



UNIVERSITÀ  
POLITECNICA  
DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA  
*corso di Laurea Triennale in Ingegneria meccanica*

***Studio, implementazione e test di un sistema di  
acquisizione di segnali inerziali al volante durante la  
guida***

***Study, design and testing of an acquisition system for  
inertial signals at the steering wheel***

*Tesi di laurea di:*

**ANDREA ANNIBALLI**

*Relatore:*

Prof. **ALESSANDRO TARENZI**

*Correlatore:*

Prof. **SUSANNA SPINSANTE**  
Ing. **GIANLUCA CIATTAGLIA**

---

*Anno Accademico 2023-2024*

*a me e alla mia famiglia*



## **Abstract**

Lo scopo di questa tesi è stato quello di usare un accelerometro e giroscopio posizionati nella parte posteriore di un volante da simulazione per acquisire dati di accelerazione e velocità angolare.

Sono state fatte diverse acquisizioni attraverso l'uso di un simulatore con diversi soggetti, usando una scheda microcontrollore Arduino per acquisire i dati di accelerometro e giroscopio.

L'obiettivo è stato quello di valutare una possibile correlazione tra velocità angolare e accelerazione al fine di dedurre da questi dati le rotazioni e le sollecitazioni impresse sul volante.

L'elaborazione dati è stata svolta principalmente in ambiente MATLAB.

Dalle prove effettuate si è concluso che c'è una correlazione tra i dati di accelerometro e giroscopio e che se ne può sfruttare l'uso per determinare il comportamento del guidatore.

I risultati ottenuti da questo studio assieme ad altri contributi permetteranno la futura realizzazione di un volante costituito da sensori per misurare vari parametri così da ridurre gli incidenti dovuti alla stanchezza del conducente.

## **Abstract**

The goal of this thesis was to use an accelerometer and a gyroscope placed on the back of simulated steering wheel to acquire acceleration and angular speed data during driving.

Several experiments have been carried out exploiting a simulation software with different subjects, using an Arduino microcontroller to acquire the data.

The idea was to try to find a correlation between the acceleration and angular speed to use these data for the monitoring of the movements of the steering wheel during the driving experience.

Most of the data processing has been carried out in MATLAB.

From the experiments it has been shown that there is a correlation between a acceleration and angular speed and that these data can be exploited to monitoring the driver behavior.

The results obtained from this study will be used in conjunction with other works for the future development of a smart steering wheel for the driver monitoring in order to reduce accidents due to driver fatigue.

# Indice

<b>INDICE</b> .....	4
<b>INDICE FIGURE</b> .....	5
<b>INDICE TABELLE</b> .....	6
<b>INTRODUZIONE</b> .....	7
<b>CAPITOLO 1: ARDUINO</b> .....	8
1.1 ATTIVITA PRELIMINARI .....	9
1.1.1 Serial plotter.....	9
1.1.2 Analog In Out Serial.....	10
<b>CAPITOLO 2: SISTEMA ACQUISIZIONE DATI</b> .....	11
2.1 VOLANTE LOGITECH.....	11
2.2 ACCELEROMETRO E GIROSCOPIO.....	12
2.3 MONTAGGIO ACCELEROMETRO E GIROSCOPIO SUL VOLANTE.....	13
2.4 CODICE ARDUINO.....	14
2.5 TAXI DRIVER.....	17
<b>CAPITOLO 3: RACCOLTA DATI</b> .....	19
3.1 COOLTERM .....	19
3.2 ACQUISIZIONE A VOLANTE FERMO.....	21
3.3 ACQUISIZIONE CON BRUSCHE ROTAZIONI DI VOLANTE.....	24
3.4 ACQUISIZIONE CON SIMULAZIONE DI GUIDA.....	28
<b>CAPITOLO 4: ELABORAZIONE DEI RISULTATI</b> .....	33
4.1 MATLAB.....	33
4.2 COMPARAZIONE DEI DATI OTTENUTI DALLE ACQUISIZIONI.....	33
<b>CAPITOLO 5: CONCLUSIONI</b> .....	43
<b>BIBIGLIOGRAFIA</b> .....	44
<b>RINGRAZIAMENTI</b> .....	45

# Indice figure

Figura 1 - Arduino .....	8
Figura 2 - Plotter funzione seno e coseno .....	10
Figura 3 - Volante Logitech .....	11
Figura 4 - Accelerometro e Giroscopio.....	12
Figura 5 - Sistema di riferimento e posizionamento dell'accelerometro e giroscopio .....	14
Figura 6 - Sistema di acquisizione finale .....	17
Figura 7 - Taxi driver.....	18
Figura 8 – Schermata principale CoolTerm.....	20
Figura 9 - Prima prova acquisizione da fermo .....	21
Figura 10 - Seconda prova acquisizione da fermo .....	22
Figura 11 - Terza prova acquisizione da fermo .....	22
Figura 12 - Prima acquisizione con brusche rotazioni verso destra .....	24
Figura 13 - Seconda acquisizione con brusche rotazioni verso destra .....	25
Figura 14 - Prima acquisizione con brusche rotazioni verso sinistra .....	25
Figura 15 - Seconda acquisizione con brusche rotazioni verso sinistra .....	26
Figura 16 - Ampiezze delle acquisizioni con brusche variazioni .....	27
Figura 17 - Prova Soggetto 1 grafico del segnale dell'accelerometro .....	28
Figura 18 - Prova Soggetto 1 grafico del segnale del giroscopio.....	29
Figura 19 - Prova Soggetto 2 grafico del segnale dell'accelerometro .....	29
Figura 20 - Prova Soggetto 2 grafico del segnale del giroscopio.....	30
Figura 21 - Prova Soggetto 3 grafico del segnale dell'accelerometro .....	30
Figura 22 - Prova Soggetto 3 grafico del segnale del giroscopio.....	31
Figura 23 - Prova Soggetto 4 grafico del segnale dell'accelerometro .....	31
Figura 24 - Prova Soggetto 4 grafico del segnale del giroscopio.....	32
Figura 25 - Grafico $a$ e $g_Z$ normalizzati prova Soggetto 1.....	34
Figura 26 - Grafico correlazione incrociata $ae$ $g_Z$ prova Soggetto 1 .....	34
Figura 27 - Grafico $a_Z$ e $g$ normalizzati prova Soggetto 1 .....	35
Figura 28 - Grafico correlazione incrociata $a_Z$ e $g$ prova Soggetto 1 .....	35
Figura 29 - Grafico $ a $ e $g_Z$ normalizzati prova Soggetto 2.....	36
Figura 30 - Grafico correlazioni incrociata $ a $ e $g_Z$ prova Soggetto 2 .....	36
Figura 31 – Grafico $a_Z$ e $ g $ normalizzati prova Soggetto 2.....	37
Figura 32 - Grafico correlazione incrociata $a_Z$ e $ g $ prova Soggetto 2 .....	37
Figura 33 - Grafico $ a $ e $g_Z$ normalizzati prova Soggetto 3.....	38
Figura 34 - Grafico correlazione incrociata $ a $ e $g_Z$ prova Soggetto 3 .....	38
Figura 35 - Grafico $a_Z$ e $ g $ normalizzati prova Soggetto 3.....	39
Figura 36 - Grafico correlazione incrociata $a_Z$ e $ g $ prova Soggetto 3 .....	39
Figura 37 - Grafico $ a $ e $g_Z$ normalizzati prova Soggetto 4.....	40
Figura 38 - Grafico correlazione incrociata $ a $ e $g_Z$ Soggetto 4.....	40
Figura 39 - Grafico $a_Z$ e $ g $ normalizzati prova Soggetto 4.....	41
Figura 40 - Grafico correlazione incrociata $a_Z$ e $ g $ prova Soggetto 4 .....	41

# Indice tabelle

Tabella 1 - Rappresentazione Value .....	15
Tabella 2 - Valore medio e deviazione standard accelerazioni .....	23

# Introduzione

Dagli anni 70 l'automobile è diventato uno dei mezzi di trasporto maggiormente utilizzati per gli spostamenti; spesso però non si tiene conto dei rischi a cui si è sottoposti durante la guida.

Da analisi ISTAT nel 2023 sono stati 3.039 i morti in incidenti stradali in Italia (-3,8% rispetto all'anno precedente), 224.634 i feriti (+0,5%) e 166.525 gli incidenti stradali (+0,4%). I valori sono in lieve aumento rispetto al 2022 per incidenti e feriti, ma in diminuzione per le vittime.

