi dello sci alpino

I dati sono stati acquisiti in due giornate diverse la prima a Pozza di Fassa in data 17/02/2021, con l'aiuto di quattro Atleti categoria Allievi e la seconda giornata a Melette di Gallio in data 25/03/2021 con l'aiuto di una atleta nazionale, Giuliano Razzoli, una atleta della categoria Allievi, e un maestro di sci.

I sensori posizionati sono cinque, due sotto la manopola dei bastoncini, sensori 1 e 2, due sul retro degli scarponi, sensori 4 e 5, e uno sulla schiena in posizione lombare e al centro di questa, sensore 3.

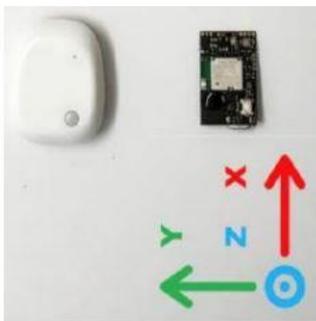


Figura 48 Orientamento assi

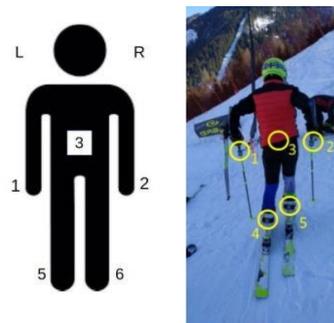


Figura 49 Posizionamento sensori

I movimenti caratteristici dello sciatore sono:

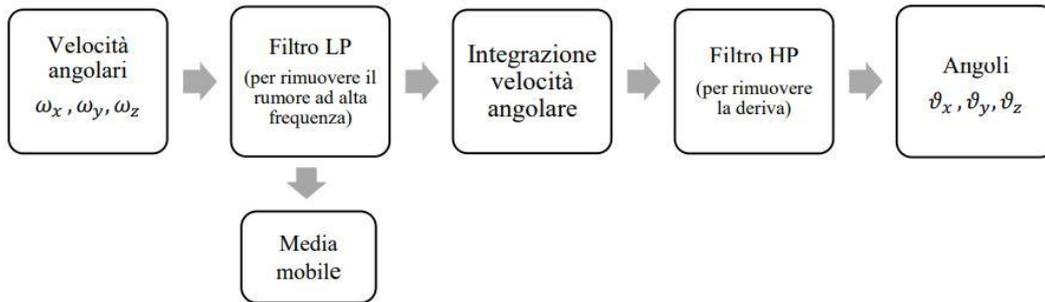
- Rollio o Inclinazione laterale: rotazione attorno all'asse Z.
- Imbardata o curve: rotazione attorno all'asse X, mi identifica la direzione.

- Beccheggio o Flex: rotazione attorno all'asse Y, è molto influenzato dalla pendenza della discesa.

I sensori sono stati configurati in modo da registrare in modalità logging con successivo download i seguenti dati:

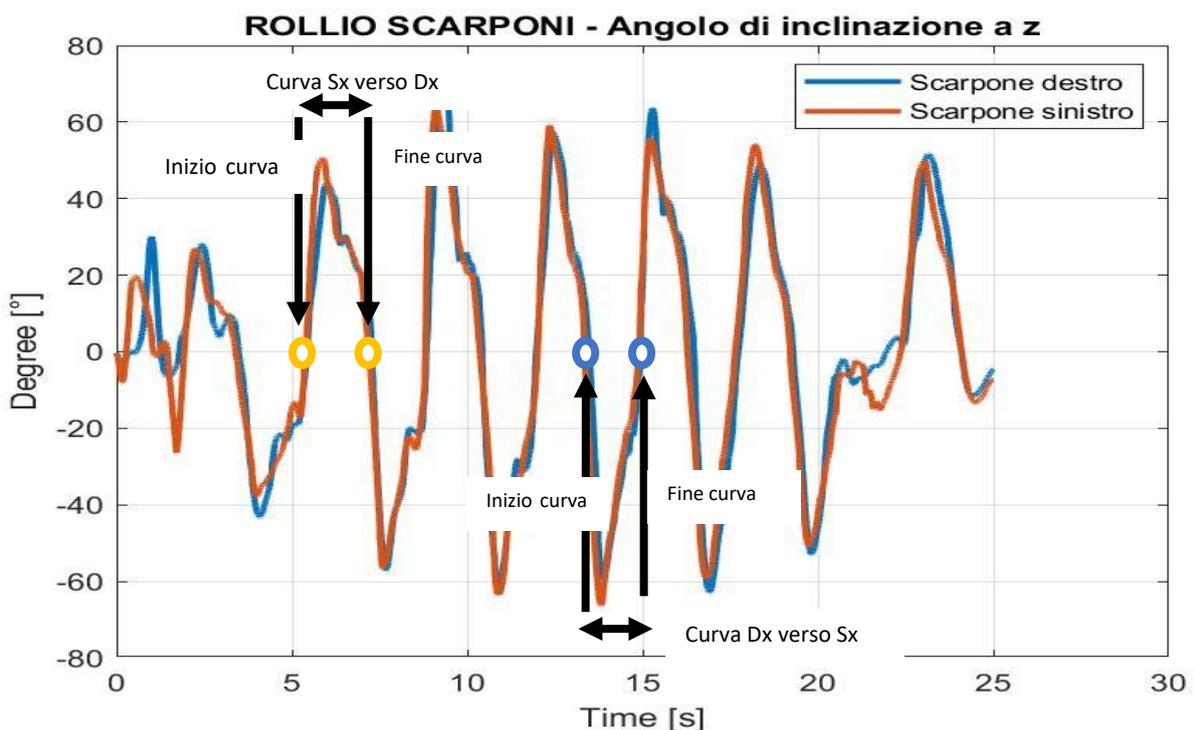
- Accelerazione: 50 Hz, fondo scala 16g
- Velocità angolare: 50 Hz, fondo scala 2000°/s

Per l'analisi dei dati inizialmente è stato utilizzato il seguente algoritmo.



- Filtro LP: filtro passa basso (Low Pass) con frequenza di taglio di 5 Hz
- Filtro HP: filtro passa alto (High Pass) con frequenza di taglio di 0.1 Hz
- La media mobile può essere usata in sostituzione al filtro LP. È stato verificato che le due analisi restituiscono risultati pressoché identici.

Dato l'orientamento dei sensori distinguiamo la curva da sinistra verso destra nella parte positiva del grafico, questa curva viene eseguita con lo sci esterno sinistro, mentre la curva da destra verso sinistra, sci esterno destro, la ritroviamo nella parte negativa del grafico.



5.2 Sincronizzazione temporale dei sensori

È stato implementato un codice Matlab che sincronizza temporalmente tutti i nostri sensori. La funzione utilizzata per far ciò è la funzione *Sort*, la quale mi permette di riorganizzare in ordine crescente i dati provenienti dalla colonna temporale dei file considerando tutti i sensori insieme. Una volta ottenuta la matrice di dati provenienti da tutti i sensori in ordine temporale crescente, con il rispettivo identificativo temporale, si individua l'istante di inizio valutazione dei dati. È risultato molto utile in questo caso avere i sensori posizionati sui bastoni così da individuare, come istante di inizio studio dei dati, l'accelerazione sull'asse delle x in corrispondenza della spinta effettuata durante la partenza della discesa.

Nei video degli atleti che eseguono la prova corrispondenti ai dati acquisiti si va ad impostare un cronometro nell'istante di interesse, prima spinta con i bastoni, in modo da andare a confrontare i gradi di angolazione del rollo degli scarponi, i più facilmente interpretabili e identificabili a video, con i rispettivi angoli di inclinazione di rollo degli scarponi valutati tramite i dati acquisiti nel medesimo istante, così da poter valutare la correttezza della sincronizzazione effettuata, sia angolare che temporale.

Si è valutata la sincronizzazione in tutte le prove a nostra disposizione per l'analisi dei dati, considerando come istante di inizio della prova la prima spinta eseguita dall'atleta.

5.2.a Sincronizzazione Pozza di Fassa

Durante la prima sessione, presso Pozza di Fassa, sono stati svolti 10 test:

Le prime sei prove sono state svolte su un percorso tracciato da paletti bassi a formare una pista da slalom gigante (Tester 1 e 2).

Le restanti quattro prove sono state svolte su un percorso tracciato da pali snodati a formare una pista da slalom (Tester 3 e 4).

I tester erano tutti sciatori esperti/ professionisti.

Si riportano di seguito i risultati della sincronizzazione temporale su una prova per ciascun tester.

- **Tester 1 ore 10.43 Prova di Slalom Gigante**

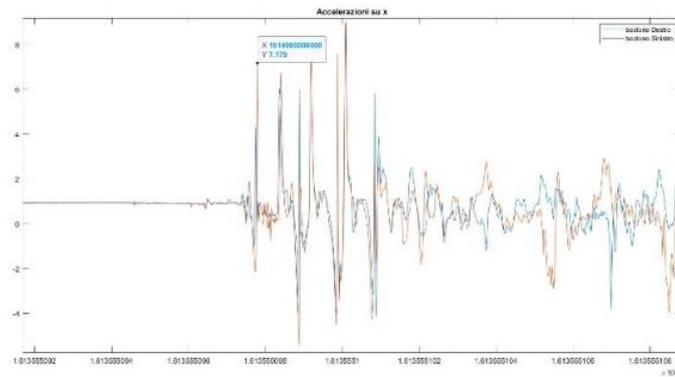


Figura 50 Picco accelerazioni bastoni su asse x

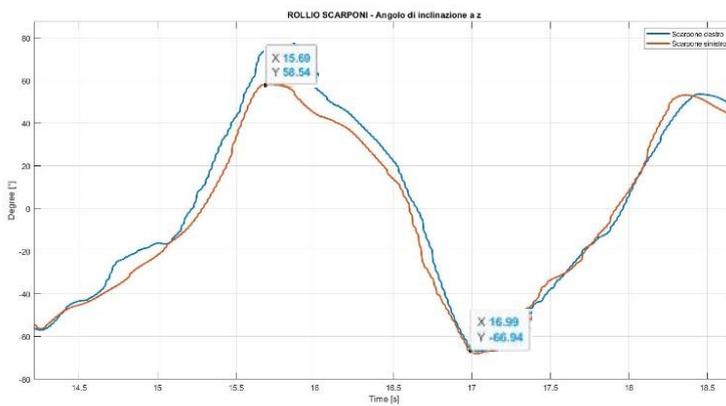


Figura 51 Dati Decima e Undicesima curva



Figura 52 Sincronizzazione a video

Curva da Sx verso Dx	Prova Video	Dati analizzati
Angolazione	60°	58.54°
Tempo	15.52 s	15.69 s

Curva da Dx verso Sx	Prova Video	Dati analizzati
Angolazione	66°	66.94°
Tempo	16.70 s	16.99 s

- **Tester 2 ore 11.23 Prova di Slalom Gigante**

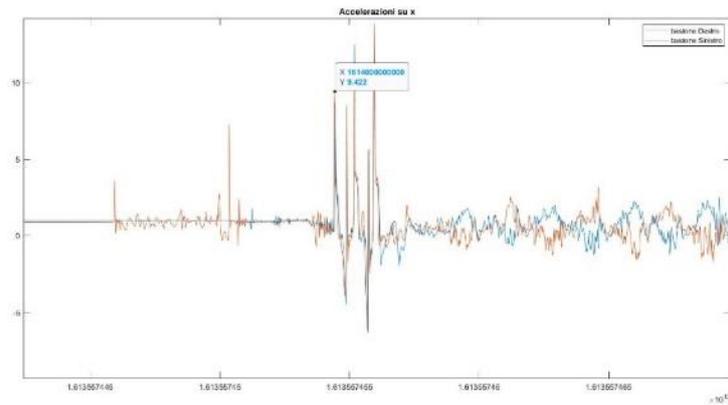


Figura 53 Picco accelerazioni bastoni su asse x

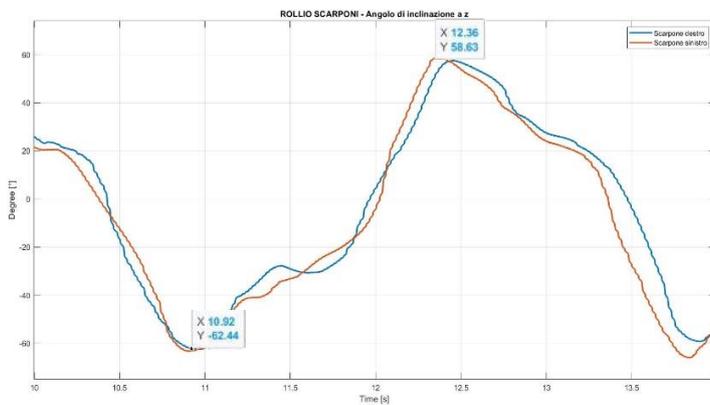


Figura 54 Dati Settima e Ottava Curva



Figura 55 Sincronizzazione a video

Curva da Dx verso Sx	Prova Video	Dati analizzati
Angolazione	63°	62.44°
Tempo	10.94 s	10.92 s

Curva da Sx verso Dx	Prova Video	Dati analizzati
Angolazione	58°	58.63°
Tempo	12.36 s	12.36 s

- **Tester 3 ore 14.18 Prova di Slalom Speciale**

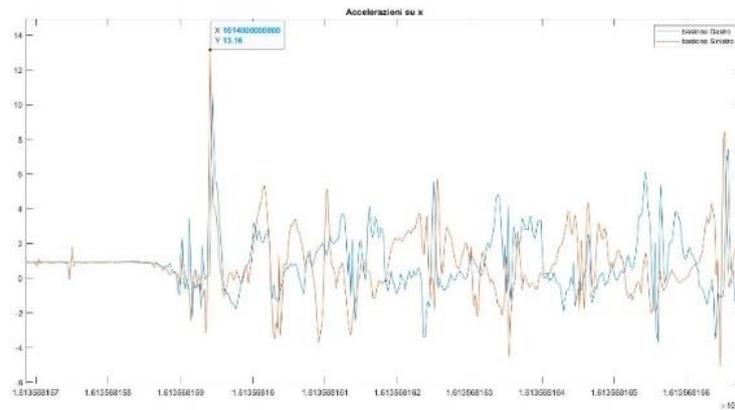


Figura 56 Picco accelerazioni bastoni su asse x

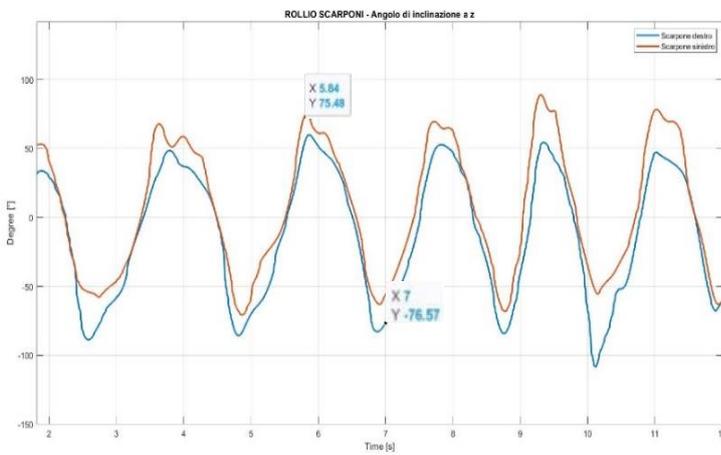


Figura 57 Dati Settima e Ottava Curva



Figura 58 Sincronizzazione a video

Curva da Sx verso Dx	Prova Video	Dati analizzati
Angolazione	75°	75.48°
Tempo	5.92 s	5.84 s

Curva da Dx verso Sx	Prova Video	Dati analizzati
Angolazione	75°	76.57°
Tempo	7 s	7 s

- **Tester 4 ore 15.07 Prova di Slalom Speciale**

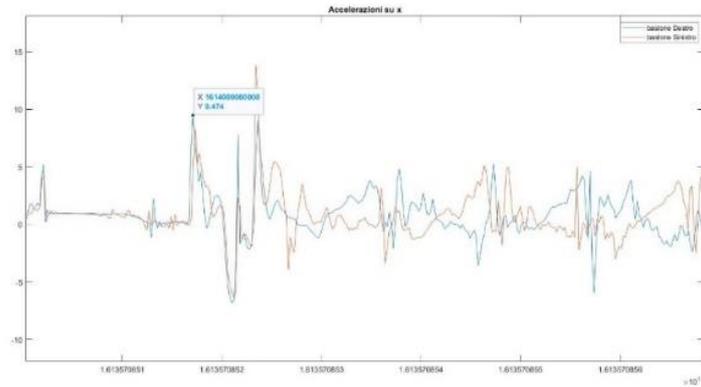


Figura 59 Picco accelerazioni bastoni su asse x

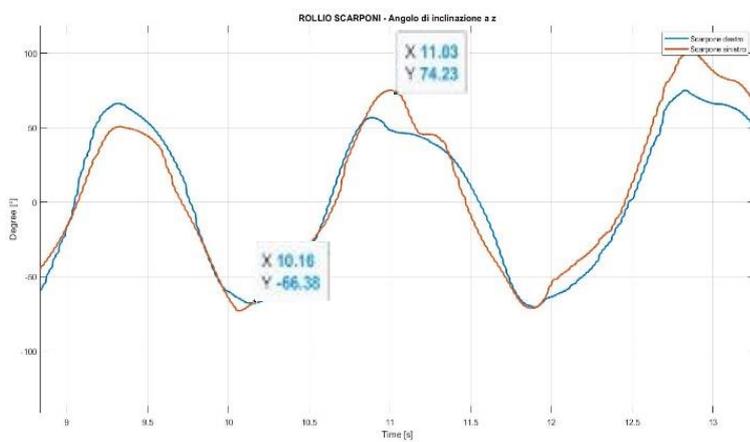


Figura 60 Dati Dodicesima e Tredicesima Curva



Figura 61 Sincronizzazione a Video

Curva da Dx verso Sx	Prova Video	Dati analizzati
Angolazione	66°	66.38°
Tempo	10.04 s	10.16 s

Curva da Sx verso Dx	Prova Video	Dati analizzati
Angolazione	73°	74.23°
Tempo	11.08 s	11.23 s

5.2.b Sincronizzazione Melette di Gallio

Durante la seconda sessione, presso Melette di Gallio, sono stati svolti ulteriori 6 test:

Tutti i test sono stati svolti su un percorso tracciato da pali a formare una pista di slalom (Tester 5, 6 e 7). I tester erano tutti sciatori esperti/ professionisti.

Si riportano di seguito i risultati della sincronizzazione per il tester 5 e 6, del tester 7 non siamo a disposizione del video completo, quindi, non è possibile impostare il cronometro nel momento della prima spinta.

- **Tester 5 ore 9.29 Prova di Slalom Speciale**

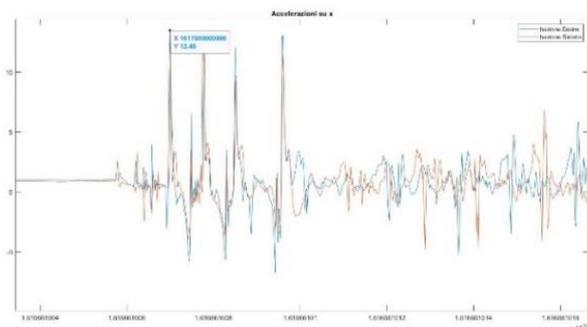


Figura 62 Picco accelerazioni bastoni su asse x

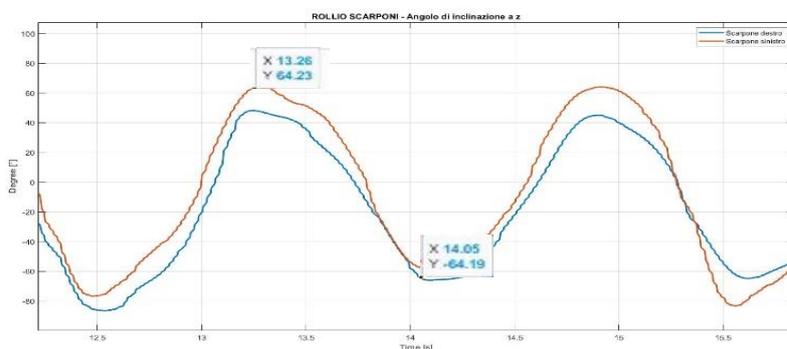


Figura 63 Dati Sedicesima e Diciassettesima Curva

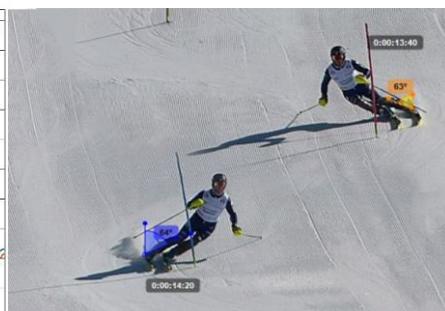


Figura 64 Sincronizzazione Video

Curva da Sx verso Dx	Prova Video	Dati analizzati
Angolazione	63°	64.23°
Tempo	13.40 s	13.26 s

Curva da Dx verso Sx	Prova Video	Dati analizzati
Angolazione	64°	64.19°
Tempo	14.20 s	14.05 s

- **Tester 6 ore 10.41 Prova di Slalom Speciale**

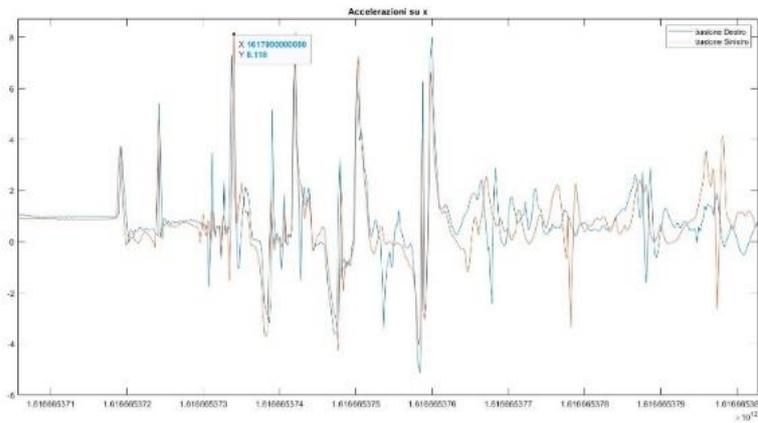


Figura 65 Picco accelerazioni bastoni su asse x

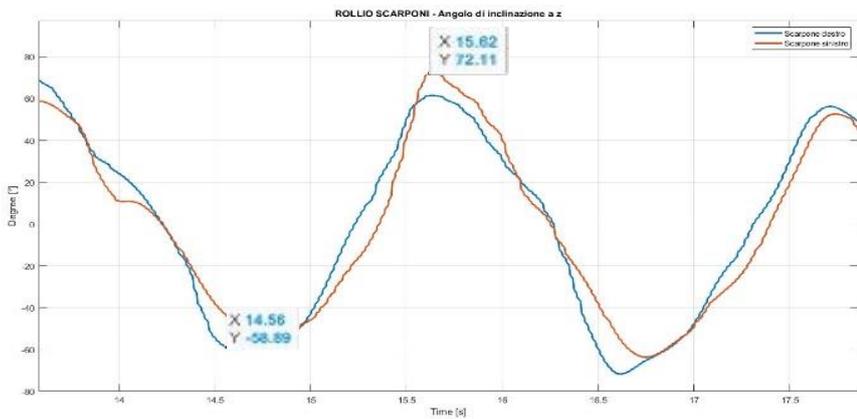


Figura 66 Dati Quindicesima e Sedicesima Curva



Figura 67 Sincronizzazione video

Curva da Dx verso Sx	Prova Video	Dati analizzati
Angolazione	58°	58.89°
Tempo	14.50 s	14.56 s

Curva da Sx verso Dx	Prova Video	Dati analizzati
Angolazione	72°	72.11°
Tempo	15.84 s	15.62 s

Sul tester 7 non è stato possibile effettuare il confronto in quanto non disponevamo della ripresa video di tutta la discesa.

5.2.c Commenti su sincronizzazione

Dai risultati che si ottengono sulla sincronizzazione dati video, possiamo considerare valido il codice utilizzato per la sincronizzazione temporale dei dati in quanto le inclinazioni massime, quelle in cui il soggetto si trova sul palo, rilevate a video in un determinato istante di tempo corrispondono, a meno di un errore umano di attivazione del cronometro nel preciso istante in cui avviene l'accelerazione massima della prima spinta. Il codice utilizzato è quindi considerato valido.

5.3 Prove sperimentali Slalom Gigante

Le prove eseguite sul tracciato da Slalom Gigante sono state effettuate esclusivamente a Pozza di Fassa, gli atleti che hanno partecipato alla prova sono atleti esperti, il tracciato era composto da 11 curve. La prima curva del tracciato era da Destra verso Sinistra, che corrisponde a valori di angoli negativi, mentre le curve da Sinistra verso Destra corrispondono a valori di angoli positivi, con un distanziamento tra una porta e la successiva regolare.

I tester sono:

Tester 1. Alessandro Valt

Tester 2. Alfredo Brighenti

I dati provenienti dai diversi sensori sono stati sincronizzati considerando la prima spinta effettuata dall'atleta durante la partenza per eseguire la prova, si individua il picco di accelerazione sull'asse delle x dei sensori posti sui bastoncini.

Il tempo di esecuzione delle prove è considerato a partire dalla prima spinta, accelerazione su x dei sensori posti sui bastoncini, e l'ultimo picco individuato tramite l'angolo di rollio sugli scarponi, picco che corrisponde all'ultima curva.

Tramite la funzione findpeaks si sono identificati i picchi di interesse che mi serviranno per calcolare i tempi medi di esecuzione delle singole curve.

I sensori sono stati configurati in modo da registrare in modalità logging con successivo download i seguenti dati:

- Accelerazione: 50 Hz, fondo scala 16g
- Velocità angolare: 50 Hz, fondo scala 2000°/s
- Pressione barometrica: 1.960 Hz

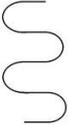
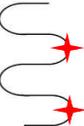
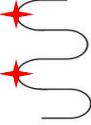
Vengono riportate di seguito tutte le prove eseguite dagli atleti, comprese di tempi di esecuzione della prova e medi delle singole curve.

Si riportano inoltre anche i grafici esplicativi di ognuno dei segmenti corporei in analisi, scarponi, bastoncini e schiena.

Sono state effettuate delle sovrapposizioni dei dati provenienti da segmenti corporei differenti in modo da poter effettuare dei confronti tra atleti diversi e discriminare una migliore o peggiore sciata (vedi grafici in appendice 7.1).

