



UNIVERSITÀ  
POLITECNICA  
DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

*Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica*

**Studio e valutazione sperimentale di un sensore  
indossabile per l'analisi del gesto sportivo**

**Study and experimental evaluation of a wearable  
device for the analysis of sport gestures**

*Tesi di laurea di:*

**Beatrice Amicucci**

*Relatore:*

**Prof.ssa Susanna Spinsante**

---

*Anno Accademico 2023-2024*



# Abstract

Questo lavoro vuole illustrare l'acquisizione e l'analisi di dati relativi ad un gesto sportivo mediante un dispositivo indossabile dotato di sensori, il MetaMotionC.

Inizialmente si è andati a studiare la composizione e le funzionalità dello strumento, per poi applicare, ai sensori attivi, il miglior settaggio ai fini dell'utilizzo.

Ci si è dedicati successivamente all'acquisizione di dati caratterizzanti le esecuzioni del movimento del servizio nella pallavolo.

I dati ricavati sono stati scaricati ed elaborati tramite l'ambiente di sviluppo Matlab, concludendo con la discussione degli stessi.

This work aims to illustrate the acquisition and analysis of sport movement data using a wearable device equipped with sensors, the MetaMotionC.

Initially we studied the composition and functionality of the device itself, and then applied the best setting for the purposes of use to the active sensors.

We subsequently dedicated ourselves to the acquisition of data characterizing the executions of the service movement in volleyball.

The data obtained were downloaded and processed through the Matlab development environment, concluding with the discussion of the same.

# Introduzione

L'oggetto di questa tesi di laurea, frutto del lavoro svolto durante il tirocinio, è l'analisi e la discussione dei risultati ottenuti dall'elaborazione di dati acquisiti da un dispositivo miniaturizzato e indossabile sul servizio pallavolistico. Nello specifico, nel primo capitolo si parlerà dello stato dell'arte analizzando e descrivendo un articolo scientifico che ha eseguito simile test sul servizio della pallavolo, con un dispositivo indossabile differente. Esaminandolo si è cercato di comprendere in che modo poter replicare il test con il MetaMotionC. Una volta studiato tale documento, nel secondo capitolo, si descriverà il dispositivo adoperato, dotato di una scheda elettronica con diversi sensori, di cui quelli utilizzati saranno accelerometro, giroscopio e magnetometro. La scheda elettronica durante l'acquisizione dei dati è connessa all'app MetaBase tramite Bluetooth, attraverso cui si decide l'inizio e la fine delle acquisizioni e in cui si attivano i sensori richiesti allo scopo.

Nel terzo capitolo, si parlerà dell'acquisizione dei dati, quindi della parte sperimentale del tirocinio. Il dispositivo è stato esaminato su tre tester, due giocatrici di pallavolo e un tester esterno, ognuno dei quali ha compiuto dieci battute al fine di raccogliere un numero di dati abbastanza elevato da poter poi analizzare. Al termine delle varie acquisizioni, scaricando i vettori ottenuti, ci si è concentrati sull'elaborazione dei dati in ambiente software Matlab. Infine, l'ultimo capitolo vede la discussione dei risultati ottenuti, confrontando i diversi tester.

# Indice

<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
<b>INDICE.....</b>	<b>5</b>
<b>CAPITOLO 1.....</b>	<b>7</b>
<b>STATO DELL'ARTE .....</b>	<b>7</b>
<b>CAPITOLO 2.....</b>	<b>9</b>
<b>STRUMENTI E METODI .....</b>	<b>9</b>
2.1 META-MOTIONC .....	9
2.1.1 <i>Descrizione strumento</i> .....	9
2.1.2 <i>Diagramma a blocchi</i> .....	11
2.1.3 <i>Sensori di movimento inerziali</i> .....	13
2.1.4 <i>Accelerometro</i> .....	13
2.1.5 <i>Giroscopio</i> .....	14
2.1.6 <i>Magnetometro</i> .....	15
2.1.7 <i>Versioni MetaMotion</i> .....	16
2.2 PROTOCOLLO DI PROVA .....	17
2.2.1 <i>Descrizione movimento</i> .....	17
2.2.2 <i>Modalità di esecuzione test</i> .....	20
<b>CAPITOLO 3.....</b>	<b>22</b>
<b>RISULTATI SPERIMENTALI .....</b>	<b>22</b>
3.1 ANALISI NEL TEMPO.....	22
3.2 ANALISI IN FREQUENZA .....	32
3.3 SELEZIONE MOVIMENTO DEL SERVIZIO .....	36
<b>CAPITOLO 4.....</b>	<b>46</b>
<b>ANALISI DEI DATI ACQUISITI.....</b>	<b>46</b>

4.1 DISCUSSIONE RISULTATI OTTENUTI .....	46
4.1.1 ANALISI INTRA-SOGGETTO E TRA SOGGETTI PER ACCELEROMETRO .....	46
4.1.2 ANALISI DI SENSIBILITÀ PER ACCELEROMETRO.....	51
4.1.3 ANALISI INTRA-SOGGETTO E TRA SOGGETTI PER GIROSCOPIO .....	54
4.1.4 ANALISI DI SENSIBILITÀ PER GIROSCOPIO .....	56
4.1.2 ANALISI INTRA-SOGGETTO E TRA SOGGETTI PER MAGNETOMETRO .....	59
4.1.1 ANALISI DI SENSIBILITÀ PER MAGNETOMETRO.....	62
<b>CAPITOLO 5.....</b>	<b>64</b>
<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>64</b>
<b>ELENCO IMMAGINI.....</b>	<b>65</b>
<b>ELENCO TABELLE .....</b>	<b>67</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>68</b>
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	68

# Capitolo 1

## Stato dell'arte

Come primo approccio al dispositivo MetaMotionC, ci si è basati sullo studio e la lettura di diversi articoli scientifici replicanti simili test con dispositivi indossabili differenti. Nello specifico se ne riporta un breve riferimento.

[2] L'analisi delle prestazioni sportive fornisce un feedback agli atleti per aiutarli a migliorare le proprie capacità fisiche. I dati di gara o di allenamento raccolti vengono utilizzati per ricavare output come punteggi o descrizioni delle aree in cui l'atleta deve migliorarsi [3]. Un'analisi efficace delle prestazioni fornisce un feedback preciso che migliora il futuro di un atleta [4]. Tuttavia, spesso risulta difficile fornire indicazioni precise, a causa della complessità dei movimenti atletici.

Il metodo utilizzato consiste nel condurre test e procedure specifiche per la valutazione delle prestazioni degli atleti nei rispettivi sport. Tali metodologie subentrano e accompagnano il lavoro degli allenatori che altrimenti fornirebbero esclusivamente feedback basati sulla loro esperienza, quindi soggettivi.

L'emergere di sensori indossabili miniaturizzati, integrati con le tecniche IoT (Internet of Things), [5], big data [6] e intelligenza artificiale (AI) [7], consente la raccolta continua di dati di movimento degli atleti per la valutazione delle prestazioni, senza la necessaria presenza di un allenatore.

Pertanto, un sistema personalizzato e automatizzato in genere monitora il movimento di un atleta valutandone le prestazioni complessive e fornendo feedback in tempo reale sui movimenti.

[2] Nello studio intrapreso nell'articolo scientifico, si è sviluppato un sensore IoT indossabile che permette di raccogliere continuamente dati relativi al movimento del polso di un atleta. Il nuovo metodo studiato dagli autori si basa sull'analisi di movimenti sequenziali, nello specifico, riguardanti il servizio della pallavolo sulla base di 11

parametri di movimento, utilizzando i dati raccolti da 18 atleti. Questo lavoro ha consentito agli atleti di migliorare la propria prestazione in base ai parametri misurati.

Hanno selezionato il “servizio flottante” della pallavolo come movimento da valutare. Un giocatore esegue questo tipo di servizio colpendo la palla in modo da minimizzare la rotazione della stessa, rendendo così difficile per la squadra in ricezione prevedere con precisione la traiettoria della palla <sup>[4]</sup>.

Definendo un insieme di fasi, basate sulla segmentazione biomeccanica del movimento, si studiano le prestazioni di base degli atleti, confrontandole con il loro livello di abilità, che può differire.

L’obiettivo è la conoscenza dei parametri analizzati affinché la prestazione del giocatore possa migliorare.



# Capitolo 2

## Strumenti e metodi

### 2.1 Meta-MotionC

#### 2.1.1 Descrizione strumento



*Figura 1: MetaMotionC <sup>[1]</sup>*

<sup>[1]</sup> Il MetaMotionC è uno strumento di rilevamento del movimento costituito da una scheda elettronica miniaturizzata (Diametro: 0,94 pollici / 24 mm x A: 0,24 pollici / 6 mm), come quella riportata in figura 1. Acquisisce dati di attività continua per robotica, automazione, sport e monitoraggio del movimento e del gesto.

Il dispositivo è composto da diversi sensori e raccoglie migliaia di dati grezzi che vengono sincronizzati e scaricati sul PC.

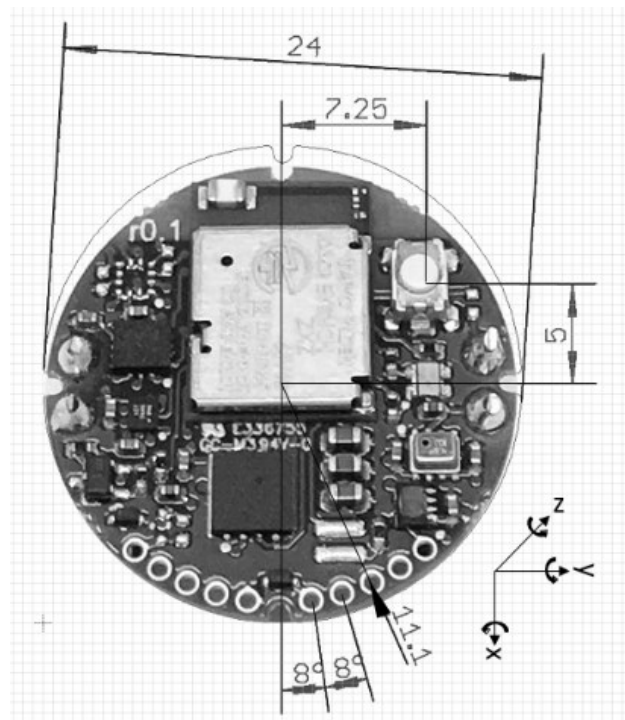


Figura 2: Dimensioni scheda miniaturizzata

Il dispositivo sfrutta l'utilizzo di una app scaricabile su smartphone chiamata MetaBase, di cui è rappresentata la schermata in figura 3, che permette il collegamento con il dispositivo via Bluetooth fino a 400 Hz. Tale app consentirà innanzitutto l'attivazione dei sensori presi in considerazione e il settaggio della frequenza di funzionamento e del range di ampiezza degli stessi. Inoltre, permetterà, acquisiti i dati grezzi, di scaricarli come file .csv.

Il dispositivo sfrutta due possibili modalità di scaricamento dati: streaming e logging. Tramite la modalità streaming i dati vengono inviati in tempo reale al dispositivo, mentre in modalità logging (registrazione) i dati vengono salvati nella memoria locale.

[1] Sulla scheda, oltre ai sensori, sono presenti LED, GPIO e un interruttore a pulsante; è alimentata da una batteria a bottone CR2032 e si basa sul SOC Nrf52 DI Nordic costruito attorno a una CPU ARM® Cortex™ M4F e Bluetooth Low Energy.



Figura 3: Schermata app MetaBase <sup>[1]</sup>

### 2.1.2 Diagramma a blocchi

Il MetaMotionC contiene al suo interno diversi sensori, come possiamo osservare dalla figura 4. Si distinguono un accelerometro a 6 assi BMI160 + giroscopio, un sensore di temperatura BMP280, un barometro/altimetro BMP280, un magnetometro a 3 assi BMM150 e infine un sensore di luminosità/luce ambientale LTR-329ALS <sup>[1]</sup>.

In generale i sensori sono realizzati utilizzando la tecnologia MEMS (Micro-Electro-Mechanical-Systems) che consente la miniaturizzazione dei componenti mantenendo alte prestazioni.

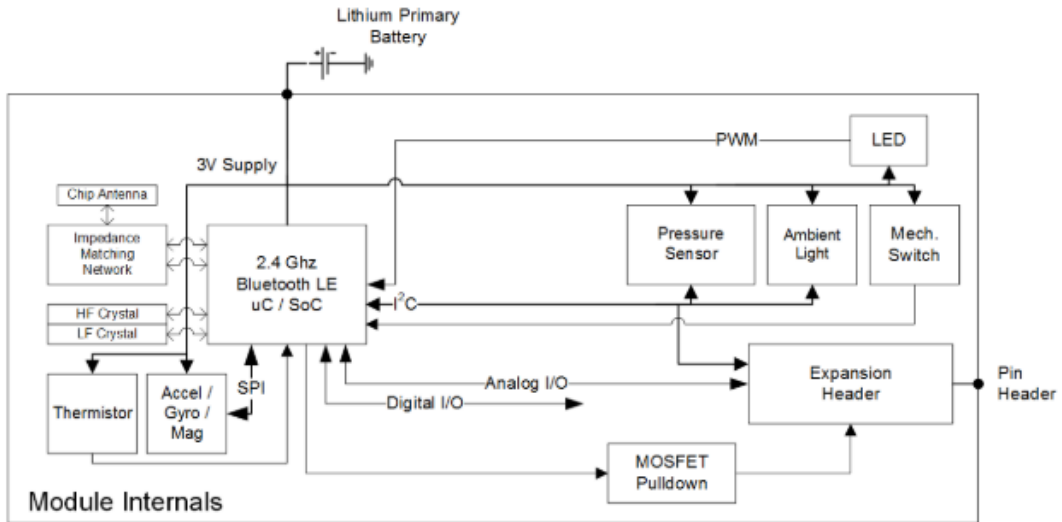


Figura 4: Diagramma a blocchi [8]

Dei sensori elencati, quelli utilizzati allo scopo di valutazione e analisi del movimento del servizio nella pallavolo saranno: accelerometro, giroscopio, magnetometro.

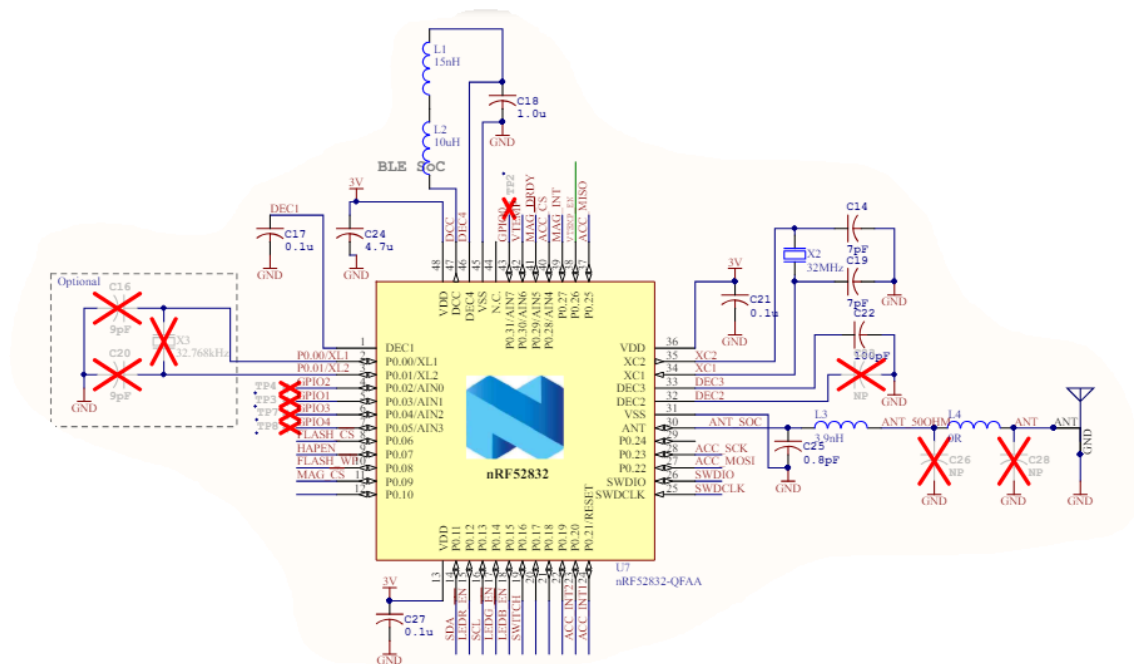


Figura 5: SoC Circuit MetamotionC versione 0.2

### 2.1.3 Sensori di movimento inerziali

<sup>[11]</sup> I sensori di movimento inerziali sono sistemi che usano tecnologie come accelerometri, magnetometri, giroscopi. I sensori inerziali, per la cattura del movimento, possono lavorare singolarmente o in forma complessa formando dei veri e propri sistemi di acquisizione <sup>[12]</sup>. L'unione di tali sensori permette di identificare e rivelare l'orientamento e/o l'inclinazione del corpo umano o di segmenti del corpo.

I vantaggi di tali sistemi si hanno nell'ambito della riabilitazione e dello sport.

### 2.1.4 Accelerometro

<sup>[9]</sup> Si tratta di un dispositivo che permette la misurazione dell'accelerazione nell'unità "g". Nel caso specifico il MetaMotionC presenta un accelerometro BMI160 che permette la misurazione su tre assi, sarà quindi costituito da tre accelerometri ognuno dei quali misura l'accelerazione in una direzione diversa x,y,z.