Tra i comportamenti errati alla guida si conferma come più frequente la distrazione, che costituisce complessivamente il 15,1% dei casi [1]. Le statistiche indicano genericamente la distrazione come causa principale degli incidenti senza contare che, nella maggior parte dei casi, essa è frutto della stanchezza e della sonnolenza del guidatore. Infatti, la sonnolenza è ancora sottostimata come fattore determinante di rischio e messa in ombra da altre cause come velocità elevata, inadeguata distanza di sicurezza e mancato rispetto dei segnali.

Dormire meno di 5 ore per notte aumenta di 4,5 volte la probabilità di avere un incidente stradale, in effetti l'eccessiva sonnolenza può essere causa o concausa di un quinto degli incidenti stradali soprattutto in autostrada, luogo in cui si percorrono tratte più lunghe. Stare svegli per 24 ore induce errori alla guida simili a quelli commessi da chi ha livelli di alcool nel sangue uguali o superiori a 1,00 g/l.

La maggior parte di questi incidenti sono perlopiù mortali a causa della completa inazione da parte del conducente [2].

Per questi motivi l'obiettivo della presente tesi è quello di aumentare la sicurezza del guidatore attraverso sensori che misurino vari parametri come: l'accelerazione con la quale si sterza, la forza impressa e la resistenza galvanica. Da questi fattori si è in grado di ottenere un quadro generale sullo stato psicofisico del conducente, e nel caso in cui quest'ultimo risultasse alterato si potrebbe generare un segnale acustico per avvertirlo del rischio a cui andrebbe incontro se continuasse a guidare.

I sensori precedentemente citati sono stati posizionati sulla corona del volante, ad ore 3 e 9 quelli riguardanti la forza e nel piantone l'accelerometro. Quest'ultimo è stato connesso ad una scheda Arduino da cui, attraverso un codice opportunamente sviluppato, è stato possibile ottenere, attraverso delle simulazioni, dei dati riguardanti accelerazione e velocità angolare. Infine, questi ultimi sono stati elaborati in MATLAB in modo tale da ottenere dei grafici e visualizzare se ci sia correlazione tra accelerazioni e velocità angolare.

# Capitolo 1

## Arduino

Arduino è una scheda programmabile con microcontrollore costituita da una parte software di facile utilizzo, detta IDE (Integrated Development Environment), che è l'ambiente di lavoro virtuale dove verrà scritto il codice in linguaggio C.

La scheda è in grado di leggere segnali di input come quelli generati dalla luce su un sensore o da un dito premuto su un pulsante e trasformarli in comandi di output, ad esempio, per accendere un motore o attivare un led.

Il microcontrollore viene programmato tramite un'interfaccia USB che permette di collegare la scheda al nostro computer, come mostrato in figura 1.

L'Arduino è costituito da 13 pin digitali e 6 pin analogici su cui si andranno a collegare diversi elementi così da ottenere le funzioni desiderate [3].

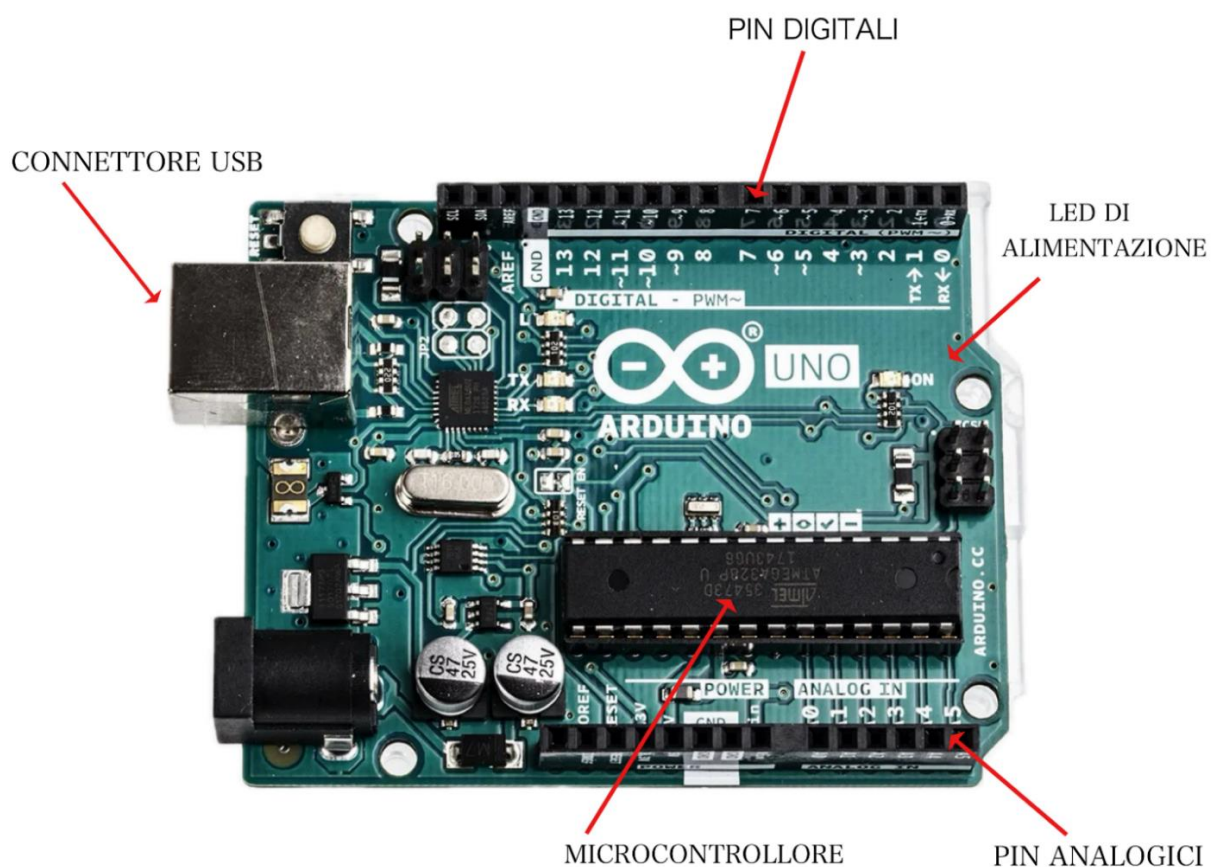


Figura 1 - Arduino

# 1.1 Attività preliminari

## 1.1.1 Serial plotter

Dopo Aver preso confidenza con il sistema tramite la funzione Blink si passa al plot di dati tramite interfaccia seriale.

Il serial plotter è la finestra con cui si può rappresentare in tempo reale l'output prendendo i valori seriali tramite USB e rappresentandoli sugli assi  $x$  e  $y$ .

L'asse  $y$  si regola automaticamente quando l'output aumenta o diminuisce.

L'asse  $x$  equivale ad ogni println seriale eseguito.

Il serial plotter è molto utile poiché mostra il cambiamento dei dati in tempo reale al variare, ad esempio, della tensione, della luminosità oppure, come nel nostro caso, dell'accelerazione e della forza espressa in multipli di  $g$ .

Esso va a sostituire il serial monitor che è più complesso poiché visualizza i dati ricevuti sulla porta seriale e permette di inviare stringhe (comandi o dati) dal computer all'Arduino, inoltre può visualizzare anche valori numerici per seguire l'evoluzione di un parametro.

Per fare pratica è stato eseguito l'esempio della funzione seno e coseno.

Una volta ottenuto il codice è stato visualizzato l'andamento dei dati ottenuti come si può evincere dalla figura 2.