5.3.a Prove eseguite a Pozza di Fassa

Prova1. Tester 1 ore 10.23

Esecuzione	Tempo [s]	Intervallo individuato sul grafico
Prova intera	18.14 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da SX verso DX	3.28 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da DX verso SX	2.91 s	
Esecuzione due curve successive DX SX	1.39 s	

Numero curve	11
Curve verso Destra	6
Curve verso Sinistra	5
Inclinazione rollio (media)	+65-68
Inclinazione Imbardata (media)	+20-20

SCARPONI

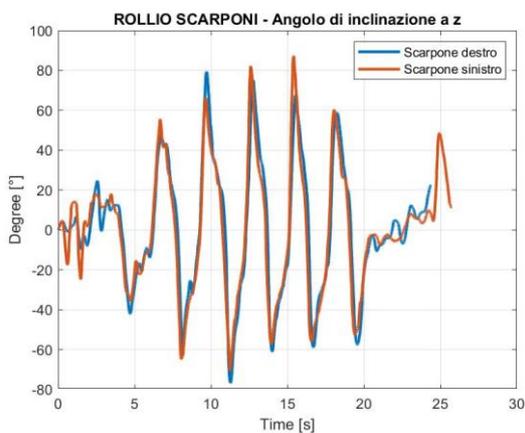


Figura 68 Angolo di Rollio

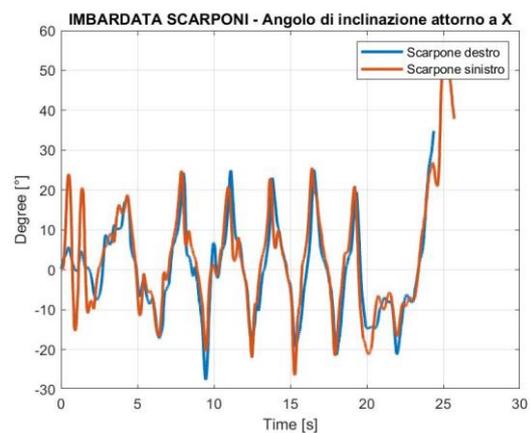


Figura 69 Angolo di Imbardata

BASTONCINI

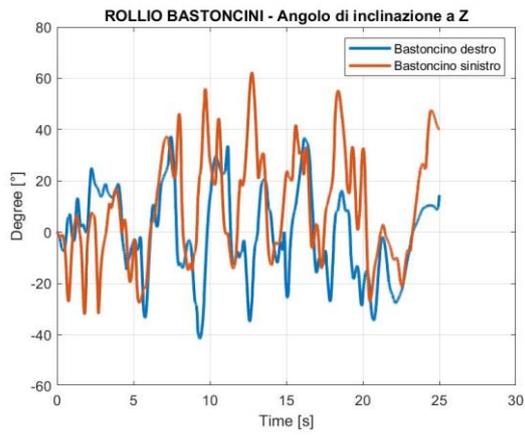


Figura 70 Angolo di Rollio

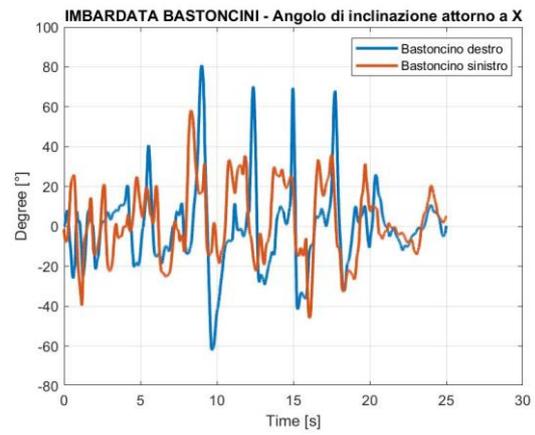


Figura 71 Angolo di Imbardata

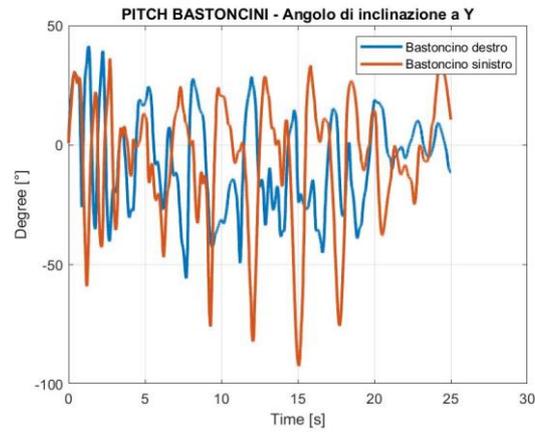


Figura 72 Angolo di Pitch

SCHIENA

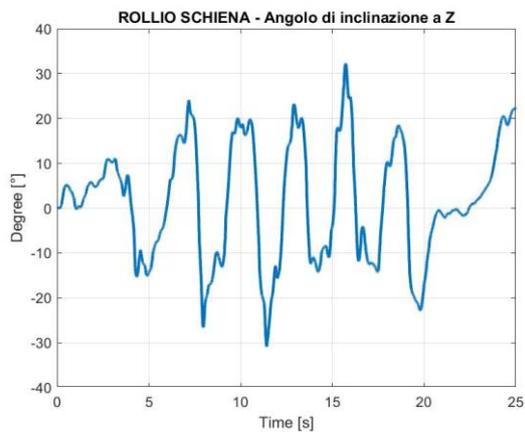


Figura 73 Angolo di Rollio

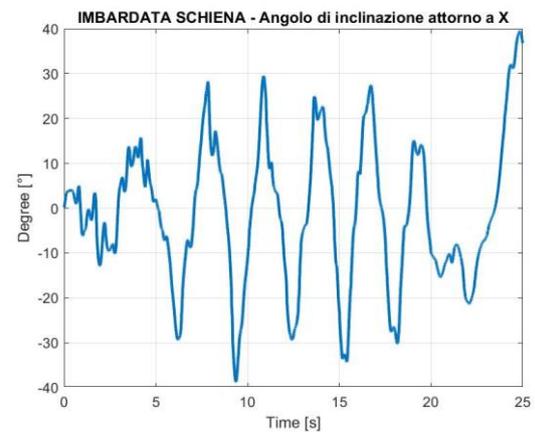
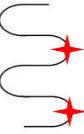


Figura 74 Angolo di Imbardata

Prova 2. Tester 1 ore 10.43

Esecuzione	Tempo [s]	Intervallo individuato sul grafico
Prova intera	18.39 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da SX verso DX	2.89 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da DX verso SX	3.03 s	
Esecuzione due curve successive DX SX	1.56 s	

Numero curve	11
Curve verso Destra	6
Curve verso Sinistra	5
Inclinazione rollio (media)	+63-60
Inclinazione Imbardata (media)	+25-21

SCARPONI

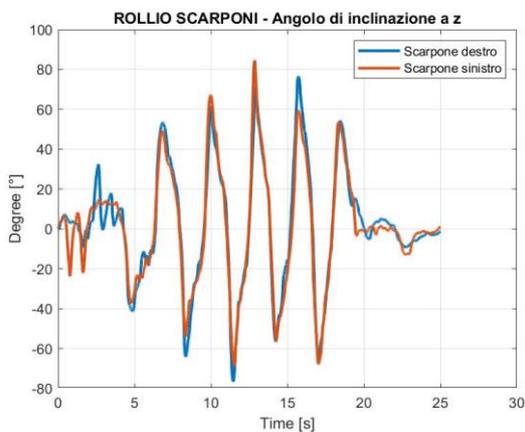


Figura 75 Angolo di Rollio

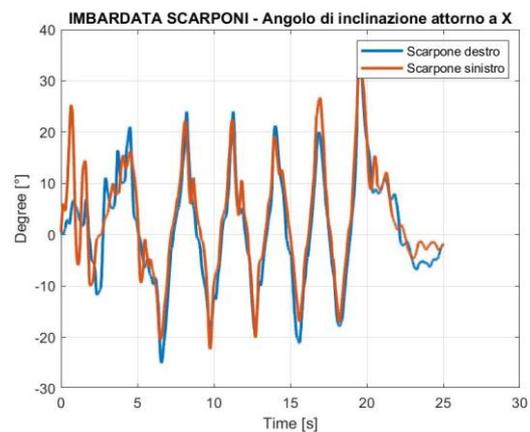


Figura 76 Angolo di Imbardata

BASTONCINI

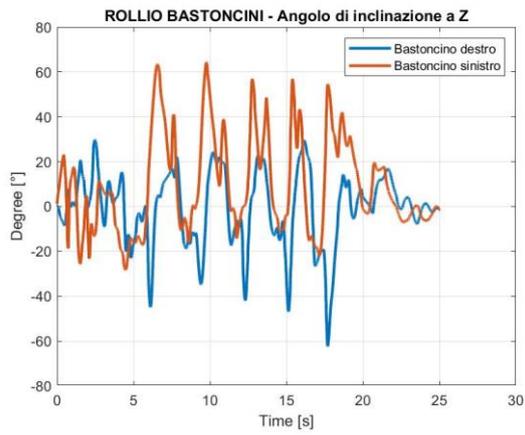


Figura 77 Angolo di Rollio

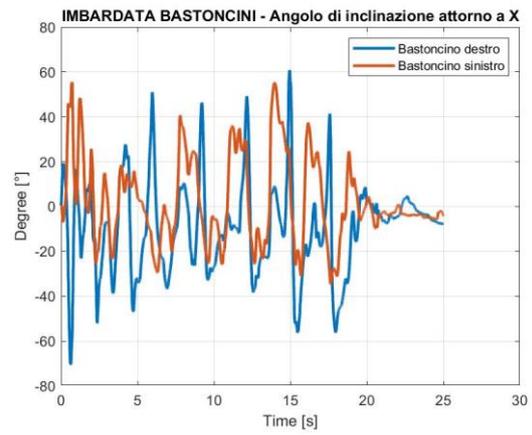


Figura 78 Angolo di Imbardata

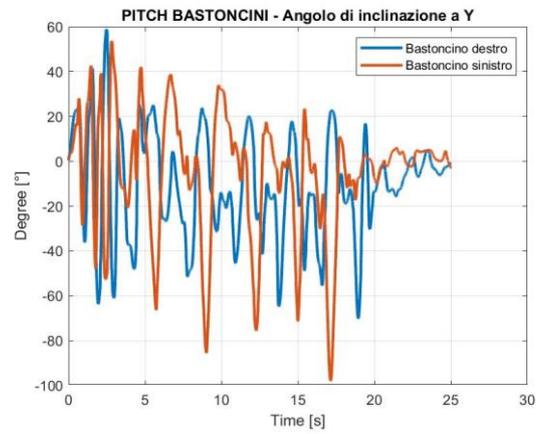


Figura 79 Angolo di Pitch

SCHIENA

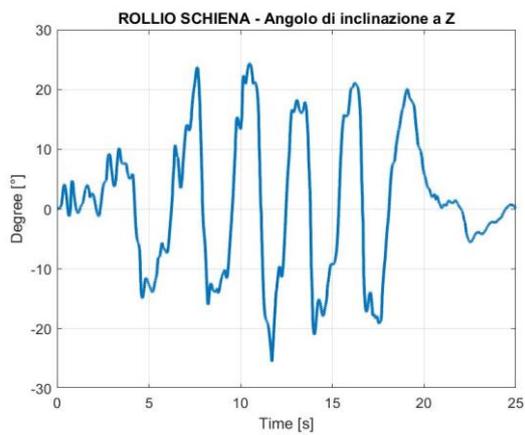


Figura 80 Angolo di Rollio

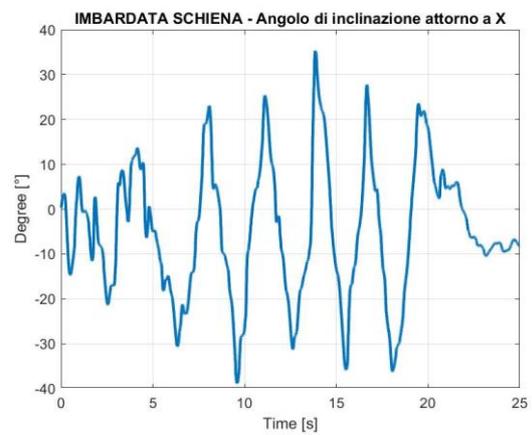
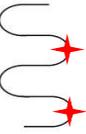
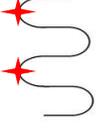


Figura 81 Angolo di Imbardata

Prova 3. Tester 1 ore 11.00

Esecuzione	Tempo [s]	Intervallo individuato sul grafico
Prova intera	17.39 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da SX verso DX	2.81 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da DX verso SX	3.06 s	
Esecuzione due curve successive DX SX	1.28 s	

Numero curve	11
Curve verso Destra	6
Curve verso Sinistra	5
Inclinazione rollio (media)	+65-63
Inclinazione Imbardata (media)	+25-23

SCARPONI

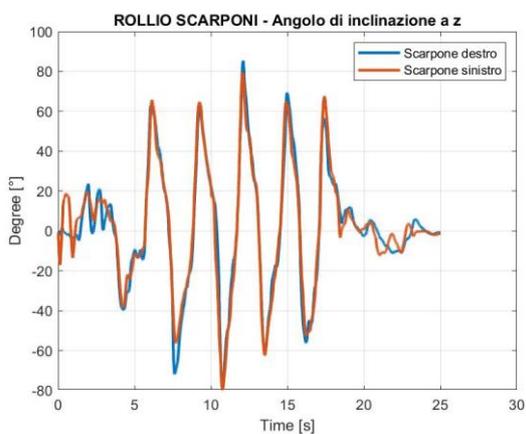


Figura 82 Angolo di Rollio

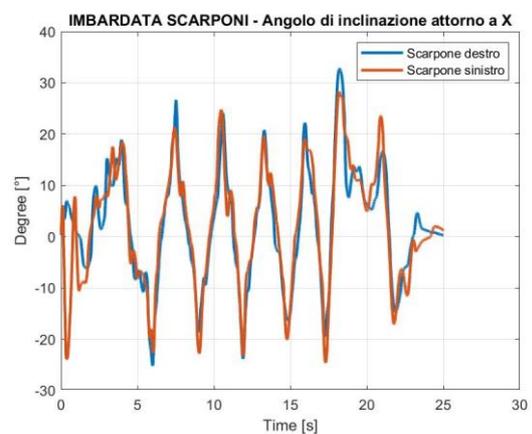


Figura 83 Angolo di Imbardata

BASTONCINI

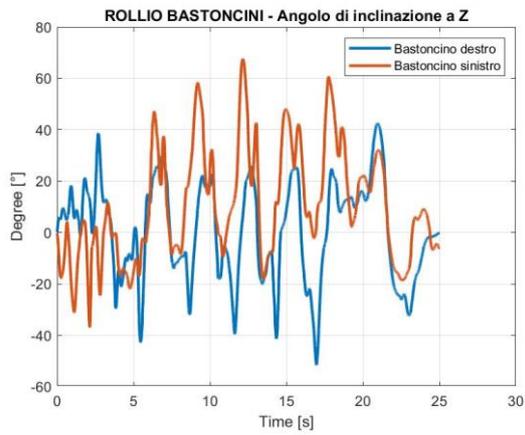


Figura 84 Angolo di Rollio

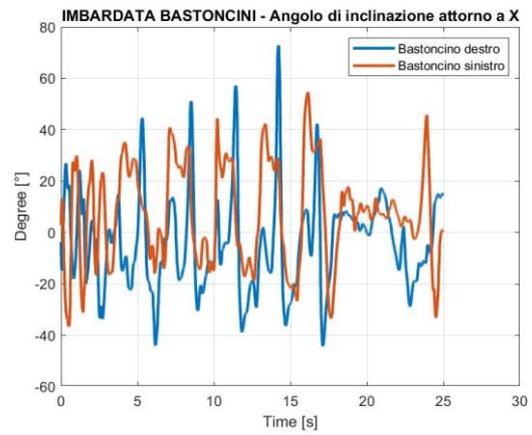


Figura 85 Angolo di Imbardata

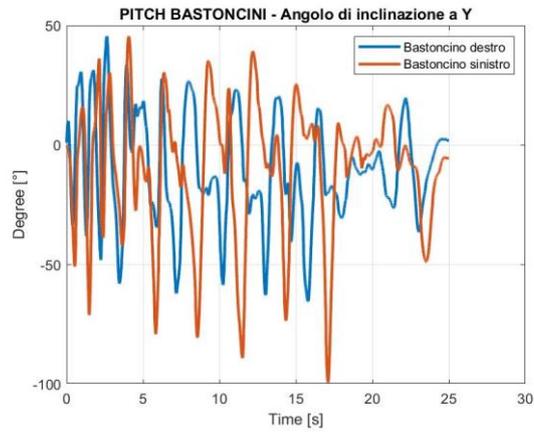


Figura 86 Angolo di Pitch

SCHIENA

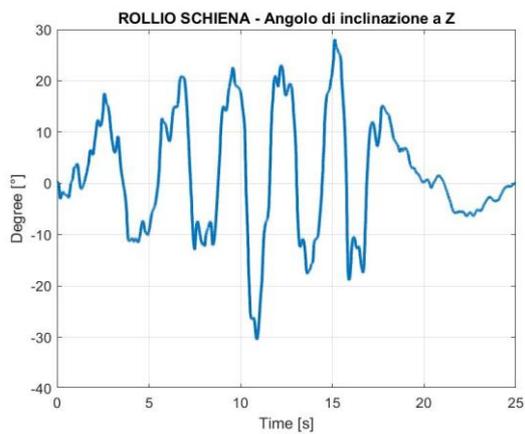


Figura 87 Angolo di Rollio

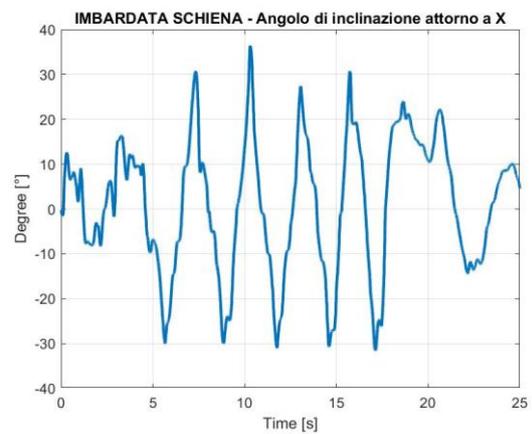
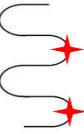


Figura 88 Angolo di Imbardata

Prova 4. Tester 2 ore 11.23

Esecuzione	Tempo [s]	Intervallo individuato sul grafico
Prova intera	18.28 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da SX verso DX	2.93 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da DX verso SX	3.26 s	
Esecuzione due curve successive DX SX	1.75 s	

Numero curve	11
Curve verso Destra	6
Curve verso Sinistra	5
Inclinazione rollio (media)	+59-58
Inclinazione Imbardata (media)	+23-25

SCARPONI

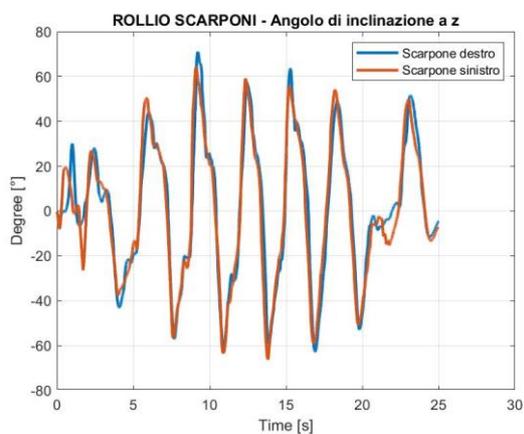


Figura 89 Angolo di Rollio

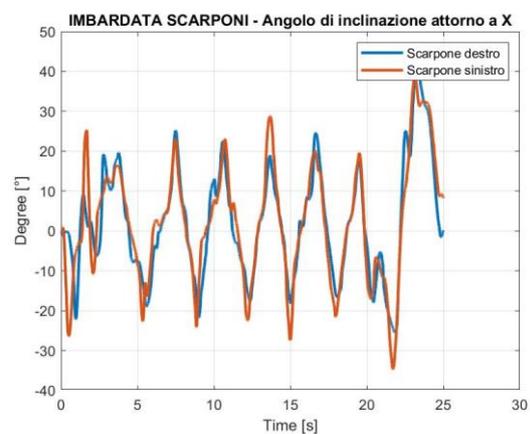


Figura 90 Angolo di imbardata

BASTONCINI

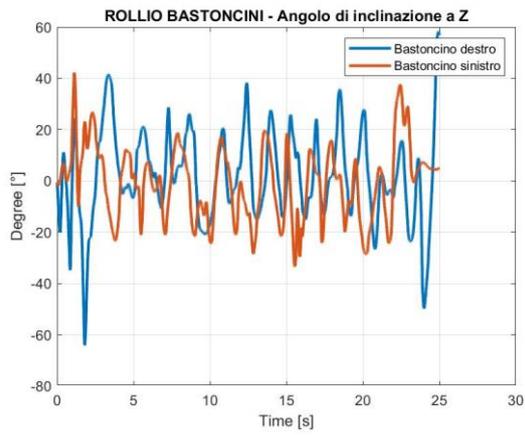


Figura 91 Angolo di Rollio

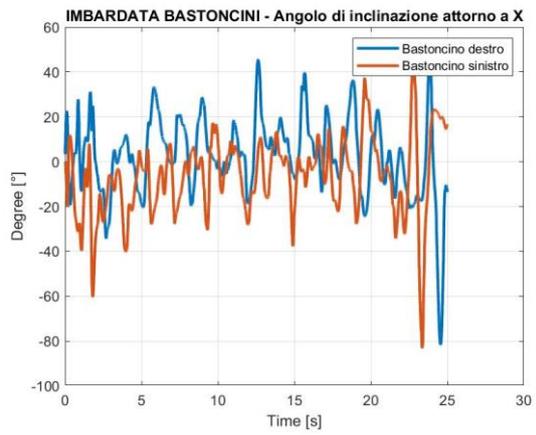


Figura 92 Angolo di Imbardata

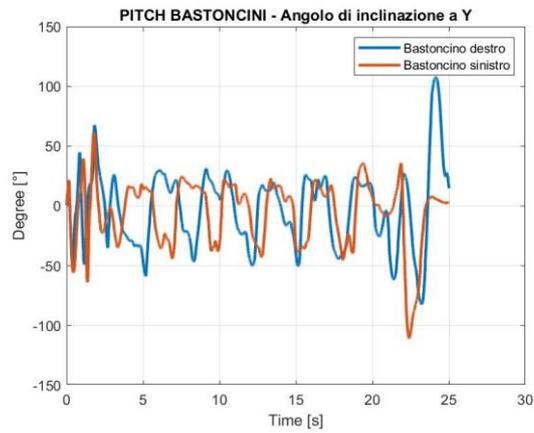


Figura 93 Angolo di Pitch

SCHIENA

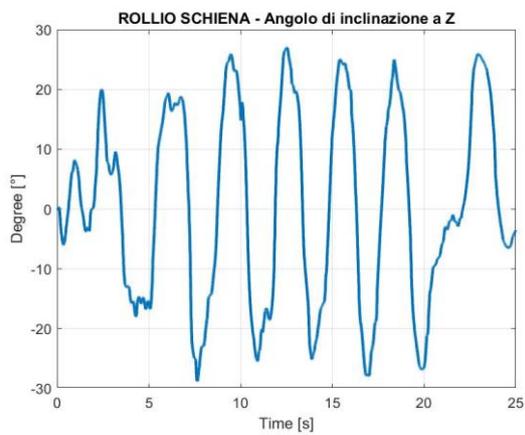


Figura 94 Angolo di Rollio

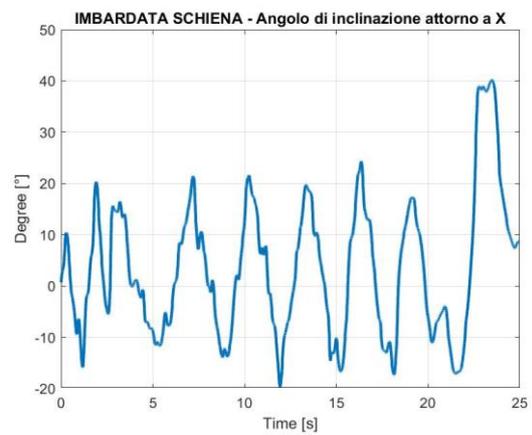
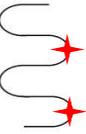
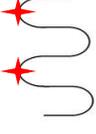


Figura 95 Angolo di Imbardata

Prova 5. Tester 2 ore 11.40

Esecuzione	Tempo [s]	Intervallo individuato sul grafico
Prova intera	17.87 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da SX verso DX	3.07 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da DX verso SX	2.99 s	
Esecuzione due curve successive DX SX	1.49 s	

Numero curve	11
Curve verso Destra	6
Curve verso Sinistra	5
Inclinazione rollio (media)	+58-62
Inclinazione Imbardata (media)	+25-22

SCARPONI

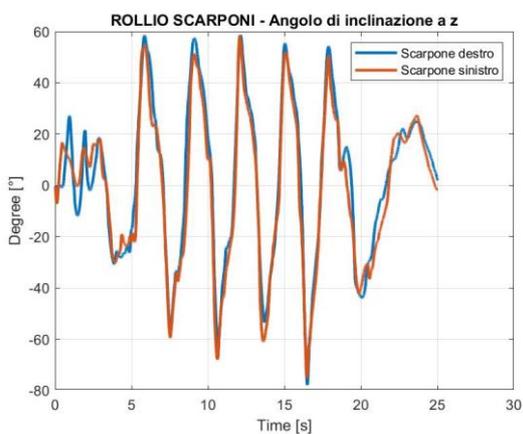


Figura 96 Angolo di Rollio

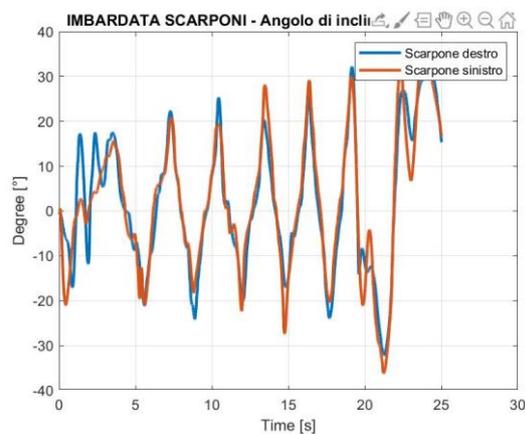


Figura 97 Angolo di Imbardata

BASTONCINI

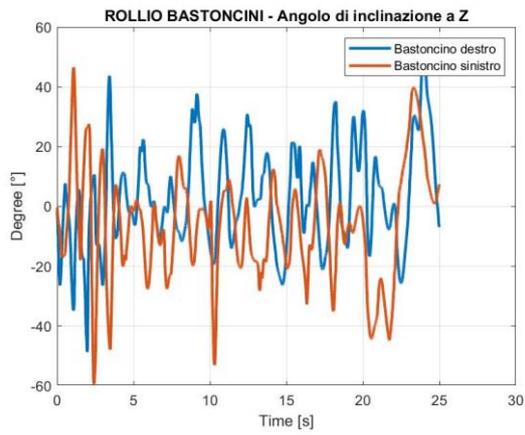


Figura 98 Angolo di Rollio

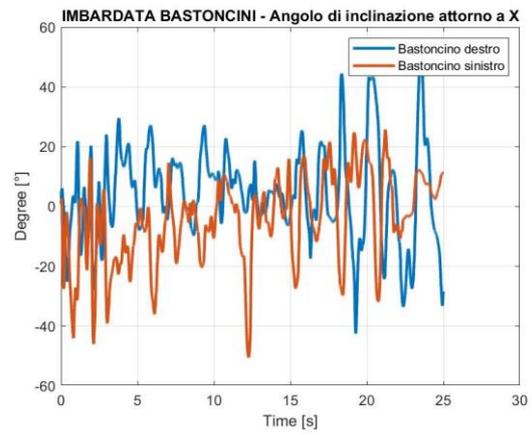


Figura 99 Angolo di Imbardata

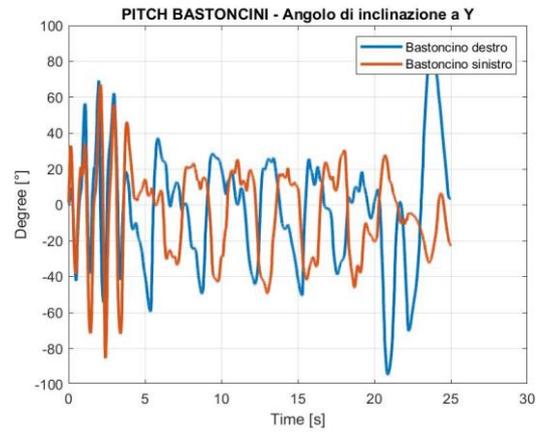


Figura 100 Angolo di Pitch

SCHIENA

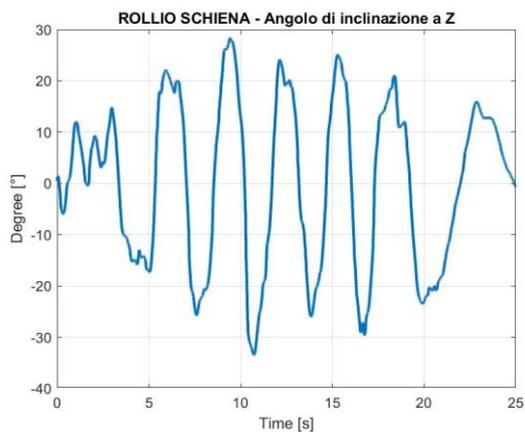


Figura 101 Angolo di Rollio

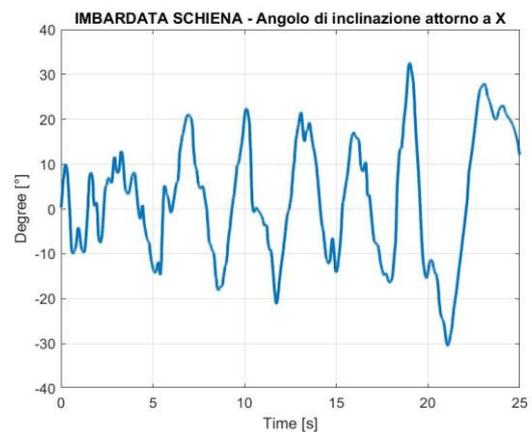
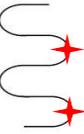