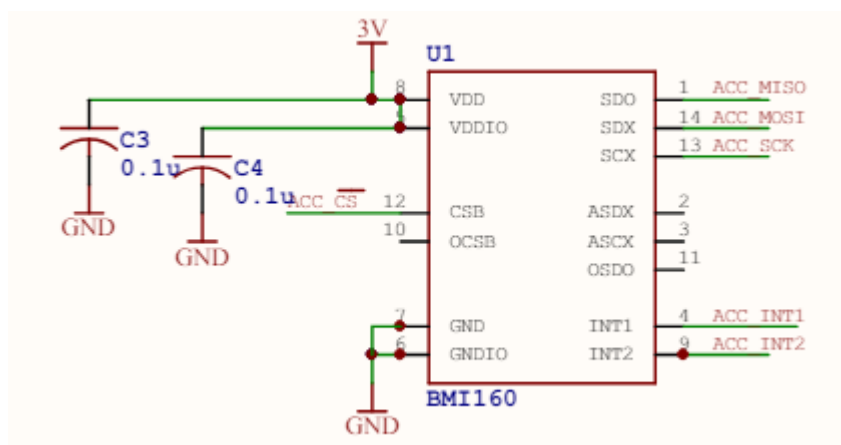


Figura 6: Circuito accelerometro e giroscopio [8]

Nella tabella 1 sotto riportata, vengono rappresentate le specifiche dell'accelerometro utilizzato.

Tabella 1: Specifiche accelerometro <sup>[8]</sup>

Spec	Description	Min.	Typ.	Max.	Units
	Measurement range.	±2		±16	g
	Resolution.	2048		16384	counts/g
f <sub>DATA</sub>	Data sample frequency.	0.78		1600	Hz
I <sub>12.5</sub>	Low data rate current (3.125 Hz).		5		µA
I <sub>100</sub>	Mid data rate current (100 Hz).		24		µA
I <sub>1600</sub>	High data rate current (1600 Hz).		180	300	µA
I <sub>STANDBY</sub>	Standby current.		3	10	µA

## 2.1.5 Giroscopio

<sup>[9]</sup> Il giroscopio è un dispositivo il cui funzionamento si basa sul principio di conservazione del momento angolare. Permette la misurazione della velocità angolare ovvero la variazione dell'angolo in un intervallo di tempo. Il giroscopio BMI160, come l'accelerometro, esegue una misurazione di velocità angolare (rad/s) su tre assi.

Nella tabella 2 sottostante sono rappresentate le specifiche del giroscopio utilizzato.

Tabella 2: Specifiche giroscopio <sup>[8]</sup>

Spec	Description	Min.	Typ.	Max.	Units
	Measurement range.	±125		±2000	°/s
	Resolution.	16		262	counts/°
f <sub>DATA</sub>	Data sample frequency.	25		3200	Hz
I <sub>GYRO</sub>	Gyro active current. All Data Rates.		850	900	µA
I <sub>STANDBY</sub>	Standby current. Included in Accel Standby Current.				

## 2.1.6 Magnetometro

<sup>[9]</sup> Il sensore BMM150 misura l'intensità di campo magnetico lungo gli assi x,y,z (T), ed è collegato come sensore secondario al sensore BMI160.

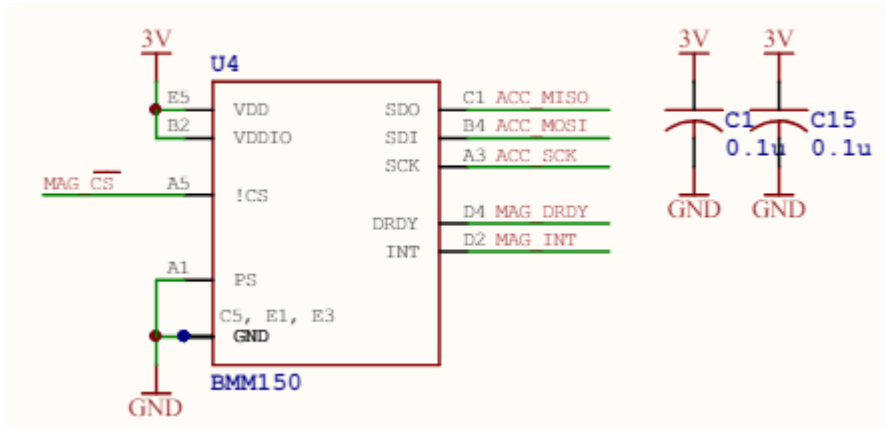


Figura 7: Circuito magnetometro [8]

Viene infatti utilizzato unitamente all'accelerometro a tre assi e al giroscopio a tre assi (in precedenza descritti).

Si riportano nella tabella 3 le specifiche del magnetometro.

Tabella 3: Specifiche magnetometro <sup>[8]</sup>

Spec	Description	Min.	Typ.	Max.	Units
	Measurement range.	±1200	±1300		uT
	Heading Accuracy.			±2.5	°
f <sub>DATA</sub>	Data rate.		25	300	Hz
I <sub>STANDBY</sub>	Standby current.		1	3	uA

## 2.1.7 Versioni MetaMotion

Si riportano nella tabella 4 le versioni MetaMotion ancora in uso e quelle invece dismesse con i link alle rispettive schede dati.

Tabella 4: Raccolta versioni MetaMotion [14]

Modello	Stato	Scheda dati	Schematico
MetaMotionS r1	Attuale	<a href="#"><u>MetaMovimenti</u></a>	<a href="#"><u>MetaMotionS0.1</u></a>
MetaMotionRL r5	Attuale	<a href="#"><u>MetaMotionRPS</u></a>	<a href="#"><u>MetaMotionR0.5</u></a>
MetaMotionR r4	Fine del ciclo di vita	<a href="#"><u>MetaMotionRPS</u></a>	<a href="#"><u>MetaMotionR0.4</u></a>
MetaMotionR r3	Fine del ciclo di vita	<a href="#"><u>MetaMotionRPS</u></a>	<a href="#"><u>MetaMotionR0.3</u></a>
MetaWearC r1	Fine del ciclo di vita	<a href="#"><u>MetaWearCPROPS</u></a>	Non disponibile
MetaMotionC r1	Fine del ciclo di vita	<a href="#"><u>MetaMotionCPS</u></a>	Non disponibile
MetaMotionC r2	Attuale	<a href="#"><u>MetaMotionCPS</u></a>	<a href="#"><u>MetaMotionC0.2</u></a>
MetaTracker r1	Attuale	<a href="#"><u>MetaTrackerPS</u></a>	<a href="#"><u>MetaTracker0.2</u></a>



## 2.2 Protocollo di prova

### 2.2.1 Descrizione movimento

[10] La battuta nella pallavolo è la rimessa in gioco della palla in ogni azione, è determinante al fine della costruzione dell'azione offensiva dell'avversario per cui la possiamo identificare come il primo tocco di attacco della squadra.

La battuta può avere diverse caratteristiche: la potenza (battuta di difficile controllo), la precisione (battuta tattica), mista (battuta tattica di difficile controllo).

I punti chiave per la miglior riuscita della battuta dall'alto (flottante) sono:

Preparazione:



Figura 8: Preparazione servizio [10]

- 1-Piedi leggermente divaricati
- 2-Peso del corpo ben distribuito
- 3-Spalle di fronte alla rete
- 4-Portare in avanti il piede opposto al braccio che batte
- 5-Mano aperta
- 6-Sguardo sulla palla

Esecuzione:



Figura 9: Esecuzione servizio <sup>[10]</sup>

- 1-Lanciare la palla di fronte alla spalla del braccio che batte
- 2-La palla deve girare poco o per nulla
- 3-Lanciare la palla con una sola mano
- 4-Lanciare la palla vicina al corpo
- 5-Oscillazione del braccio all'indietro con il gomito in alto
- 6-Mano vicina all'orecchio
- 7-Colpire la palla con il carpo della mano
- 8-Estendere il braccio al contatto
- 9-Seguire la palla al contatto
- 10-Spostare il peso del corpo in avanti

Prosecuzione:



*Figura 10:Prosecuzione servizio <sup>[10]</sup>*

- 1-Continuare a trasmettere il peso del corpo in avanti
- 2-Le braccia scendono lentamente verso il basso
- 3-Spostarsi nel campo di gioco

### 2.2.2 Modalità di esecuzione test

Scelto il movimento del servizio nella pallavolo, si è andati a definire le modalità di esecuzione del test da cui ricavare i dati grezzi.

Si è andati a far compiere il movimento, con dispositivo indossato, a tre tester: due giocatrici di pallavolo e un tester esterno. Sono state scelte persone di sesso e abilità diverse per cercare di ottenere risultati quanto più differenti e confrontabili.

Nello specifico:

- Primo tester: uomo di 26 anni che compie attività fisica in maniera costante ma non esercitante la pallavolo. Verrà indicato nel corso della tesi come S1.
- Secondo tester: donna di 23 anni, giocatrice di pallavolo. Verrà indicata nel corso della tesi come S2.
- Terzo tester: donna di 30 anni, giocatrice di pallavolo. Verrà indicata nel corso della tesi come S3.

Il dispositivo MetaMotionC è stato indossato sul polso del braccio dominante e fissato grazie ad apposito supporto mostrato in figura 11.



*Figura 11: Supporto di fissaggio dispositivo*

Ogni tester ha compiuto dieci battute consecutive a distanza l'una dall'altra di circa 45 secondi dovuti al download dei dati della battuta precedente.

Tramite l'app MetaBase si vanno ad attivare i sensori richiesti ponendoli ognuno alla massima frequenza possibile e al massimo range di ampiezza possibile.

*Tabella 5: Settaggio sensori*

	Accelerometro	Giroscopio	Magnetometro
<b>Max frequenza (Hz)</b>	800.000	800.000	25.000
<b>Max range</b>	16g	2000°/s	/

L'acquisizione dei dati viene attivata prima del caricamento del braccio e viene disattivata una volta colpito il pallone, dopo pochi secondi.

I luoghi di esecuzione del test sono palestre adibite e campetti esterni.

# Capitolo 3

## Risultati sperimentali

Una volta scaricati i dati grezzi, gli stessi si vanno ad analizzare attraverso diverse procedure, per cercare di ottenere, come fine ultimo, un parametro di confronto tra i tester.

Si eseguono:

- Analisi nel tempo
- Analisi in frequenza

### 3.1 Analisi nel tempo

L'analisi nel dominio del tempo di un segnale ne indica la descrizione rispetto alla variabile tempo, in contrapposizione con la rappresentazione del dominio della frequenza.

Graficando l'andamento dei dati ottenuti di ogni servizio, ne valutiamo i parametri caratteristici per ognuno dei tester:

- Valore minimo
- Valore massimo
- Media
- Mediana
- Moda
- Deviazione standard o scarto quadratico medio

Vengono riportati in figura 12,13,15, gli andamenti di accelerazione nel tempo del quarto servizio eseguito dalla seconda giocatrice.

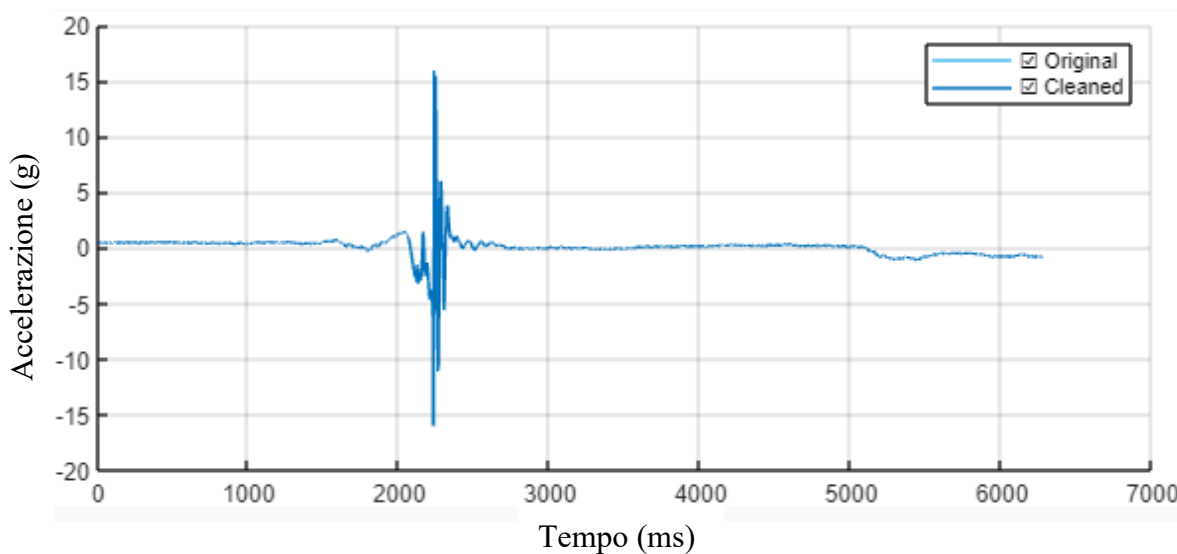


Figura 12: Andamento accelerazione lungo asse x nel tempo (quarto servizio, secondo tester)

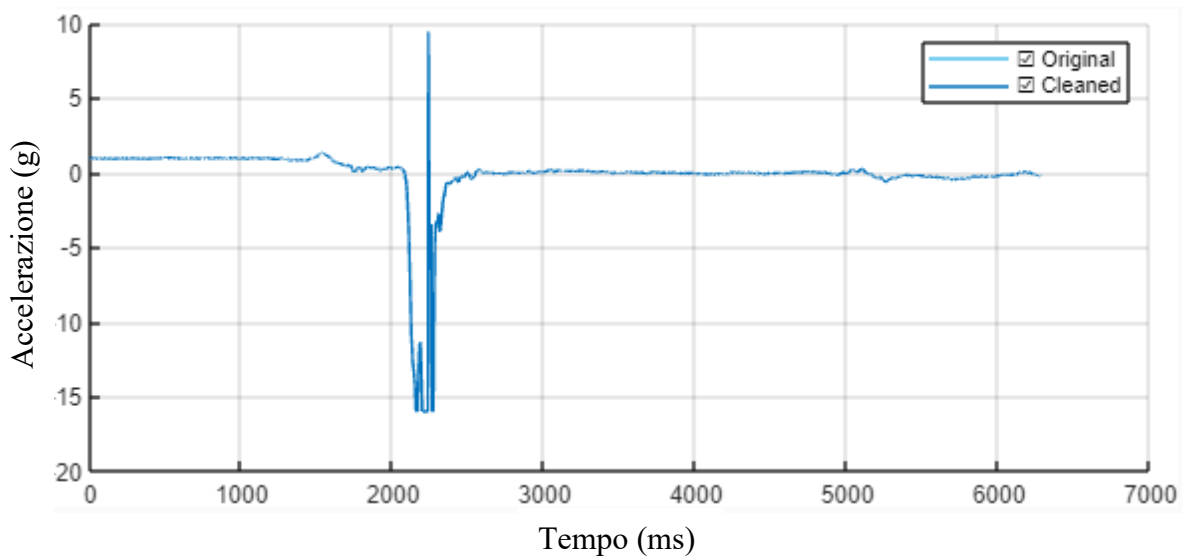


Figura 13: Andamento nel tempo dell'accelerazione lungo asse y (quarto servizio, secondo tester)

Andando ad ingrandire il grafico ottenuto in figura 13, si ottiene un andamento del tipo:

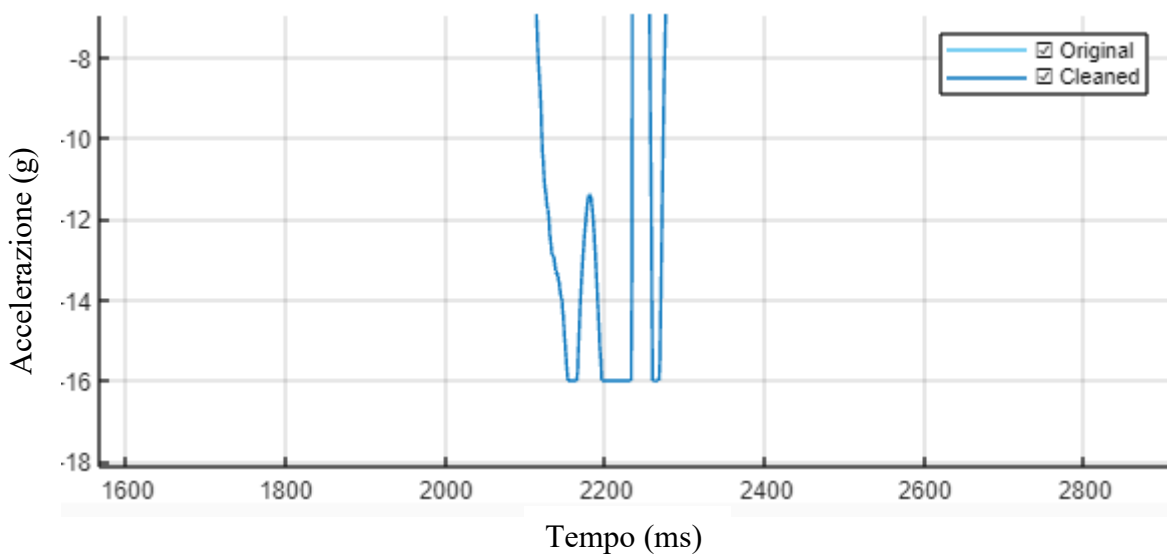


Figura 14: Andamento nel tempo dell'accelerazione (lungo y) con zoom

Si può osservare che, in tale esempio considerato, si ha un valore minimo di -16g. Questo sta ad indicare che lo strumento in questa occasione è arrivato al suo minimo range di ampiezza di accelerazione ottenendo quindi un segnale tagliato.