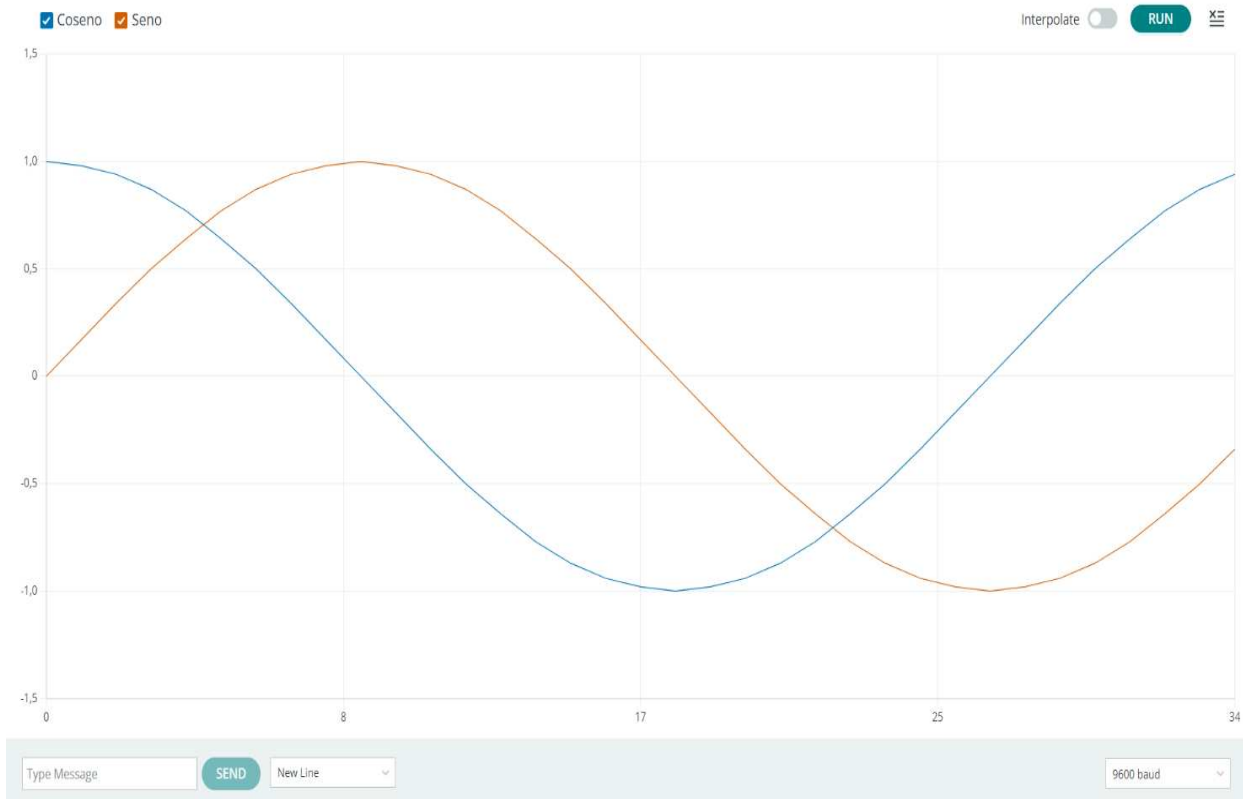


Figura 2 - Plotter funzione seno e coseno

Come si può notare la linea blu indica il coseno, mentre la linea rossa il seno. Inoltre, si vede che il coseno parte da uno mentre il seno da zero ciò significa che la funzione inizia da zero gradi andando ad aumentare man mano.

## 1.1.2 Funzione Analog In Out Serial

La seguente funzione permette collegando due fili, uno che parte da A0 e va a 0V e l'altro da A1 a 5V, di visualizzare le tensioni.

Aperto il serial plotter si può notare però che i valori sono rispettivamente 0 e 1023, perché Arduino non lavora utilizzando i valori delle tensioni analogiche ma bensì valori digitali, a intervalli divisi in modo discreto e quantizzato.

Discreto significa che i segnali prendono valori senza avere continuità, mentre quantizzato che approssima il valore all'intervallo più vicino.

L'obiettivo di questo esercizio, quindi, era quello di visualizzare nel plotter la misura in Volt e non più in funzione degli intervalli di quantizzazione.

## Capitolo 2

# Sistema acquisizione dati

## 2.1 Volante Logitech

Per vedere quale fosse la posizione migliore per i sensori è stato utilizzato un componente di un simulatore di guida, più precisamente un volante Logitech G29 [4] mostrato in figura 3.

È stato scelto questo dispositivo rispetto ad altri per le sue caratteristiche, ovvero:

- Il suo diametro è di 28 cm, perciò simile a quello di un volante automobilistico.
- La presenza del feedback di forza a due motori, grazie ad esso si possono sentire i trasferimenti di massa e la frenata, quindi, simula realisticamente gli effetti della forza per una risposta più precisa.
- Dotato di cuscinetti a sfera sul piantone che permettono di fornire un'esperienza di guida durevole e confortevole.
- È costituito da un ingranaggio elicoidale, che troviamo anche nelle trasmissioni automobilistiche, per ridurre il rumore e le vibrazioni indesiderate così da rendere la guida liscia e fluida.



Figura 3 - Volante Logitech

## 2.2 Accelerometro e giroscopio

Per raccogliere i dati di accelerazione e forza (espressa in multipli di g) applicati sul volante è stato utilizzato un sensore accelerometro e giroscopio Grove a sei assi [5], mostrato in figura 4.

Il sensore è costituito da un accelerometro digitale a 3 assi e un giroscopio anch'esso a 3 assi, integrati insieme.

Il giroscopio integrato nel dispositivo è molto versatile grazie ai campi di misura supportati di 125, 245, 500, 1000, 2000 gradi al secondo per le velocità angolari.

Ha una tensione di alimentazione di 5V/3.3V.

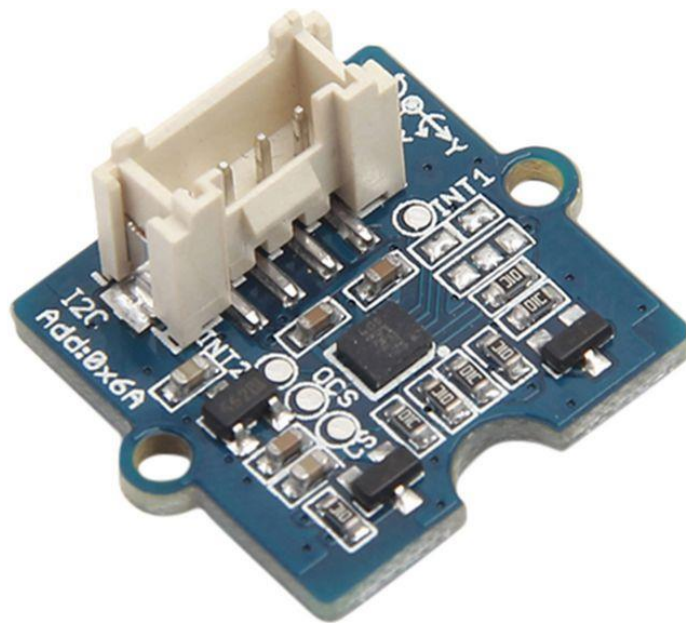


Figura 4 - Accelerometro e Giroscopio

## 2.3 Montaggio accelerometro e giroscopio sul volante

Il primo passo per il montaggio dell'accelerometro e giroscopio sul volante è stato quello di scegliere la posizione migliore; infatti, si è cercata una posizione che consentisse di mantenere il dispositivo in piano e l'unica che rispecchiava questa idea era collocata nella parte posteriore delle razze del volante, scegliendo infine quella centrale.

Scelta la posizione si è cercato di capire come collocare gli assi di riferimento, si è optato per il posizionamento dell'asse  $y$  verso l'alto, l'asse  $z$  entrante nel piantone del volante e l'asse  $x$  verso destra come si può evincere dalla figura 5.

L'installazione è avvenuta con del semplice biadesivo.

Definito ciò si è posto un altro problema, ovvero la lunghezza dei cavi di collegamento del dispositivo alla scheda Arduino, in quanto quelli utilizzati in precedenza risultavano troppo corti durante le simulazioni e soprattutto durante la calibrazione operata inizialmente dal volante in automatico.

Quest'ultima fase avviene all'accensione del volante, operando la calibrazione dell'encoder incrementale rotativo di posizione e ha come obiettivo quello di renderlo il più accurato possibile e di migliorarne la precisione.

Tale processo consiste nel far eseguire al volante, in maniera automatica, tre giri su stesso da destra verso sinistra e viceversa con la possibilità, però, di portare dietro con sé i cavi o peggio di farli incastrare nel piantone dello sterzo.

Per questo motivo si sono scelti dei cavi di lunghezza maggiore, sia quelli che da Arduino vanno all'accelerometro e giroscopio, sia il cavo USB.



*Figura 5 - Sistema di riferimento e posizionamento dell'accelerometro e giroscopio*

## 2.4 Codice Arduino

Per acquisire e visualizzare i dati forniti dall'accelerometro e giroscopio è stato creato un codice Arduino partendo da uno già esistente.