Figura 102 Angolo di Imbardata

Prova 6. Tester 2 Ore 11.58

Esecuzione	Tempo [s]	Intervallo individuato sul grafico
Prova intera	17.82 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da SX verso DX	3.01 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da DX verso SX	2.75 s	
Esecuzione due curve successive DX SX	1.35 s	

Numero curve	11
Curve verso Destra	6
Curve verso Sinistra	5
Inclinazione rollio (media)	+61-58
Inclinazione Imbardata (media)	+22-20

SCARPONI

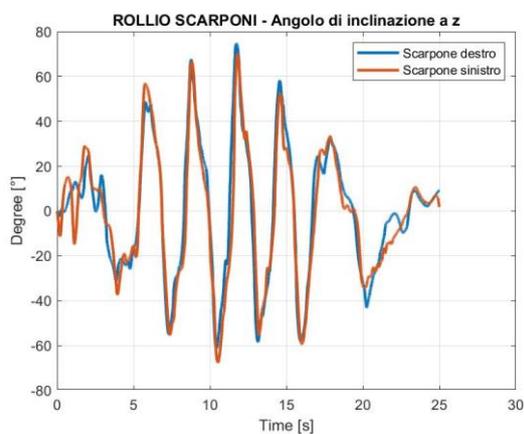


Figura 103 Angolo di Rollio

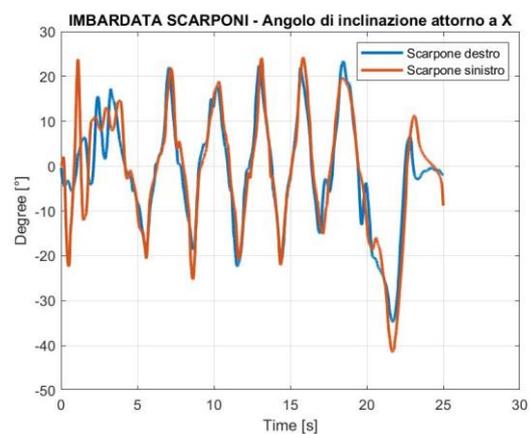


Figura 104 Angolo di Imbardata

BASTONCINI

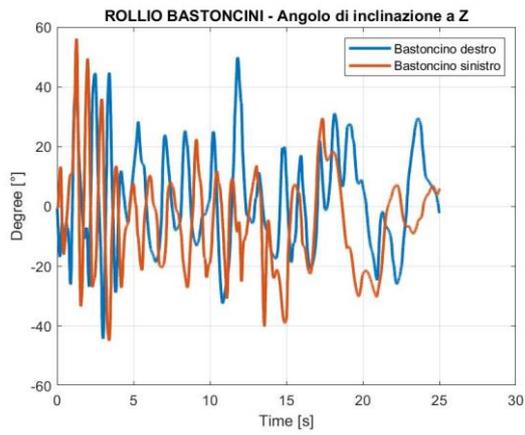


Figura 105 Angolo di Rollio

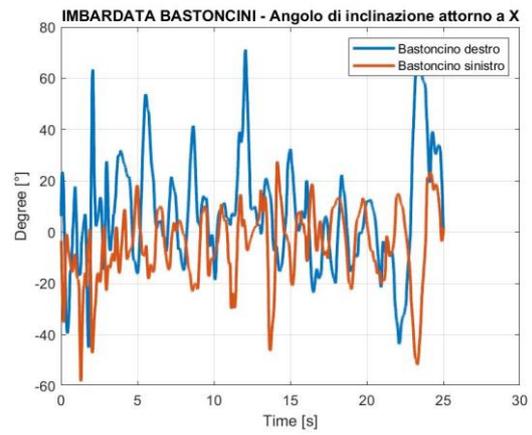


Figura 106 Angolo di Imbardata

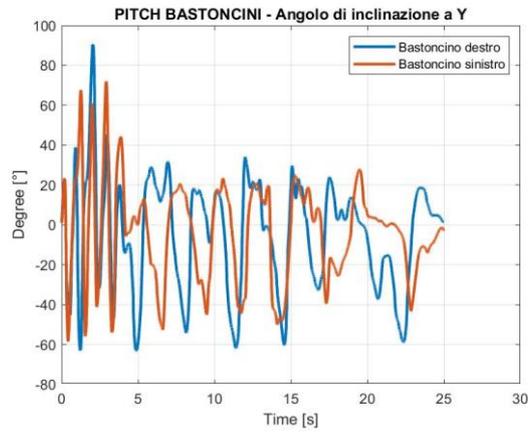


Figura 107 Angolo di Pitch

SCHIENA

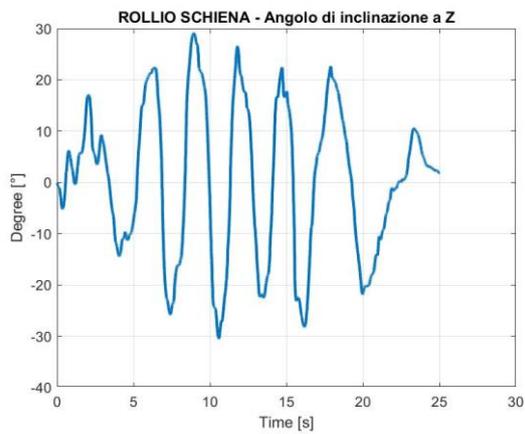


Figura 108 Angolo di Rollio

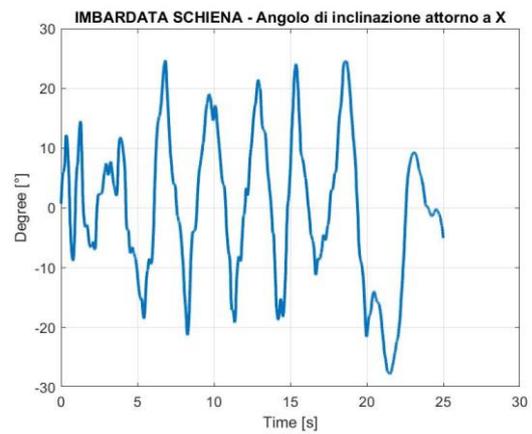


Figura 109 Angolo di Pitch

5.3.b Confronto tra Atleti

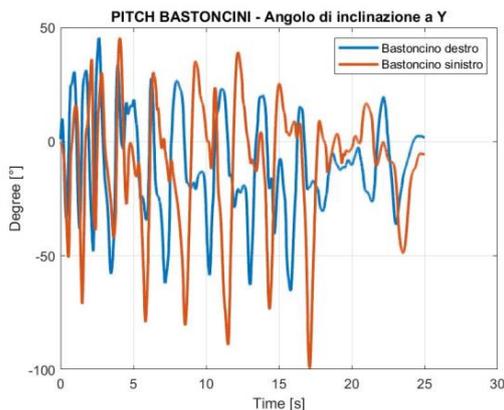
Dati i dati acquisiti e calcolato il tempo di esecuzione della prova da parte di entrambi gli atleti, il Tester 1 ha impiegato un tempo inferiore del Tester 2 in tutte le prove, il suo approccio alla prova proposta risulta essere più efficiente.

Come prima analisi prendiamo in considerazione la Prova 3, prova del Tester 1 in cui ha impiegato meno tempo, e la Prova 4, prova del Tester 2, in cui ha impiegato un tempo maggiore rispetto a tutte le altre prove.

Essendo il tracciato molto corto ed entrambi gli atleti di un buon livello il distacco temporale calcolato tra i due atleti è di 0.89 s.

Una netta differenza tra i due atleti la si ha sui dati dei bastoncini. Da un'analisi video, infatti, si nota come il tester 2, prosegua la sua discesa mantenendo una distanza tra le mani abbastanza costante durante tutta la discesa, a differenza del Tester 1 il quale avvicina le mani nel momento in cui si trova sul palo. Questa differenza la si nota sull'angolo di pitch dei bastoni che per il tester 1 risulta essere più ampio soprattutto per il bastone sinistro, e si nota inoltre un andamento dei bastoni differente mentre quelli del tester 2 non presentano grosse differenze di inclinazione e l'andamento tra i due bastoni rimane molto più concorde, non c'è movimento delle braccia.

Tester 1 (prova 3)



Tester 2 (prova 4)

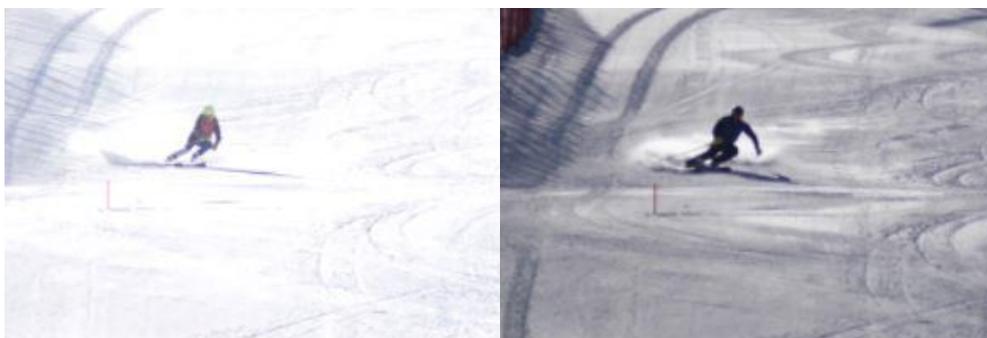
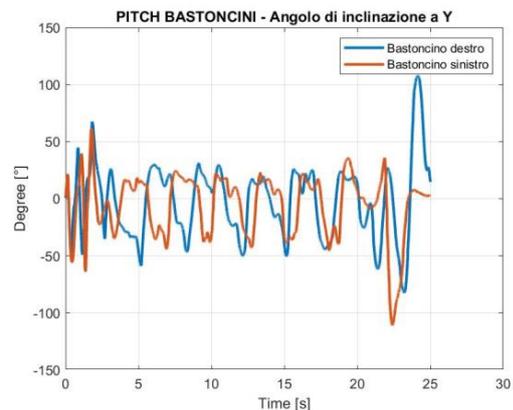
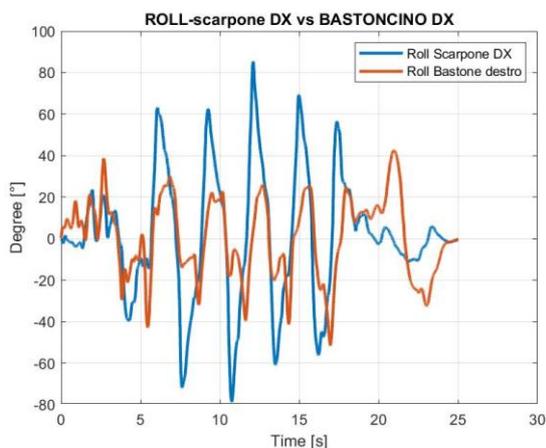


Figura 110 Confronti Angolo di Pitch e analisi delle braccia per i due Tester

Questa differenza la possiamo notare anche andando a sovrapporre l'angolo di rollio dello scarpone e del bastoncino destro e sinistro separatamente. Sapendo come sono orientati i nostri sensori siamo a conoscenza

che le curve con piede esterno destro sono indicate nella parte negativa del grafico mentre quelle con esterno sinistro nella parte positiva.

Tester 1 (prova 3)



Tester 2 (prova 4)

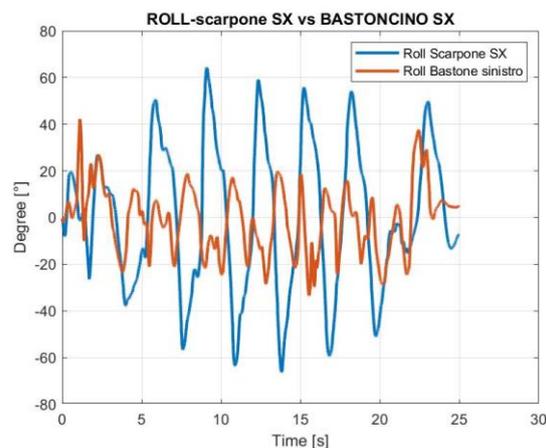
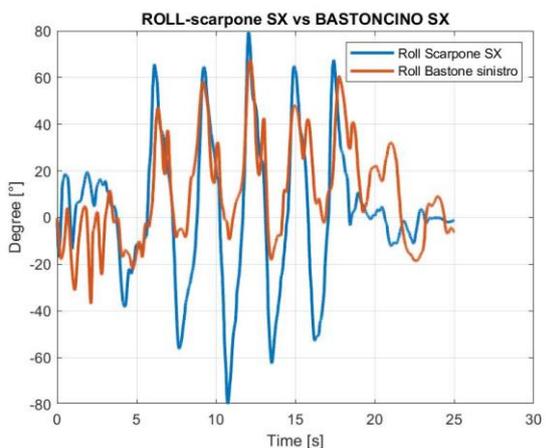
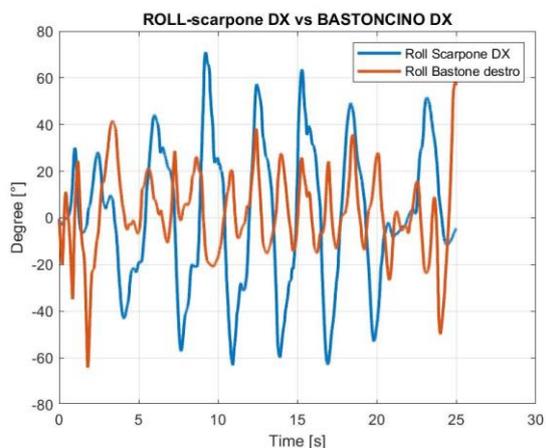


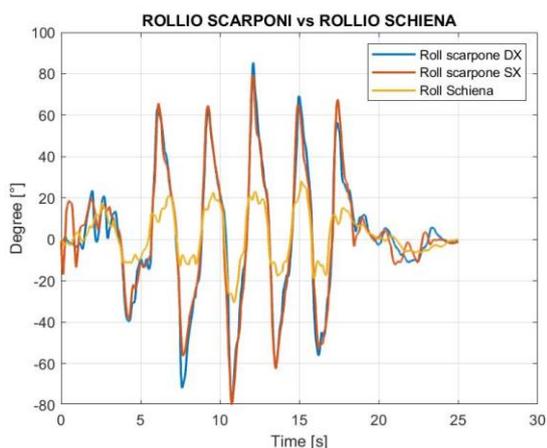
Figura 111 Confronti Rollio Scarpone e Bastoncino per i due Tester

L'angolo di rollio del bastoncino del Tester 1 segue molto l'angolo di rollio degli scarponi soprattutto nella curva da sinistra verso destra in cui si ha un'inclinazione del bastoncino molto simile a quella dello scarpone esterno alla curva.

Il Tester 2 che mantiene le braccia più ferme durante l'esecuzione della prova effettua angoli di inclinazione dei bastoni inferiori, i quali rimangono nell'intorno della linea dello 0.

Un ulteriore accorgimento lo si può fare confrontando l'angolo di rollio degli scarponi e della schiena, in entrambi gli atleti, l'angolo di rollio sulla schiena risulta essere inferiore rispetto a quello degli scarponi, segno che il nostro atleta sta 'spezzando' il busto e caricando lo sci esterno, nel caso l'angolo di rollio della schiena fosse più alto significherebbe che l'azione di ricerca dello sci esterno non si sta eseguendo in maniera corretta.

Tester 1 (prova 3)



Tester 2 (prova 4)

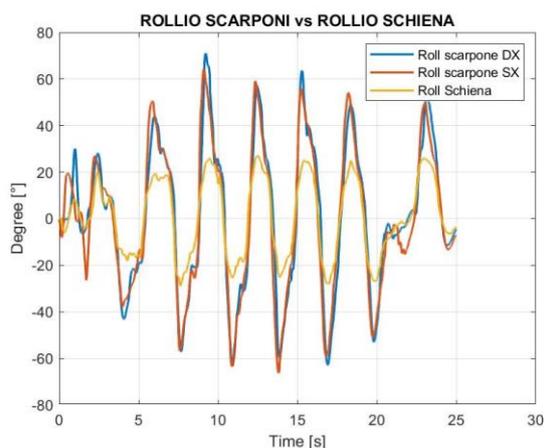
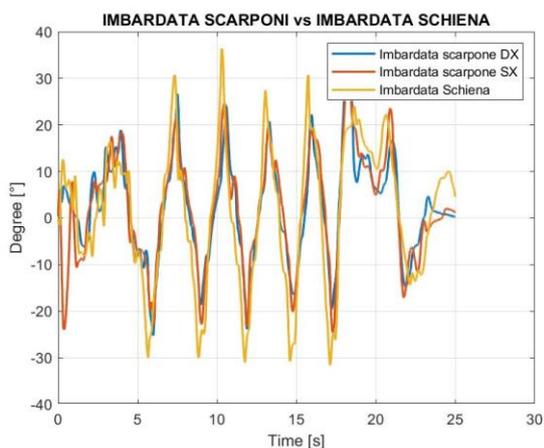


Figura 112 Confronto angolo di Rollio scarponi e Rollio Schiena per i due Tester

Entrambi gli atleti hanno angoli di rollio della schiena intorno ai 20°, viene considerato questo dato come indice discriminante per un atleta che riesce a ‘spezzare’ il busto andando a ricercare lo sci esterno, rispetto ad un atleta che non esegue questa azione in maniera corretta.

Andando ad analizzare l’angolo di imbardata di scarponi e schiena si nota che sono molto simili come ampiezze poiché indicano la direzione che gli scarponi e il bacino assumono durante la discesa.

Tester 1 (prova 3)



Tester 2 (prova 4)

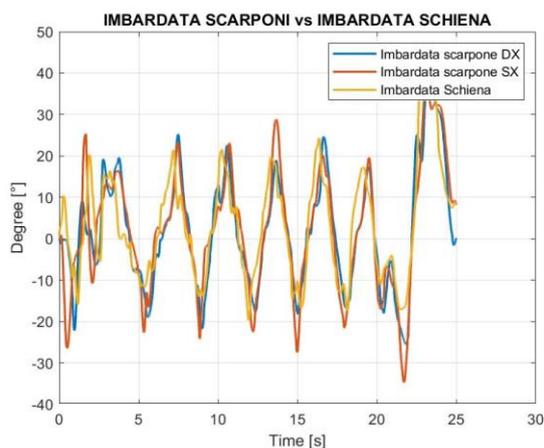


Figura 113 confronto angolo imbardata scarponi e schiena per i due Tester

I tester effettuano l’imbardata della schiena leggermente in anticipo rispetto a quella degli scarponi, vanno alla ricerca della curva successiva prima con la parte alta del corpo, inoltre il Tester 1 effettua un’imbardata più ampia rispetto al Tester 2, utilizza molto di più la parte alta del corpo per iniziare la curva successiva.

Possiamo considerare quindi una migliore sciata quella eseguita con angoli di imbardata della schiena simili a quelli degli scarponi.

Mettendo a confronto la migliore e la peggiore discesa del Tester 1, temporalmente parlando, notiamo che la differenza tra le due prove è di 1 s, nella migliore, prova 3, ha conseguito un tempo di 17.39, nella peggiore, prova 2, ha conseguito un tempo di 18.39.

Notiamo una grande differenza sui confronti tra gli angoli di imbardata degli scarponi e della schiena.

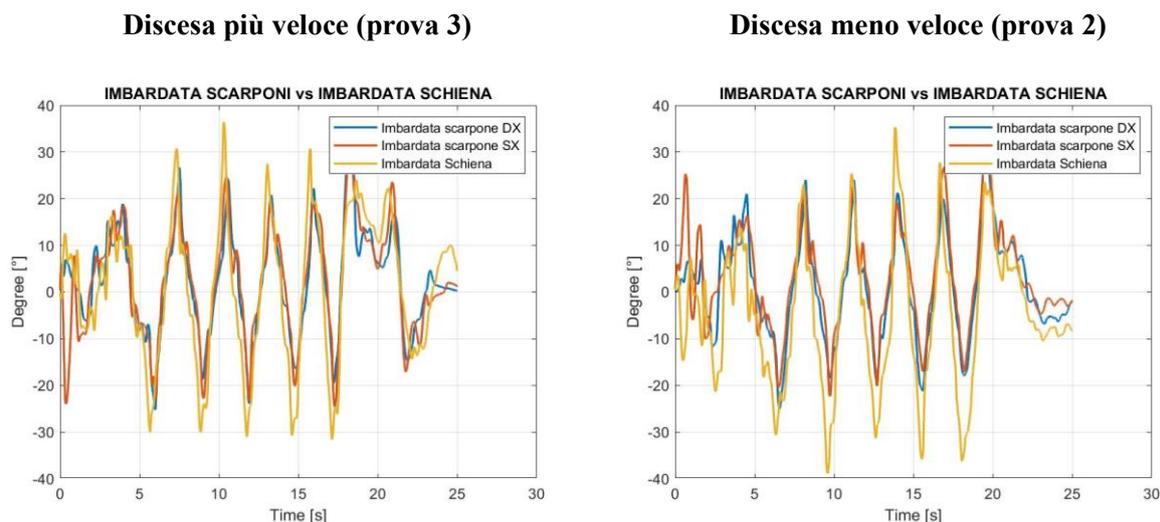


Figura 114 Confronto Angolo Imbardata scarponi e Schiena per i Tester 1 tra la discesa più veloce e quella più lenta

L'angolo di imbardata della schiena, soprattutto per le curve da Destra verso Sinistra scendendo, ovvero quelle eseguite con lo sci destro esterno, parte negativa del grafico, risulta essere molto più ampio rispetto a quello degli scarponi, questo significa che l'atleta in questa discesa imposta l'ingresso curva prima con il bacino rispetto agli scarponi, movimento non corretto, poiché porta nella seconda fase di curva a sbandare con le code degli sci verso la discesa e condurre tutta la curva seguendo con la parte alta del corpo.

Un indice discriminante che possiamo valutare è sulla differenza tra gli angoli di imbardata tra scarponi e schiena i quali devono avere pressoché valori congruenti, non ci devono essere troppe differenze.

5.4 Prove sperimentali di Slalom Speciale

Le prove eseguite sul tracciato da Slalom Speciale sono state effettuate a Pozza di Fassa e a Melette di Gallio.

I dati provenienti dai diversi sensori sono stati sincronizzati considerando la prima spinta effettuata dall'atleta durante la partenza per eseguire la prova, si individua il picco di accelerazione sull'asse delle x dei sensori posti sui bastoncini.

Il tempo di esecuzione delle prove è considerato a partire dalla prima spinta, accelerazione su x dei sensori posti sui bastoncini, e l'ultimo picco individuato tramite l'angolo di rollio sugli scarponi, picco che corrisponde all'ultima curva.

Tramite la funzione findpeaks si sono identificati i picchi di interesse che mi serviranno per calcolare i tempi medi di esecuzione delle singole curve.

I sensori sono stati configurati in modo da registrare in modalità logging con successivo download i seguenti dati:

- Accelerazione: 50 Hz, fondo scala 16g
- Velocità angolare: 50 Hz, fondo scala 2000°/s
- Pressione barometrica: 1.960 Hz

5.4.a Prove eseguite a Pozza di Fassa

Per le prove a Pozza di Fassa gli atleti che hanno eseguito la prova erano 2 atleti esperti, il tracciato comprendeva 49 porte.

La prima curva del tracciato è da Sinistra verso Destra, che corrisponde a valori di angoli positivi, nei plot non è molto accentuata la prima curva siccome si trova in direzione perpendicolare rispetto alla partenza, gli atleti tendono a partire con gli sci indirizzati verso la curva successiva e operano solo uno spostamento del palo sulla destra in quel punto. Le curve da Destra verso Sinistra corrispondono a valori di angoli negativi.

Il tracciato è regolare e presenta delle figure:

Porte 9-10: Doppia

Porta 13: Lunga

Porte 23-24-25: Tripla

Porte 34-35: Doppia

Porte 40-41-42: Tripla

I tester sono:

Tester 1. Daniele Rason

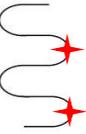
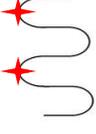
Tester 2. Andrea Zanol

Vengono riportate di seguito tutte le prove eseguite dagli atleti, comprese di tempi di esecuzione della prova e medi delle singole curve.

Si riportano inoltre anche i grafici esplicativi di ognuno dei segmenti corporei in analisi, scarponi, bastoncini e schiena.

Sono state effettuate delle sovrapposizioni dei dati provenienti da segmenti corporei differenti in modo da poter effettuare dei confronti tra atleti diversi e discriminare una migliore o peggiore sciata (vedi appendice 7.2).