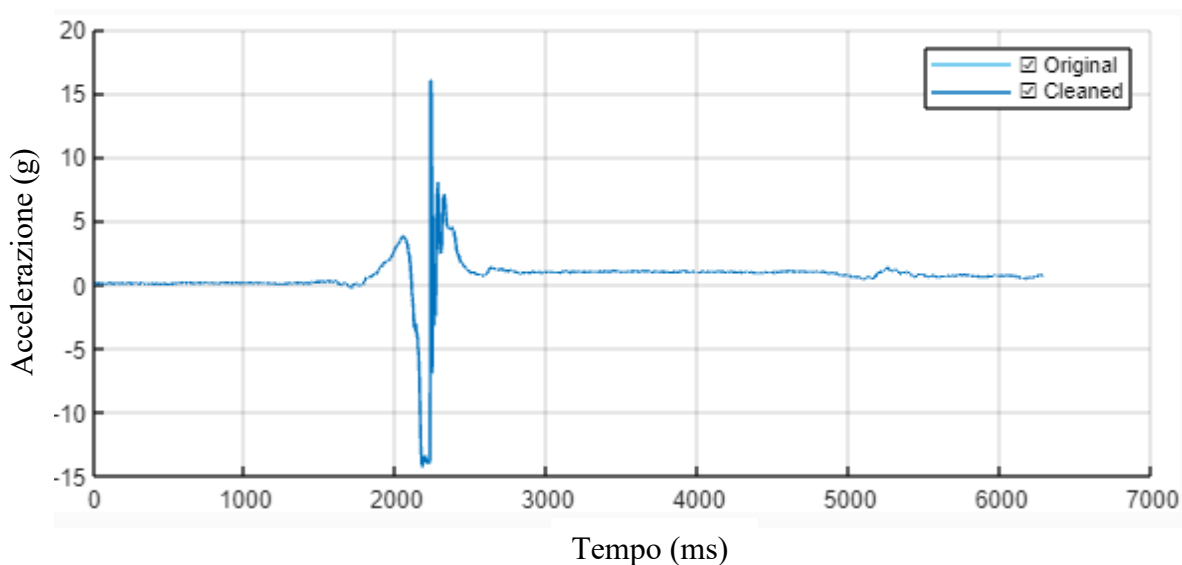


Figura 15: Andamento nel tempo dell'accelerazione lungo asse z (quarto servizio, secondo tester)

Stessa logica si può notare anche per i valori massimi. Il valore massimo di range di ampiezza consentito dallo strumento è di 16g.

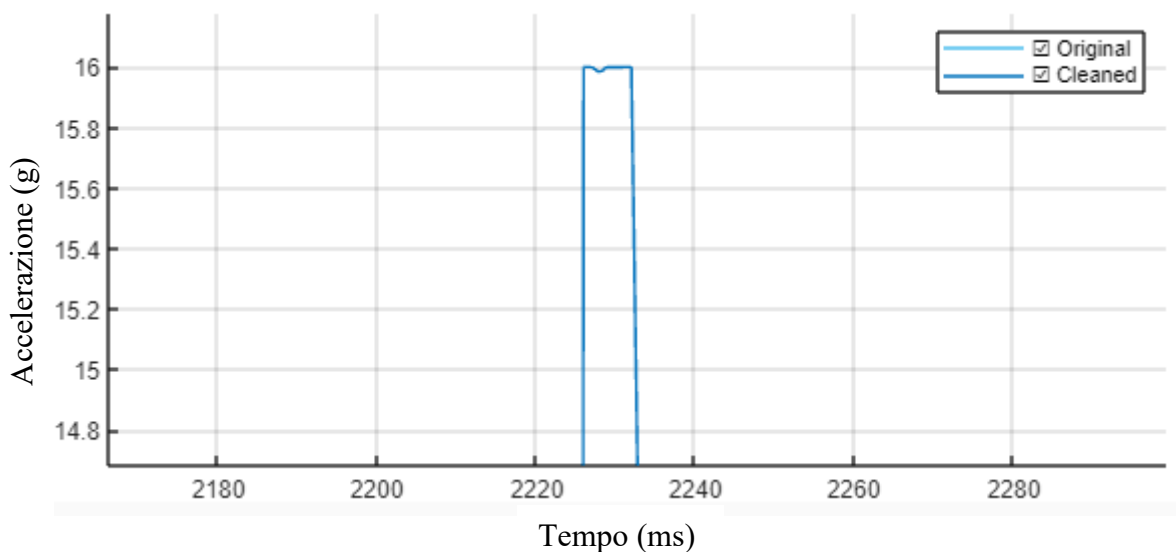


Figura 16: Andamento nel tempo dell'accelerazione (lungo z) con zoom

Tale valore viene raggiunto nella maggior parte dei servizi dei giocatori; come esempio si riporta l'andamento in figura 16, che mostra il segnale tagliato a causa del raggiungimento del massimo valore consentito dallo strumento.

Lo possiamo osservare per i servizi dei vari giocatori esaminando direttamente le tabelle 6,7,8 riportate, in cui vengono raccolti i parametri sopra elencati.

Tabella 6: Raccolta parametri accelerometro (g) primo tester SI (M)

N°servizio		Minimum	Maximum	Mean	Median	Mode	Standard Deviation
1°	asse x	-2	16	0,59315	-0,007	0,875	1,7101
	asse y	-16	16	-0,05753	0,039	-0,396	1,0394
	asse z	-16	16	0,52837	0,957	0,167	1,7552
2°	asse x	-15,912	16	0,54743	0,495	-0,542	2,1778
	asse y	-16	11,831	-0,32148	-0,359	-0,313	1,0786
	assez	-16	16	0,25312	0,489	0,208	2,0348
3°	asse x	-12,853	16	0,77597	0,173	0,138	1,7043
	asse y	-16	14,75	-0,2696	-0,299	-0,271	1,0718
	asse z	-16	16	0,41927	0,875	0,938	2,0031
4°	asse x	-8,083	16	0,28671	-0,4845	0,862	1,8134
	asse y	-16	16	-0,26387	-0,265	-0,458	1,0339
	asse z	-16	16	0,37147	0,6145	0,132	1,7182
5°	asse x	-16	16	0,23978	-0,636	-0,67	2,185
	asse y	-16	16	-0,16578	-0,163	-0,146	1,4138
	asse z	-16	16	0,29336	0,678	0,698	2,0862
6°	asse x	-16	16	0,98144	0,867	0,875	2,2475
	asse y	-16	16	-0,1645	-0,291	-0,406	1,3356
	asse z	-16	16	0,20817	0,2	0,125	2,2612
7°	asse x	-16	16	0,95529	-0,044	16	2,5383
	asse y	-16	16	-0,38285	-0,544	-0,625	1,6606
	asse z	-16	16	0,038169	0,606	-16	2,396
8°	asse x	-8,914	16	1,053	0,664	16	2,3075
	asse y	-16	16	-0,25665	-0,41	-0,448	1,5142
	asse z	-16	16	0,23112	0,37	-16	2,2543
9°	asse x	-11,476	16	0,76984	-0,369	16	2,6225
	asse y	-16	16	-0,03849	-0,109	-0,333	1,6244
	asse z	-16	16	0,24274	0,719	-16	2,3182
10°	asse x	-14,278	16	0,57196	-0,316	-0,396	2,2383
	asse y	-16	16	0,079989	0,24	0,269	1,5308
	asse z	-16	16	0,37362	0,868	0,896	2,08

Tabella 7: Raccolta parametri accelerometro (g) secondo tester S2 (F)

N°servizio		Minimum	Maximum	Mean	Median	Mode	Standard deviation
<b>1°</b>	asse x	-16	16	0,40376	0,2920	0,8750	1,05050
	asse y	-16	11,865	- 0,071023	0,2870	0,5000	2,09390
	asse z	-16	16	0,56269	0,9120	0,9580	1,90910
<b>2°</b>	asse x	-16	16	- 0,082407	-0,3300	0,5210	1,00020
	asse y	-16	16	- 0,019029	0,1840	0,8700	2,01160
	assez	-12,947	16	0,580450	0,7990	0,2080	1,64760
<b>3°</b>	asse x	-16	16	0,215750	0,3350	0,4300	1,25060
	asse y	-16	11,022	0,100510	0,3460	0,9170	2,11890
	asse z	-16	16	0,570980	0,8350	0,2080	1,99550
<b>4°</b>	asse x	-16	15,92	0,014686	0,1410	0,4380	1,07370
	asse y	-16	9,398	- 0,168150	-0,0060	- 16,0000	2,22240
	asse z	-14,288	16	0,626130	0,7710	0,9790	1,84720
<b>5°</b>	asse x	-16	14,828	0,104290	0,0880	0,0420	1,10580
	asse y	-16	16	- 0,099104	0,1240	- 16,0000	2,35360
	asse z	-14,302	16	0,733000	0,9500	0,9560	2,04700
<b>6°</b>	asse x	-16	14,97	- 0,020855	-0,0705	0,2500	0,97727
	asse y	-16	14,068	- 0,066901	0,0240	0,9580	2,29420
	asse z	-14,323	16	0,655670	0,8625	0,2920	1,89100
<b>7°</b>	asse x	-16	14,929	- 0,210490	-0,2440	-0,5610	1,24310
	asse y	-16	13,905	- 0,594660	-0,6140	- 16,0000	2,30410
	asse z	-14,931	16	0,349340	0,3900	0,3740	1,94440
<b>8°</b>	asse x	-16	16	- 0,026378	-0,0040	0,2400	1,09280
	asse y	-16	16	- 0,148220	0,1770	- 16,0000	2,51490
	asse z	-16	16	0,614220	0,8820	0,2000	2,31720
<b>9°</b>	asse x	-16	16	- 0,004993	0,0710	0,2080	0,84301
	asse y	-16	16	0,129340	0,3560	0,9790	2,35690
	asse z	-13,314	16	0,571240	0,8320	0,2610	1,93820
<b>10°</b>	asse x	-16	13,624	0,011989	0,1735	0,1880	0,89297
	asse y	-16	4,953	0,218360	0,7955	0,9580	2,11700
	asse z	-16	16	0,571380	0,3655	0,3330	1,75370

Tabella 8: Raccolta parametri accelerometro (g) terzo tester S3 (F)

N°servizio		Minimum	Maximum	Mean	Median	Mode	Standard deviation
1°	asse x	-16	16	0,272290	0,19	0,313	1,2864
	asse y	-16	16	- 0,254380	-0,4495	0,955	2,4497
	asse z	-16	16	0,348370	0,6465	0,25	2,3346
2°	asse x	-16	16	0,374170	0,295	0,333	1,3672
	asse y	-16	8,46	- 0,084574	0,895	0,958	2,446
	assez	-16	16	0,284970	0,2665	0,208	2,2114
3°	asse x	-16	16	0,302070	0,206	0,271	1,6053
	asse y	-16	5,378	- 0,384030	-0,4765	0,958	2,5937
	asse z	-16	16	0,319730	0,492	0,271	2,2516
4°	asse x	-16	16	0,456280	0,2195	0,396	1,5933
	asse y	-16	16	- 0,323860	0,6395	0,917	2,9042
	asse z	-16	16	0,311500	0,385	0,25	2,6488
5°	asse x	-16	16	0,348680	0,32	0,354	1,3834
	asse y	-16	9,905	0,038233	0,865	0,875	2,3884
	asse z	-16	16	0,452310	0,436	0,396	2,1625
6°	asse x	-16	16	0,299310	0,125	0,366	1,645
	asse y	-16	7,869	- 0,568870	-0,576	-16	2,6978
	asse z	-16	16	0,134100	0,31	0,325	2,1798
7°	asse x	-16	16	0,378430	0,414	0,417	1,2295
	asse y	-16	6,464	0,196850	0,889	0,896	2,1591
	asse z	-16	16	0,332740	0,314	0,313	1,7931
8°	asse x	-16	16	0,371300	0,25	0,25	1,4312
	asse y	-16	7,195	- 0,077548	0,934	0,938	2,586
	asse z	-16	16	0,250200	0,333	0,333	2,2623
9°	asse x	-16	16	0,376690	0,225	0,219	1,2929
	asse y	-16	7,116	- 0,022717	0,953	0,958	2,6003
	asse z	-16	16	0,228290	0,292	0,292	2,1444
10°	asse x	-16	16	0,433570	0,269	0,313	1,7006
	asse y	-16	5,271	- 0,342450	0,866	-16	3,0173
	asse z	-16	16	0,178540	0,438	-16	2,5366

Vengono riportate le tabelle di raccolta parametri anche per il giroscopio.

Tabella 9: Raccolta parametri giroscopio (deg/s) primo tester S1 (M)

N° servizio		Minimum	Maximum	Mean	Median	Mode	Standard deviation
1°	asse x	-1997,988	1997,988	-2,06790	-1,341	-1,707	134,1914
	asse y	-1997,988	943,232	2,20080	1,402	0,854	178,3183
	asse z	-1997,99	1814,878	-9,77970	-0,427	-1,220	149,3840
2°	asse x	-1997,99	1997,988	-25,15340	-1,890	-0,854	135,7794
	asse y	-1997,99	1173,659	-11,51930	1,220	0,061	244,5009
	assez	-1799,51	1223,171	-7,82490	-0,732	2,256	148,2710
3°	asse x	-1997,99	1997,988	-19,21520	-3,902	-4,817	113,7750
	asse y	-1997,99	1065,61	1,36750	1,707	1,341	234,9933
	asse z	-1961,890	1420,183	-12,66700	-2,561	1,280	154,9538
4°	asse x	-1880,976	1997,988	-19,35610	-2,500	0,122	110,4005
	asse y	-1997,988	1086,89	-2,16660	0,183	1,585	205,5531
	asse z	-1975,427	1012,439	-5,90660	2,561	12,012	120,6545
5°	asse x	-1783,598	1997,988	-21,18820	-2,134	-2,622	192,5484
	asse y	-1997,99	1432,378	-1,85720	-2,012	-4,024	214,7615
	asse z	-1886,83	1460,915	-6,21830	-0,854	1,280	172,3963
6°	asse x	-1910,06	1997,988	-16,31920	2,134	4,756	182,4560
	asse y	-1997,99	1997,988	0,64411	-0,061	-0,854	285,2787
	asse z	-1787,38	1620,366	-23,68400	-2,805	-1,951	191,2392
7°	asse x	-1997,99	1997,988	-28,44150	-10,610	-2,744	202,8855
	asse y	-1997,99	1918,964	4,24360	8,293	-5,366	277,7545
	asse z	-1939,27	1532,5	3,51690	6,463	0,976	218,9004
8°	asse x	-1500,37	1997,988	-11,98200	-1,159	0,915	189,5702
	asse y	-1997,99	1238,902	11,11860	3,720	1,037	271,5540
	asse z	-1936,89	1351,951	-7,53970	5,427	13,963	193,3070
9°	asse x	-1997,99	1997,988	-17,60100	2,256	7,927	237,1227
	asse y	-1997,99	1682,683	9,00330	3,049	1,037	265,7847

	asse z	-1957,74	1997,988	-0,39879	-0,976	-2,134	256,7097
<b>10°</b>	asse x	-1997,99	1997,988	-	-0,061	2,317	217,6688
				16,34080			
	asse y	-1997,99	1831,159	0,68970	-0,122	-1,402	235,8836
	asse z	-1963,6	1855,183	-	-0,732	-0,549	198,2196
				14,85530			

Tabella 10: Raccolta parametri giroscopio (deg/s) secondo tester S2 (F)

N°servizio		Minimum	Maximum	Mean	Median	Mode	Standard deviation
<b>1°</b>	asse x	-1997,99	1997,988	-1,5337	-0,7320	-2,012	239,72580
	asse y	-1997,99	1997,988	-6,2074	-0,9760	-0,366	133,63280
	asse z	-1529,33	1997,988	-18,2682	0,6100	0,793	167,90970
<b>2°</b>	asse x	-1997,99	1644,207	1,2523	0,2440	-0,305	225,48680
	asse y	-1997,99	1652,134	-2,1607	0,9150	1,585	118,70170
	assez	-1602,2	1997,988	-28,5363	-2,6830	0,000	174,35590
<b>3°</b>	asse x	-1997,99	1810,305	-7,1997	-1,4020	2,195	246,04630
	asse y	-1997,99	1997,988	-8,4891	0,6710	2,317	140,86660
	asse z	-1994,27	1997,988	-22,0135	-0,9150	-0,976	189,45980
<b>4°</b>	asse x	-1997,99	1842,805	-3,1244	-0,6710	-1,829	245,03580
	asse y	-1997,99	1295,549	2,5258	-0,1220	0,305	121,60420
	asse z	-1521,65	1997,988	-33,3938	-3,4760	-4,390	176,71520
<b>5°</b>	asse x	-1997,99	1997,988	-7,1233	-0,5490	-5,244	275,87410
	asse y	-1997,99	1187,622	-12,9423	-1,4020	4,451	119,58730
	asse z	-1604,15	1997,988	-25,4968	-0,6100	-0,366	189,99560
<b>6°</b>	asse x	-1997,99	1967,134	-1,8705	1,4020	-1,768	265,42580
	asse y	-1997,99	1836,768	-7,2383	0,4270	-1,098	113,83560
	asse z	-1457,2	1664,39	-24,9832	-1,1590	-0,732	171,43450
<b>7°</b>	asse x	-1997,99	1997,988	-3,0759	0,2440	-0,732	279,25140
	asse y	-1997,99	1522,805	7,4972	6,4020	1,402	144,19320
	asse z	-1696,04	1997,988	-22,8000	-3,1710	-0,366	195,22060
<b>8°</b>	asse x	-1997,99	1997,988	-5,0462	-0,7930	-1,159	308,25720
	asse y	-1997,99	1538,049	-7,5626	-1,4325	-9,268	122,09210
	asse z	-1765,06	1997,988	-32,3770	-0,9760	-2,805	217,17770
<b>9°</b>	asse x	-1997,99	1997,988	-2,0286	1,4020	0,183	277,33200
	asse y	-1997,99	1409,634	-14,2167	0,0610	0,427	110,01980
	asse z	-1324,76	1161,341	-34,4354	-4,5120	-0,244	164,33610
<b>10°</b>	asse x	-1997,99	1770,427	-1,2196	1,1590	1,890	237,89310
	asse y	-1997,99	1196,524	-10,6573	-0,4880	-1,707	108,24530
	asse z	-1507,32	1997,988	-27,7927	-0,9150	-0,549	164,67620

Tabella 11: Raccolta parametri giroscopio (deg/s) terzo tester S3 (F)

N°servizio		Minimum	Maximum	Mean	Median	Mode	Standard deviation
1°	asse x	-1997,99	1997,988	-4,8474	-0,0610	0,1220	257,4199
	asse y	-1997,99	1997,988	-7,7932	0,5490	-0,6710	187,5072
	asse z	-1987,87	1906,585	-19,5917	-0,2440	-3,7800	180,8401
2°	asse x	-1997,99	1997,988	-7,3806	-0,3660	0,0000	248,3969
	asse y	-1997,99	1822,622	-8,5931	1,2200	1,2200	166,1447
	assez	-1816,65	1511,037	-18,8774	-0,5490	0,9150	175,0865
3°	asse x	-1997,99	1997,988	-9,3449	0,6100	0,7930	270,0988
	asse y	-1997,99	1997,988	-2,2976	-0,6710	-1,9510	199,8153
	asse z	-1997,99	1997,988	-17,4166	0,7320	1,0370	219,6018
4°	asse x	-1997,99	1997,988	-4,7385	0,0610	-0,1220	296,0551
	asse y	-1997,99	1997,988	-13,8464	2,0730	0,0610	200,0323
	asse z	-1652,38	1747,134	-23,0958	0,0000	0,4270	216,7403
5°	asse x	-1997,99	1997,988	-1,9872	0,4270	1,8900	241,3798
	asse y	-1997,99	1886,159	-9,4185	0,6100	-0,3660	150,9172
	asse z	-1835,98	1997,988	-18,1584	-1,7680	0,5490	179,0863
6°	asse x	-1997,99	1997,988	-7,7340	-1,7680	-1,4020	275,0152
	asse y	-1997,99	1997,988	-3,3644	-0,3660	-0,7320	187,9331
	asse z	-1997,99	1997,988	-11,5220	-2,3170	-2,2560	217,7590
7°	asse x	-1997,99	1997,988	-6,0159	-0,3050	-0,3050	224,8842
	asse y	-1997,99	1674,024	-7,1393	1,0370	0,8540	125,3130
	asse z	-1997,99	1997,988	-14,9286	-0,3660	0,4880	161,6659
8°	asse x	-1997,99	1997,988	-4,5056	0,1830	0,6100	277,5864
	asse y	-1997,99	1997,988	-10,9770	0,5490	-1,7070	172,9736
	asse z	-1707,62	1885,915	-17,5053	-0,8540	-0,2440	174,6684
9°	asse x	-1997,99	1997,988	-8,6165	-1,0370	0,3660	265,7075
	asse y	-1997,99	1916,281	-11,4373	0,3050	-0,0610	168,1633
	asse z	-1536,89	1691,22	-17,9269	-1,0370	0,6710	177,2588
10°	asse x	-1997,99	1997,988	-3,7377	0,7930	-4,8170	308,9099
	asse y	-1997,99	1997,988	-17,3257	1,4935	-5,8540	212,7524
	asse z	-1978,11	1814,39	-16,7643	-4,8780	-7,4390	229,9822

Sono stati valutati i parametri di massimo, minimo, media, mediana, moda e deviazione standard anche per magnetometro ma non ne vengono riportate le tabelle.