Infatti, inizialmente, sono state scaricate varie librerie del sensore cercando quella che faceva al caso di interesse, ovvero la Seed Arduino LSM6DS3.

Tra gli esempi forniti in questa libreria è stato scelto l'IMU (Inertial Measurement Unit) capture, verificato e caricato il codice, è stato aperto il plotter e si è visto cosa rappresentavano i vari valori acquisiti (value), disattivando inizialmente gli ultimi tre value sul plotter e vedendo come esso variava muovendo l'accelerometro e giroscopio su un'asse indicato dal sensore, in questo modo si è supposto che i primi tre rappresentassero le accelerazioni.

Stesso procedimento è stato svolto disattivando le presunte accelerazioni dimostrando così che gli ultimi tre valori acquisiti erano le componenti del giroscopio e confermando che i primi tre erano le accelerazioni, ottenendo:

Rappresentazione Value

Value 1	Value 2	Value 3	Value 4	Value 5	Value 6
Accelerazione	Accelerazione	Accelerazione	Giroscopio	Giroscopio	Giroscopio
X	Y	Z	X	Y	Z

Definite le componenti di accelerazione e velocità angolare acquisite dal giroscopio è stato creato inizialmente un codice solo con le accelerazioni così da poter visualizzare solo queste e la medesima cosa è stata fatta con i dati del giroscopio.

Unendo questi due abbiamo ottenuto un codice unico che ha permesso di studiare le caratteristiche desiderate.

```
float aX, aY, aZ, gX, gY, gZ;
```

```
float time;
```

```
void setup() {
```

```
  Serial.println("aX,aY,aZ,gX,gY,gZ");
```

Sono state moltiplicate le accelerazioni lungo  $x$ ,  $y$ ,  $z$  per l'accelerazione di gravità perché Arduino da un valore assoluto compreso tra 0 e 1, dove 1 corrisponde a  $9,8 \text{ (m/s}^2\text{)}$  ovvero  $1g$ , e con questa operazione è stato possibile visualizzare i grafici in maniera più nitida.

```

void loop() {
// wait for significant motion
// read the acceleration data
aX = myIMU.readFloatAccelX();
aX=aX*9,8;
aY = myIMU.readFloatAccelY();
aY=aY*9,8;
aZ = myIMU.readFloatAccelZ();
aZ=aZ*9,8;

```

Inoltre, è stato aggiunto un marcatore temporale così da poter confrontare i dati relativi all'accelerometro e giroscopio con quelli relativi ai sensori di forza.

```

time=millis();

// print the data in CSV format
Serial.print(time);
Serial.print(',');
Serial.print(aX);
Serial.print(',');
Serial.print(aY);
Serial.print(',');
Serial.print(aZ);
Serial.print(',');
Serial.print(myIMU.readFloatGyroX(), 3);
Serial.print(',');
Serial.print(myIMU.readFloatGyroY(), 3);
Serial.print(',');
Serial.print(myIMU.readFloatGyroZ(), 3);
Serial.println();
delay(100);

```

Il sistema di acquisizione completo si può visualizzare nella figura 6.



*Figura 6 - Sistema di acquisizione finale*

## 2.5 Taxi driver

Le simulazioni sono state eseguite tramite un simulatore denominato taxi driver, del quale si mostra in figura 7 un esempio di interfaccia grafica.

Il software permette di simulare il lavoro di un tassista nella città di Barcellona.

È stato scelto rispetto ad altri, come truck simulator o assetto corsa, principalmente per l'ambiente di guida di tipo cittadino.

Infatti, la scelta di questo tipo di percorso permette di analizzare la stanchezza e lo stress dei guidatori, sullo stesso percorso, dovuti al traffico, ai semafori, ai pedoni e alla lunghezza del tragitto.

Inoltre, il simulatore fornisce dei riscontri aptici, quando si prende un dosso o si verifica un incidente, che si ripercuotono nel volante generando variazioni di accelerazione.

Quindi possiamo dire che per questo studio è stato di fondamentale importanza poiché, nei limiti, si avvicina molto alla realtà.



*Figura 7 - Taxi driver*

## Capitolo 3

# Raccolta dati

## 3.1 CoolTerm

Per la raccolta dati di accelerazione e velocità angolare è stato utilizzato il programma CoolTerm [6]. Per chi opera in Arduino l'utilizzo del Serial Monitor è fondamentale per la lettura dei dati scambiati serialmente tra Arduino ed il computer con altri dispositivi elettronici.

Tuttavia, il Serial Monitor presenta dei limiti come, ad esempio, l'impossibilità di salvataggio di dati inviati ad un file di log.

Perciò è stato utilizzato un ulteriore software, ovvero CoolTerm, che offre maggiori funzionalità.

Una volta collegato l'Arduino al computer si apre il programma e selezionando "options" si sceglie la velocità di connessione che deve essere pari a quella di Arduino, in caso contrario si avrà una scorretta lettura dei dati.

Fatto ciò, si torna alla schermata principale, visibile in figura 8, e si attiva la funzione connect che permetterà la trasmissione dei dati tra Arduino e il computer.

Per finire l'acquisizione basta premere la funzione disconnect e salvare i dati.

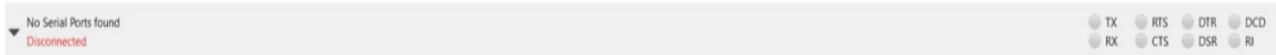
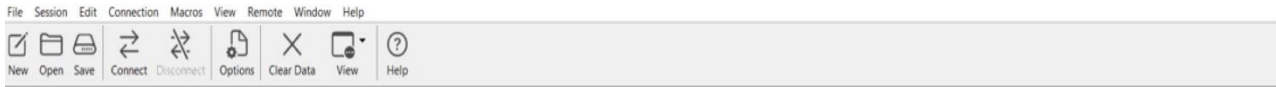


Figura 8 – Schermata principale CoolTerm

## 3.2 Acquisizione a volante fermo

La prima acquisizione eseguita è quella a volante fermo in cui si sono misurate le accelerazioni in tre prove.

Una volta avviato l'Arduino, è stato aperto Coolterm iniziando così a raccogliere i dati, successivamente è stato avviato MATLAB e caricando le acquisizioni è stato possibile ottenere i seguenti grafici.