Prova 1. Tester 1 ore 14.18

Esecuzione	Tempo [s]	Intervallo individuato sul grafico
Prova intera	41.16 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da SX verso DX	1.78 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da DX verso SX	2.05 s	
Esecuzione due curve successive DX SX	1.12 s	

Numero curve	49
Doppie	2
Triple	3
Lunghe	1
Inclinazione rollio (media)	+68-64
Inclinazione Imbardata (media)	+25-28

SCARPONI

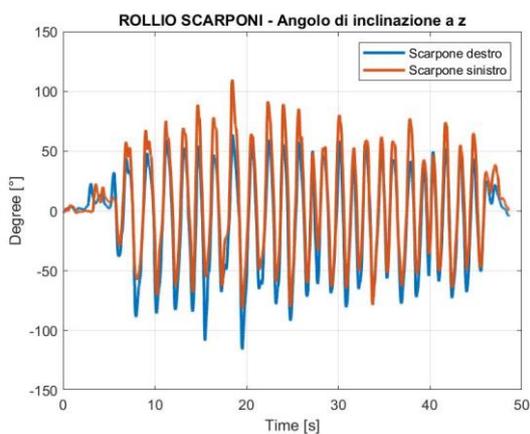


Figura 115 Angolo di Rollio

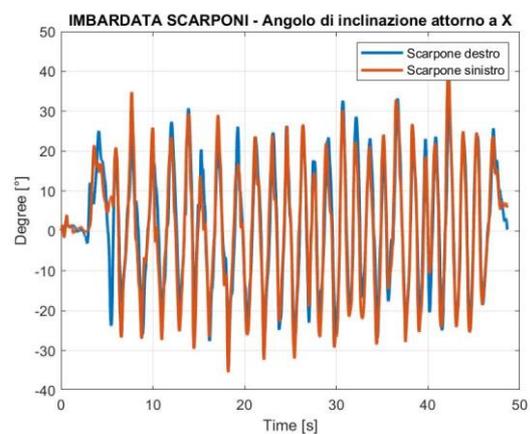


Figura 116 Angolo di Imbardata

BASTONCINI

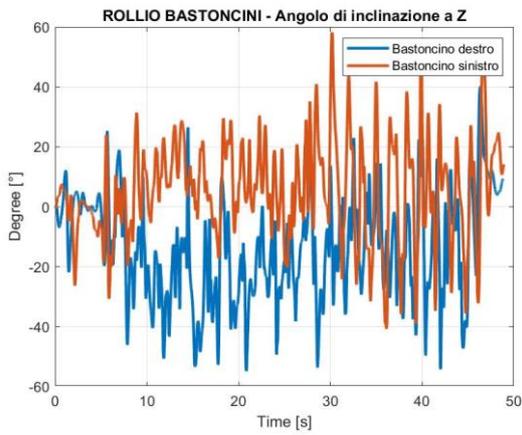


Figura 117 Angolo di Rollio

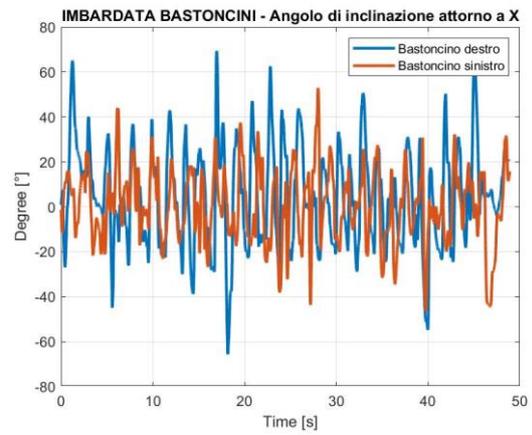


Figura 118 Angolo di Imbardata

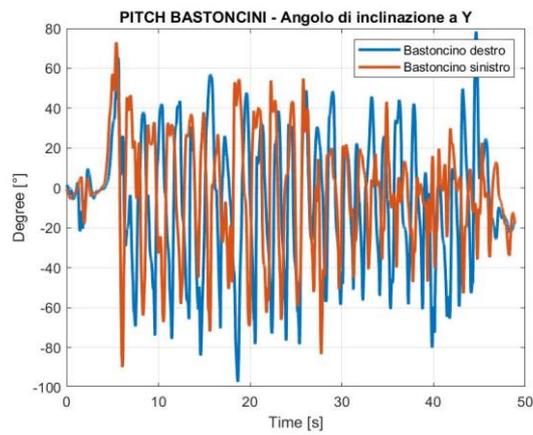


Figura 119 Angolo di Pitch

SCHIENA

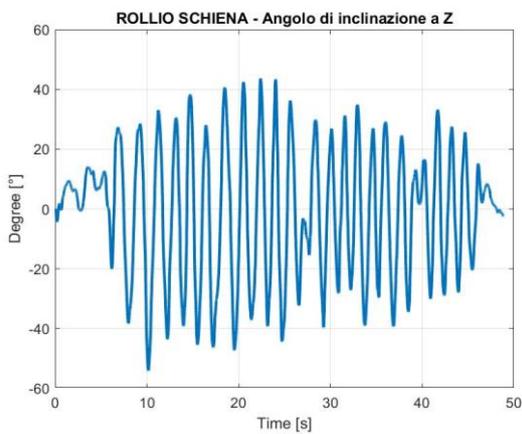


Figura 120 Angolo di Rollio

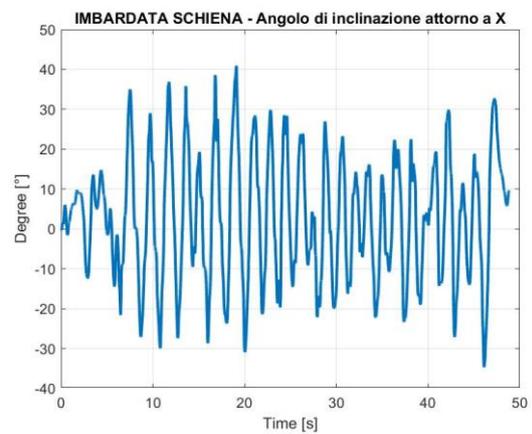
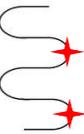


Figura 121 Angolo di Imbardata

Prova 2. Tester 1 ore 14.40

Esecuzione	Tempo [s]	Intervallo individuato sul grafico
Prova intera	40.31 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da SX verso DX	1.66 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da DX verso SX	1.65 s	
Esecuzione due curve successive DX SX	0.80 s	

Numero curve	49
Doppie	2
Triple	3
Lunghe	1
Inclinazione rollio (media)	+70-73
Inclinazione Imbardata (media)	+24-23

SCARPONI

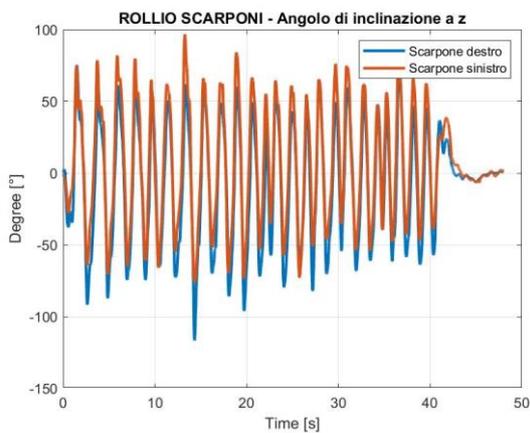


Figura 122 Angolo di Rollio

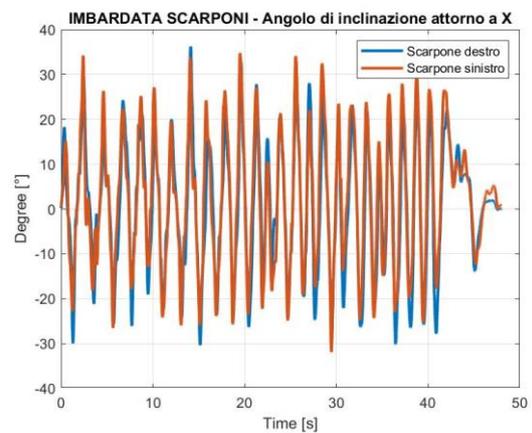


Figura 123 Angolo di Imbardata

BASTONCINI

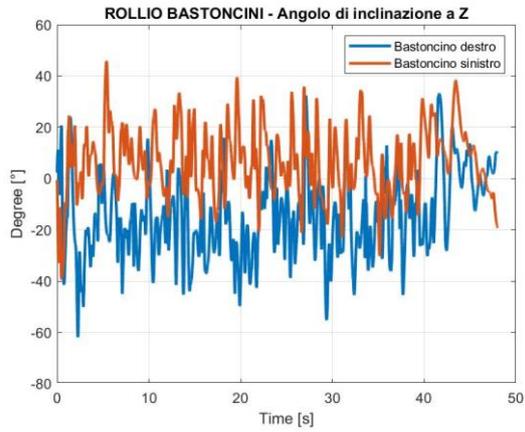


Figura 124 Angolo di Rollio

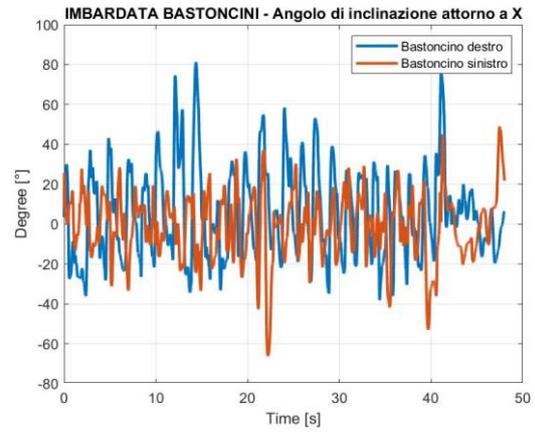


Figura 125 Angolo di imbardata

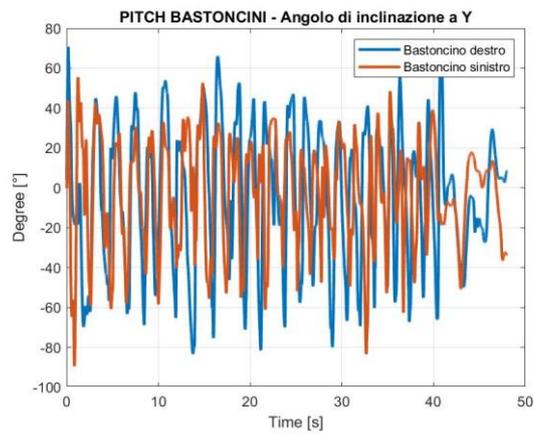


Figura 126 Angolo di Pitch

SCHIENA

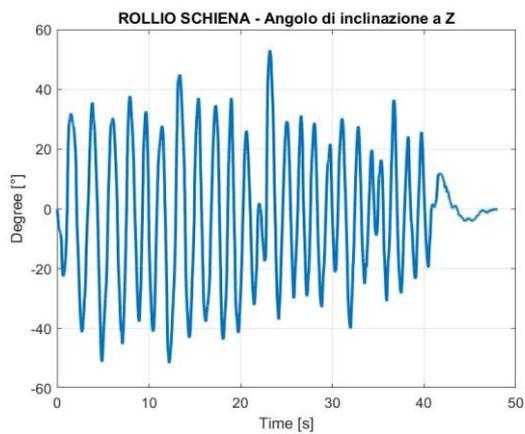


Figura 127 Angolo di Rollio

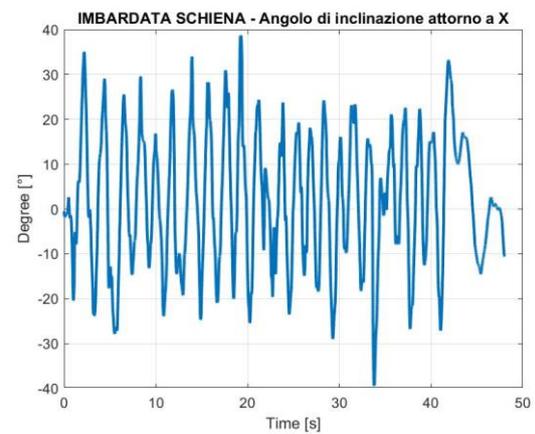
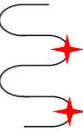
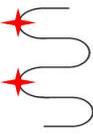
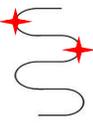


Figura 128 Angolo di Imbardata

Prova 3. Tester 2 ore 15.07

Esecuzione	Tempo [s]	Intervallo individuato sul grafico
Prova intera	41.19 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da SX verso DX	1.76 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da DX verso SX	1.71 s	
Esecuzione due curve successive DX SX	0.94 s	

Numero curve	49
Doppie	2
Triple	3
Lunghe	1
Inclinazione rollio (media)	+73-75
Inclinazione Imbardata (media)	+24-26

SCARPONI

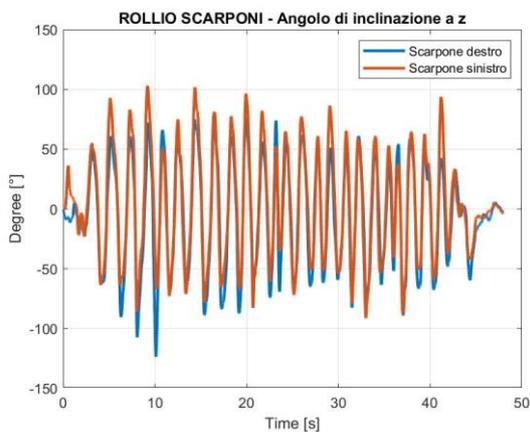


Figura 129 Angolo di Rollio

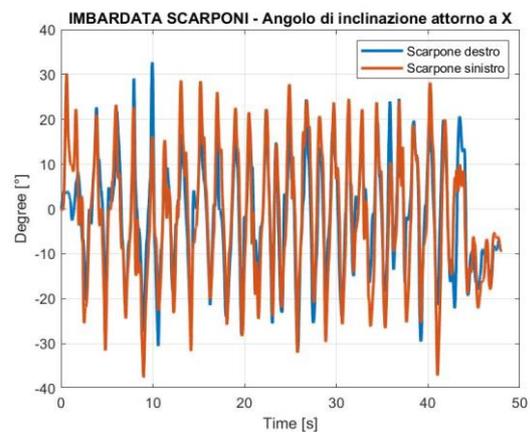


Figura 130 Angolo di Imbardata

BASTONCINI

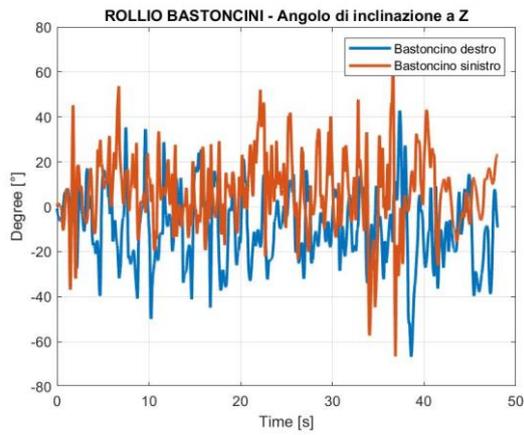


Figura 131 Angolo di Rollio

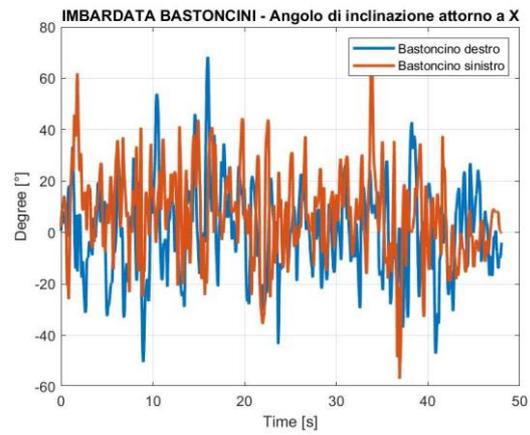


Figura 132 Angolo di Imbardata

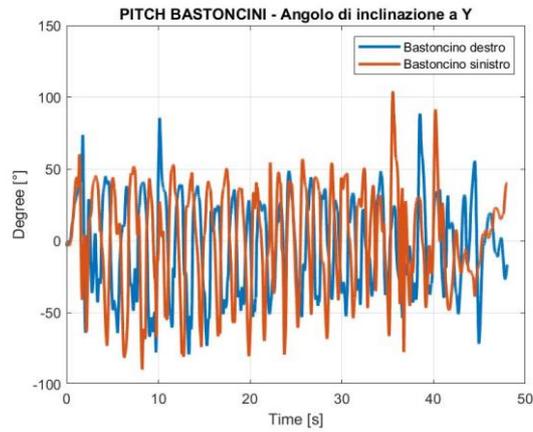


Figura 133 Angolo di Pitch

SCHIENA

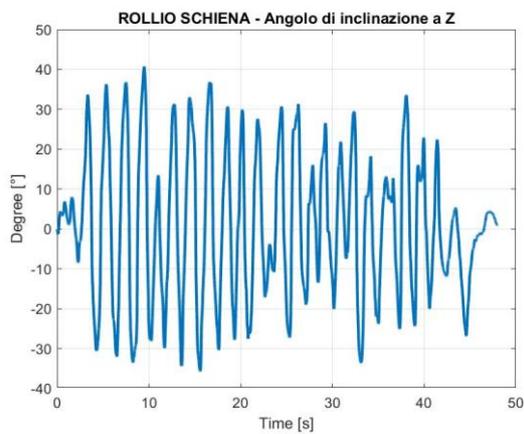


Figura 134 Angolo di Rollio

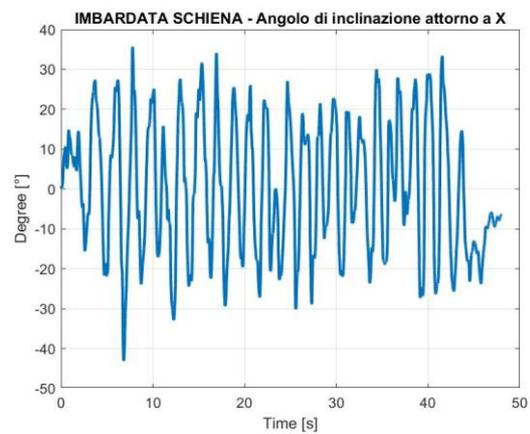
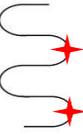
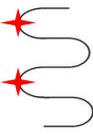
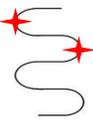


Figura 135 Angolo di Imbardata

Prova 4. Tester 2 ore 15.22

Esecuzione	Tempo [s]	Intervallo individuato sul grafico
Prova intera	41.36 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da SX verso DX	1.86 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da DX verso SX	1.77 s	
Esecuzione due curve successive DX SX	0.85 s	

Numero curve	49
Doppie	2
Triple	3
Lunghe	1
Inclinazione rollio (media)	+70-76
Inclinazione Imbardata (media)	+22-24

SCARPONI

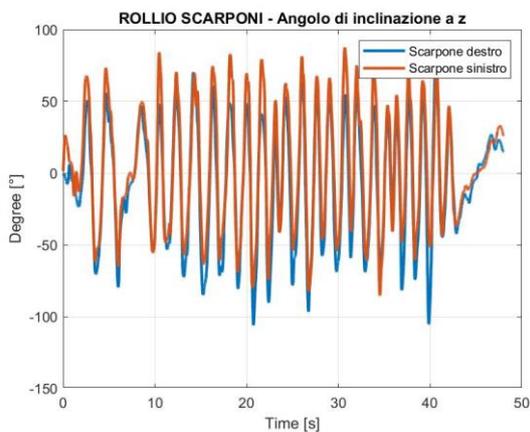


Figura 136 Angolo di Rollio

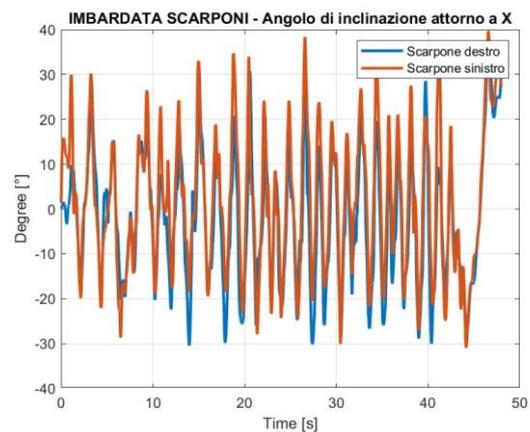


Figura 137 Angolo di Imbardata

BASTONCINI

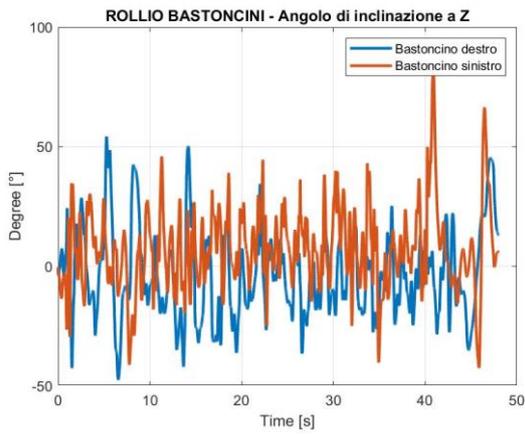


Figura 138 Angolo di Rollio

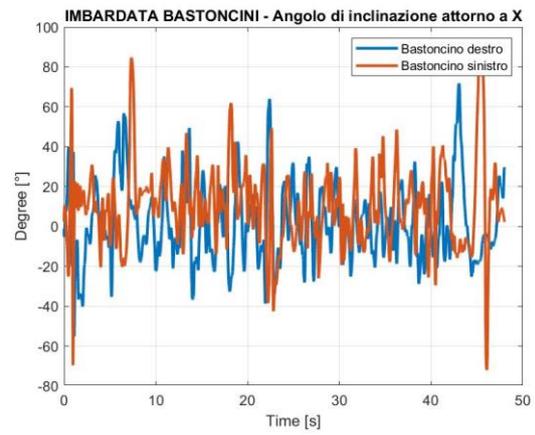


Figura 139 Angolo di Imbardata

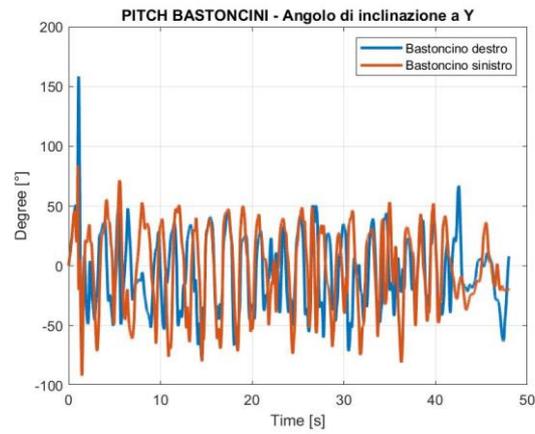


Figura 140 Angolo di Pitch

SCHIENA

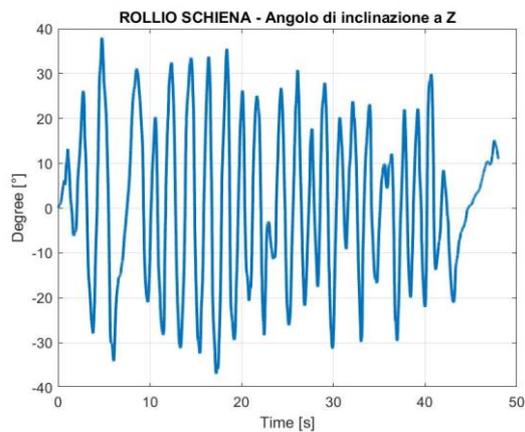


Figura 141 Angolo di Rollio

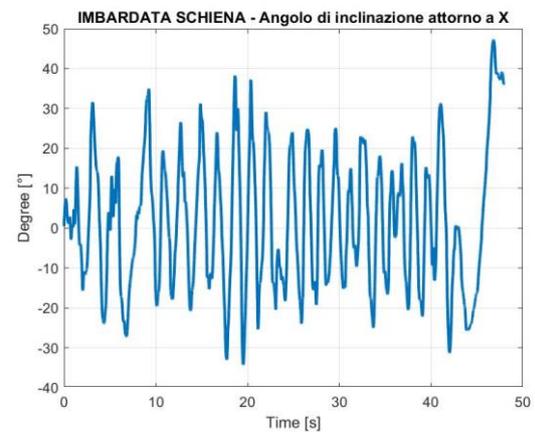


Figura 142 Angolo di Imbardata

5.4.b Analisi e Commenti Atleti a Pozza di Fassa

Effettuando un'analisi tecnico sciistica fatta tramite le riprese video svolte in contemporanea con l'acquisizione dei dati tramite i sensori notiamo che:

Tester 1 esegue la curva da sinistra verso destra, sci esterno sinistro, in maniera peggiore poiché segue maggiormente con il busto la traiettoria della curva, questo errore è visibile tramite i dati derivanti dall'angolo di imbardata della schiena, il quale risulta maggiore per le curve da sinistra verso destra (parte positiva del grafico), questo errore lo porta ad avere un minore controllo dell'attrezzo nella fase di curva. La curva da destra verso sinistra (parte negativa del grafico) risulta migliore, sia da un'analisi tecnico sciistica effettuata prima di analizzare i dati provenienti dal sensore, sia per i risultati che otteniamo analizzandoli. Gli angoli di imbardata della schiena per le curve da destra verso sinistra infatti risultano minori.

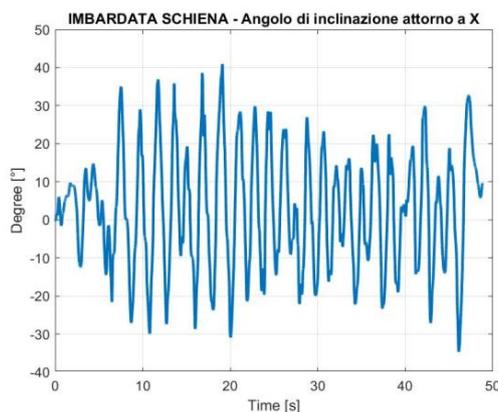


Figura 143 Tester 1 Prova 1

Andando ad analizzare l'imbardata degli scarponi tra i due Tester notiamo che:

Tester 1 (prova 1)

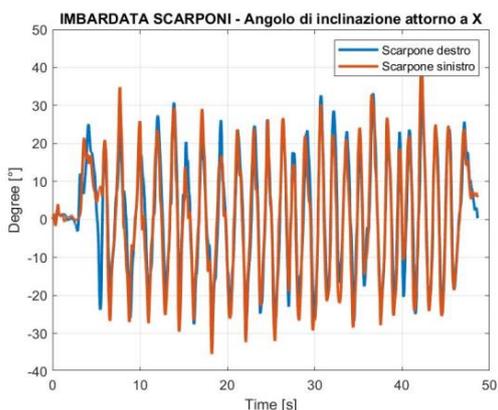


Figura 144 Tester 1 prova 1

Tester 2 (prova 3)

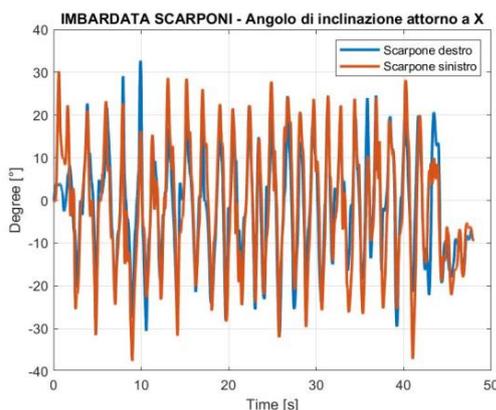


Figura 145 Tester 2 prova 3

I cambi di direzione del Tester 1 rispetto a quelli del Tester 2 sono molto più puliti e regolari, una volta impostato l'ingresso curva non effettua eccessive correzioni, a differenza del Tester 2, il quale tende a

impostare l'ingresso curva in ritardo rispetto al palo trovandosi così costretto ad effettuare delle correzioni durante la curva, per questo i grafici risultano meno regolari.

Da un'analisi tecnico sciistica dei video si è individuato che:

Tester 1 nella fase di abbattimento del palo va a cercarlo maggiormente con l'aiuto del bastone esterno alla curva rispetto al Tester 2, il quale ha un comportamento più composto della parte alta del corpo durante tutta la prova.