## 3.2 Analisi in frequenza

L'analisi nel dominio della frequenza di un segnale, ne indica la descrizione delle sue frequenze. Il concetto di dominio della frequenza è stato inizialmente reso possibile dalla definizione di serie di Fourier per poi estendere la sua applicazione a segnali generici tramite l'utilizzo di diverse trasformate, di cui la trasformata di Fourier. Nel test eseguito, prima ancora di procedere con l'analisi in frequenza, si è andati a valutare il modulo delle grandezze vettoriali in quanto, per ognuno dei sensori, i valori misurati si ricavano per asse x, y, z. La valutazione del modulo di un vettore avviene come segue:

$$|v| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

Infine, è stata valutata la trasformata di Fourier.

### 3.2.1 FFT (Fast Fourier Transform)

La trasformata di Fourier è una trasformata integrale, definita quindi come un operatore che trasforma una funzione in un'altra funzione grazie all'operazione di integrazione. Grazie alla trasformata di Fourier si arriva alla rappresentazione del segnale nel dominio delle frequenze, spesso anche definito come spettro del segnale.

*Equazione 1: Definizione trasformata di Fourier <sup>[12]</sup>*

$$F(k) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \cdot e^{-ikx} dx$$

Applichiamo la definizione di trasformata di Fourier ai dati grezzi tramite un'apposita funzione di Matlab  $Y=fft(X)$ .

Viene riportato il codice Matlab che permette l'esecuzione della trasformata e quindi dell'analisi in frequenza. Tale codice sarà applicabile similmente a tutti e tre i sensori attivi con la modifica di opportune parti, tra cui i dati importati (provenienti ognuno da sensori diversi).



```

rawdata=load("PRIMA ACC.txt"); %Caricamento dei dati dal file PRIMA ACC.txt
                                %nella variabile rawdata.
t=rawdata(:,1);                %Estrazione del vettore tempo dalla prima colonna
                                di rawdata
plot(diff(t));                 %Tracciamento le differenze tra punti temporali
                                consecutivi per verificare intervalli di
                                campionamento uniformi

accx=rawdata(:,2);            %Estrazione delle componenti di accelerazione (x,
                                y, z) dalle colonne 2, 3 e 4 di rawdata

accy=rawdata(:,3);
accz=rawdata(:,4);
N=length(accx);

g=9.81;
accX=accx*g;                  %Convertono le accelerazioni grezze in m/s2
                                moltiplicandole per g

accY=accy*g;
accZ=accz*g;

ACC=zeros(N,1);              %Pre-alloca un vettore colonna ACC di lunghezza N

ACC(:,1)=sqrt(accX(:,1).^2+accY(:,1).^2+accZ(:,1).^2);%Modulo del vettore
figure; plot(t, ACC);
title("Andamento |a| nel tempo");
xlabel("t");
ylabel("|a|");
grid on;

Fs = 500;                    %Definisce la frequenza di campionamento Fs
T = 1/Fs;                    %Definisce il periodo di campionamento T
L = N;                        %Lunghezza del segnale
t = (0:L-1)*T;               % Time vector
Y=fft(ACC);                  %Calcola la FFT dell'ampiezza del vettore accelerazione
figure;plot(Fs/L*(0:L-1),abs(Y),"LineWidth",1)%Traccia l'ampiezza dello spettro FFT
title("Complex Magnitude of fft Spectrum");
xlabel("f (Hz)");
ylabel("|fft(X)|");
grid on;

```

Si riportano nelle figure 17,18, l'andamento in frequenza del modulo della velocità angolare e l'andamento in frequenza del modulo dell'accelerazione del primo servizio del primo tester.

Si mettono a confronto.

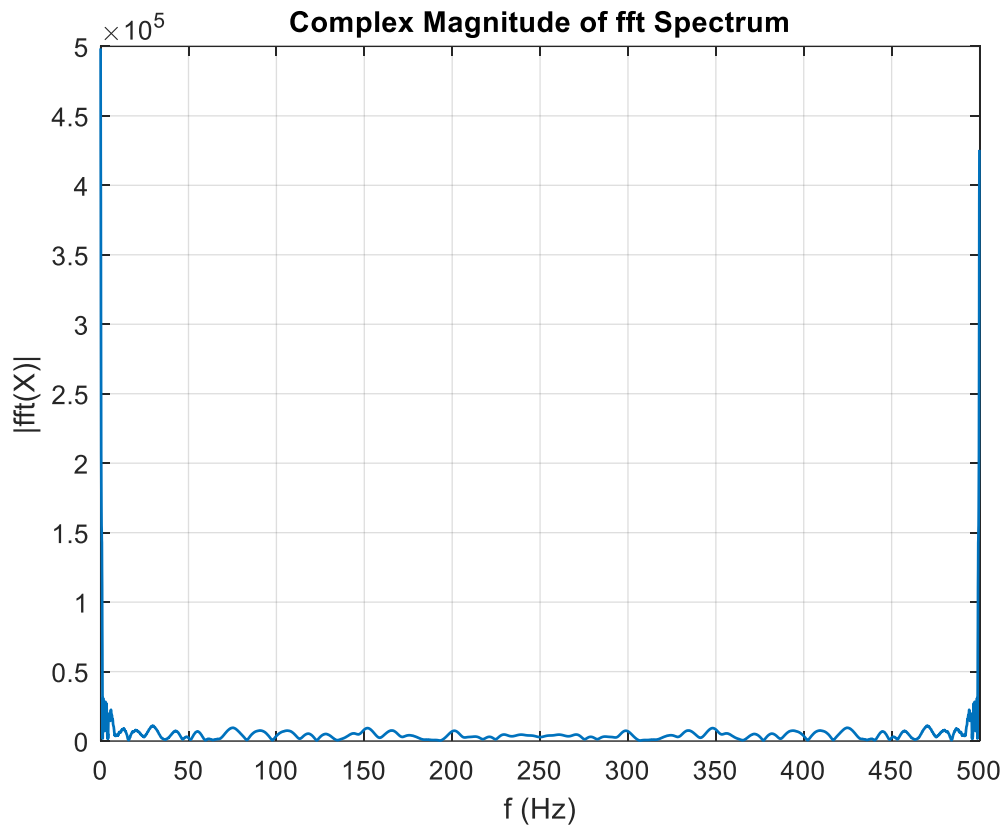
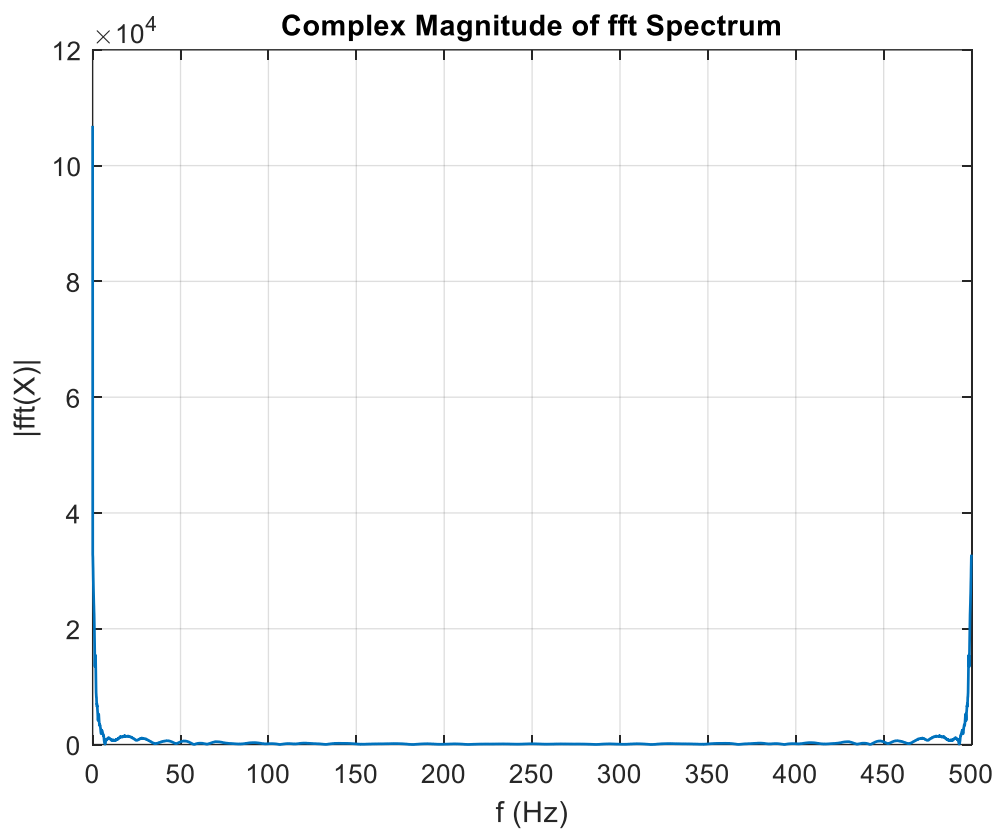


Figura 17: Andamento in frequenza dei dati del giroscopio  $\rightarrow$  Primo servizio del primo tester



*Figura 18: Andamento in frequenza dei dati dell'accelerometro-->Primo servizio del primo tester*

Confrontando le due figure 17,18, si può osservare una differenza riguardante l'ampiezza del modulo dei vettori, ma non si riscontrano altre differenze sostanziali che possono permetterci di discutere dei risultati ottenuti.

Grafici simili si ottengono per le singole battute di ognuno dei giocatori ma non se ne riportano gli andamenti.

### 3.3 Selezione movimento del servizio

Una volta eseguita l'analisi in frequenza da cui, come visto, non si osservano differenze sostanziali dai grafici ottenuti, si è deciso di procedere seguendo un ulteriore metodo. Questo metodo ha come obiettivo la selezione solo di quei valori che descrivono esattamente il movimento della battuta, eliminando eventuali movimenti non richiesti ma acquisiti ugualmente dal sensore. Si vuole quindi eseguire una selezione di un numero limitato di campioni. Per farlo si procede ricercando una condizione di inizio e una condizione di fine applicabile a tutti i servizi di ogni singolo giocatore, che ci permetterà di estrarre il vettore contenuto tra le due condizioni (inizio e fine) imposte. Una volta estratti, dal vettore, i valori corrispondenti al movimento del servizio se ne rappresenta l'andamento in un grafico. Si procede calcolando l'area sottesa della curva ottenuta.

Per ottenere quanto descritto si possono intraprendere due strade:

- Considerare il valore di pendenza delle curve come condizione di inizio e di fine selezione
- Considerare un valore di soglia come condizione di inizio e di fine selezione

Prima di procedere con tali considerazioni si va ad applicare ai dati un filtro media mobile al fine di ridurre il rumore che affligge il segnale. Lo si applica per ogni servizio dei tester.

Per applicare un filtro media mobile su tre campioni si va a far scorrere l'array (vettore della battuta) dal quarto campione. Al quarto campione si sottrae la media del primo, secondo e terzo campione; al quinto campione si sottrarrà la media dei tre campioni che lo precedono e così via fino al termine del vettore. Si va poi a normalizzare il vettore per poter confrontare al meglio le battute.

Si riporta il codice Matlab che ha permesso l'applicazione della funzione "filtro media mobile" e della normalizzazione. Il codice sotto riportato è utilizzabile per tutti e tre i sensori modificando opportune parti.

```
clear all;
clc;
%Si applica tale codice a tutti e tre i vettori accx, accy, accz al fine di
%eliminare parte della rumorosità ad ogni segnale/vettore.

rawdata=load(['PRIMA ACC.txt']);
t=rawdata(:,1);
plot(diff(t));

accx=rawdata(:,2);
accy=rawdata(:,3);
accz=rawdata(:,4);
N=length(accx);

g=9.81;
accX=accx*g;
accY=accy*g;
accZ=accz*g;

ACC_filtrato=filtro_media_mobile(accX);%Viene chiamata la funzione
"filtro_media_mobile" che permette di eseguire il filtraggio eliminando parte della
rumorosità del segnale in ingresso.

figure; plot(t,accX);
title("Andamento accelerazione prima del filtraggio");
figure;plot(t, ACC_filtrato);
title("Andamento accelerazione dopo filtro media mobile");
```

```

xlabel("t");
ylabel("Acc-rumore");
vettore_normalizzato = ACC_filtrato/ max(abs(ACC_filtrato));%Normalizzare il vettore
figure;plot(vettore_normalizzato); %Plot del vettore normalizzato
title('Vettore di accelerazione normalizzato');
ylabel('Valore Normalizzato');
grid on;

```

Codice funzione filtro media mobile:

```

function [colonna_filtrata] = filtro_media_mobile(magn)
colonna_filtrata = magn;
% Scorrere l'array a partire dal quarto campione
for i = 4:length(magn)
    % Calcolare la media dei tre campioni precedenti
    media_precedenti = mean(magn(i-3:i-1));
    % Sottrarre la media dal campione corrente
    colonna_filtrata(i) = magn(i) - media_precedenti;
end
end

```

### **3.3.1 Condizione di inizio e fine: pendenza**

Una volta applicato il filtro media mobile a tutti i vettori (corrispondenti alle battute) e normalizzati i valori, come primo approccio alla selezione del movimento del servizio si è provato ad utilizzare il parametro di pendenza delle curve.

L'obiettivo sarebbe stato ottenere un valore di pendenza iniziale e un valore di pendenza finale che potessero fungere da condizione di inizio e condizione di fine selezione per tutte le battute di ognuno dei giocatori. Successivamente, tramite l'ambiente di sviluppo Matlab si sarebbe cercato di estrarre i valori compresi tra il valore di pendenza iniziale e il valore di pendenza finale considerati.

Con tale procedimento si è però riscontrata una problematica che ci ha fatto intraprendere una strada differente sempre con l'obiettivo di selezionare il movimento del servizio dall'intero vettore.

La problematica riscontrata riguardava l'impossibilità, una volta valutati i valori di pendenza, di ottenerne uno unico applicabile a tutte le curve, ricavandone in uscita una selezione corretta per ognuna di esse.

Si procede quindi con un ulteriore metodo.

### **3.3.2 Condizione di inizio e fine: valore di soglia**

Il secondo metodo applicato vede invece l'utilizzo di un valore di soglia.