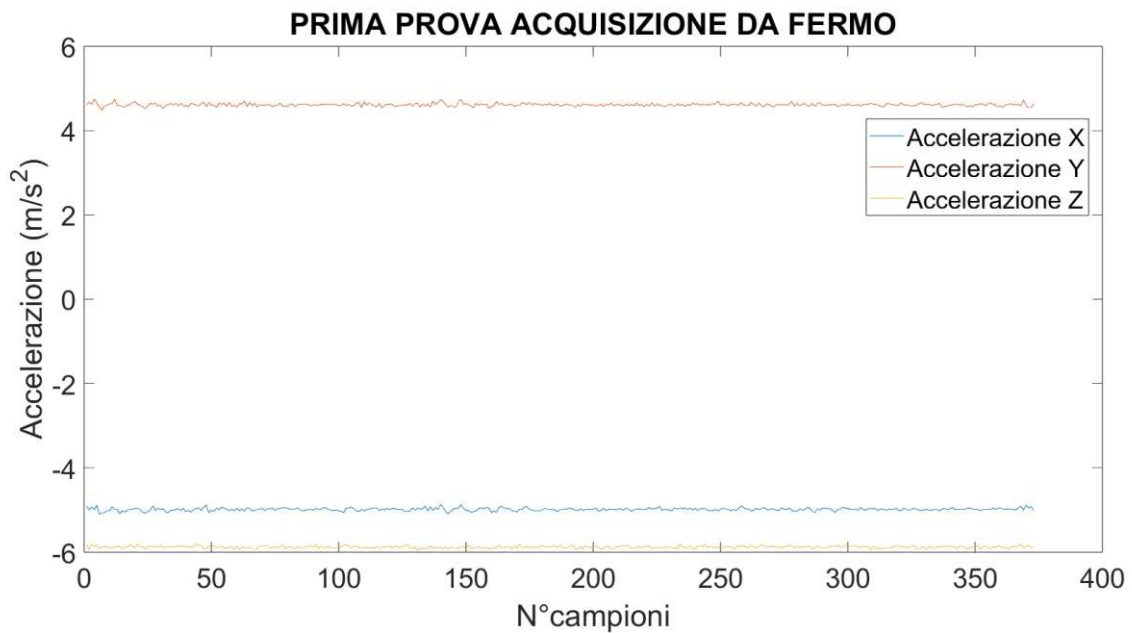


Figura 9 - Prima prova acquisizione da fermo

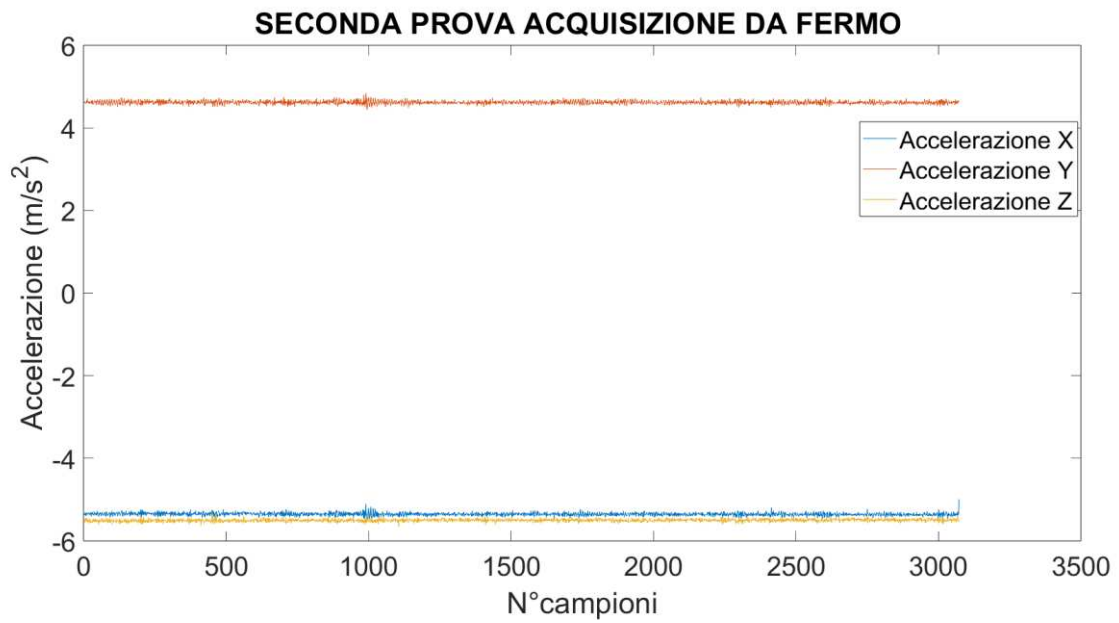


Figura 10 - Seconda prova acquisizione da fermo

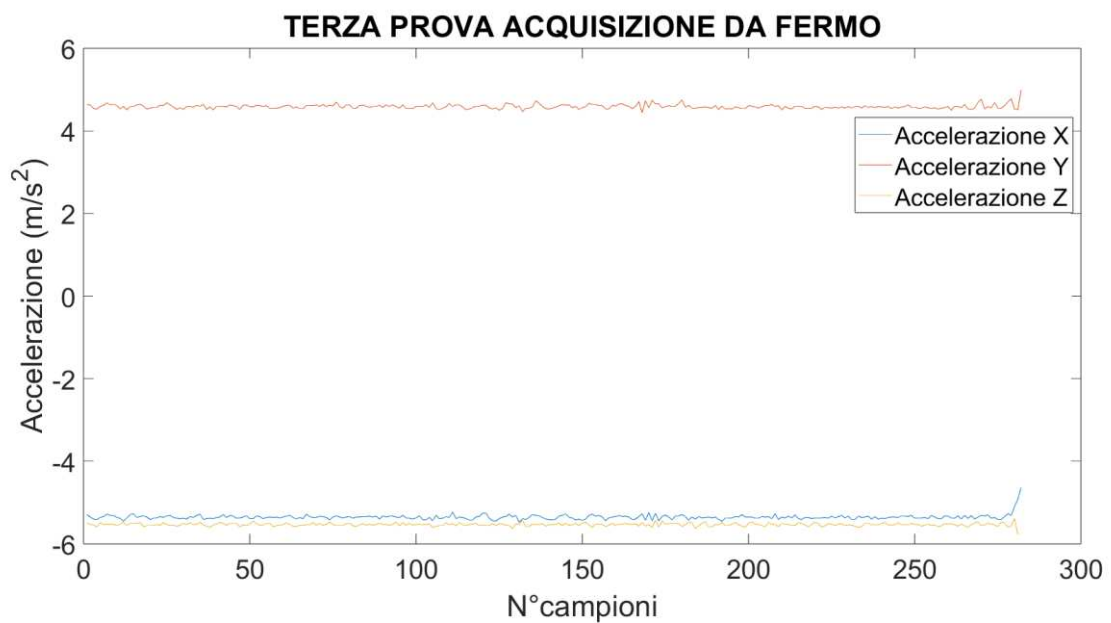


Figura 11 - Terza prova acquisizione da fermo

Per capire se si sta procedendo in maniera corretta si devono calcolare sia il valore medio che la deviazione standard delle tre prove e si presuppone che i risultati siano molto simili.

La media è la somma dei valori numerici divisa per il numero di essi e si esprime come:

$$\bar{a}_x = \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^n a_{xi}) \quad \text{con } i = 1 \dots N$$

La deviazione standard è un indicatore che permette di comprendere quanto i dati di un insieme siano distribuiti intorno alla media ed è fornita dalla seguente relazione, scritta nel caso dei valori di accelerazione lungo l'asse  $x$ :

$$\sigma_{ax} = \sqrt{\frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N (a_{xi} - \bar{a}_x)^2)} \quad \text{con } i = 1 \dots N$$

Nella tabella si trovano i valori ottenuti applicando le definizioni date ai valori acquisiti nelle tre prove.

Tabella 2 - Valore medio e deviazione standard

accelerazioni

	1 <sup>a</sup> prova			2 <sup>a</sup> prova			3 <sup>a</sup> prova		
	$a_x$	$a_y$	$a_z$	$a_x$	$a_y$	$a_z$	$a_x$	$a_y$	$a_z$
$\bar{a}$	-4,98	4,61	-5,88	-5,35	4,62	-5,50	-5,35	4,59	-5,53
$\sigma$	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,04

Come si può notare, nelle accelerazioni medie si hanno differenze al massimo di tre decimi mentre nelle deviazioni standard di massimo due centesimi.

Si può affermare che l'accelerometro stia misurando in maniera corretta, dato che non abbiamo grandi differenze nelle tre prove seguite in condizioni ripetute; quindi, è stato possibile andare avanti con lo studio.

### 3.3 Acquisizione con brusche rotazioni di volante

Una volta eseguite le acquisizioni a volante fermo si è scelto di effettuare dei bruschi movimenti verso destra e sinistra sul volante; in modo tale da vedere come rispondono l'accelerometro e giroscopio.

In questa fase sono state effettuate due prove per ogni variazione da cui si sono ottenuti i seguenti grafici.