Questa differenza la ritroviamo nei dati andando a confrontare gli angoli di rollio sui bastoni, i quali risultano distanziati per il Tester 1, segno che ad ogni curva il bastone esterno a queta si inclina maggiormente per andare alla ricerca del palo.

I dati di rollio sui bastoni del Tester 2 invece rimangono più sovrapposti per l'intera durata della prova.

Tester 1 (prova 1)

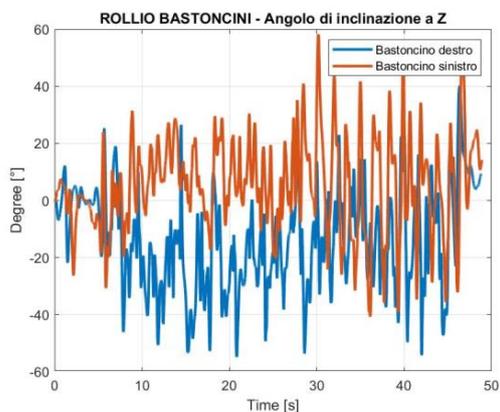


Figura 146 Rollio bastoncini Prima Prova Tester 1

Tester 2 (prova 3)

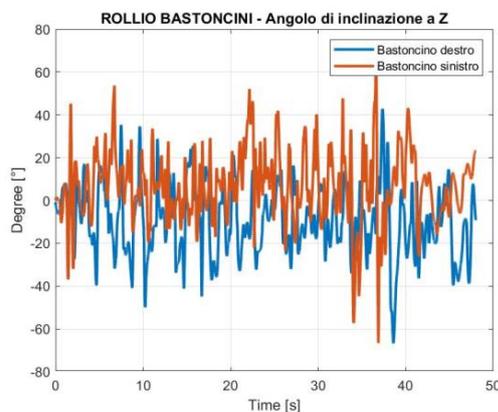


Figura 147 Rollio Bastoncini Terza Prova Tester 2

Questo indice può essere anche caratteristico di una maggiore inclinazione verso l'interno della curva da parte del Tester 1 rispetto al 2, cosa scorretta da fare poiché si perde l'appoggio sullo sci esterno alla curva. Lo notiamo dai frame immagine presi a video.

Tester 1 (prova 1)



Tester 2 (prova 3)



Figura 148 Frame analisi Video

Il movimento effettuato dal Tester 1 nella ricerca del palo, e conseguente inclinazione verso l'interno curva, rispetto al Tester 2 è rappresentabile anche attraverso l'angolo di rollio di un bastoncino confrontato con l'angolo di rollio dello scarpone dalla medesima parte. Si andrà a considerare quindi la parte negativa del grafico per le curva da destra verso sinistra, sci esterno destro, e la parte positiva del grafico per le curve da sinistra verso destra, sci esterno sinistro.

Nel Tester 1 notiamo come gli angoli di rollio del bastone seguano gli angoli di rollio degli scarponi, abbiamo quindi la ricerca della porta nella fase di inizio curva.

Nel Tester 2 gli angoli di rollio dei bastoni rimangono più indipendenti e più centrali rispetto alla curva che si sta effettuando, non c'è ricerca del palo a inizio curva.

Tester 1 (prova 1)

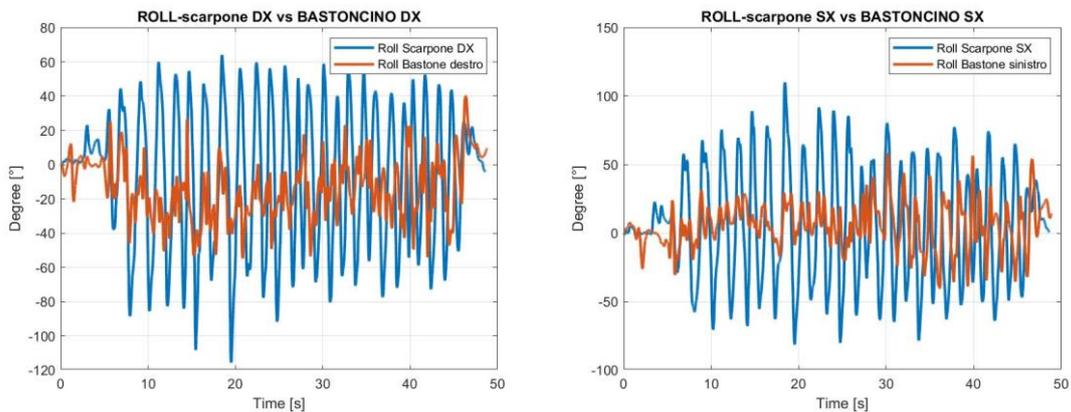


Figura 149 Roll Scarpone-Bastoncino Prova 1 Tester 1

Tester 2 (prova 3)

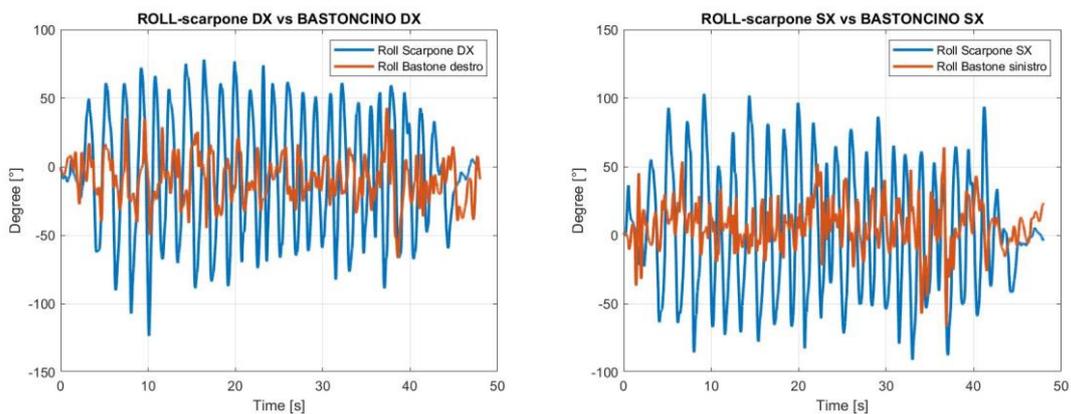


Figura 150 Roll Scarpone-Bastoncino Prova 3 Tester 2

5.4.c Melette di Gallio

Per le prove a Melette di Gallio gli atleti che hanno eseguito la prova erano 3 atleti esperti, il tracciato comprendeva 34 curve.

La prima curva del tracciato è da Destra verso Sinistra, che corrisponde a valori di angoli negativi, nei plot non è molto accentuata la prima curva poiché si trova in direzione perpendicolare rispetto alla partenza, gli atleti tendono a partire con gli sci indirizzati verso la curva successiva e operano solo uno spostamento del palo sulla destra in quel punto. Le curve da Sinistra a Destra corrispondono a valori di angoli positivi.

Il tracciato è regolare e presenta delle figure:

Porta 6-7: Doppia

Porta 20-21: Doppia

Totale curve 34.

I tester sono:

Tester 1. Giuliano Razzoli, atleta della nazionale italiana

Tester 2. Elisa Caregnano

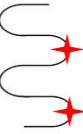
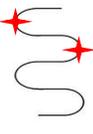
Tester 3. Luca Alpozzi

Vengono riportate di seguito tutte le prove eseguite dagli atleti, comprese di tempi di esecuzione della prova e medi delle singole curve.

Si riportano inoltre anche i grafici esplicativi di ognuno dei segmenti corporei in analisi, scarponi, bastoncini e schiena.

Sono state effettuate delle sovrapposizioni dei dati provenienti da segmenti corporei differenti in modo da poter effettuare dei confronti tra atleti diversi e discriminare una migliore o peggiore sciata (vedi appendice 7.3).

Prova 1. Tester 1 ore 9.29

Esecuzione	Tempo [s]	Intervallo individuato sul grafico
Prova intera	24.22 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da SX verso DX	1.57 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da DX verso SX	1.65 s	
Esecuzione due curve successive DX SX	0.84 s	

Numero curve	34
Doppie	2
Triple	0
Lunghe	0
Inclinazione rollio (media)	+70-73
Inclinazione Imbardata (media)	+26-29

SCARPONI

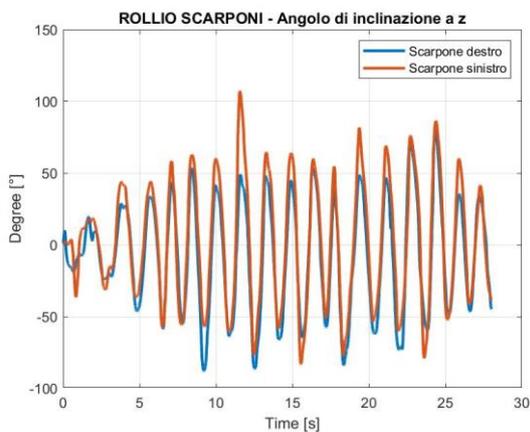


Figura 151 Angolo di Rollio

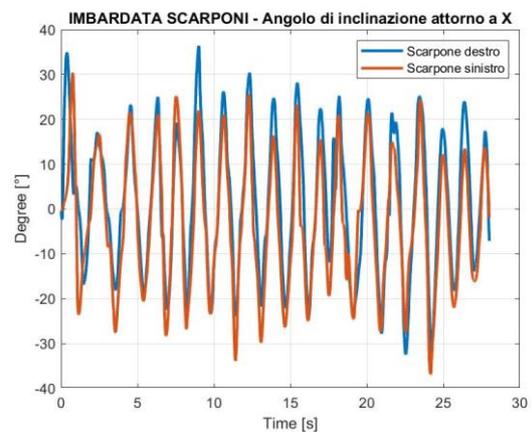


Figura 152 Angolo di Imbardata

BASTONCINI

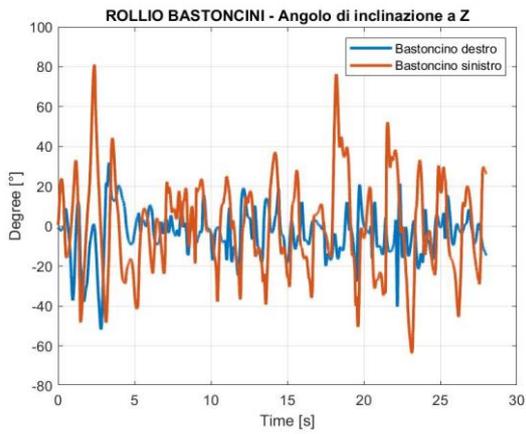


Figura 153 Angolo di Rollio

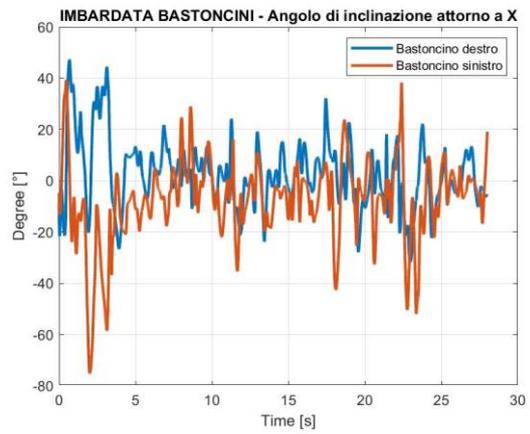


Figura 154 Angolo di Imbardata

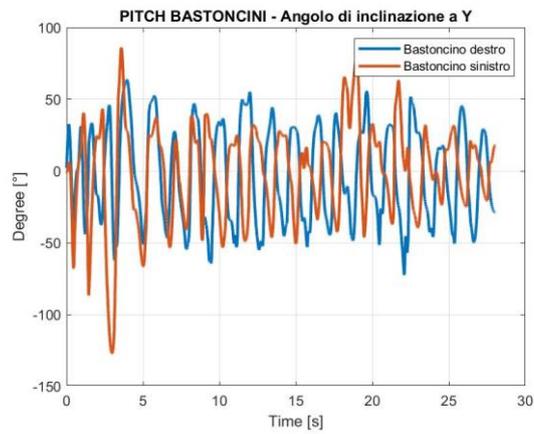


Figura 155 Angolo di Pitch

SCHIENA

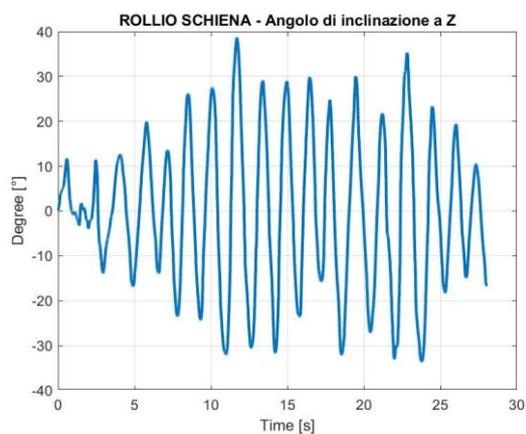


Figura 156 Angolo di Rollio

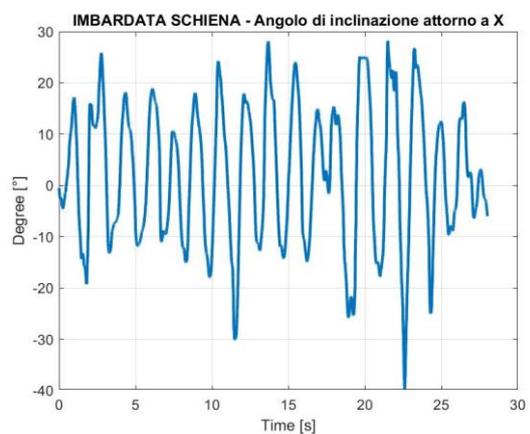
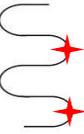


Figura 157 Angolo di Imbardata

Prova 2. Tester 1 ore 9.44

Esecuzione	Tempo [s]	Intervallo individuato sul grafico
Prova intera	24.76 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da SX verso DX	1.57 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da DX verso SX	1.61 s	
Esecuzione due curve successive DX SX	0.81 s	

Numero curve	34
Doppie	2
Triple	0
Lunghe	0
Inclinazione rollio (media)	+63-67
Inclinazione Imbardata (media)	+25-27

SCARPONI

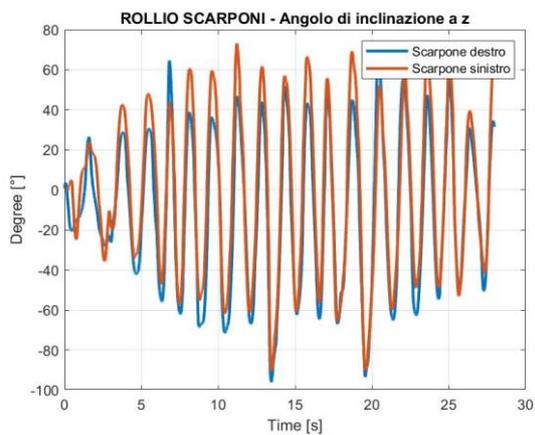


Figura 158 Angolo di Rollio

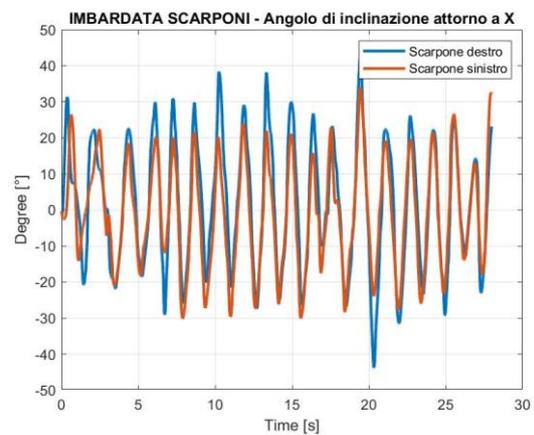


Figura 159 Angolo di Imbardata

BASTONCINI

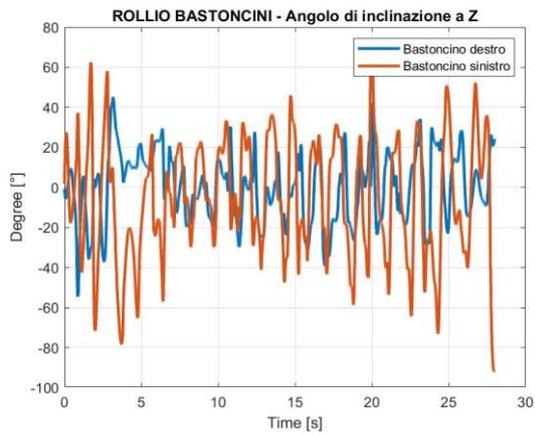


Figura 160 Angolo di Rollio

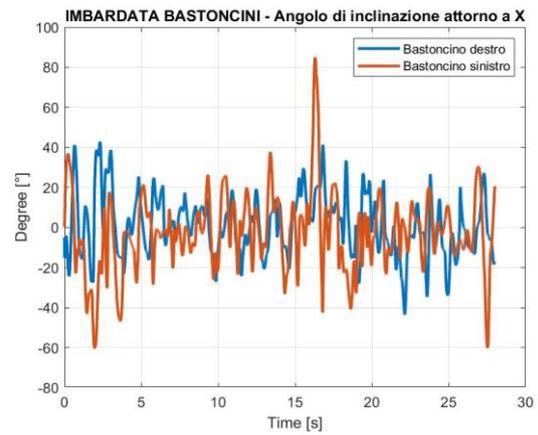


Figura 161 Angolo di Imbardata

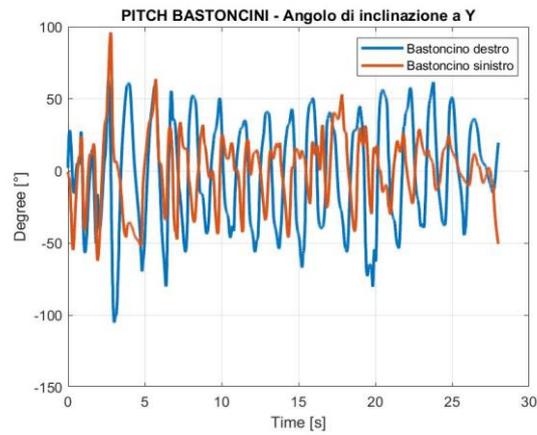


Figura 162 angolo di Pitch

SCHIENA

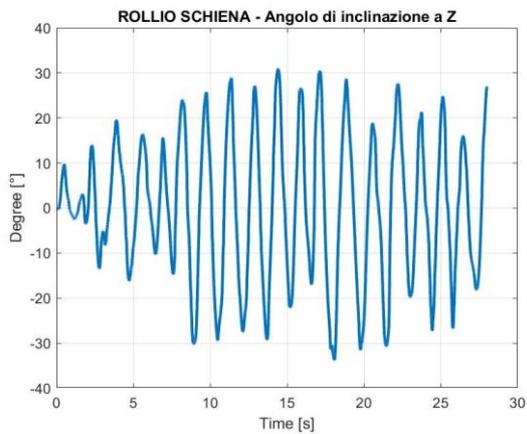


Figura 163 Angolo di Rollio

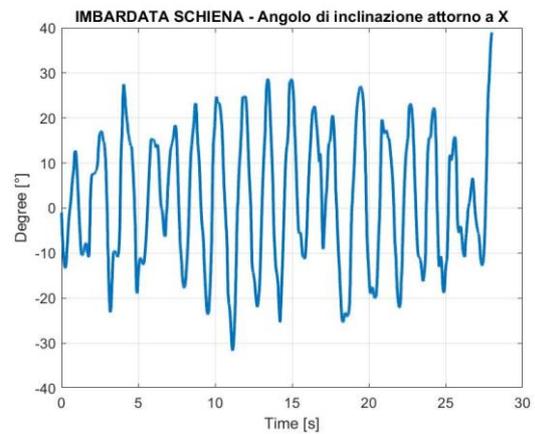
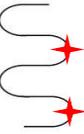


Figura 164 Angolo di Imbardata

Prova 3. Tester 1 ore 10.09

Esecuzione	Tempo [s]	Intervallo individuato sul grafico
Prova intera	25.55 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da SX verso DX	1.63 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da DX verso SX	1.50 s	
Esecuzione due curve successive DX SX	0.89 s	

Numero curve	34
Doppie	2
Triple	0
Lunghe	0
Inclinazione rollio (media)	+69-65
Inclinazione Imbardata (media)	+25-27

SCARPONI

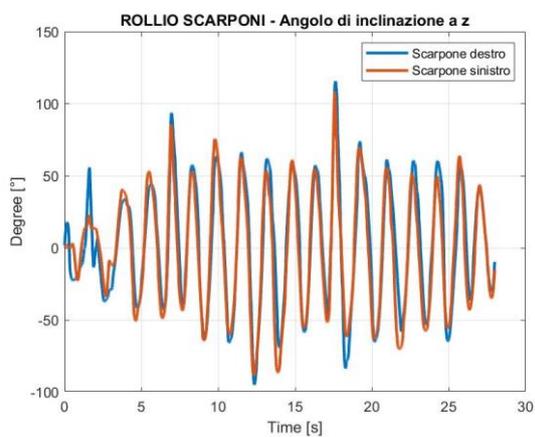


Figura 165 Angolo di Rollio

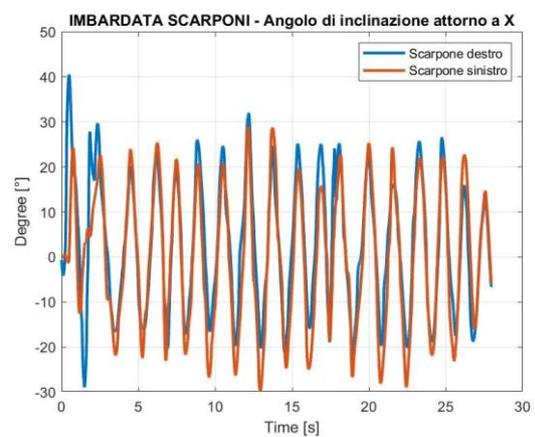


Figura 166 Angolo di Imbardata

BASTONCINI

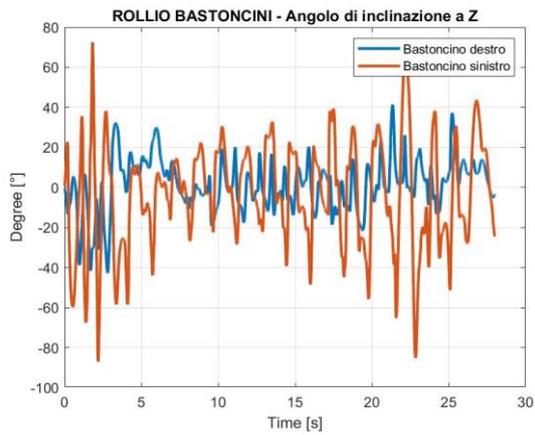


Figura 167 Angolo di Rollio

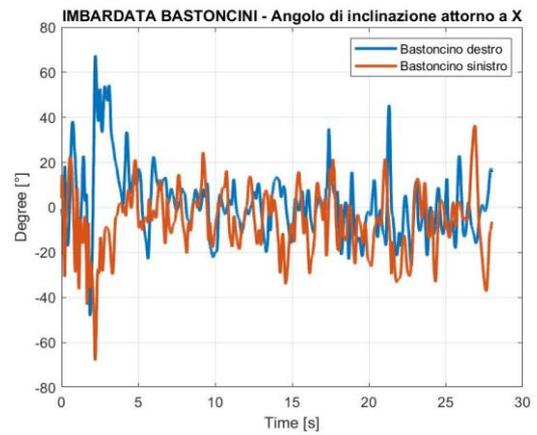


Figura 168 Angolo di Imbardata

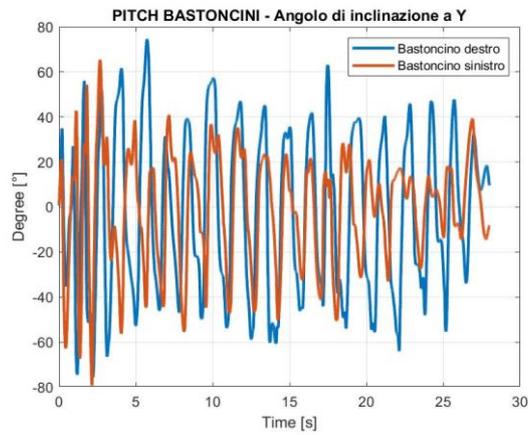


Figura 169 Angolo di Pitch

SCHIENA

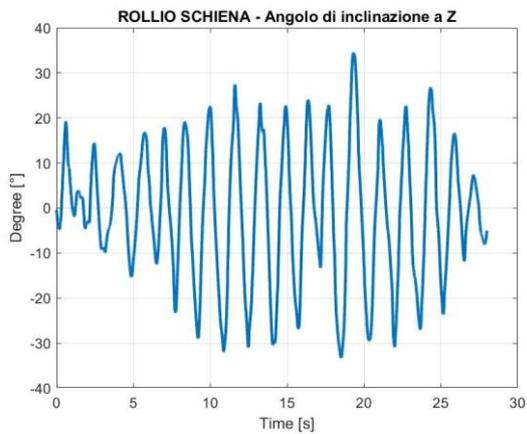


Figura 170 Angolo di Pitch

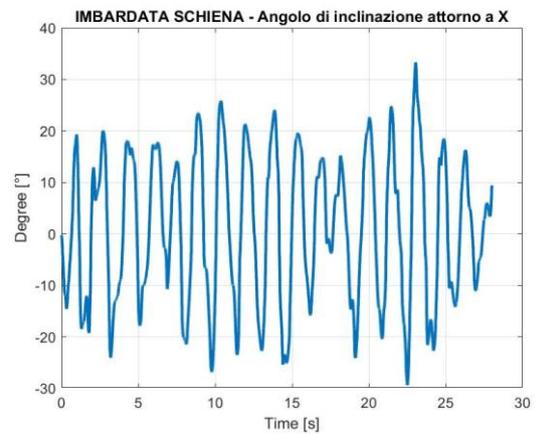
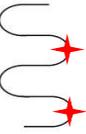
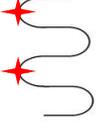


Figura 171 Angolo di Imbardata

Prova 4. Tester 2 ore 10.41

Esecuzione	Tempo [s]	Intervallo individuato sul grafico
Prova intera	30.27 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da SX verso DX	2.11 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da DX verso SX	2.00 s	
Esecuzione due curve successive DX SX	1.01 s	

Numero curve	34
Doppie	2
Triple	0
Lunghe	0
Inclinazione rollio (media)	+61-64
Inclinazione Imbardata (media)	+22-23