L'obiettivo che si vuole raggiungere risulta essere uguale al precedente: ottenere dei valori di condizione che mi permettano di selezionare il vettore corrispondente al movimento del servizio. In tal caso si è andati ad impostare come condizione di inizio e come condizione di fine un valore di soglia, da noi stabilito guardando l'andamento delle curve. Scelto il valore di soglia si è andati ad individuare il primo e l'ultimo indice del vettore i cui valori corrispondenti superassero il valore di soglia imposto. Individuati tali indici, tramite Matlab si è andati a selezionare il vettore compreso tra essi e si è calcolata l'area sottesa ad esso.

```

numAcquisizioni = size(accX, 1);%numero di componenti del vettore di accelerometro
soglia = 0.05; % Impostare un valore di soglia per individuare inizio e fine della battuta
for i = 1:numAcquisizioni      %eseguo un ciclo dal valore 1 al valore
    numAcquisizioni

    indice_inizio = find(vettore_normalizzato > soglia, 1, 'first');
    % Si trova il primo indice del vettore normalizzato
    % il cui valore supera la soglia imposta. La funzione find
    % restituisce tutti gli indici i cui valori corrispondenti superano la
    % soglia (generando un array logico, true,false, in cui se la condizione è
    % rispettata allora a quell'indice corrisponde true altrimenti false)
    % Il secondo argomento indica il numero massimo di indici che
    % si vogliono ottenere in uscita, quindi in questo caso un solo indice. Mentre il
    % terzo argomento mi definisce la condizione: si vuole avere in uscita solo
    % il primo indice il cui valore corrispondente abbia soddisfatto la
    % condizione

    indice_fine = find(vettore_normalizzato > soglia, 1, 'last');%stesse
    considerazioni le facciamo per ricavare l'indice di fine

    % Ora verificiamo se gli indici sono validi; Per fare in modo che
    if isempty(indice_inizio) || isempty(indice_fine)
        error('Non è stato possibile trovare campioni che superano la soglia per
        l'acquisizione %d.', i);
    end

    vettore_selezione = vettore_normalizzato(indice_inizio:indice_fine);%selezione
    del vettore normalizzato compreso tra l'indice di inizio e l'indice di fine
    % Calcola l'area sotto la curva
    AREA_sottocurva = trapz(vettore_selezione);
    %calcolo l'area sottesa alla curva utilizzando la funzione trapz che va a sommare
    le aree trapezoidali ottenute tra coppie di punti nell'array
end

```



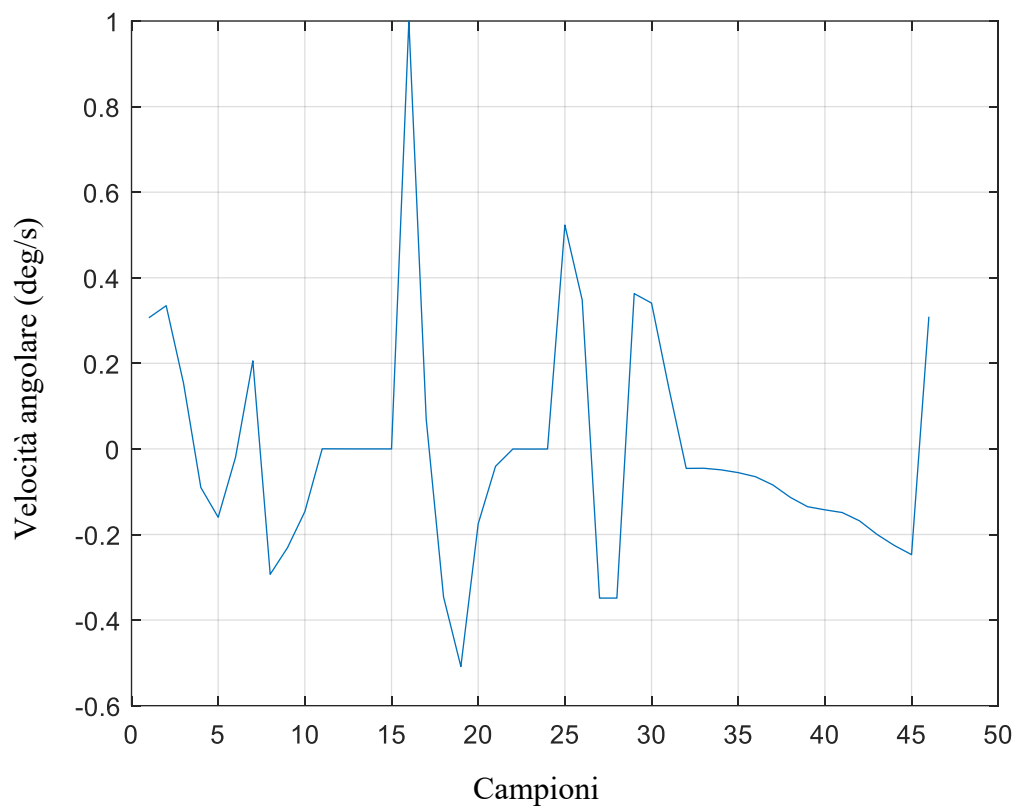


Figura 19: Esempio di selezione del vettore di velocità angolare del primo giocatore

### 3.3.3 Area sottesa

Come parametro per poter confrontare i risultati ottenuti si utilizza l'area sottesa al vettore corrispondente al movimento del servizio (normalizzata per il numero di campioni).

Si può affermare che l'area sottesa ad una curva corrisponde all'integrale della funzione che rappresenta la curva stessa.

Perciò, valutando l'area sottesa alla curva rappresentante l'accelerazione si ha come risultato l'integrale dell'accelerazione che, dai principi fisici, riconosciamo essere una velocità.

Simile ragionamento possiamo applicarlo per l'area sottesa alla curva rappresentante la velocità angolare. Valutare l'area sottesa a tale curva significa applicare l'integrazione alla velocità angolare ottenendo come informazione la legge oraria angolare.

Viene valutata l'area sottesa al vettore selezionato per accelerometro, giroscopio e magnetometro.

Si riporta il codice Matlab attraverso cui è stata valutata l'area sottesa, applicabile per tutti e tre i sensori eseguendo opportune modifiche per ognuno di essi.

```
...
% Calcola l'area sotto la curva
AREA_sottocurva = trapz(vettore_selezione);
%calcolo l'area sottesa alla curva utilizzando la funzione trapz che va a sommare
le aree trapezoidali ottenute tra coppie di punti nell'array
end
area_normalizzata=AREA_sottocurva / length(vettore_selezione);% Normalizza l'area
per il numero di campioni
figure;plot(vettore_normalizzato);
title("Vettore selezionato");
grid on;
disp('Area normalizzata:');
disp(area_normalizzata);
```

Vengono visualizzati, nelle tabelle sottostanti, i valori di area sottesi ai grafici ottenuti per accelerometro, giroscopio e magnetometro.

*Tabella 12: Raccolta valori area per accelerometro con soglia 0.1*

S1	S2	S3
0.032148717	0.047536197	0.017132425
0.029671875	0.027181979	0.022040417
0.103610424	0.032237401	0.056091176
0.025761599	0.037848382	0.012683848
0.229227114	0.042610562	0.019324078
0.070435006	0.052123219	0.01782386
0.028581121	0.024283534	0.028001071
0.02993209	0.041486624	0.025678785
0.022724011	0.027801799	0.023637682
0.036612156	0.080547502	0.018898413

*Tabella 13: Raccolta valori aree accelerometro con soglia 0.4*

S1	S2	S3
0.03854906	0.036951049	0.560113158
0.297179626	0.583422454	0.449866313
0.696463237	0.071224364	0.026007883
0	0.687230391	0.461204174
0	0.569523037	0.49524922
0.633451458	0.538088868	0.739453082
0.485077365	0.633791811	0.736311225
0	0.036839788	0.890258423
0.736220028	0.040798162	0.595194531
0.417487473	0.045571263	0.690342741

*Tabella 14: Raccolta valori aree per accelerometro con soglia 0.05*

S1	S2	S3
0.01498032	0.030052288	0.022573879
0.024967779	0.025191665	0.017202967
0.022458944	0.020225713	0.050839249
0.011712289	0.040512344	0.022507999
0.033118877	0.029294368	0.026056861
0.017650496	0.043553415	0.017111225
0.020206187	0.01395926	0.016867562
0.014300699	0.026885126	0.020821576
0.027230865	0.019933389	0.023746242

0.027467071	0.030573697	0.018423634
-------------	-------------	-------------

Tabella 15: Raccolta valori aree per giroscopio con soglia 0.1

S1	S2	S3
0.02268146	0.027080066	0.026679393
0.013111122	0.051933515	0.01254472
0.020142244	0.01169316	0.028424285
0.019942417	0.042011546	0.017807302
0.019836834	0.013690142	0.0312853
0.018875911	0.021751061	0.02097856
0.015619682	0.019024984	0.018786431
0.017846568	0.025766839	0.034695965
0.018855503	0.032745229	0.025466252
0.019574729	0.021739595	0.01627655

Tabella 16: Raccolta valori aree per giroscopio con soglia 0.3

S1	S2	S3
0.024336187	0.021759825	0.030008477
0.037856571	0.042951368	0.008666147
0.023056669	0.029748445	0.017671729
0.024916862	0.035379973	0.016027788
0.016261919	0.029431435	0.01644506
0.018679936	0.050048838	0.017689828
0.03162499	0.029402237	0.020236106
0.013776792	0.018741398	0.020698204
0.01430035	0.033797017	0.020424005
0.040852295	0.038210731	0.011925183

Tabella 17: Raccolta valori aree per magnetometro con soglia 0.03

S1	S2	S3
0.00251	0.11813	0.02689
0.01083	0.06188	0.02228
0.01513	0.06951	0.02523
0.00404	0.05785	0.03122
0.08132	0.05706	0.02559
0.01232	0.04208	0.02102
0.00977	0.04527	0.01718
0.01642	0.06181	0.02761
0.00741	0.04002	0.02417
0.0127	0.04582	0.03568

Tabella 18: Raccolta valori aree per magnetometro con soglia 0.05

S1	S2	S3
0.090538	0.118132	0.113896
0.07738	0.052344	0.123877
0.013475	0.066778	0.064015
0.069017	0	0.069414
0.111888	0.05123	0.050619
0.024608	0.036097	0.036409
0.101719	0	0.069611
0.019581	0.122541	0.084046
0.019529	0.038652	0.034852
0.019313	0.035507	0.090452

Tabella 19: Raccolta valori aree per magnetometro con soglia 0.06

S1	S2	S3
0.094	0.1181	0.1109
0.0866	0	0.1244
0.0127	0	0.0867
0.0708	0	0.0827
0.1095	0	0.0707
0.0246	0.1166	0.0373
0.1065	0	0.0852
0.0196	0.1193	0.084
0.0197	0	0.0823
0.0204	0	0.0921

# Capitolo 4

## Analisi dei dati acquisiti

### 4.1 Discussione risultati ottenuti

I risultati, ottenuti tramite procedimento visto nel capitolo precedente, vengono qui discussi ed analizzati. L'obiettivo è quello di eseguire tre tipologie di analisi:

- Analisi intra-soggetto: capire come varia il parametro (area sottesa) tra le dieci battute eseguite dai singoli soggetti;
- Analisi tra soggetti: confrontare i tre soggetti su un valore di soglia imposto e osservare come variano i valori di area tra essi
- Analisi di sensibilità del parametro (area sottesa) rispetto ai valori di soglia: confrontare l'andamento del parametro (area sottesa) al variare dei valori della soglia per ogni singolo soggetto

Applichiamo ognuna delle analisi elencate ai sensori utilizzati al fine di ottenere quante più informazioni utili.

Si va ad interpretare, attraverso il parametro definito (area sottesa), quelle che sono le diverse caratteristiche dei giocatori e del modo in cui compiono il gesto.

Si vanno a descrivere i grafici ottenuti.

#### 4.1.1 Analisi intra-soggetto e tra soggetti per accelerometro

Valutando l'area sottesa alla curva selezionata, rappresentante l'accelerazione, si ottengono informazioni riguardo la velocità del movimento dei diversi tester per ognuna delle battute.

Dalla figura 20 si osserva l'andamento dei valori di area sottesa (velocità) per i tre tester sulle dieci battute eseguite con soglia imposta a 0.1.

Analizzando la figura 20, risaltano all'occhio i valori assunti dalla velocità del movimento del primo giocatore in cui notiamo due picchi elevati di velocità in corrispondenza del terzo e quinto servizio. Tali picchi si discostano, come valore di ampiezza, dai valori di

velocità delle altre battute del primo giocatore. Ciò sta ad indicarci che in corrispondenza di quelle battute, il primo giocatore ha eseguito il movimento del servizio in maniera più efficace che lo ha portato ad ottenere una velocità maggiore e quindi una possibile esecuzione migliore.

Dal grafico si rileva che, per il primo e terzo giocatore, le velocità degli ultimi servizi sono minori rispetto ai valori di velocità iniziali. Per il secondo giocatore invece, si ha una velocità maggiore all'ultimo servizio piuttosto che ai primi.

Tale andamento potrebbe significare che per il primo e il terzo giocatore possono essere entrati in gioco parametri come stanchezza fisica che li hanno portati ad avere, in corrispondenza delle ultime battute, delle velocità minori rispetto al secondo giocatore e quindi un calo nell'efficacia del movimento.

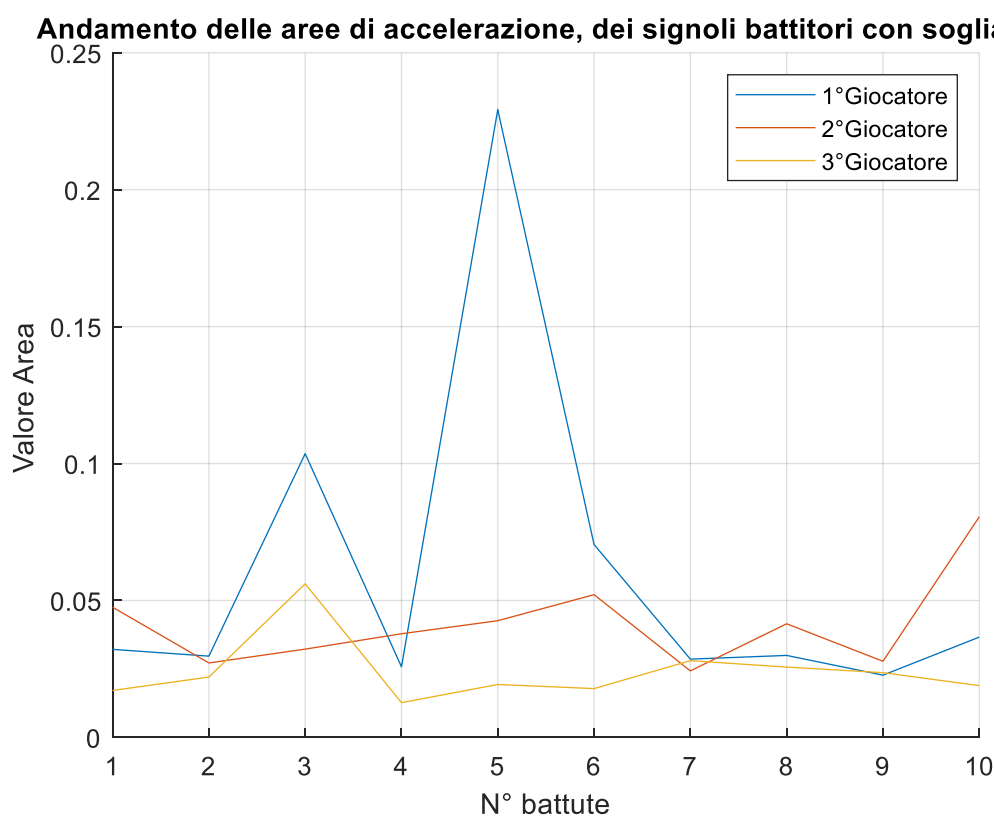


Figura 20: Andamento dei valori di area, per i singoli giocatori, con soglia 0.1

Andiamo ad osservare i valori di area sottesa aumentando il valore di soglia a 0.4 in figura 21. In tale grafico otteniamo risultati diversi rispetto a quelli analizzati precedentemente. Osserviamo andamenti molto differenti tra loro.

Interessante è soprattutto osservare i valori di area sottesa (velocità) del primo giocatore. Per il primo giocatore si ottengono valori di area sottesa al grafico nulla in corrispondenza del quarto, quinto e ottavo servizio. Questo risultato ci dà un'informazione importante, ovvero che, all'aumentare del valore di soglia si vanno a perdere valori. Ciò sta ad indicare un valore di soglia non corretto per l'analisi dei risultati.