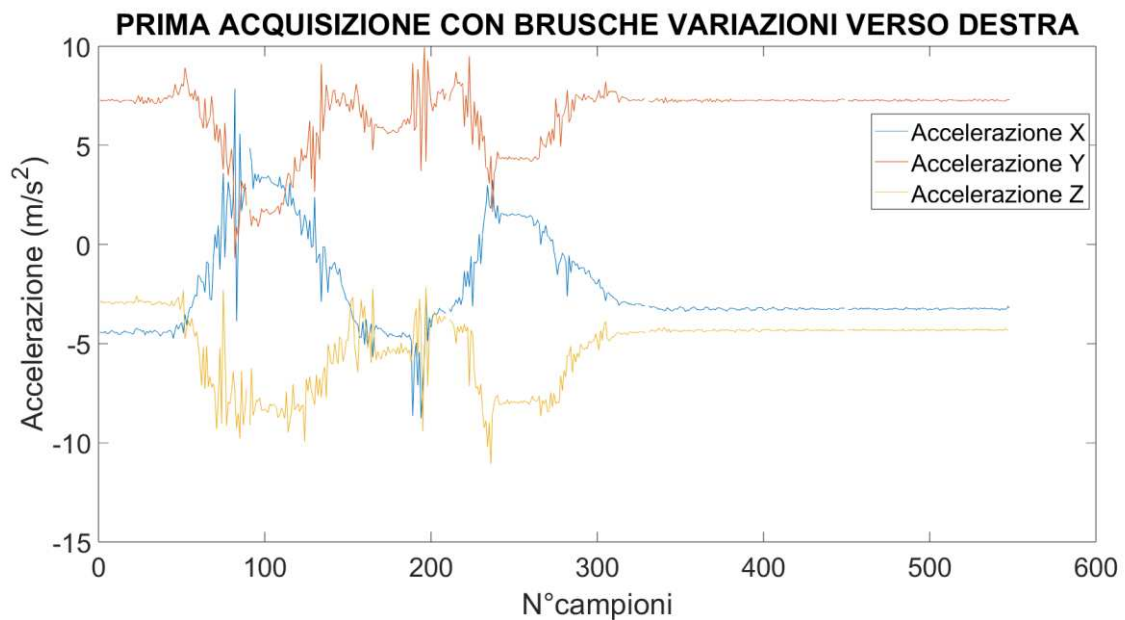


Figura 12 - Prima acquisizione con brusche rotazioni verso destra

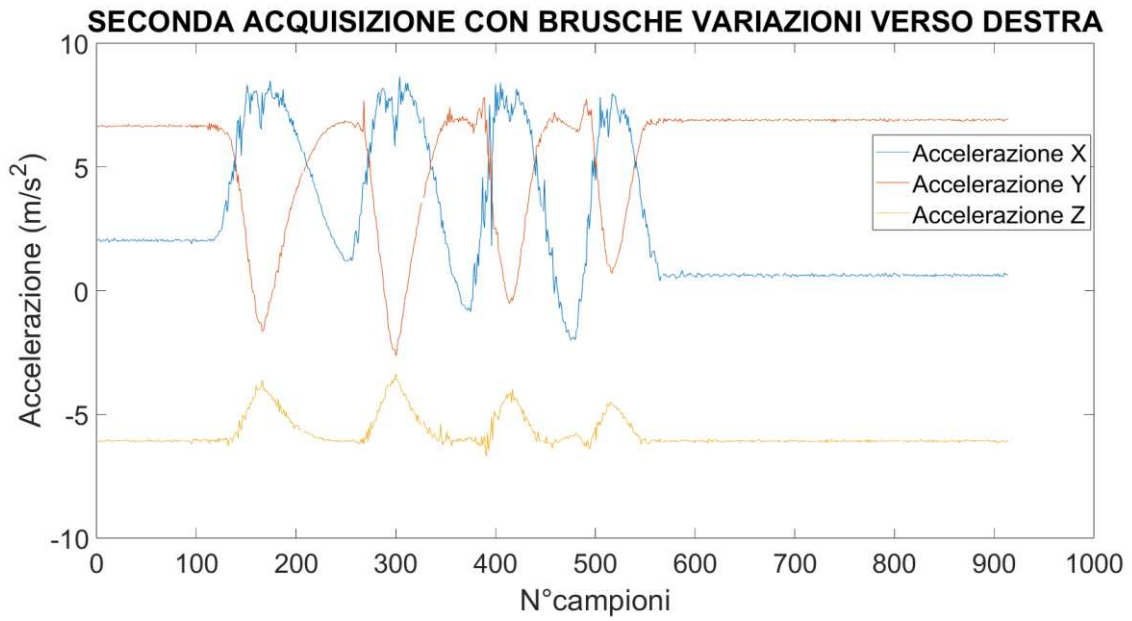


Figura 13 - Seconda acquisizione con brusche rotazioni verso destra

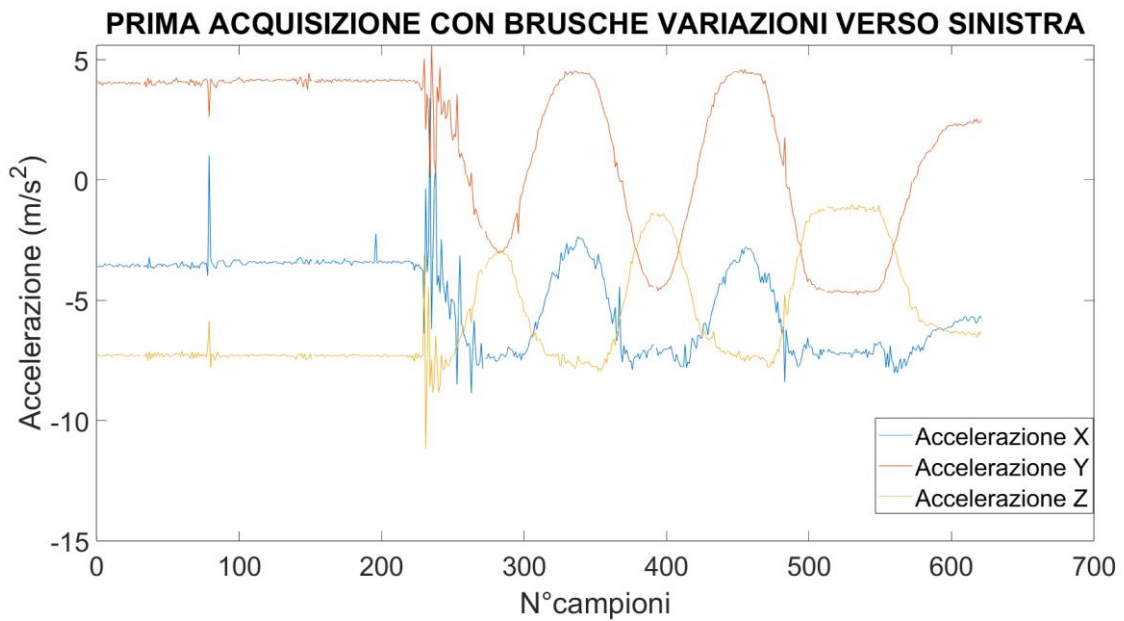


Figura 14 - Prima acquisizione con brusche rotazioni verso sinistra

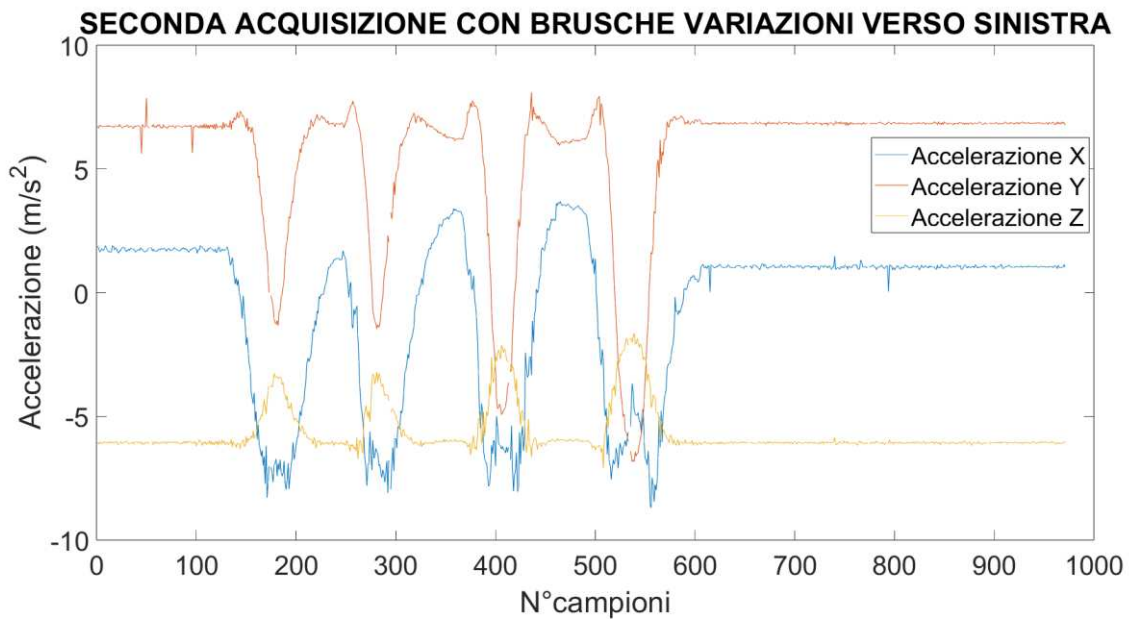


Figura 15 - Seconda acquisizione con brusche rotazioni verso sinistra

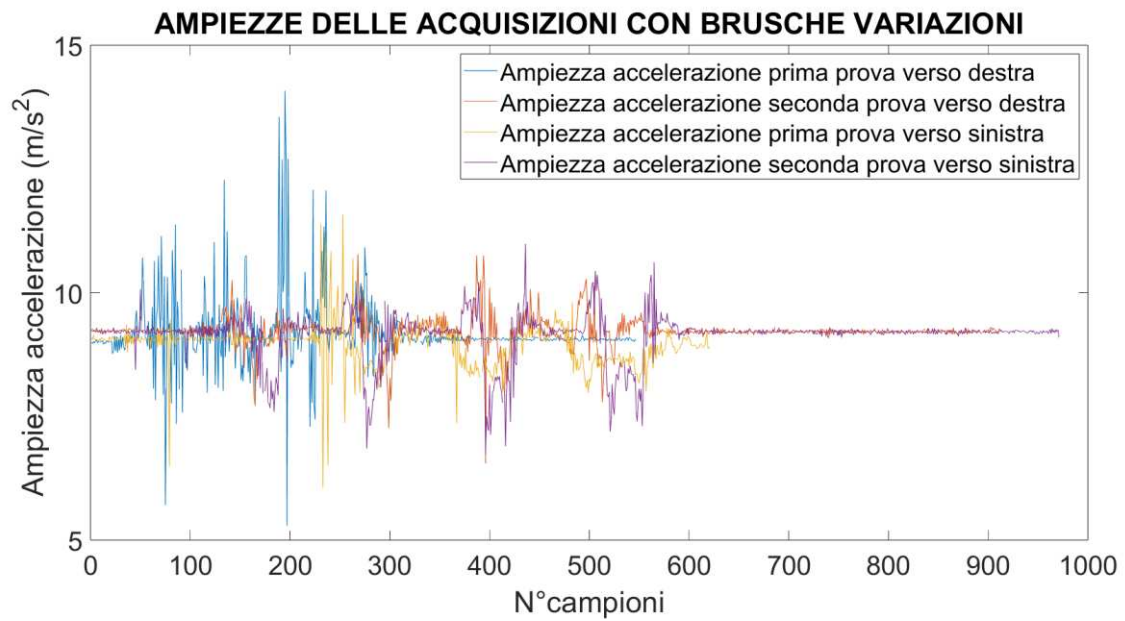
Come si può notare dai grafici ci sono dei picchi nei segnali acquisiti che stanno ad indicare un movimento verso destra/sinistra del volante.

Successivamente è stata calcolata l'ampiezza complessiva dell'accelerazione che indica quanto sia stata forte l'accelerazione stessa.

L'ampiezza o modulo di un vettore è la radice quadrata della somma dei quadrati delle sue componenti ed è esprimibile dalla seguente relazione:

$$|\bar{a}_i| = \sqrt{a_{xi}^2 + a_{yi}^2 + a_{zi}^2} \quad \text{con} \quad i = 1 \dots N$$

Una volta calcolato tale valore sono stati graficati i risultati ottenuti.