SCARPONI

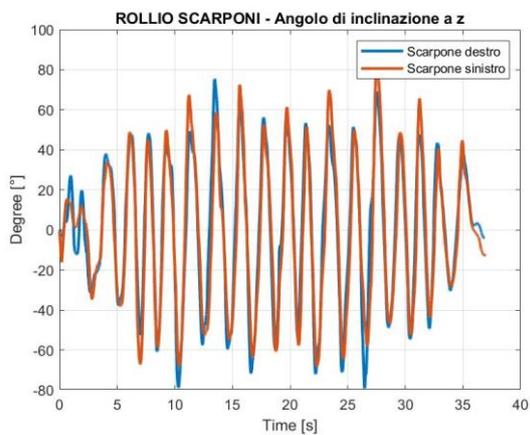


Figura 172 Angolo di Rollio

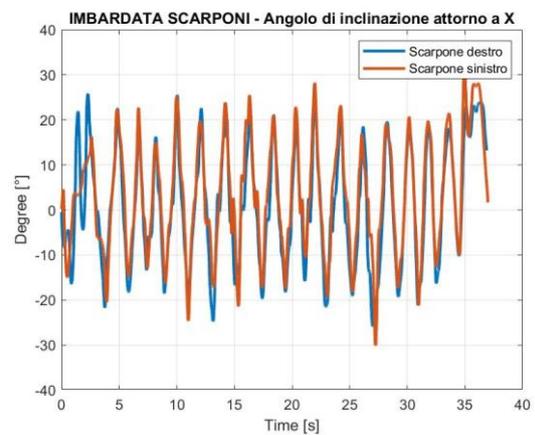


Figura 173 Angolo di imbardata

BASTONCINI

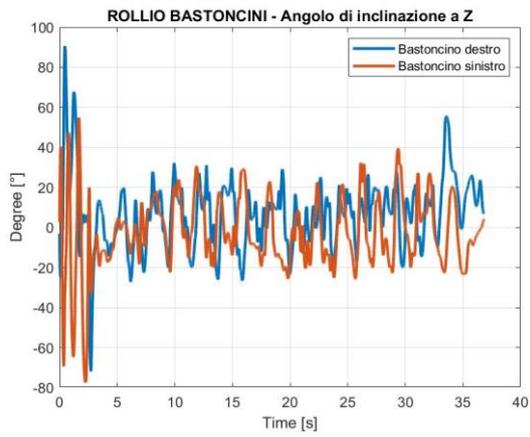


Figura 174 Angolo di Rollio

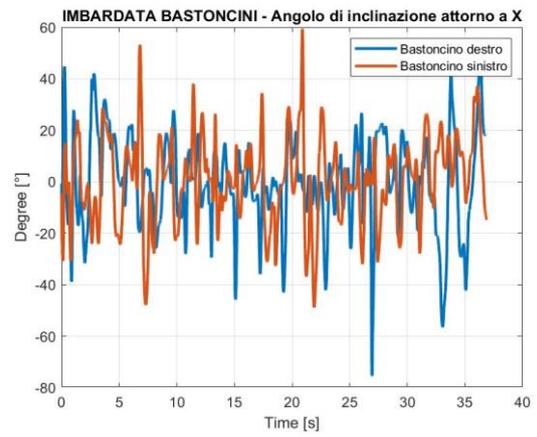


Figura 175 Angolo di Imbardata

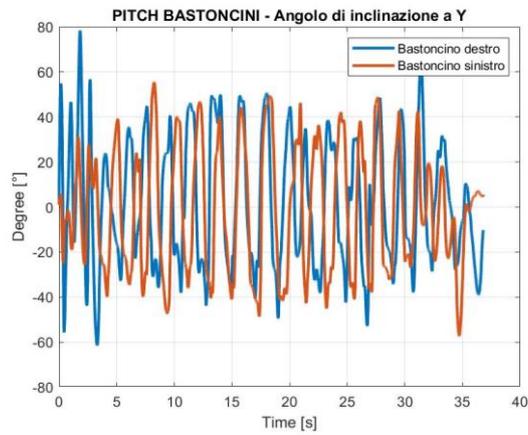


Figura 176 Angolo di Pitch

SCHIENA

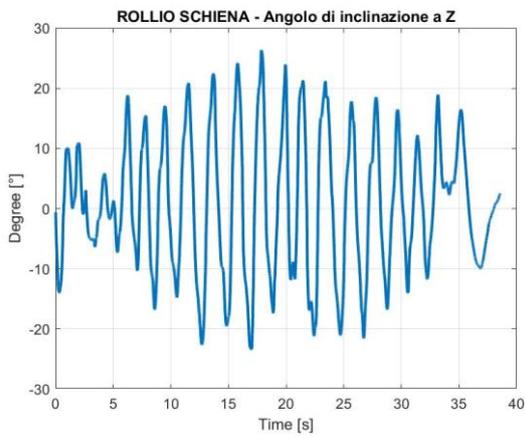


Figura 177 Angolo di Rollio

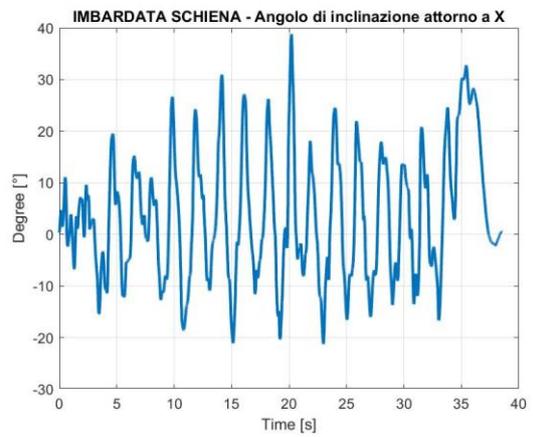
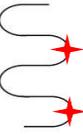
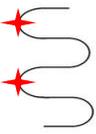


Figura 178 Angolo di Imbardata

Prova 5. Tester 2 ore 11.00

Esecuzione	Tempo [s]	Intervallo individuato sul grafico
Prova intera	31.79 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da SX verso DX	2.04 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da DX verso SX	1.94 s	
Esecuzione due curve successive DX SX	1.12 s	

Numero curve	34
Doppie	2
Triple	0
Lunghe	0
Inclinazione rollio (media)	+63-66
Inclinazione Imbardata (media)	+24-23

SCARPONI

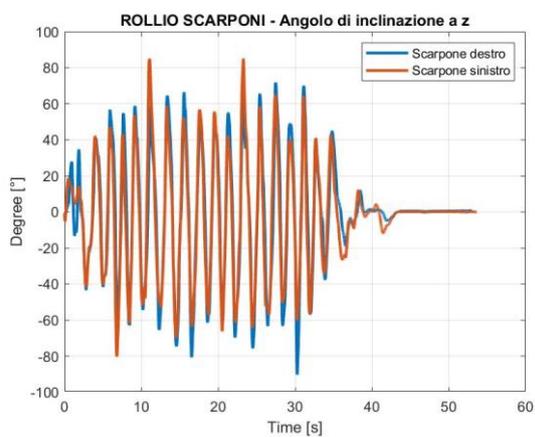


Figura 179 Angolo di Rollio

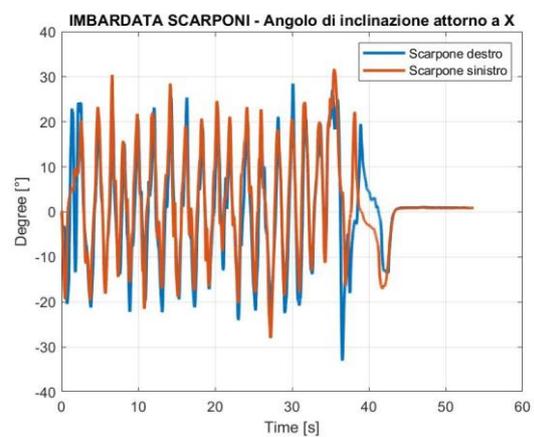


Figura 180 Angolo di Imbardata

BASTONCINI

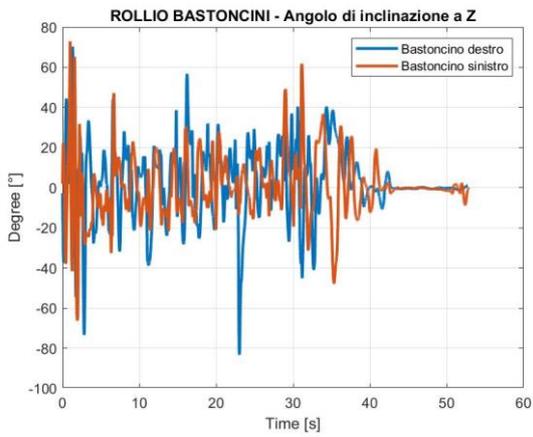


Figura 181 Angolo di Rollio

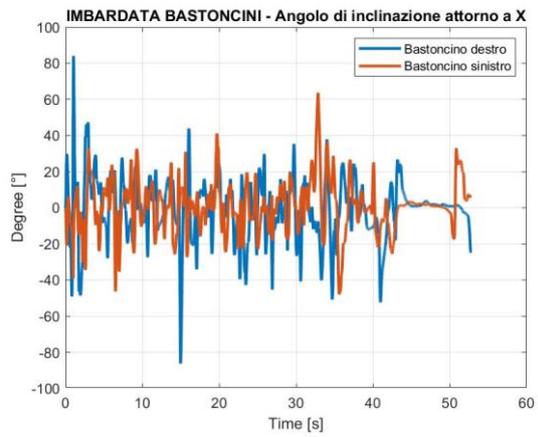


Figura 182 Angolo di Imbardata

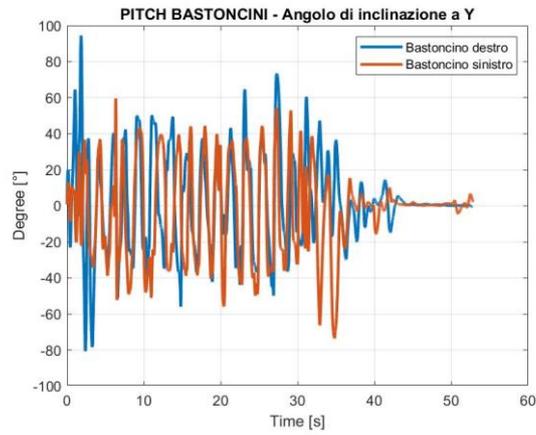


Figura 183 Angolo di Pitch

SCHIENA

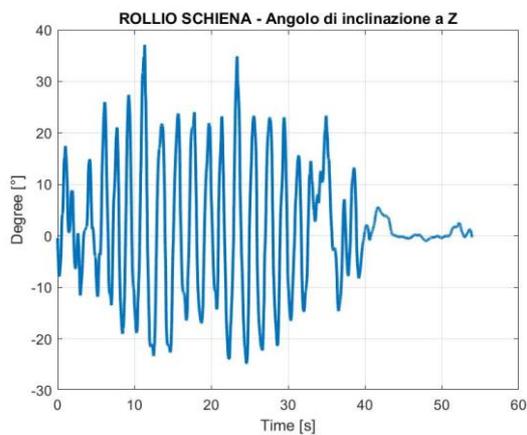


Figura 184 Angolo di Rollio

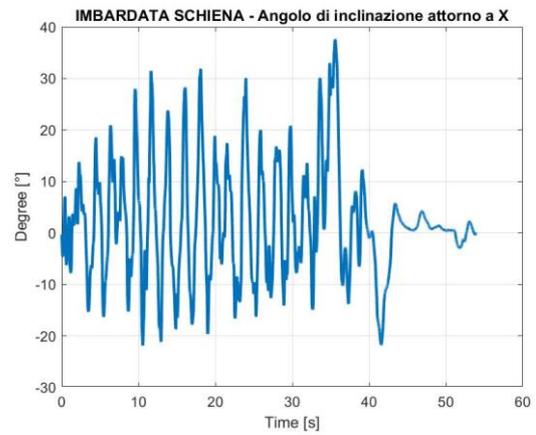
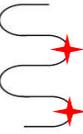
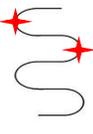


Figura 185 Angolo di Imbardata

Prova 6. Tester 3 ore 11.45

Esecuzione	Tempo [s]	Intervallo individuato sul grafico
Prova intera	26.61 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da SX verso DX	1.87 s	
Esecuzione due curve successive entrambe da DX verso SX	1.72 s	
Esecuzione due curve successive DX SX	0.77 s	

Numero curve	34
Doppie	2
Triple	0
Lunghe	0
Inclinazione rollio (media)	+72-68
Inclinazione Imbardata (media)	+26-29

SCARPONI

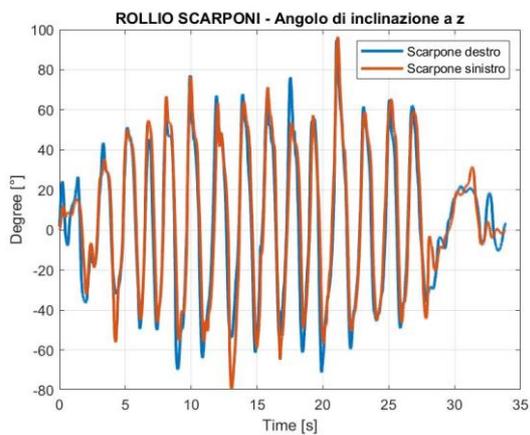


Figura 186 Angolo di Rollio

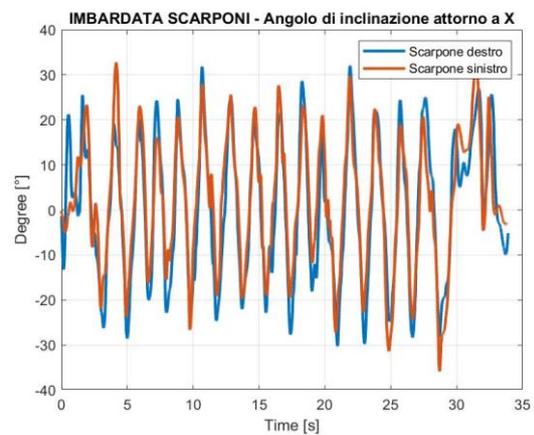


Figura 187 Angolo di Imbardata

BASTONCINI

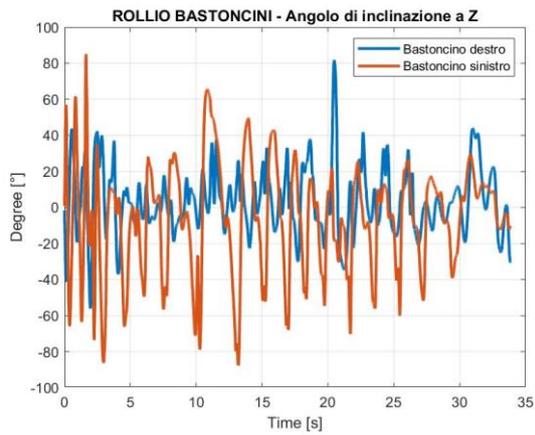


Figura 188 Angolo di Rollio

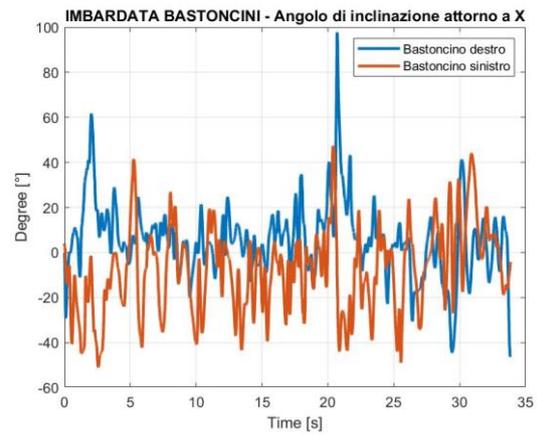


Figura 189 Angolo di Imbardata

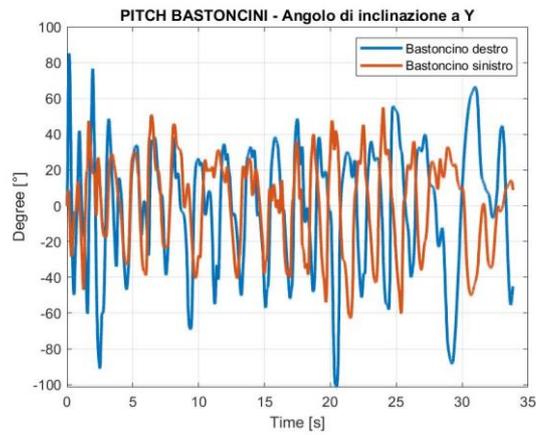


Figura 190 Angolo di Pitch

SCHIENA

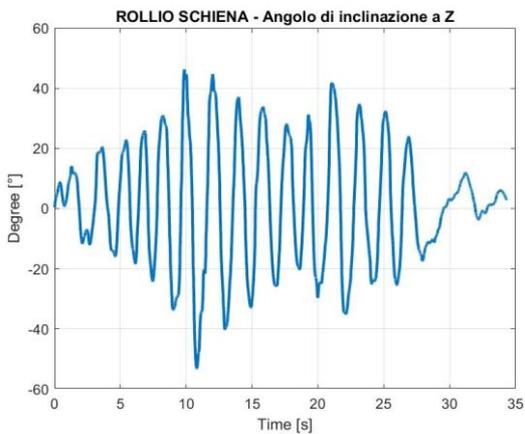


Figura 191 Angolo di Rollio

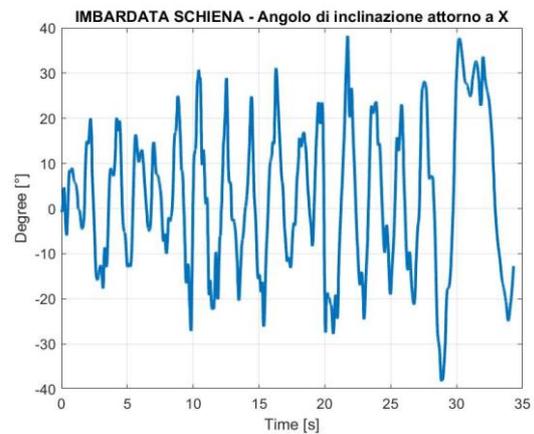


Figura 192 Angolo di Imbardata

5.4.d Analisi e Commenti Atleti a Melette di Gallio

Si procede con una analisi tecnico sciistica per ognuno dei Tester.

Tester 1. Giuliano Razzoli.

Essendo un atleta a livello olimpionico ci aspettiamo una sciata pulita e ideale. Nelle discese effettuate non ha voluto strafare rimanendo sempre molto composto.

Rimane molto composto in ingresso curva, avanzando leggermente il braccio esterno alla curva solo in fase di abbattimento del palo, essendo però l'ingresso curva simultaneo e il passaggio vicino al palo questo avanzamento gli serve solo per spostare il palo che altrimenti gli arriverebbe addosso.



Figura 193 Frame Video Giuliano Razzoli

Tester 2. Elisa Caregnano.

Si nota un anticipo dell'ingresso curva con il bacino che la porta ad 'entrare' dentro con l'anca, questo la porta a non avere un completo controllo dello sci esterno, di conseguenza passa più lontano dal palo ed effettua una rotazione della parte alta del busto verso la curva che sta eseguendo, con conseguente ricerca del palo con braccio esterno alla curva.



Figura 194 Frame Video Elisa Caregnano

Tester 3. Luca Alpozzi.

In ingresso curva effettua una ricerca del palo con il braccio che diventerà il nuovo esterno, effettua quindi una rotazione del busto che gli fa perdere l'appoggio sul piede esterno. Risulta molto reattivo nell'esecuzione della prova, invertendo lo spigolo molto rapidamente ma questo lo porta a saltare tra una curva e l'altra indirizzando gli sci verso la curva successiva non in modo simultaneo. Operando questo movimento tende a rimanere 'appeso' con la testa e busto nella parte interna della curva.



Figura 195 Frame Video Luca Alpozzi

Ritroviamo le considerazioni tecnico sciistiche fatte sugli atleti nei dati a nostra disposizione andando a focalizzarci sugli stessi angoli per tutti e tre i tester.

- **Imbardata scarponi.**

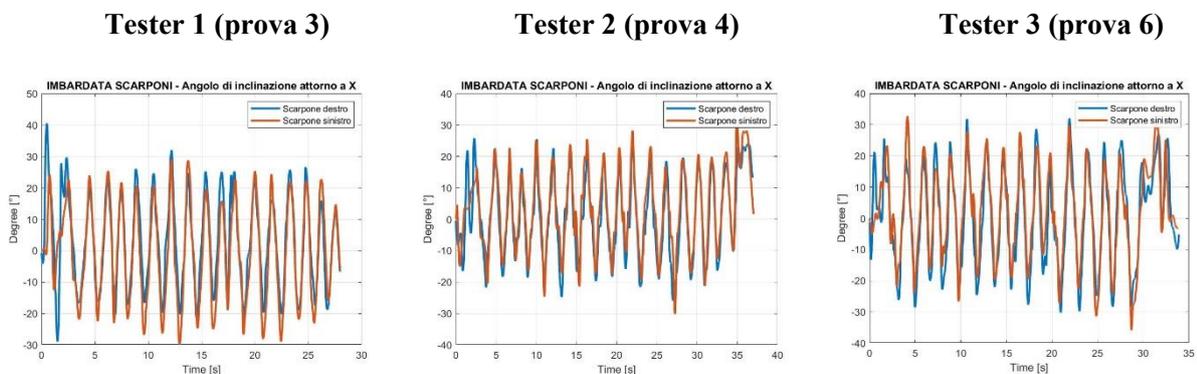
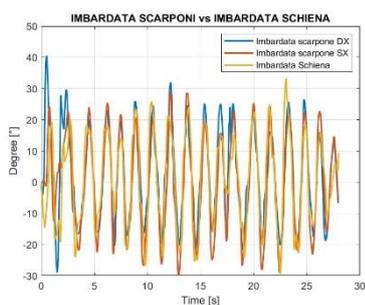


Figura 196 Confronto Imbardata Scarponi

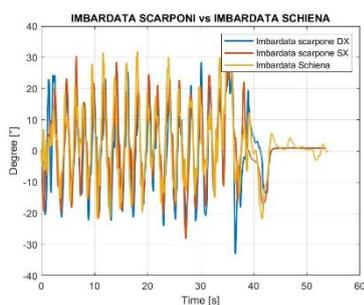
Gli angoli di imbardata degli scarponi sono maggiori per Tester 1 e Tester 3, i due direzionano meglio lo sci in ingresso curva, abbiamo angoli compresi tra 20 e i 30°, mentre per il Tester 2 gli angoli sono inferiori, intorno ai 20°. Effettuando un indirizzamento minore rispetto agli altri due Tester, questo lo porta a spendere più tempo in fase di curva, restando maggiormente sullo spigolo e facendo meno velocità.

Siccome a video abbiamo identificato che sia il Tester 2 che il Tester 3 tendono ad anticipare l'ingresso curva con la parte alta del corpo ci aspettiamo un angolo di imbardata della schiena maggiore e anticipato rispetto a quella degli scarponi.

Tester 1 (prova 3)



Tester 2 (prova 5)



Tester 3 (prova 6)

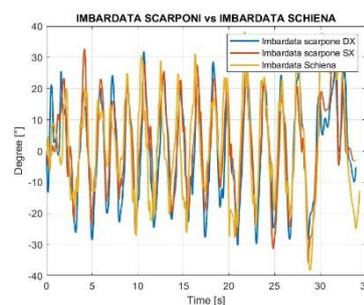


Figura 197 Confronto Imbardata Scarponi e Schiena

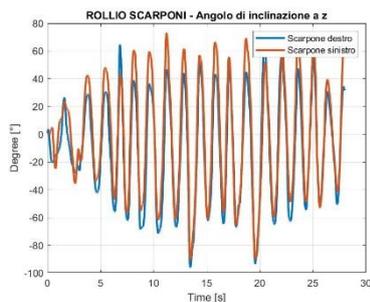
Anche dai grafici notiamo che gli angoli di imbardata di scarponi e schiena sono più concordi nel Tester 1 rispetto agli altri due atleti, dove risultano anche meno puliti, gli atleti effettuano una correzione della traiettoria durante la fase di curva.

Nel tester 2 inoltre la differenza tra gli angoli di imbardata di scarponi e schiena è più marcata, questo indica che nella fase di curva l'atleta segue maggiormente con il busto, andando a ricercare il palo con la parte alta del corpo e con conseguente perdita del controllo dello sci esterno.

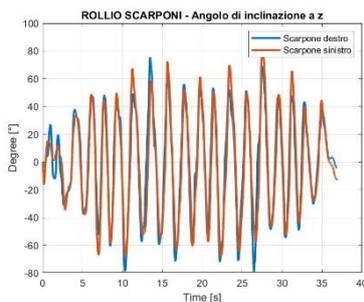
- **Angolo di rollio scarponi**

L'angolo di inclinazione degli scarponi in una corretta sciata deve essere maggiore per lo sci esterno quindi nella parte positiva del grafico ci aspettiamo un'inclinazione maggiore dello scarpone sinistro (arancione) mentre nella parte negativa ci aspettiamo un'inclinazione maggiore dello scarpone destro (blu).

Tester 1 (prova 2)



Tester 2 (prova 4)



Tester 3 (prova 6)

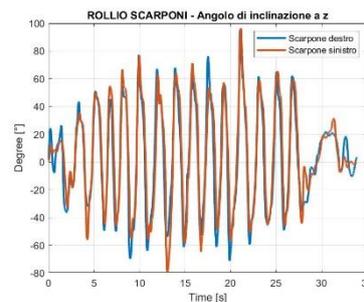


Figura 198 Confronto Rollio Scarponi

Notiamo che il Tester 1 accentua di più la differenziazione dell'inclinazione dei due scarponi, lavora con i due piedi indipendentemente ed effettua un'azione di spezzatura del busto migliore, soprattutto nelle curve con sci esterno sinistro, gli altri due atleti effettuano inclinazioni abbastanza simultanee, lavorano quindi di più anche con la parte alta del corpo.

BASTONCINI.

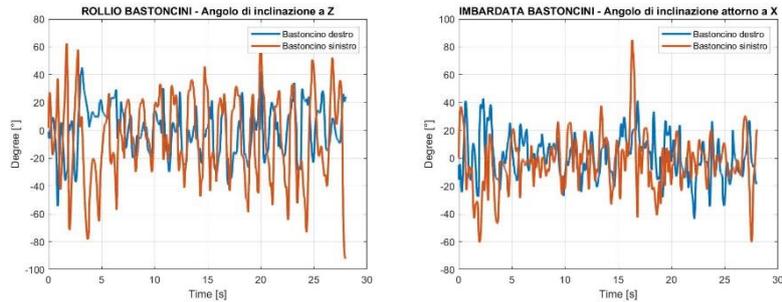


Figura 199 Angoli Bastoncini Tester 1. Prova 2

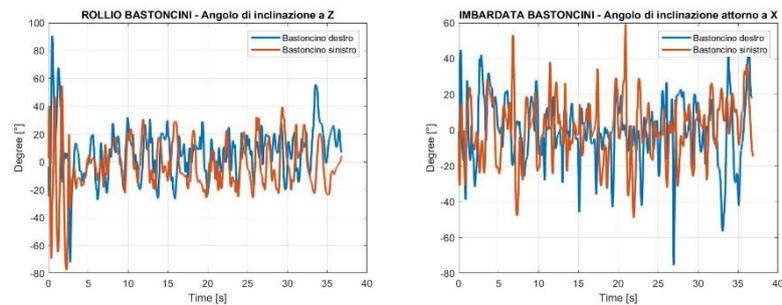


Figura 200 Angoli Bastoncini Tester 2. Prova 4

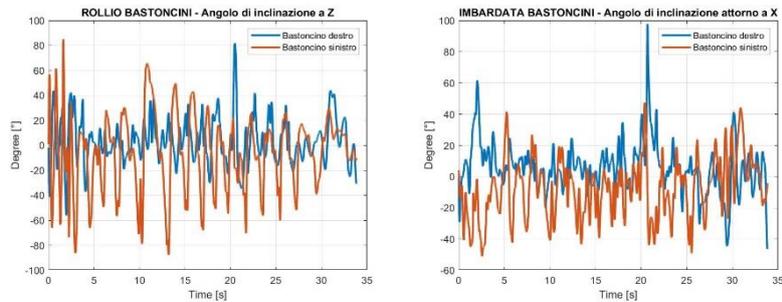


Figura 168 Angoli Bastoncini Tester 3. Prova 6

Gli angoli di imbardata sui bastoncini presentano molti spike e sono meno regolari nel Tester 2 e nel Tester 3, quelli del Tester 1 rimangono più regolari e con meno spike, questo è dato dalla ricerca del palo maggiormente accentuata dai Tester 2 e 3 rispetto al Tester 1.