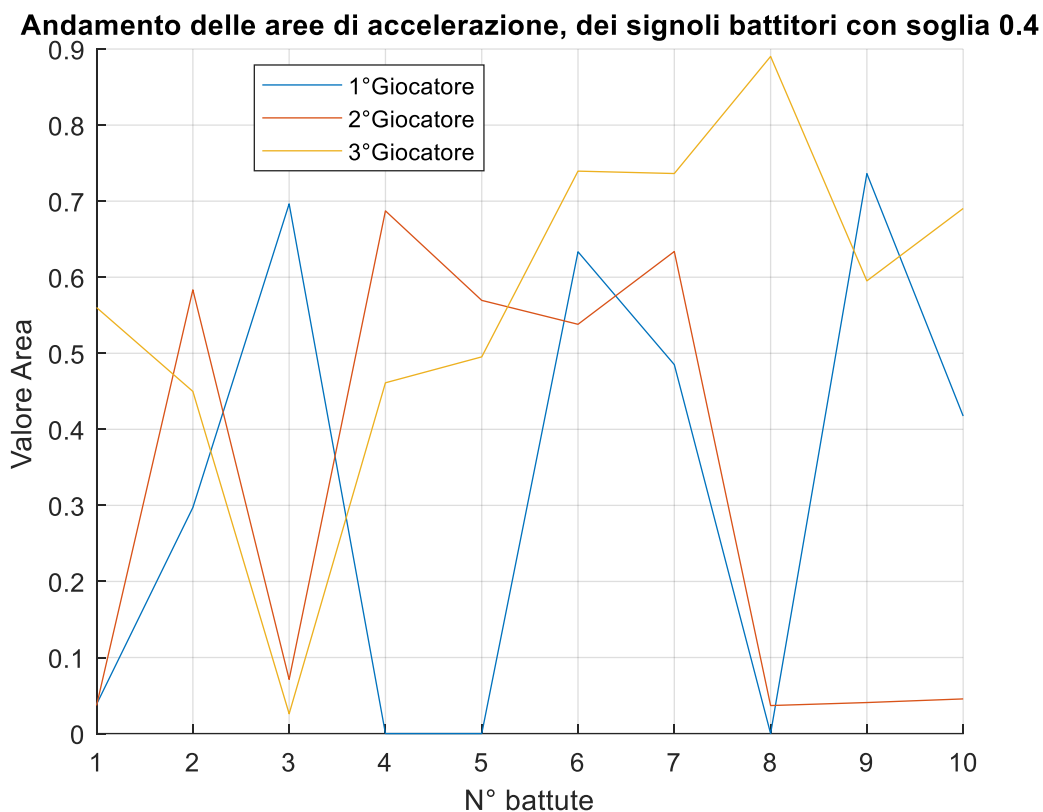
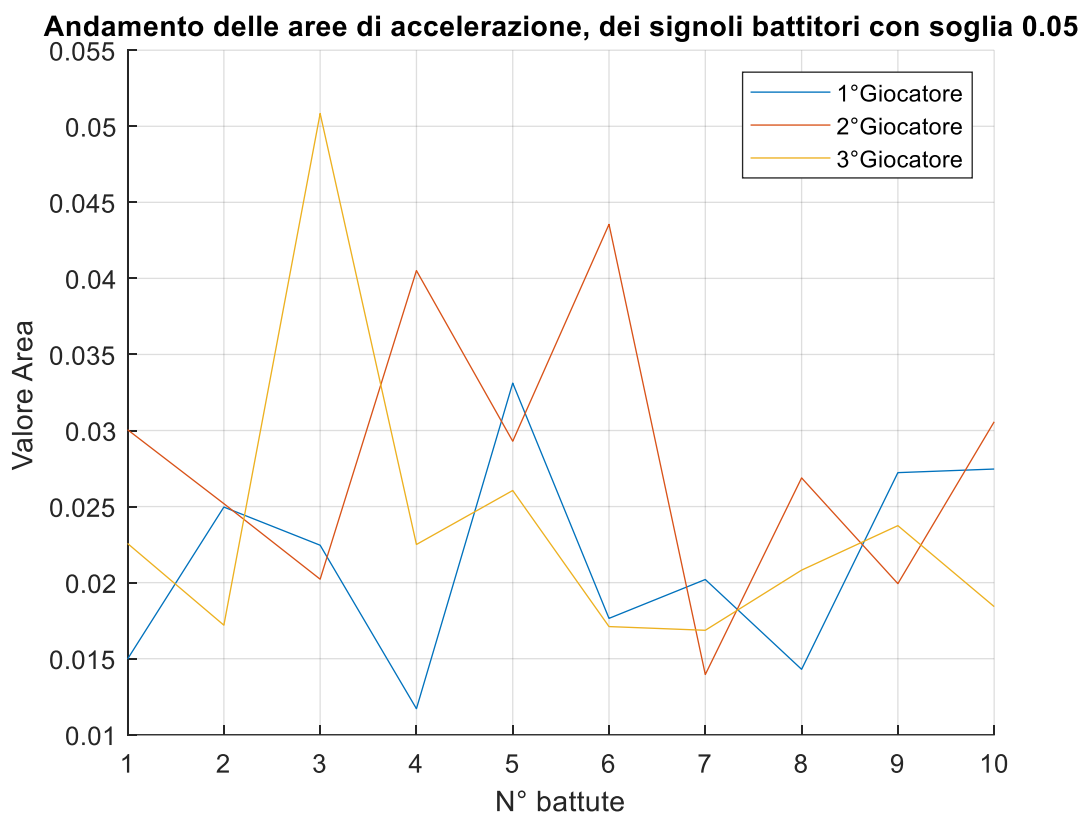


Figura 21: Andamento dei valori di area con soglia 0.4



Al diminuire del valore di soglia a 0.05 si ottengono invece valori si area sottesa mostrati in figura 22. In tale figura si osservano velocità maggiori, per il secondo giocatore in corrispondenza del quarto e sesto servizio e per il terzo giocatore in corrispondenza del terzo servizio.

Le conclusioni tratte in precedenza valgono anche in tal caso riadattandole al grafico ottenuto.



*Figura 22: Andamento dei valori di area con soglia 0.05*

### Andamento delle aree di accelerazione, dei segnali battitori, sull'intero vettore

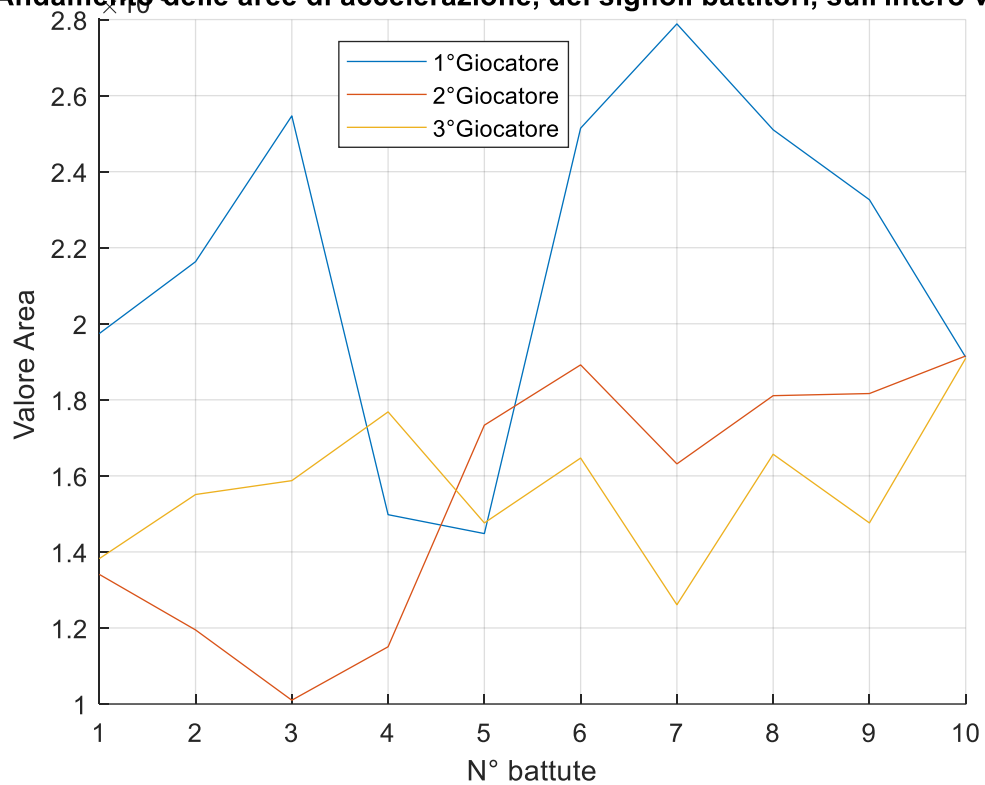


Figura 23: Andamento dei valori di area sull'intero vettore

### 4.1.2 Analisi di sensibilità per accelerometro

L'analisi di sensibilità mostra come cambia il valore del parametro scelto (area sottesa) in corrispondenza della variazione del valore di soglia.

Osservando la figura 24 si può notare che all'aumentare della soglia, si ottengono dei valori di area sottesa nulli. Questo, come si osserva nella figura 21, sta ad indicare un valore di soglia troppo elevato. Infatti, all'aumentare del valore di soglia può capitare di perdere valori di area. Ciò non accade al diminuire del valore di soglia, che però diminuendo troppo potrebbe valutare l'area sottesa anche a movimenti non effettivamente corrispondenti alla battuta ma ugualmente registrati dal sensore.

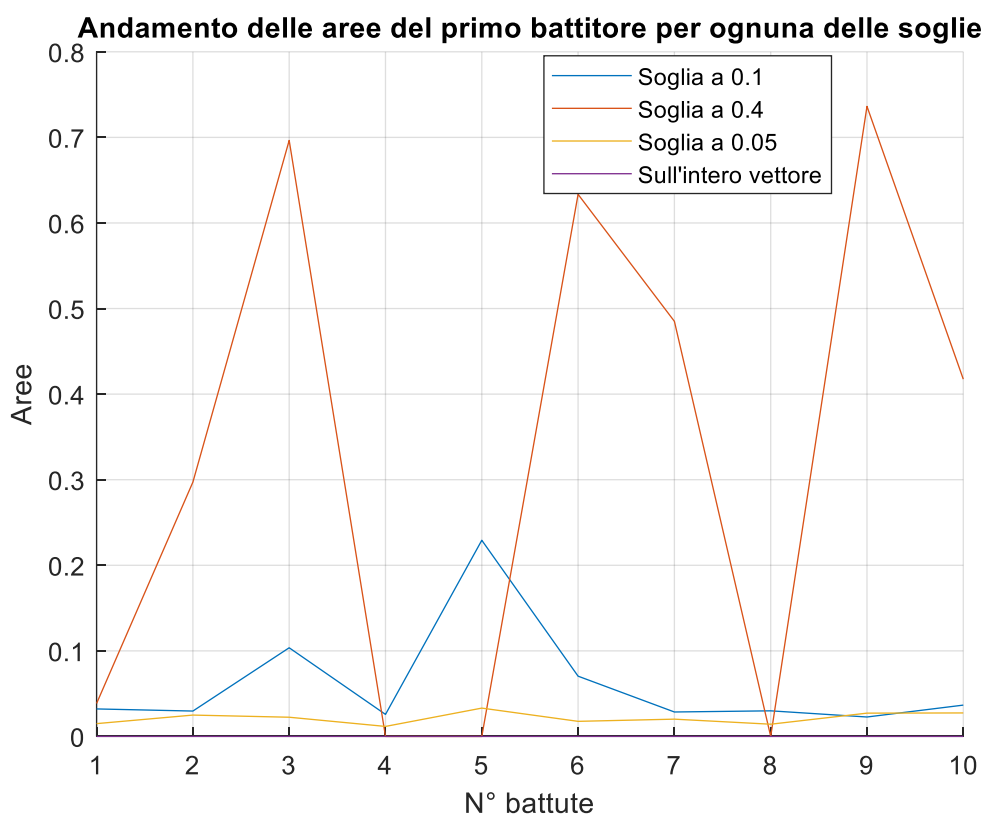
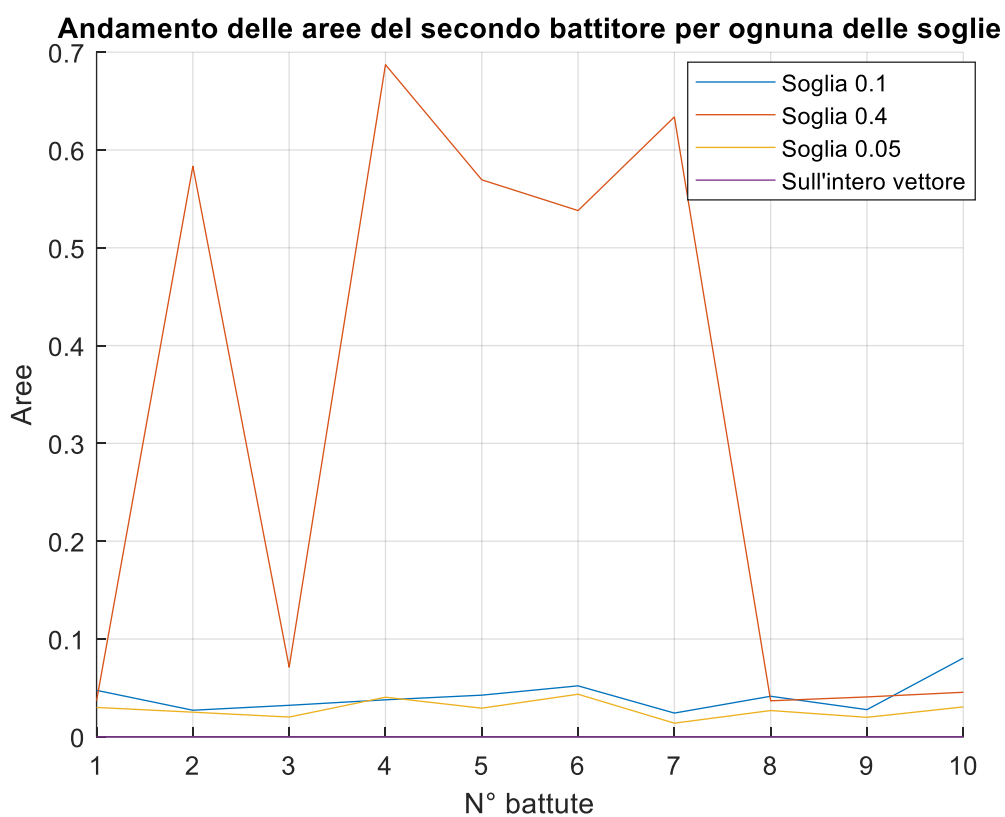


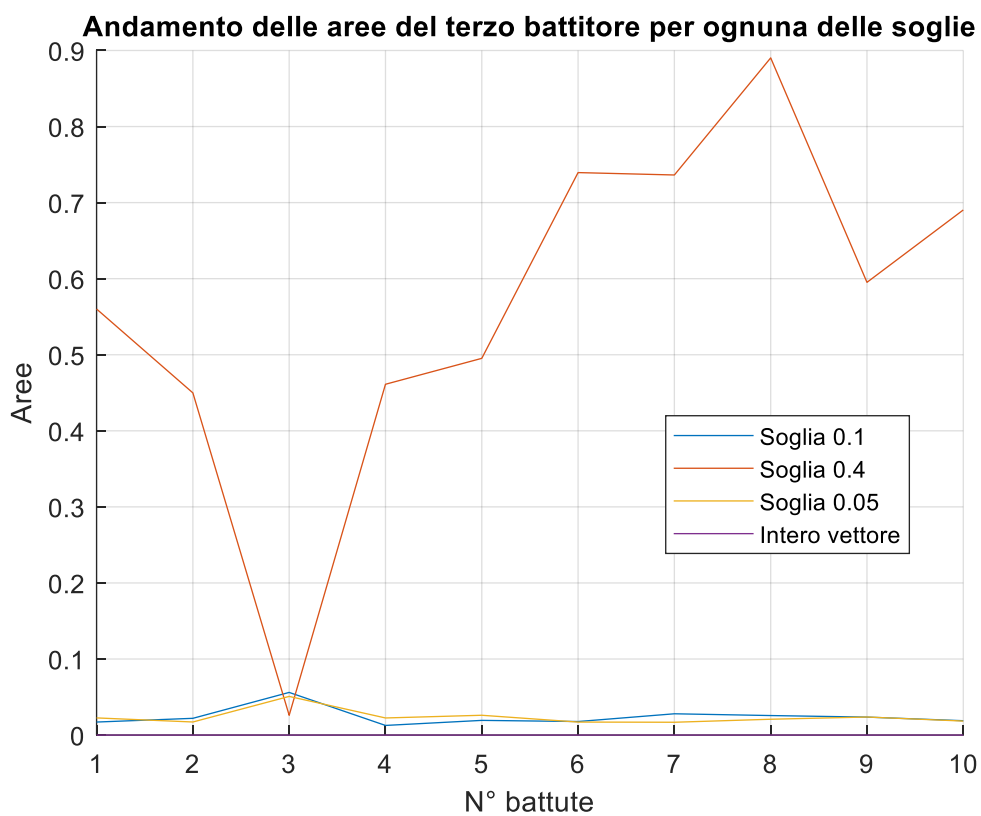
Figura 24: Andamento dei valori di area del primo giocatore per ognuna delle soglie

Si può quindi dedurre che il parametro scelto (area sottesa) è un parametro che ci darà delle informazioni, riguardanti l'andamento del servizio e le capacità del giocatore, solamente nel caso in cui il valore di soglia imposto sia corretto, sia quindi adatto al tester considerato.

Si può quindi stabilire una forte sensibilità del parametro (area sottesa) nei confronti della variazione del valore di soglia.



*Figura 25: Andamento dei valori di area del secondo giocatore per ognuna delle soglie*



*Figura 26: Andamento dei valori di area del terzo giocatore per ognuna delle soglie*

Osserviamo nelle immagini 24,25,26, che per ognuno dei giocatori si presenta un andamento di valori di area elevata per il valore di soglia 0.4, mentre i valori di area per soglia imposta a 0.1, 0.05 risultano per lo più costanti.

### 4.1.3 Analisi intra-soggetto e tra soggetti per giroscopio

Valutando l'area sottesa alla curva selezionata, rappresentante la velocità angolare, si ottengono informazioni riguardo la legge oraria angolare del movimento. Vengono quindi date informazioni sull'apertura del braccio per una migliore o peggiore esecuzione del servizio.

Dalla figura 27 si osserva l'andamento dei valori di area sottesa (angolazione braccio) per i tre tester sulle dieci battute eseguite con soglia a 0.1.

Analizzando la figura 27, risaltano all'occhio i valori assunti del secondo giocatore in cui notiamo due picchi elevati in corrispondenza del secondo e quarto servizio. Tali picchi si discostano, come valore di ampiezza, dai valori delle altre battute. Ciò sta ad indicarci che in corrispondenza di quelle battute, il secondo giocatore ha eseguito il movimento del servizio con maggiore apertura del braccio.

Non vengono osservati invece picchi per il primo giocatore che sembra aver assunto un'apertura del braccio all'incirca simile per ognuna delle battute.

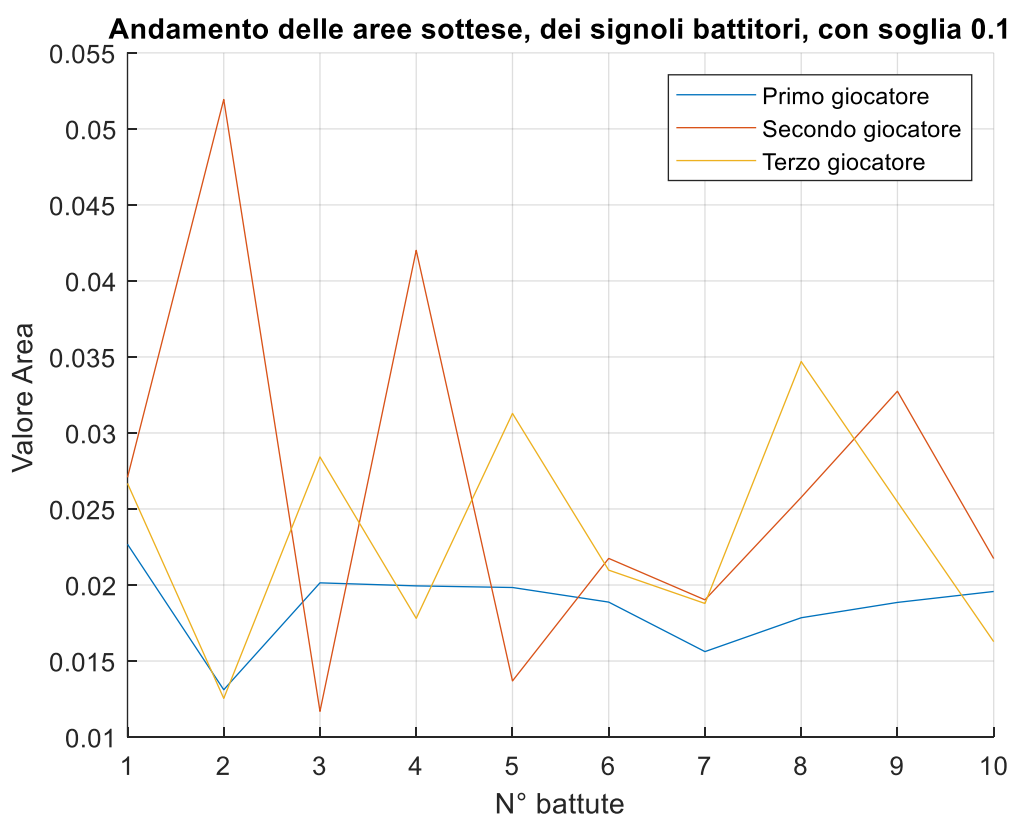


Figura 27: Andamento dei valori di area, dei singoli giocatori, con soglia 0.1

Aumentando il valore di soglia a 0.3, si ottiene invece un andamento mostrato in figura 28 in cui prevale con maggiore apertura del braccio il secondo giocatore. Il terzo giocatore presenta invece un maggior valore dell'area (angolatura del movimento) alla prima battuta per poi mantenersi quasi sempre a valori più minori di area.

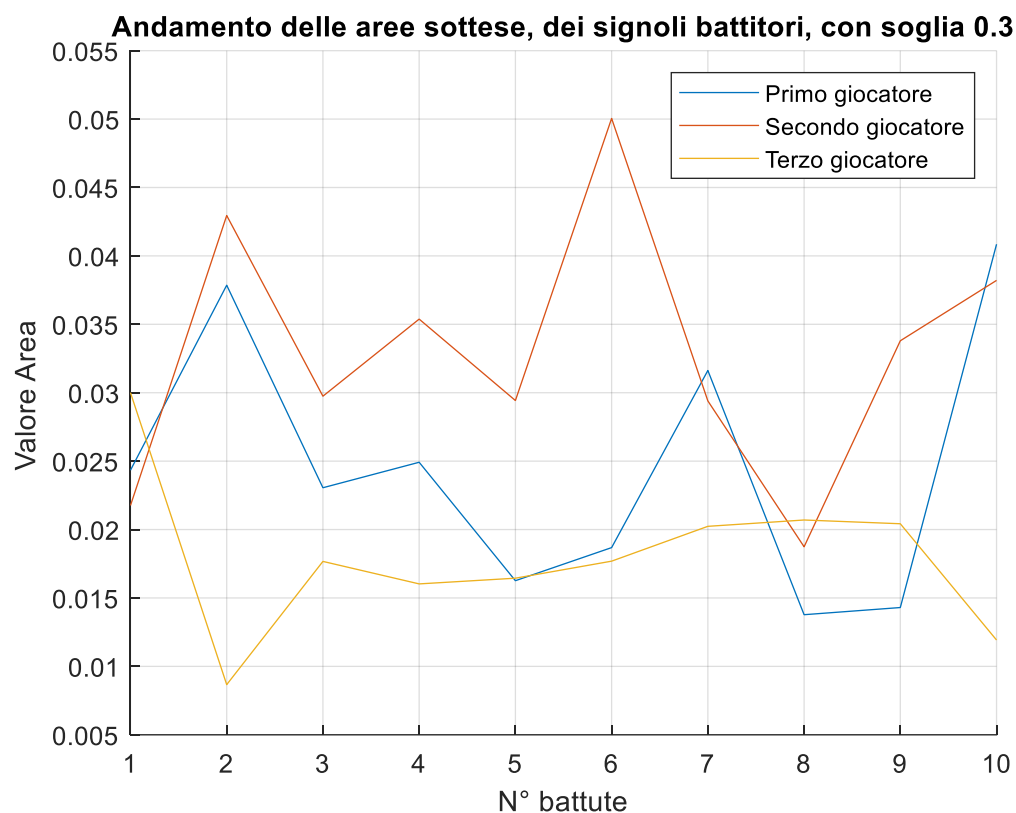


Figura 28: Andamento dei valori area, dei singoli battitori, con soglia 0.3

#### 4.1.4 Analisi di sensibilità per giroscopio

Come osservato per l'accelerometro, stesse conclusioni possiamo avere per il giroscopio.

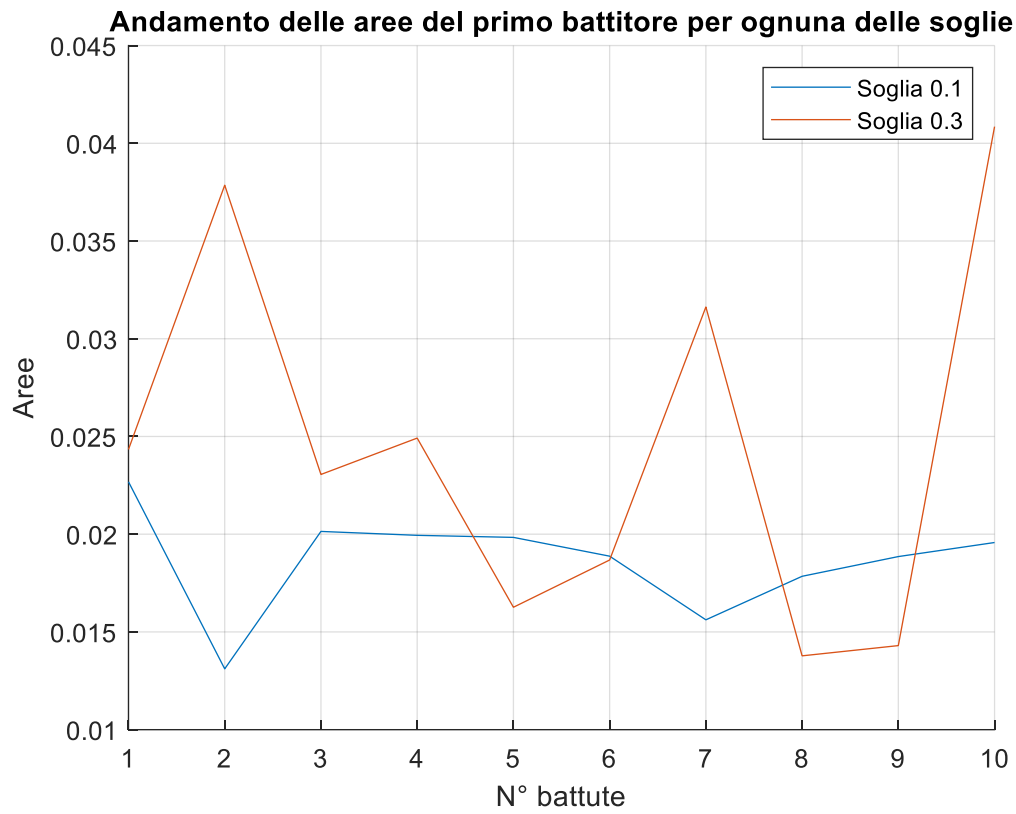


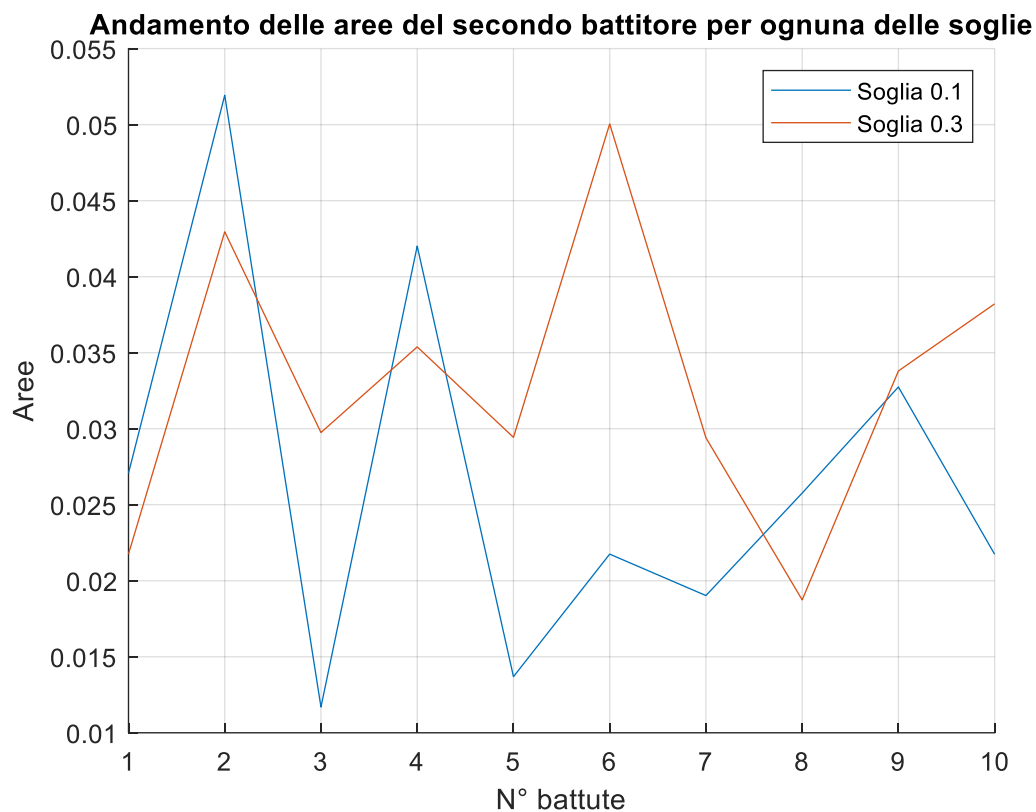
Figura 29: Andamento dei valori di area del primo giocatore per ognuna delle soglie



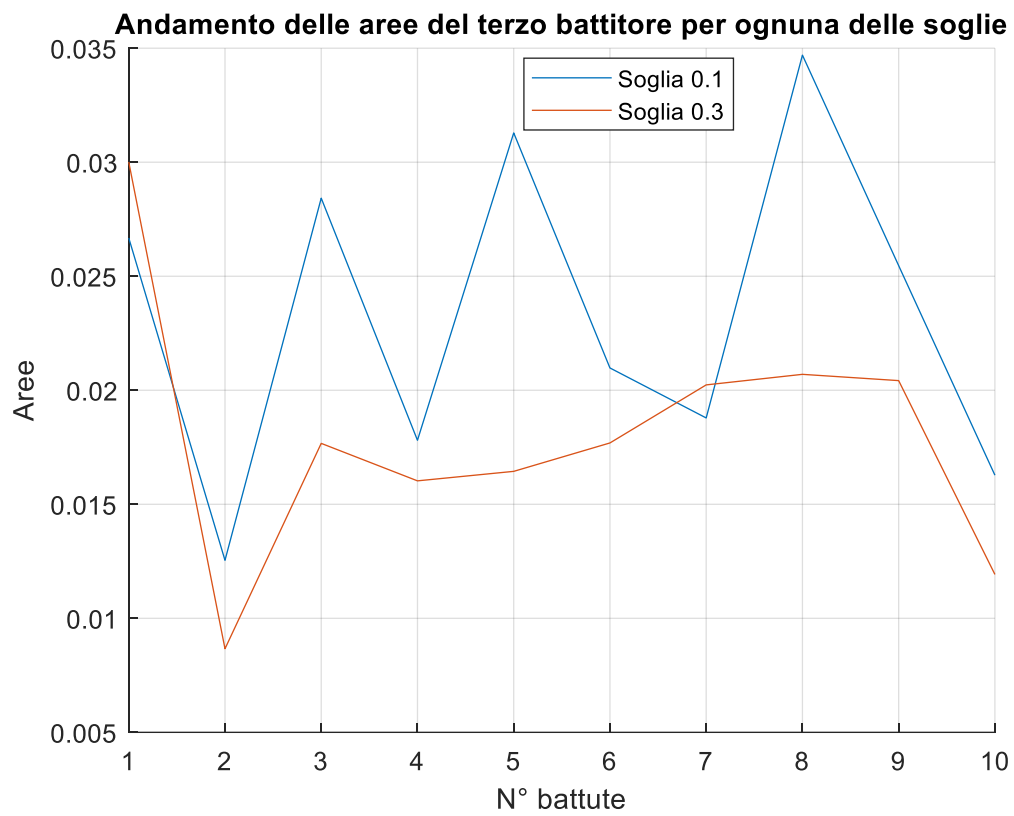
L'analisi di sensibilità mostra come cambia il valore del parametro scelto (area sottesa) in corrispondenza della variazione del valore di soglia.

All'aumentare del valore di soglia può capitare di perdere valori di area.

Ciò non accade al diminuire del valore di soglia. È quindi fondamentale che il valore di soglia scelto sia adatto al tester considerato, altrimenti si rischia di non ottenere alcuna informazione in uscita dal parametro.



*Figura 30: Andamento dei valori di area del secondo giocatore per ognuna delle soglie*



*Figura 31: Andamento dei valori di area del terzo giocatore per ognuna delle soglie*

#### 4.1.2 Analisi intra-soggetto e tra soggetti per magnetometro

Si riportano in figura 32, 33, 34, i valori di area sottesa al grafico rappresentante il magnetometro. In tal caso non si ha un vero e proprio corrispondente fisico al parametro (area sottesa) ma possono essere tratte conclusioni del tutto simili alle precedenti, viste per giroscopio e accelerometro, sia per il confronto tra soggetti che per l'analisi di sensibilità.

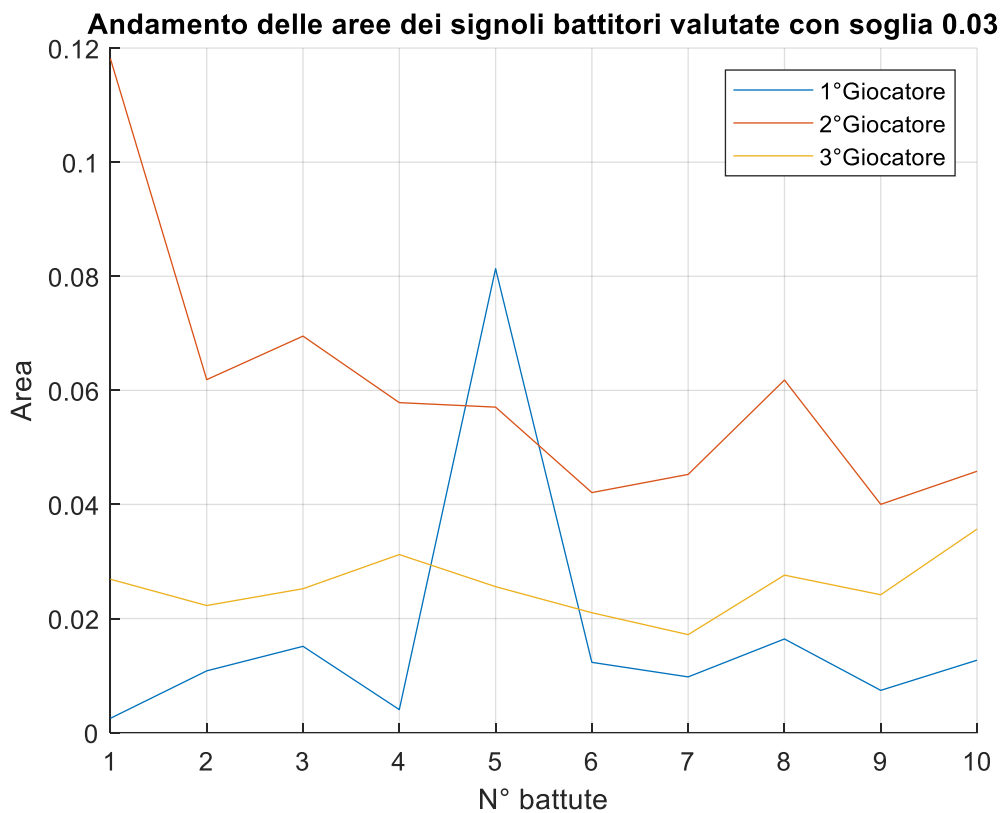
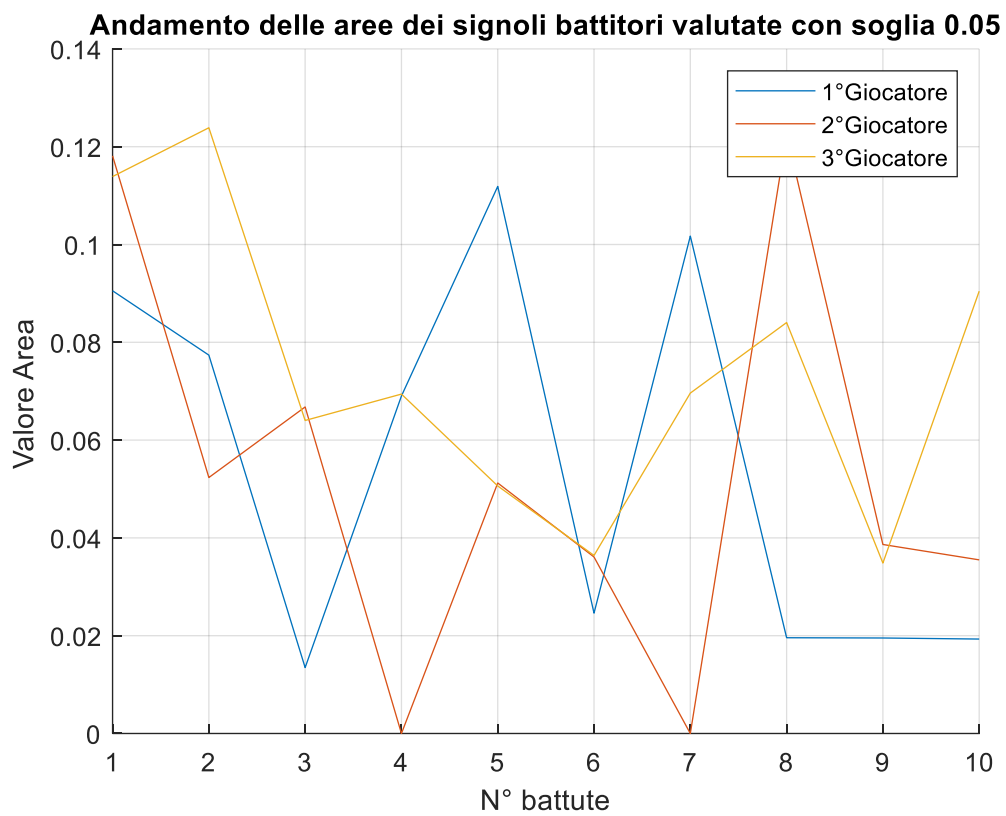
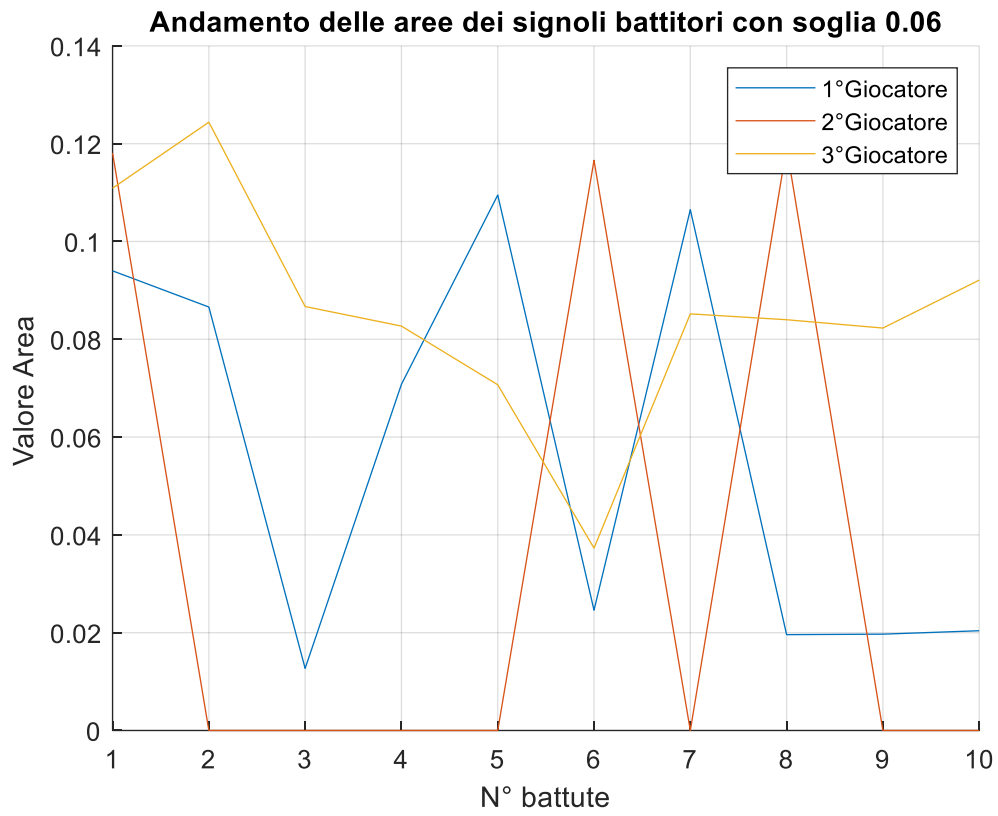