Osservando gli angoli di rollio dei bastoni notiamo che sono più sovrapposti per il tester 1 e 2, questi infatti effettuano una minore ricerca del palo mentre per il tester 3 sono presenti più disuguaglianze e spike, l'atleta tende a ricercare il palo in modo maggiore.

6. Conclusioni

In questo studio è stato presentato uno studio della dinamica del corpo nella disciplina dello sci alpino in due specialità differenti: Slalom Gigante e Slalom Speciale. Gli atleti che hanno partecipato a queste prove erano tutti atleti di buon livello.

Questo studio sulla dinamica dello sci alpino nasce da una collaborazione del Politecnico di Torino con l'azienda Gabel s.r.l. lo scopo era trovare degli indici identificativi che mi permettano di avere una discriminazione degli errori più marcati che effettuava il nostro atleta durante la prova.

I sensori inerziali mi hanno permesso di acquisire i dati sugli angoli di rollio, imbardata e pitch, i quali corrispondono rispettivamente all'inclinazione laterale, la direzione durante la curva e l'inclinazione in avanti di scarponi, schiena e bastoncini.

In aggiunta all'acquisizione dei dati tramite i sensori è stato utilizzato un sistema di acquisizione video tradizionale, la ripresa avveniva da fondo pista in modo da inquadrare l'atleta durante tutta la prova. Il sistema video è stato utilizzato per identificare gli errori più marcati dell'atleta, effettuando un'analisi tecnico sciistica, e successivamente si è andati a ricercare gli errori nei dati provenienti dai sensori.

Si è utilizzato un codice Matlab per la sincronizzazione temporale di tutti i sensori così da poter valutare con accuratezza le tempistiche dei segmenti corporei e di conseguenza valutare la corretta esecuzione o meno della curva.

I dati acquisiti sui bastoni sono risultati i più complicati da interpretare ma hanno aiutato molto nell'identificazione dell'istante dell'inizio della discesa e si sono stati anche utili per l'identificazione degli errori provenienti dall'utilizzo scorretto delle braccia durante la prova.

Questi dati sono stati utilizzati per valutare il movimento delle braccia durante la discesa in slalom Gigante in cui si è notato che angoli di pitch intorno ai 40° e maggiormente regolari mi identificano una sciata con un movimento delle braccia ridotto, mentre angoli maggiori e meno regolari mi identificano una sciata con un movimento delle braccia più marcato.

Per quanto riguarda le discese in Slalom Speciale i dati acquisiti hanno discriminato una maggiore o minore ricerca del palo nella fase di ingresso curva, angoli di rollio dei bastoni più sovrapposti identificano una minore ricerca del palo e conseguente minore inclinazione in interno curva, mentre angoli di rollio meno sovrapposti tra bastoncino destro e sinistro identificano una maggiore ricerca del palo in ingresso curva e quindi maggiori inclinazioni.

I dati acquisiti sugli scarponi hanno permesso di valutare le inclinazioni laterali dei piedi e la direzione dello sci in ingresso curva. Grafici più lineari e puliti identificano una maggiore conduzione degli sci durante la sciata, mentre grafici più grezzi significano che l'atleta ha effettuato più correzioni nella traiettoria eseguita. Angoli di rollio maggiori identificano una maggiore inclinazione laterale degli scarponi, questi aumentano con la capacità dello sciatore di avere maggiore controllo dell'attrezzo durante la fase di curva, senza sbandare e portando l'atleta a fare più velocità. Inoltre, gli angoli di rollio degli scarponi devono essere maggiori per lo scarpone esterno alla curva così da avere una azione di 'spezzatura' del busto migliore e un'azione di ricerca della curva successiva che parte prima dai piedi che dalla parte alta del corpo.

I dati acquisiti sulla schiena sono serviti principalmente per effettuare delle sovrapposizioni con i dati provenienti da altri sensori in modo da valutare le tempistiche di inizio curva tra schiena e piedi. Un angolo di imbardata sulla schiena in anticipo su quello degli scarponi denota la tendenza dell'atleta ad incominciare

la curva prima con la parte alta del corpo, rispetto a un'azione contemporanea schiena piedi, il che porta ad avere problemi nella seconda fase di curva data da una parziale perdita dell'appoggio sullo sci esterno.

In un tracciato di Slalom Gigante gli angoli di imbardata della schiena si aggirano intorno ai 20°-25°, angoli maggiori identificano una tendenza del nostro atleta a seguire la traiettoria della curva con il busto il che lo porta ad avere una perdita del controllo dell'attrezzo in fase di curva.

Essendo gli atleti che hanno eseguito le prove tutti atleti di altro livello non si è potuta dare un'interpretazione sul livello di sciata di questi, sarebbero rientrati tutti in sciatori di alto livello, si sono quindi identificati gli errori di ogni singolo atleta andando ad analizzare ogni prova eseguita.

6.1 Possibili studi futuri

Un possibile sviluppo futuro di questo studio sarebbe l'acquisizione dei medesimi dati su sciatori meno esperti per poter dare anche una discriminazione del livello di sciata e non solo dei singoli errori degli sciatori.

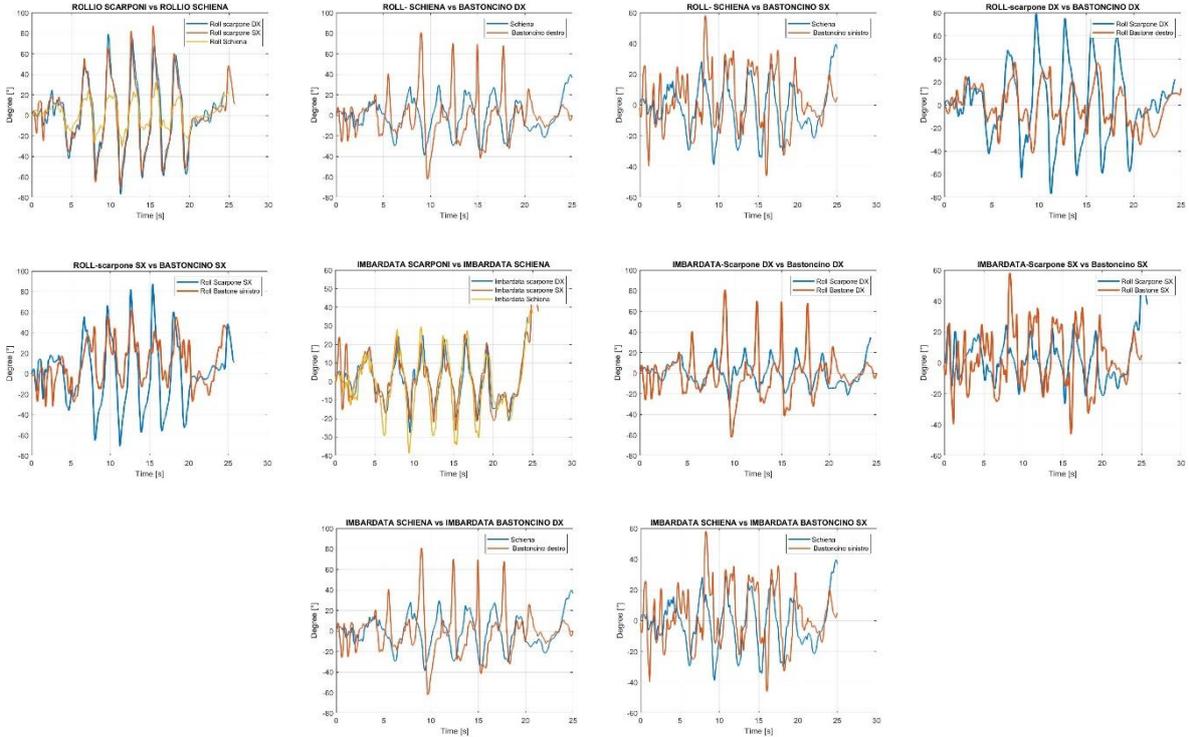
Risulterebbe molto utile anche il posizionamento di due ulteriori sensori sulle spalle, le quali sono un indice molto importante e discriminante in una sciata poiché identificano la posizione e orientamento della parte alta del corpo, mi permetterebbero inoltre di calcolare anche gli angoli relativi tra schiena e spalle così da poter classificare una azione corretta eseguita 'spezzando' il busto, rispetto ad una sciata in cui l'atleta tende ad inclinarsi verso l'interno curva e quindi perdere l'appoggio dello sci esterno.

Per quando riguarda la dinamica della discesa si potrebbe andare a valutare le accelerazioni di inizio curva in relazione alle distanze tra le porte e l'angolazione di queste, così da cercare di identificare dei parametri che mi permettano di monitorare lo sciatore per quando riguarda gli infortuni e dare degli indici sulla tracciatura di una pista da allenamento o gara che possano aiutare nella riduzione degli infortuni in questa disciplina.

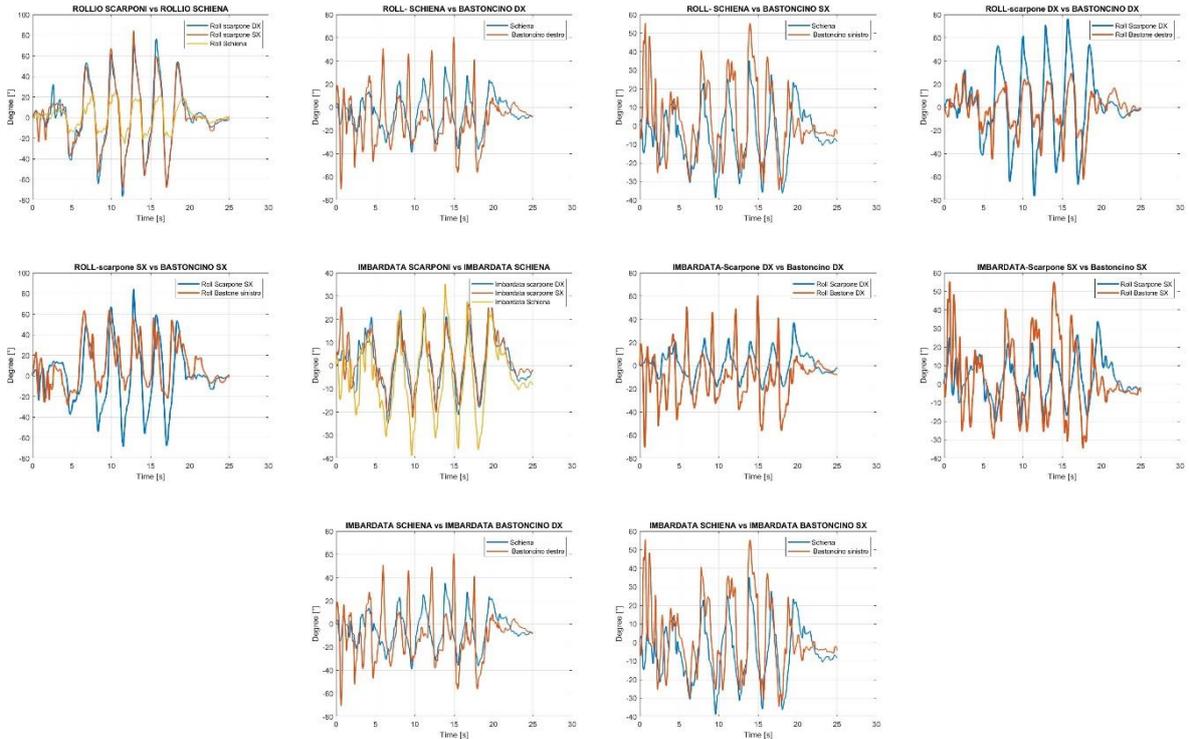
7. Appendice

7.1 Slalom Gigante Pozza di Fassa

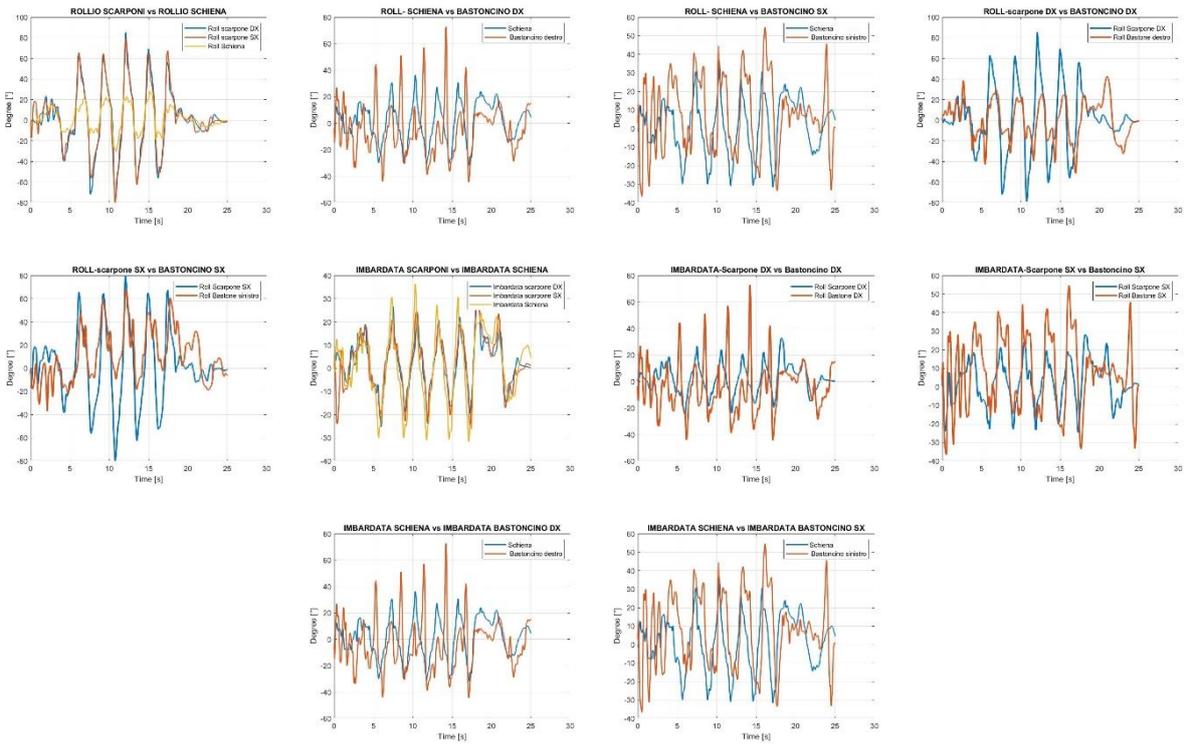
Prova 1



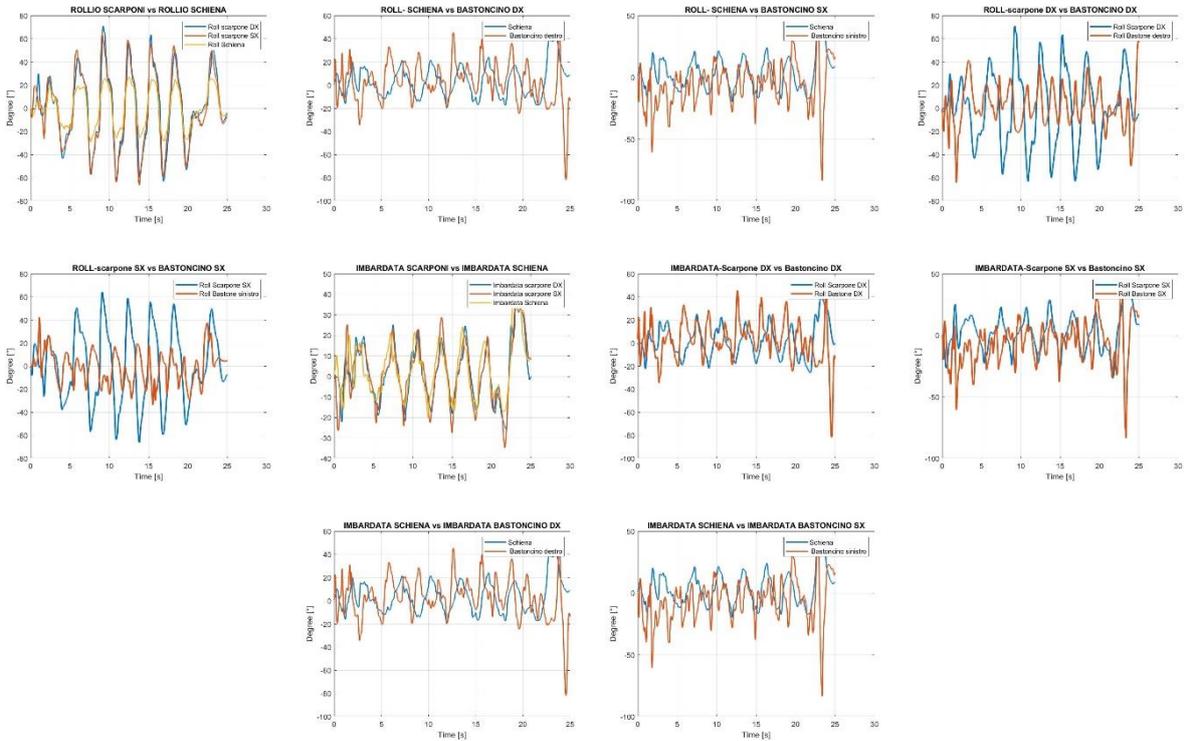
Prova 2



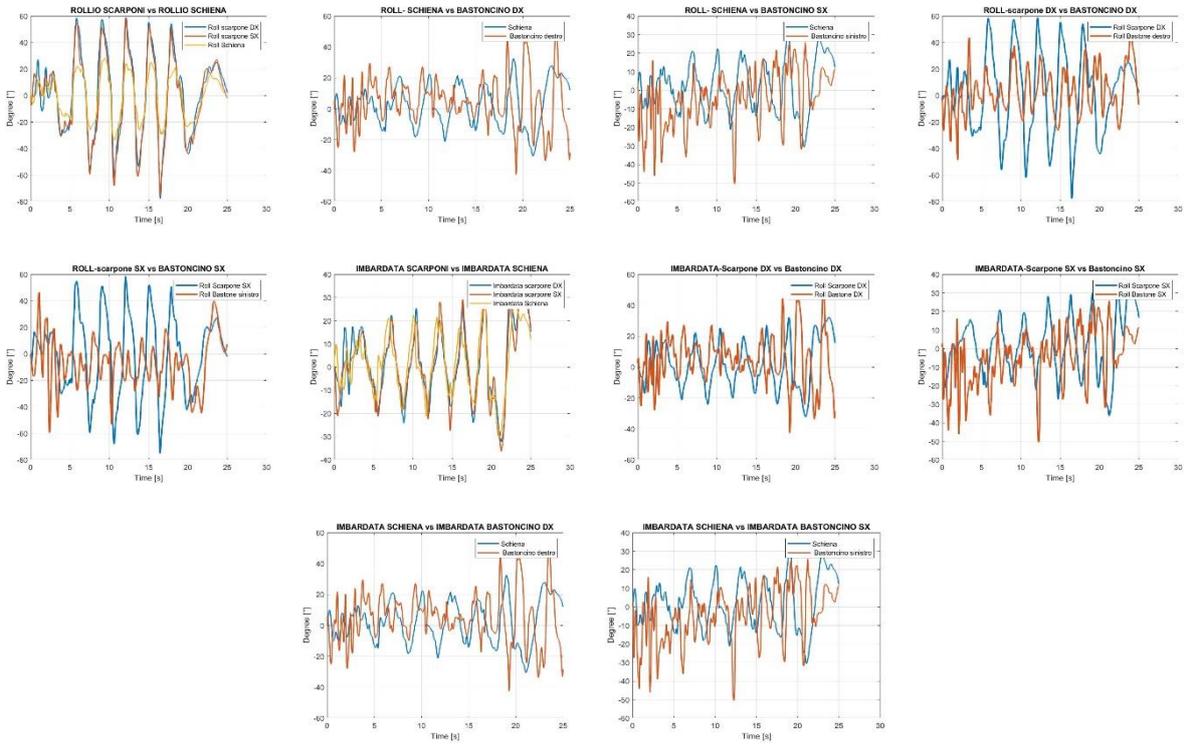
Prova 3



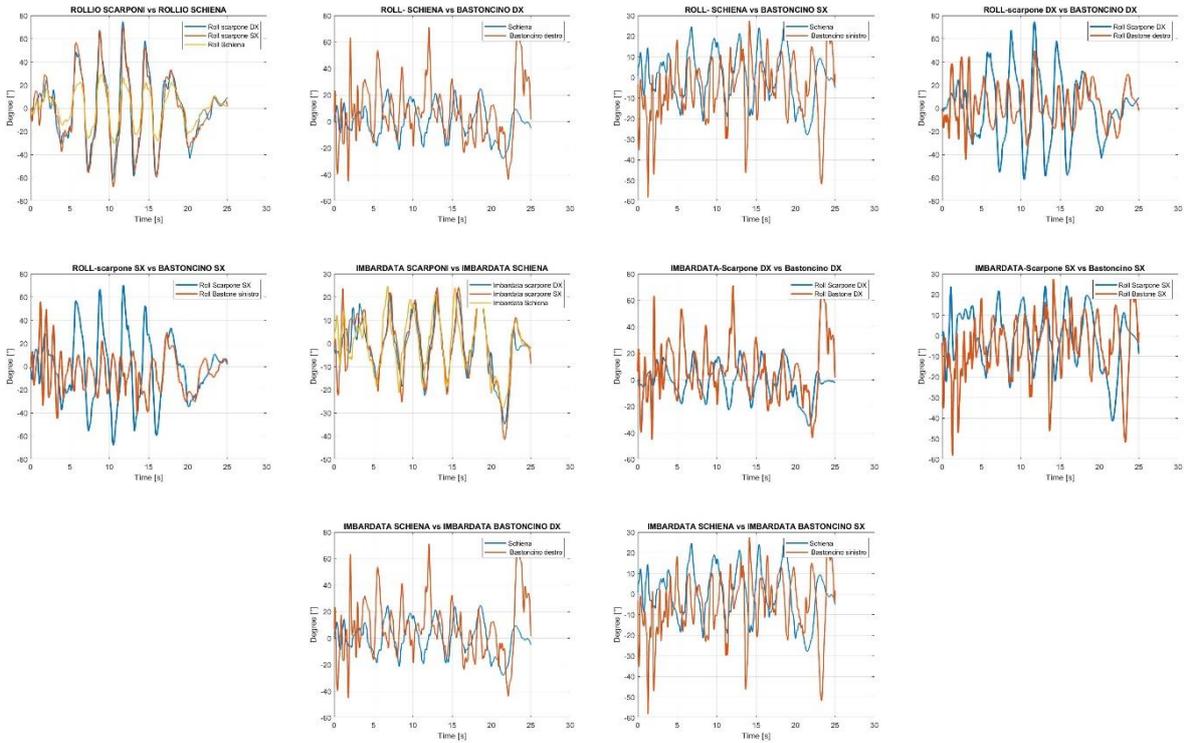
Prova 4



Prova 5

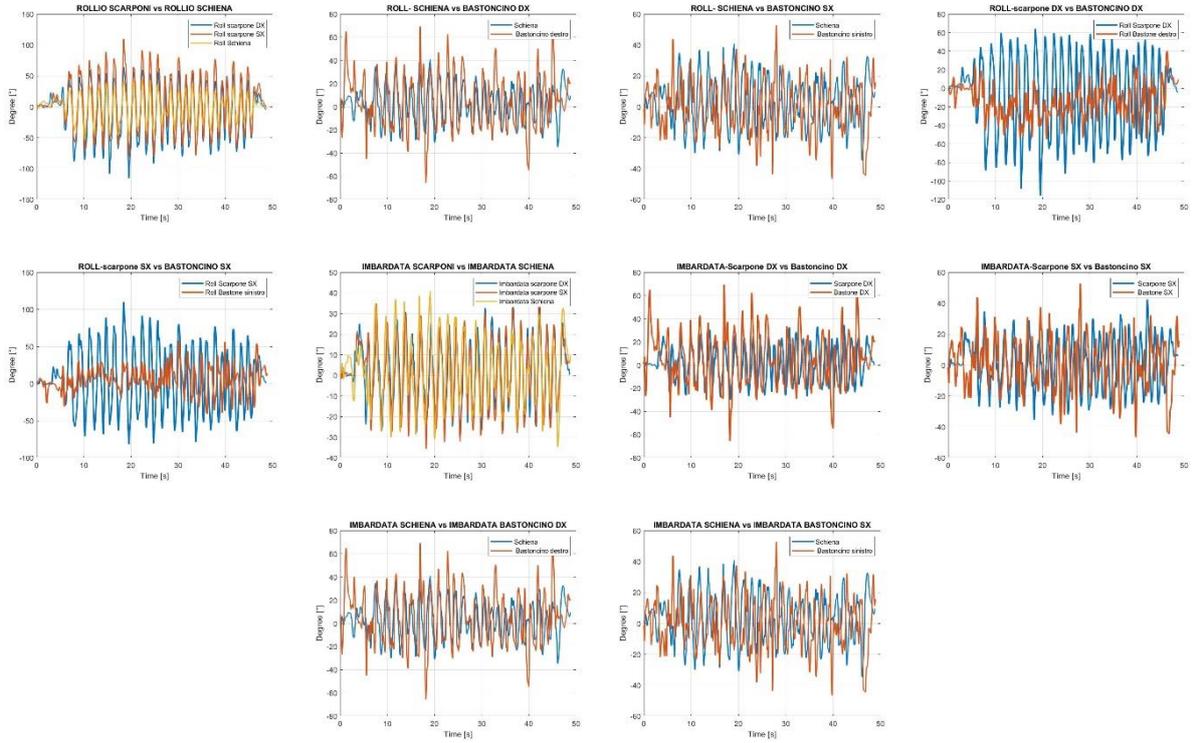


Prova 6

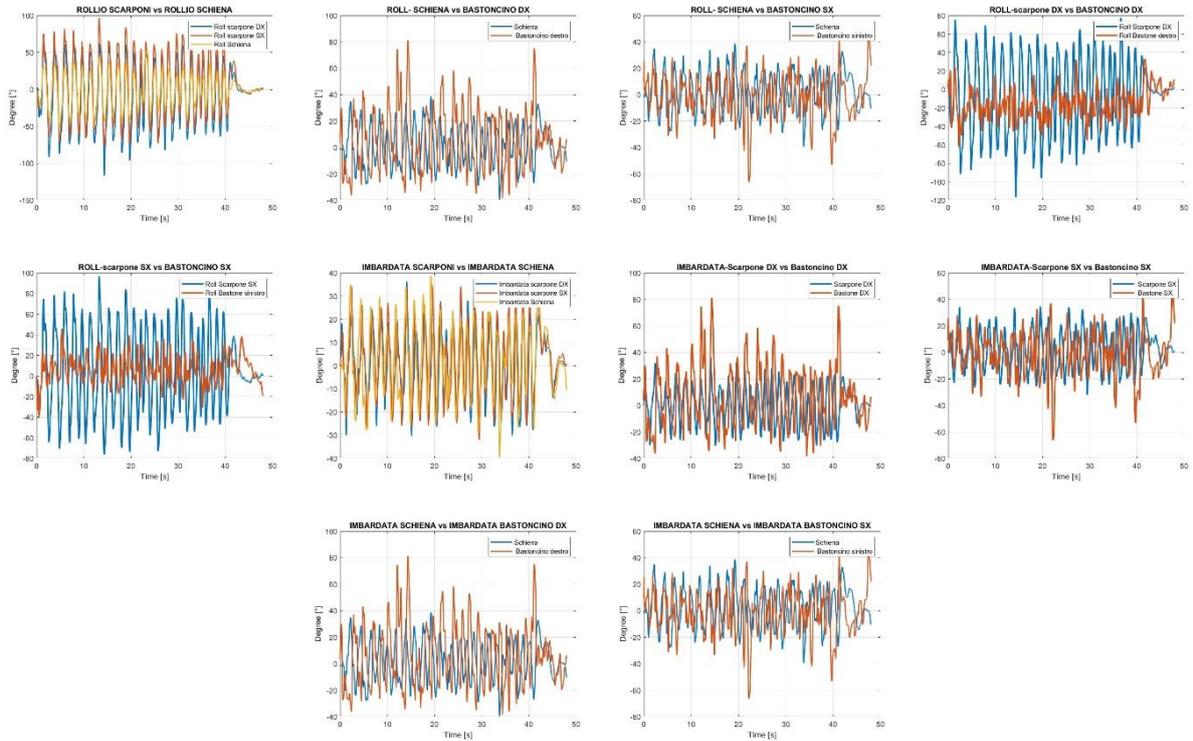


7.2 Slalom Speciale Pozza di Fassa

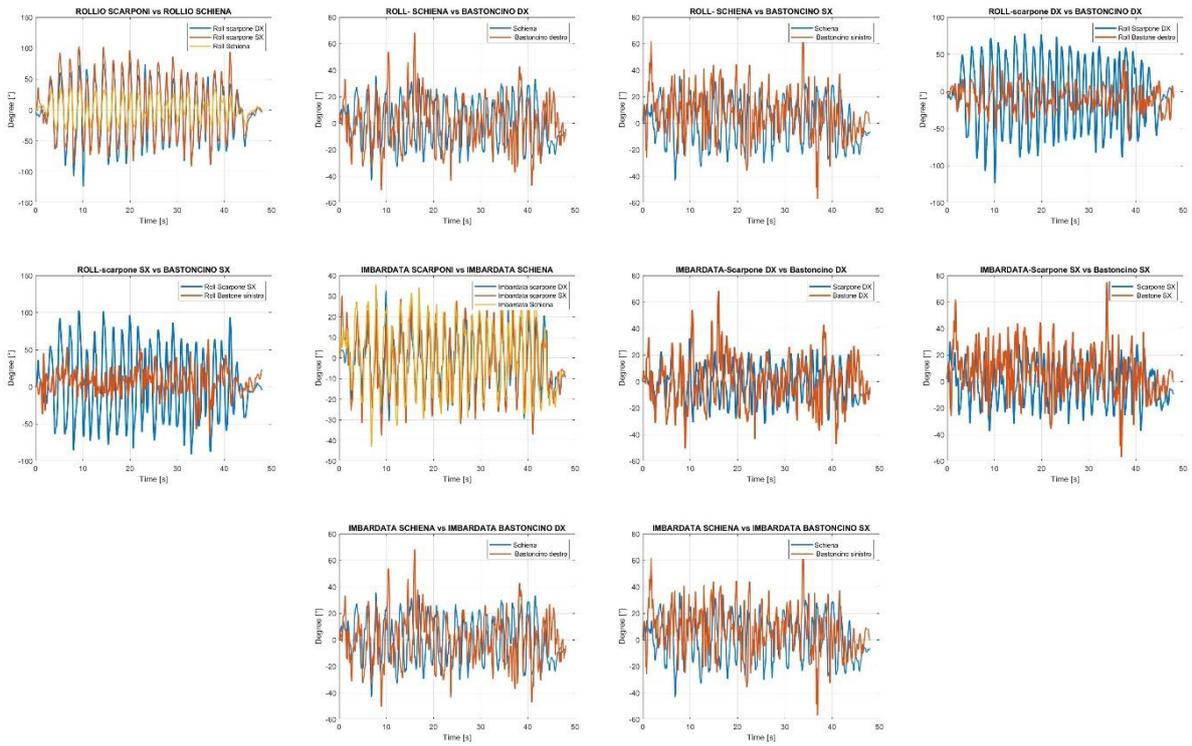
Prova 1



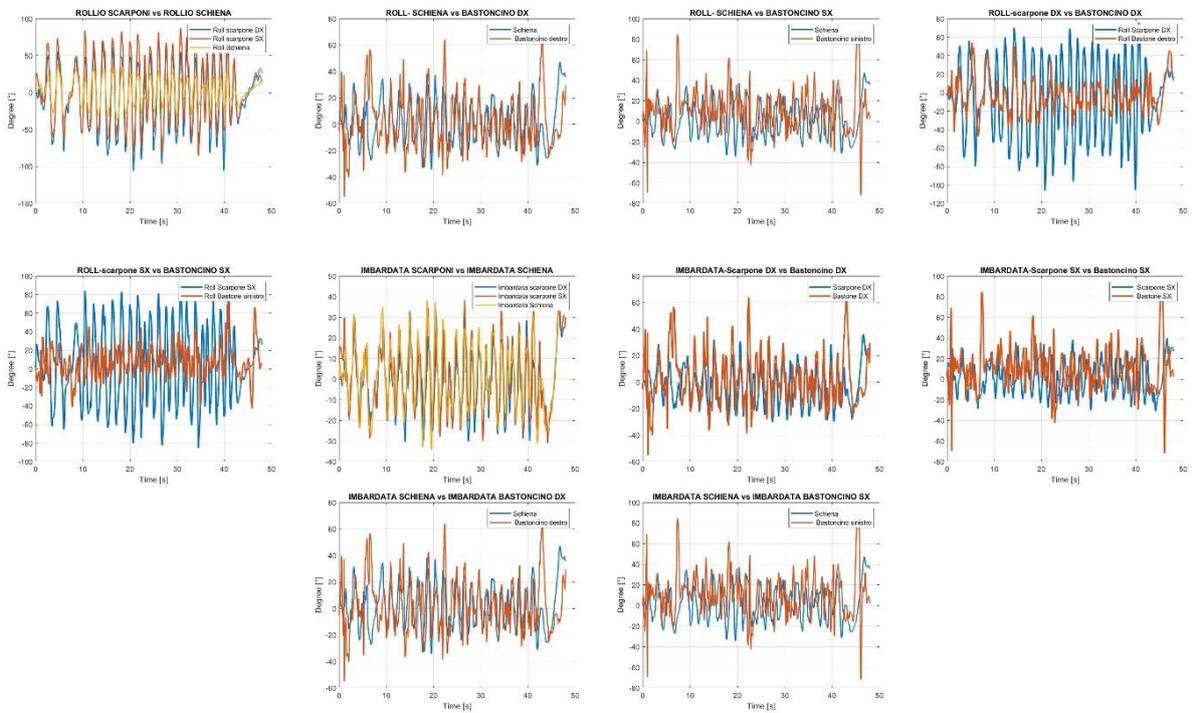
Prova 2



Prova 3

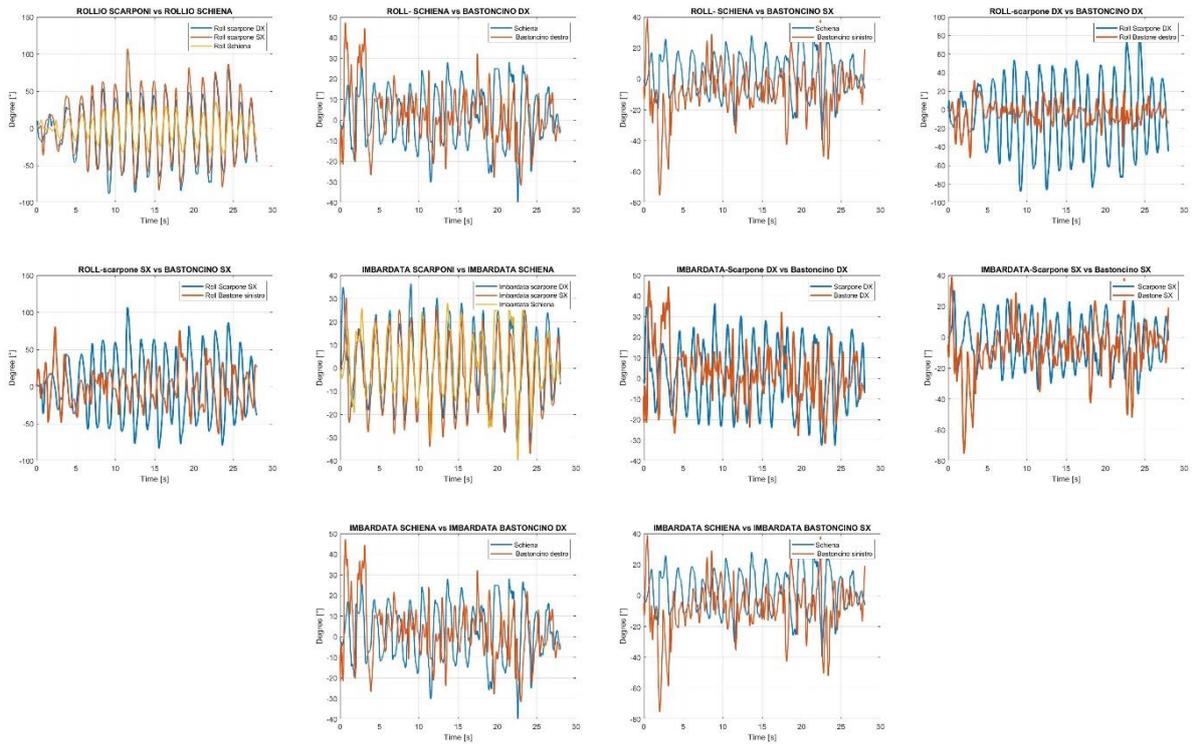


Prova 4

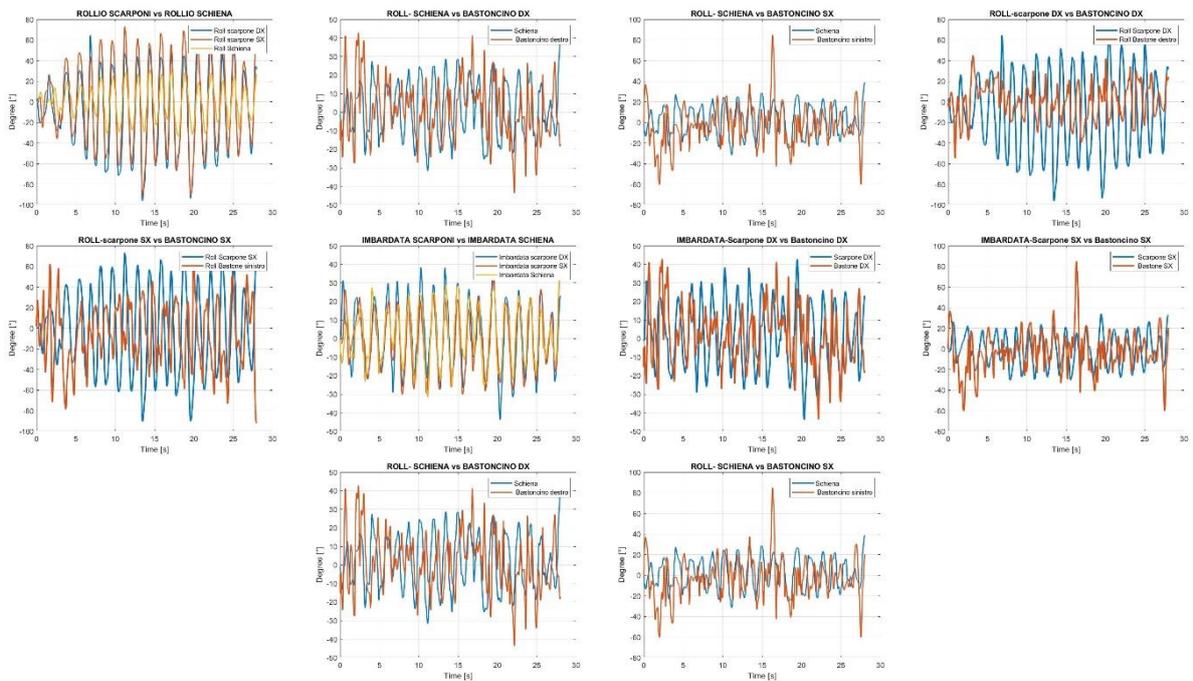


7.3 Slalom Speciale Melette di Gallio

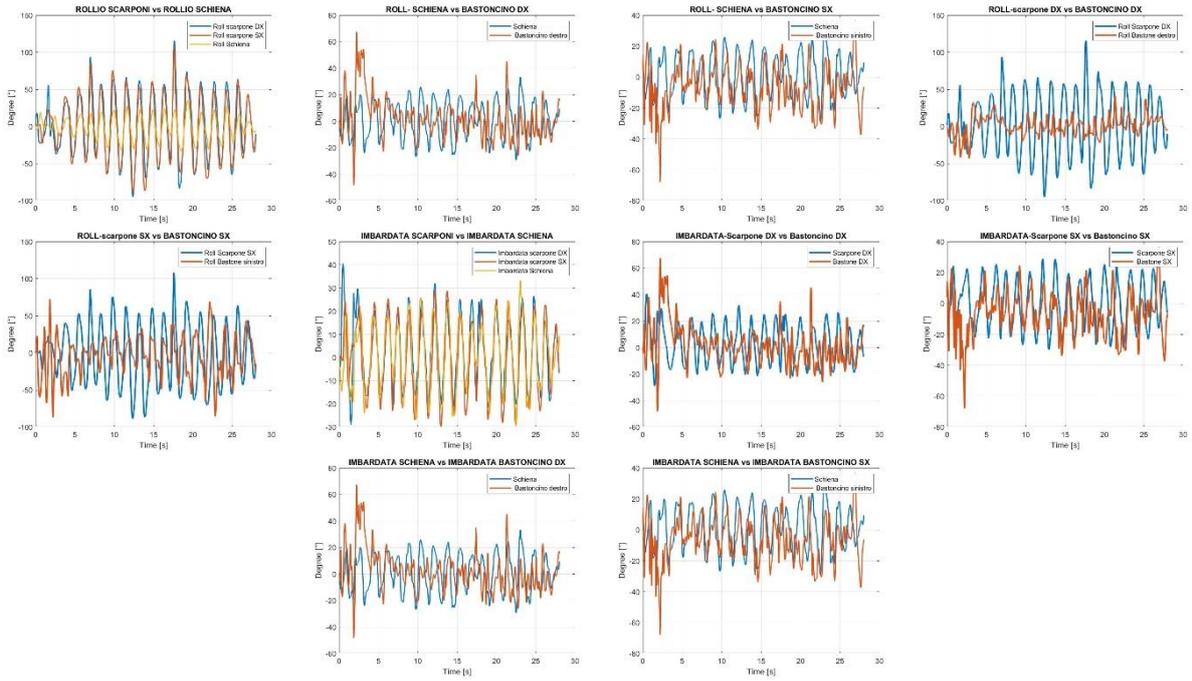
Prova 1



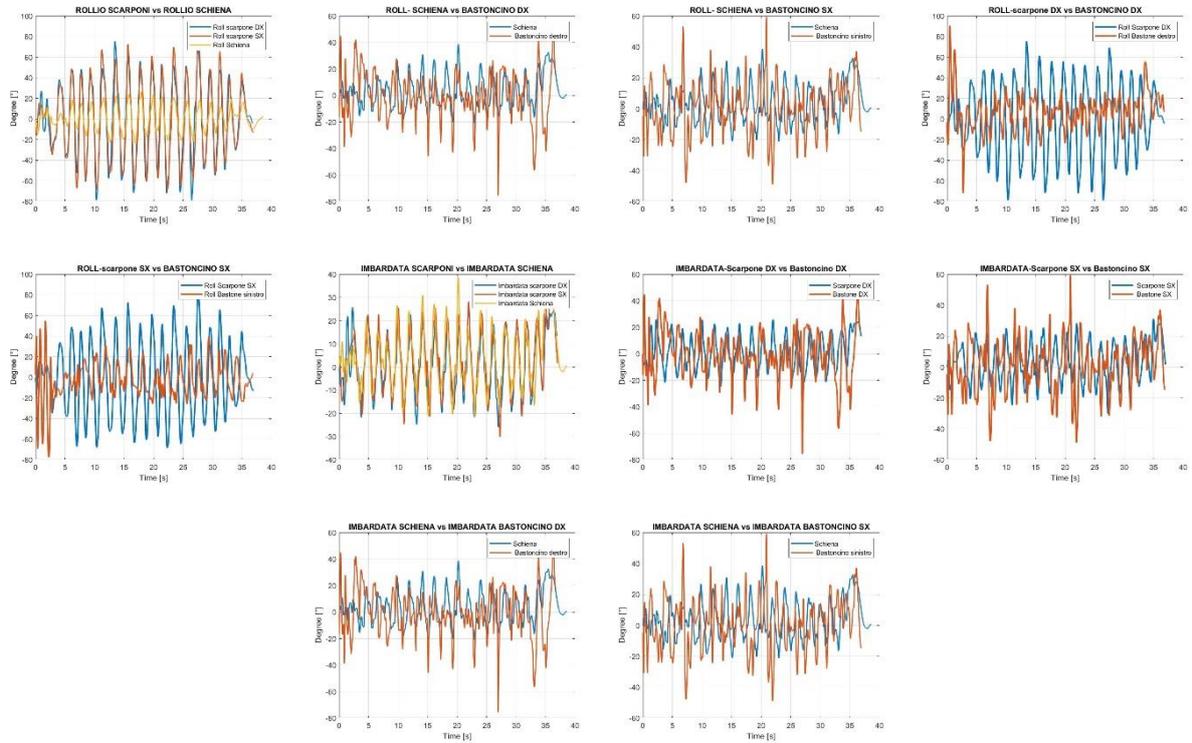
Prova 2



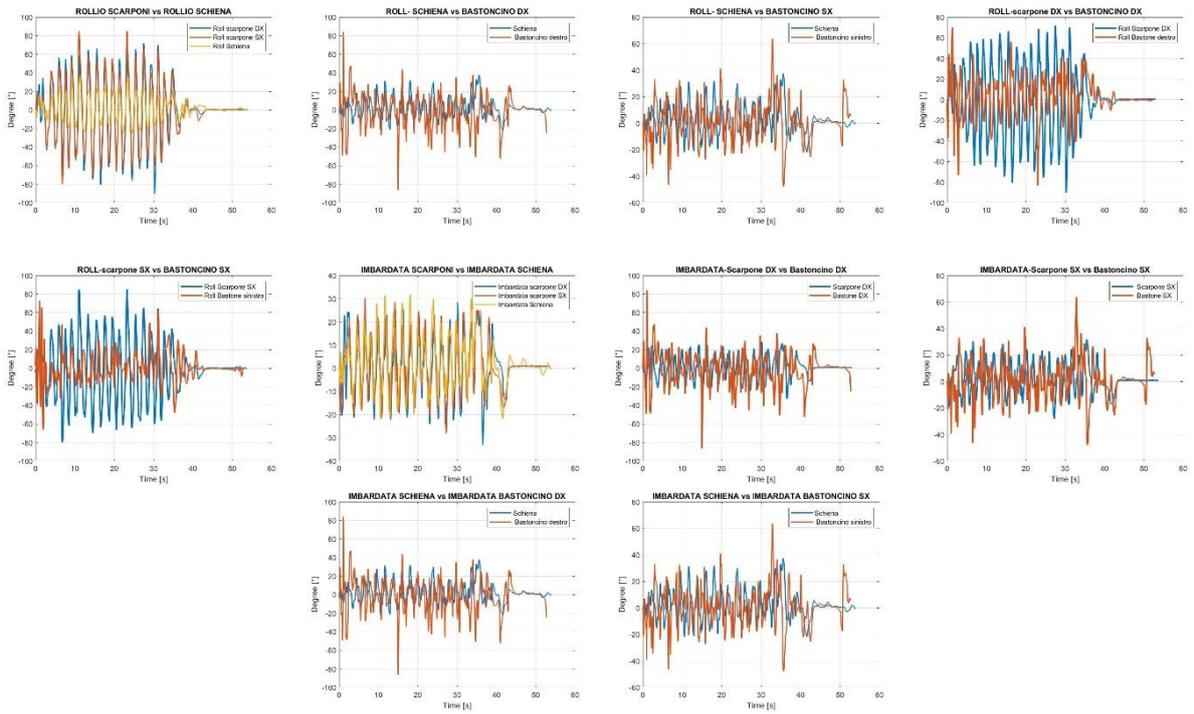
Prova 3



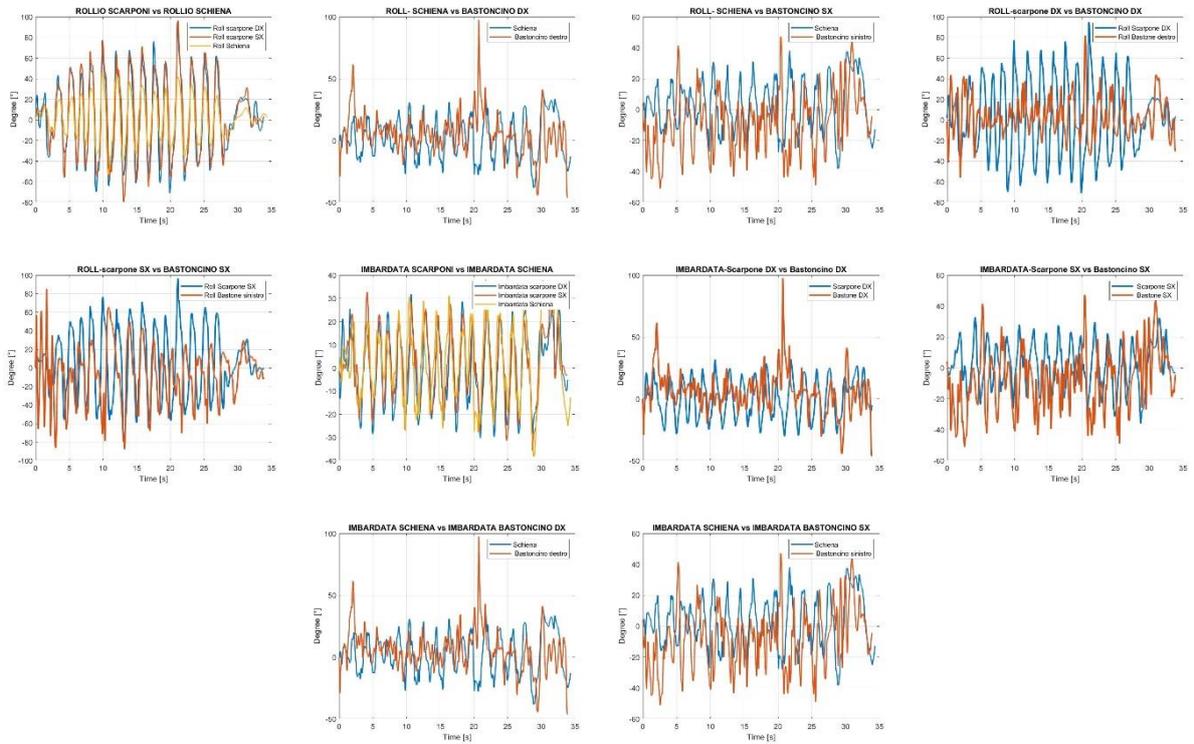
Prova 4



Prova 5



Prova 6



8. Bibliografia

- [1] “NeveItalia.” [Online] Available. <https://www.neveitalia.it/skitouring/news/sci-alpinismo-la-storia>
- [2] “BeFool-SciAlpino” [Online] Available. <https://www.be-fool.com/sci-alpino/>
- [3] “Federazione Internazionale di Sci.” [Online]. Available: <https://www.fis-ski.com/en/inside-fis/about-fis/history/history-of-snowsports>.
- [4] S.Roati “ Analisi cinematica telemetrica dello sci alpino tramite sensori indossabili miniaturizzati” 2019
- [5] “Pianetaneve.” [Online] Available. <https://pianetaneve.it/attacchi-per-sci-scelta-taratura-uso-e-manutenzione/>
- [6] “Fisi.org.” [Online] Available. <https://formazione.fisi.org/login?return=aW5kZXgucGhwP29wdGlvbj1jb21fZGlkYXR0aWNhJnZpZXc9c3RmX2Rpc2NpcGxpbmUmSXRIbWlkPTE0OA==&source=link>
- [7] “SciareMag” [Online] Available. <https://www.sciaremag.it/tecnicasci/sciare-campus-tutto-fa-capo-al-movimento/>
- [8] “IlPost” [Online] Available. https://www.ilpost.it/2019/02/06/specialita-sci-differenze/#steps_1
- [9] “Storia dello studio del movimento.” [Online] Available. <http://posturografia.it/storia-dello-studio-del-movimento/>
- [10] “La scomposizione del movimento.” [Online] Available. http://www.mediastudies.it/IMG/pdf/La_scomposizione_del_movimento.pdf
- [11] M. Gazzoni, “Bioingegneria della riabilitazione, Politecnico di Torino, corso di Laurea in Ingegneria Biomedica, A.A. 2020-2021.” .
- [12] M. Gazzoni, “Bioingegneria dell’esercizio fisico e dello sport, Politecnico di Torino, corso di Laurea in Ingegneria Biomedica, A.A. 2020-2021.” .
- [13] “TME electronic components” [Online] Available. <https://www.tme.eu/it/news/library-articles/page/22568/Come-funziona-e-a-cosa-serve-laccelerometro/>
- [14] “MetaMotionR.” [Online] Available. <https://mbientlab.com/tutorials/MetaMotionR.html>
- [15] “Funzionamento giroscopio” [Online] Available. <https://www.thedifferentgroup.com/2017/02/10/giroscopio-come-funziona/>
- [16] E. Müller and H. Schwameder, “ Biomechanical aspects of new techniques in alpine skiing and ski-jumping” *J. Sports Sci.*, vol. 21, no. 9, pp. 679–692, 2003.
- [17] MIRIAM KLOUS, ERICH MULLER, HERMANN SCHWAMEDER “ Collecting kinematic data on a ski/snowboard track with panning, tilting, and zooming cameras: Is there sufficient accuracy for a biomechanical analysis?” *Journal of Sports Sciences*, October 2010; 28(12): 1345–1353.
- [18] Christina Neuwirth, Cory Snyder, Wolfgang Kremser, Richard Brunauer, Helmut Holzer, Thomas Stöggli “Classification of Alpine Skiing Styles Using GNSS and Inertial Measurement Units” *Sensors (Basel)* 2020 Jul 29;20(15):4232. doi: 10.3390/s20154232

- [19] B. Ulrich, B. Fasel, J. Spörri, E. Müller, and K. Aminian, "Using inertial sensors to compute an alpine ski racing specific full body kinematic model - an application to track the distance between ankle joint and athlete's center of mass," *7e Congrès Annu. la 4S*, no. July, 2015.
- [20] K. Nakazato, P. Scheiber, and E. Müller, "A comparison of ground reaction forces determined by portable force-plate and pressure-insole systems in alpine skiing," *J. Sport. Sci. Med.*, vol. 10, no. 4, pp. 754–762, 2011.
- [21] "Robottini, little robot with Arduino" [Online] Available. <https://robottini.altervista.org/kalman-filter-vs-complementary-filter>
- [22] "My IMU estimation experience" [Online] Available. <https://sites.google.com/site/myimuestimationexperience/filters/complementary-filter>