Figura 32: Andamento dei valori di area con soglia 0.03, per ognuno dei giocatori



*Figura 33: Andamento dei valori di area con soglia 0.05, per ognuno dei giocatori*



*Figura 34: Andamento dei valori di area con soglia 0.06, per ognuno dei giocatori*

### 4.1.1 Analisi di sensibilità per magnetometro

Si riportano in figura 35, 36, i valori di area sottesa al grafico rappresentante il magnetometro al variare della soglia imposta. Possono essere tratte conclusioni del tutto simili alle precedenti viste per giroscopio e accelerometro.

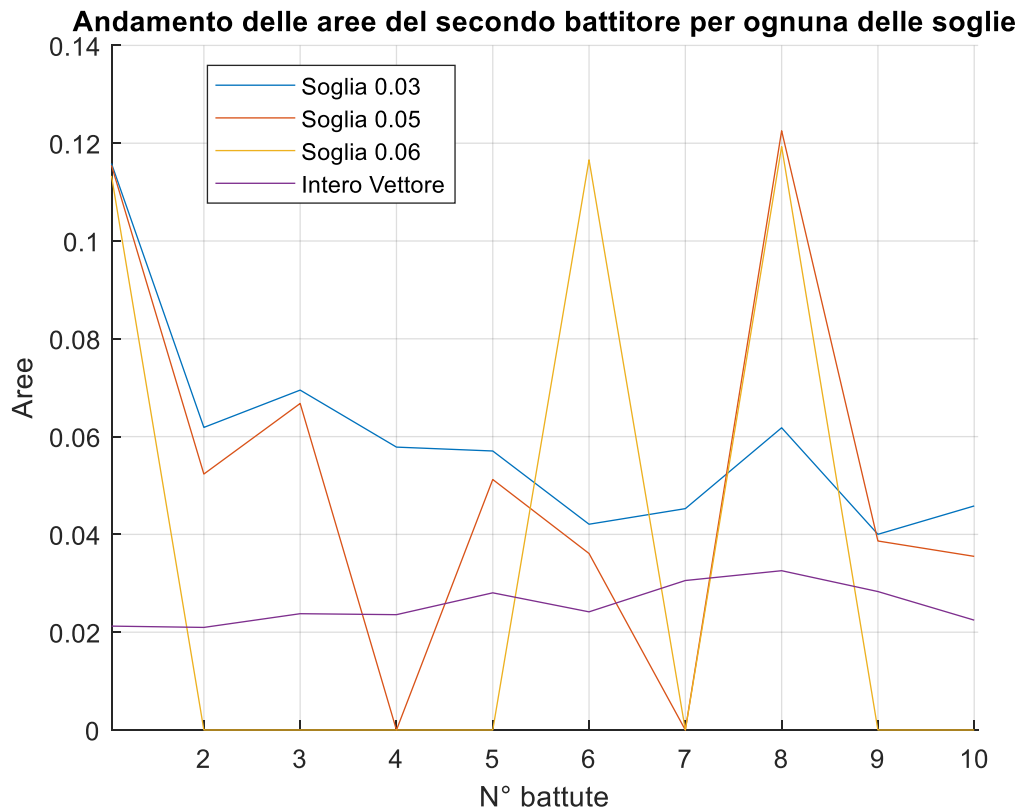


Figura 35: Andamento dei valori di area del secondo giocatore per ognuna delle soglie

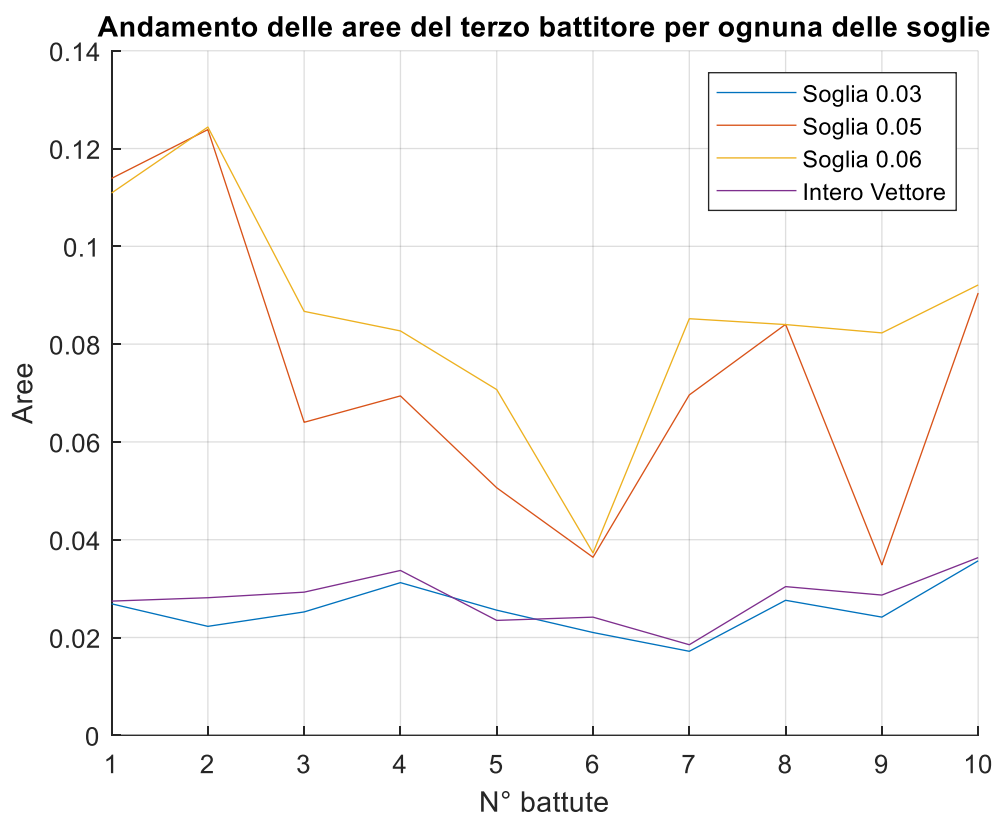


Figura 36: Andamento dei valori di area del terzo giocatore per ognuna delle soglie

# Capitolo 5

## Conclusioni

La tesi trattata analizza il movimento sportivo del servizio nella pallavolo tramite l'utilizzo del dispositivo MetaMotionC.

Sono stati esaminati e discussi i risultati ottenuti dall'elaborazione dei dati acquisiti dal dispositivo attraverso il parametro di area sottesa.

I tester sono stati confrontati in termini di velocità e ampiezza del movimento per il raggiungimento di una possibile miglior esecuzione del servizio.

Dai risultati ottenuti dopo l'elaborazione, attraverso l'ambiente di sviluppo Matlab, se ne ricava che il parametro scelto (area sottesa) è un parametro estremamente sensibile al valore di soglia che viene impostato per selezionare i campioni del vettore corrispondenti al movimento del servizio. Per tale motivo bisognerà essere precisi nella scelta del valore di soglia che ci permetterà di ottenere in uscita delle informazioni riguardanti il movimento.

Nel caso in cui non venisse scelto un valore di soglia corretto si conclude che il parametro (area sottesa) non restituirà informazioni e per tale motivo si potrebbe pensare alla definizione di un parametro differente la cui sensibilità, nei confronti della variazione di valore di soglia, sia minore.



# Elenco immagini

Figura 1: MetaMotionC <sup>[1]</sup> .....	9
Figura 2: Dimensioni scheda miniaturizzata .....	10
Figura 3: Schermata app MetaBase <sup>[1]</sup> .....	11
Figura 4: Diagramma a blocchi <sup>[8]</sup> .....	12
Figura 5: SoC Circuit MetamotionC versione 0.2.....	12
Figura 6: Circuito accelerometro e giroscopio [8] .....	13
Figura 7: Circuito magnetometro [8].....	15
Figura 8: Preparazione servizio <sup>[10]</sup> .....	17
Figura 9: Esecuzione servizio <sup>[10]</sup> .....	18
Figura 10: Prosecuzione servizio <sup>[10]</sup> .....	19
Figura 11: Supporto di fissaggio dispositivo.....	20
Figura 12: Andamento accelerazione lungo asse x nel tempo (quarto servizio, secondo tester).....	23
Figura 13: Andamento nel tempo dell'accelerazione lungo asse y (quarto servizio, secondo tester).....	24
Figura 14: Andamento nel tempo dell'accelerazione (lungo y) con zoom .....	24
Figura 15: Andamento nel tempo dell'accelerazione lungo asse z (quarto servizio, secondo tester).....	25
Figura 16: Andamento nel tempo dell'accelerazione (lungo z) con zoom .....	25
Figura 17: Andamento in frequenza dei dati del giroscopio → Primo servizio del primo tester .....	34
Figura 18: Andamento in frequenza dei dati dell'accelerometro → Primo servizio del primo tester.....	35
Figura 19: Esempio di selezione del vettore di velocità angolare del primo giocatore....	41
Figura 20: Andamento dei valori di area, per i singoli giocatori, con soglia 0.1 .....	47
Figura 21: Andamento dei valori di area con soglia 0.4 .....	48
Figura 22: Andamento dei valori di area con soglia 0.05 .....	49
Figura 23: Andamento dei valori di area sull'intero vettore .....	50
Figura 24: Andamento dei valori di area del primo giocatore per ognuna delle soglie ..	51

Figura 25: Andamento dei valori di area del secondo giocatore per ognuna delle soglie .....	52
Figura 26: Andamento dei valori di area del terzo giocatore per ognuna delle soglie.....	53
Figura 27: Andamento dei valori di area, dei singoli giocatori, con soglia 0.1.....	54
Figura 28: Andamento dei valori area, dei singoli battitori, con soglia 0.3 .....	55
Figura 29: Andamento dei valori di area del primo giocatore per ognuna delle soglie ..	56
Figura 30: Andamento dei valori di area del secondo giocatore per ognuna delle soglie .....	57
Figura 31: Andamento dei valori di area del terzo giocatore per ognuna delle soglie.....	58
Figura 32: Andamento dei valori di area con soglia 0.03, per ognuno dei giocatori .....	59
Figura 33: Andamento dei valori di area con soglia 0.05, per ognuno dei giocatori .....	60
Figura 34: Andamento dei valori di area con soglia 0.06, per ognuno dei giocatori .....	61
Figura 35: Andamento dei valori di area del secondo giocatore per ognuna delle soglie .....	62
Figura 36: Andamento dei valori di area del terzo giocatore per ognuna delle soglie.....	63

# Elenco tabelle

Tabella 1: Specifiche accelerometro <sup>[8]</sup> .....	14
Tabella 2: Specifiche giroscopio <sup>[8]</sup> .....	14
Tabella 3: Specifiche magnetometro <sup>[8]</sup> .....	15
Tabella 4: Raccolta versioni MetaMotion [14] .....	16
Tabella 5: Settaggio sensori .....	21
Tabella 6: Raccolta parametri accelerometro (g) primo tester (Andrea).....	26
Tabella 7: Raccolta parametri accelerometro (g) secondo tester (Beatrice).....	27
Tabella 8: Raccolta parametri accelerometro (g) terzo tester (Sofia).....	28
Tabella 9: Raccolta parametri giroscopio (deg/s) primo tester (Andrea) .....	29
Tabella 10: Raccolta parametri giroscopio (deg/s) secondo tester (Beatrice).....	30
Tabella 11: Raccolta parametri giroscopio (deg/s) terzo tester (Sofia).....	31
Tabella 12: Raccolta valori area per accelerometro con soglia 0.1 .....	43
Tabella 13: Raccolta valori aree accelerometro con soglia 0.4 .....	43
Tabella 14: Raccolta valori aree per accelerometro con soglia 0.05 .....	43
Tabella 15: Raccolta valori aree per giroscopio con soglia 0.1 .....	44
Tabella 16: Raccolta valori aree per giroscopio con soglia 0.3.....	44
Tabella 17: Raccolta valori aree per magnetometro con soglia 0.03 .....	44
Tabella 18: Raccolta valori aree per magnetometro con soglia 0.05 .....	45
Tabella 19: Raccolta valori aree per magnetometro con soglia 0.06 .....	45

# Bibliografia

## Bibliografia e sitografia

- [1] <https://mbientlab.com/store/metamotionc/>
- [2] Meng Chen , Hui Fang Szu, Hsin Yen Lin, Yifan Liu , Ho-Yin Chan , Member, IEEE, Yufan Wang , Yuliang Zhao , Guanglie Zhang , Senior Member, IEEE, Jeffrey Da-Jeng Yao , Senior Member, IEEE, and Wen Jung Li. “Phase-Based Quantification of Sports Performance Metrics Using a Smart IoT Sensor” IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL, VOL. 10, NO. 18, 15 SEPTEMBER 2023
- [3] B. Travassos, K. Davids, D. Araújo, and T. P. Esteves, “Performance analysis in team sports: Advances from an ecological dynamics approach,” *Int. J. Perform. Anal. Sport*, vol. 13, no. 1, pp. 83–95, 2013.
- [4] T. McGarry, “Applied and theoretical perspectives of performance analysis in sport: Scientific issues and challenges,” *Int. J. Perform. Anal. Sport*, vol. 9, no. 1, pp. 128–140, 2009.
- [5] C. L. Stergiou, K. E. Psannis, and B. B. Gupta, “IoT-based big data secure management in the fog over a 6G wireless network,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 8, no. 7, pp. 5164–5171, Apr. 2021.
- [6] K. E. Psannis, C. Stergiou, and B. B. Gupta, “Advanced media-based smart big data on intelligent cloud systems,” *IEEE Trans. Sustain. Comput.*, vol. 4, no. 1, pp. 77–87, Jan.–Mar. 2019.
- [7] S. M. Alrubei, E. Ball, and J. M. Rigelsford, “The use of blockchain to support distributed AI implementation in IoT systems,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 9, no. 16, pp. 14790–14802, Aug. 2022.
- [8] <https://mbientlab.com/documents/MetaMotionC-PS1.pdf>
- [9] <https://it.mathworks.com/help/rtw/nucleo/ref/bmi160imusensor.html>
- [10] <https://www.dnbm.univr.it/documenti/OccorrenzaIns/matdid/matdid746900.pdf>
- [11] <https://www.lucabarni.it/sensori-inerziali-movimento-umano/>
- [12] <https://www.istitutoats.com/articoli/sensori-inerziali>
- [13] <http://www.mat.unimi.it/users/gaeta/FM2/FT.pdf>

[14] <https://mbientlab.com/documentation/>