*Figura 16 - Ampiezze delle acquisizioni con brusche variazioni*

Anche in questo caso i picchi stanno ad indicare brusche rotazioni e tanto più alto è il picco tanto più grande sarà l'accelerazione impressa.

Alla fine, ovvero dal campione n° 600 al campione n° 1000, si nota un andamento costante e pressoché rettilineo per tutti i segnali, che sta ad indicare il fatto che il volante è fermo.

## 3.4 Acquisizione con simulazione di guida

Per raccogliere il maggior numero di dati possibili sono state effettuate varie simulazioni da quattro guidatori di cui 3 soggetti maschi (M) e 1 femmina (F) di età media di 28 anni e deviazione standard di questi soggetti pari a 4,33.

Inoltre, il percorso è stato il medesimo per ognuno di loro così da poter confrontare i risultati ottenuti. Riportiamo qui sotto alcune parti di grafici riguardanti le prove eseguite.

Prova Soggetto 1:

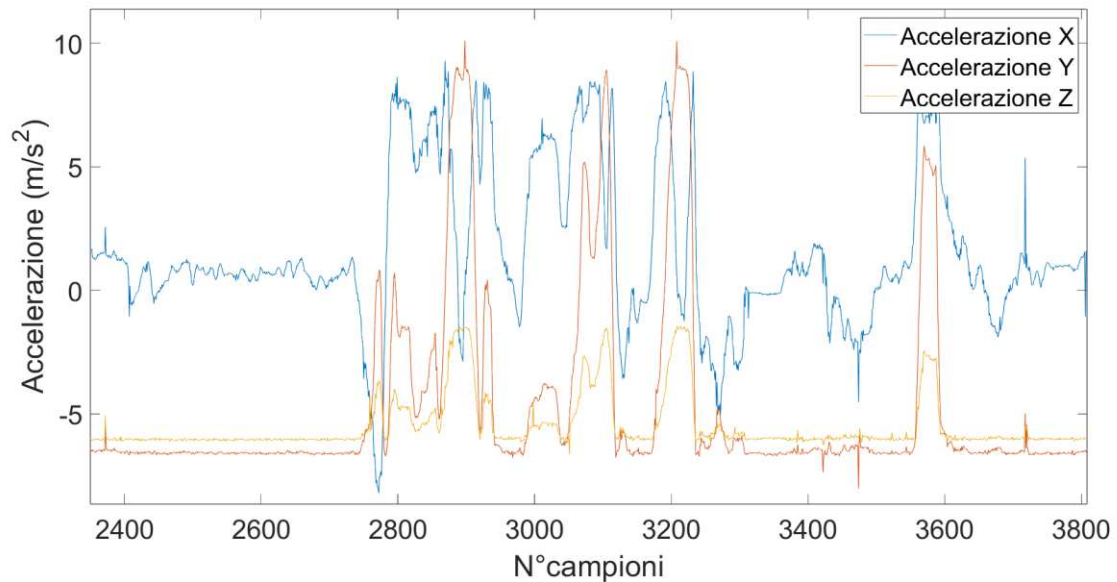


Figura 17 - Prova Soggetto 1 grafico del segnale dell'accelerometro

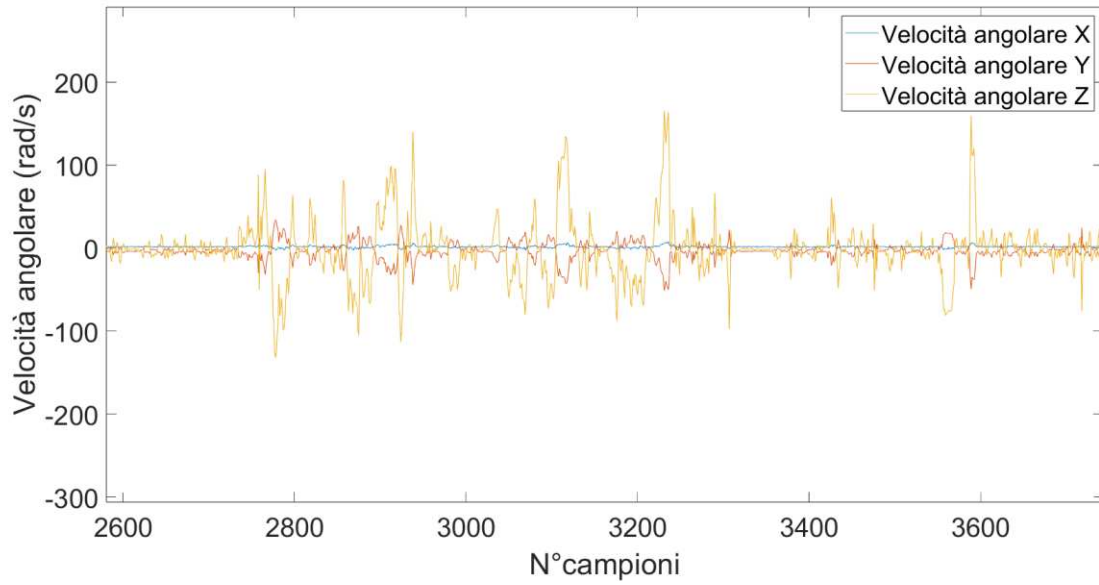


Figura 18 - Prova Soggetto 1 grafico del segnale del giroscopio

Prova Soggetto 2:

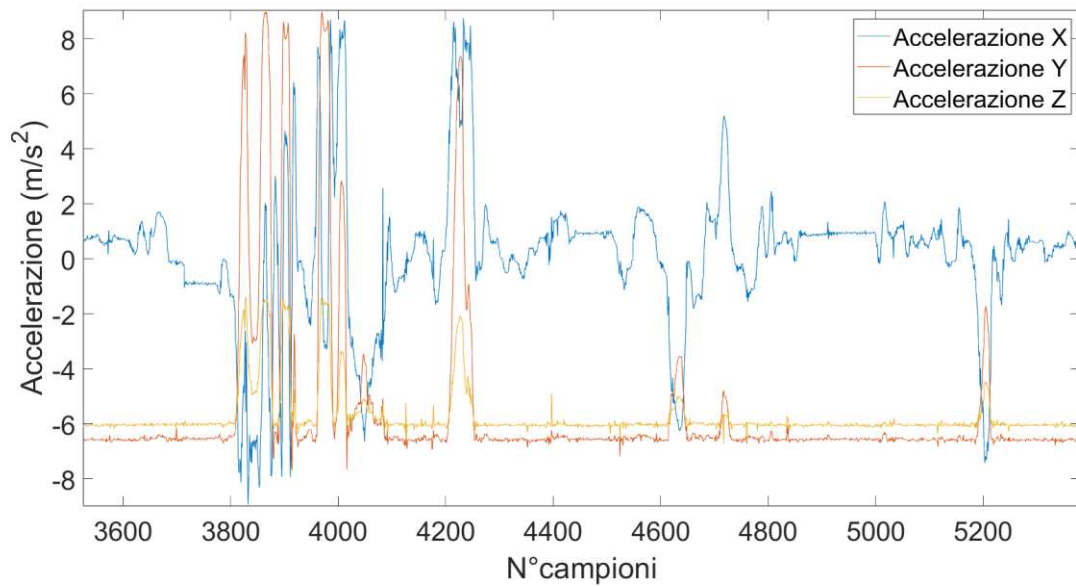


Figura 19 - Prova Soggetto 2 grafico del segnale dell'accelerometro

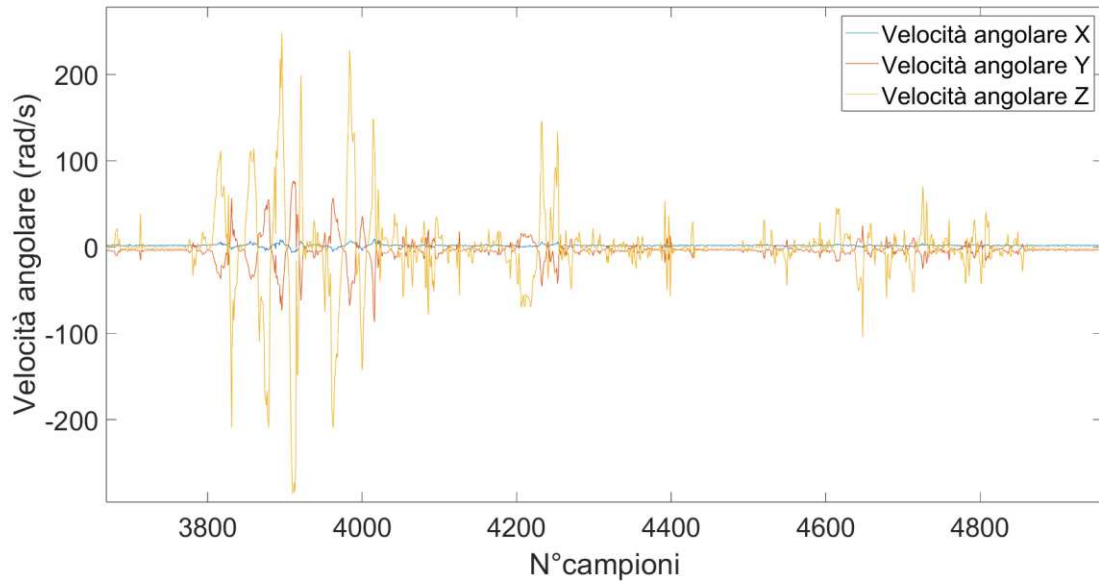


Figura 20 - Prova Soggetto 2 grafico del segnale del giroscopio

Prova Soggetto 3:

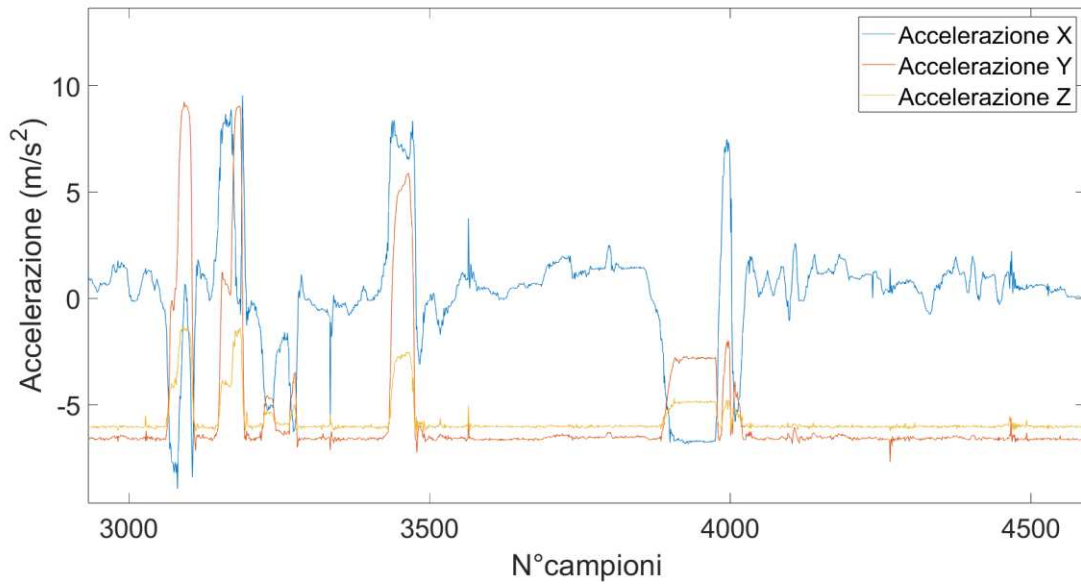


Figura 21 - Prova Soggetto 3 grafico del segnale dell'accelerometro

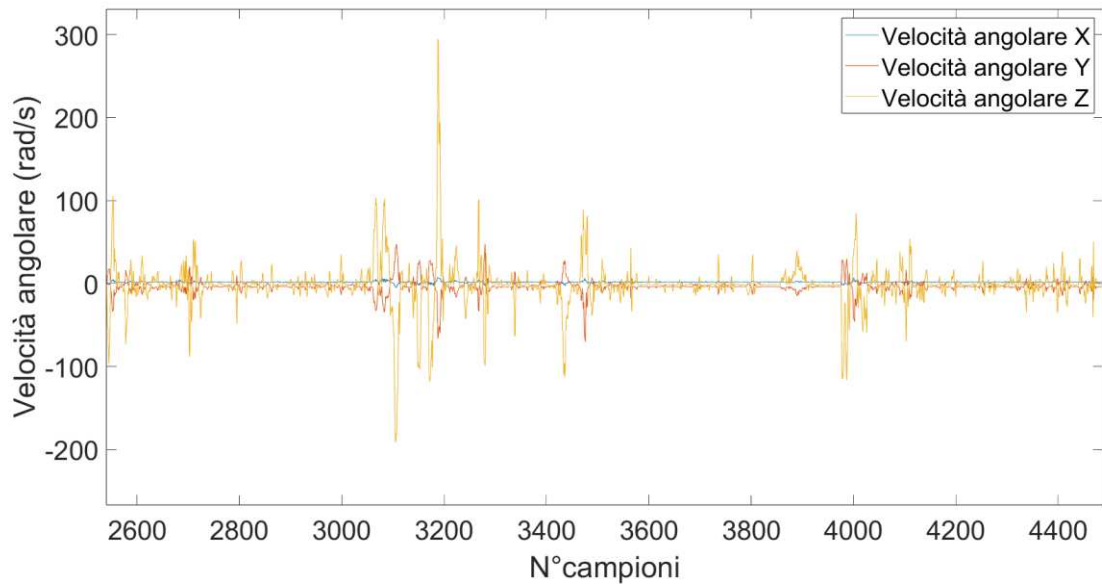


Figura 22 - Prova Soggetto 3 grafico del segnale del giroscopio

Prova Soggetto 4:

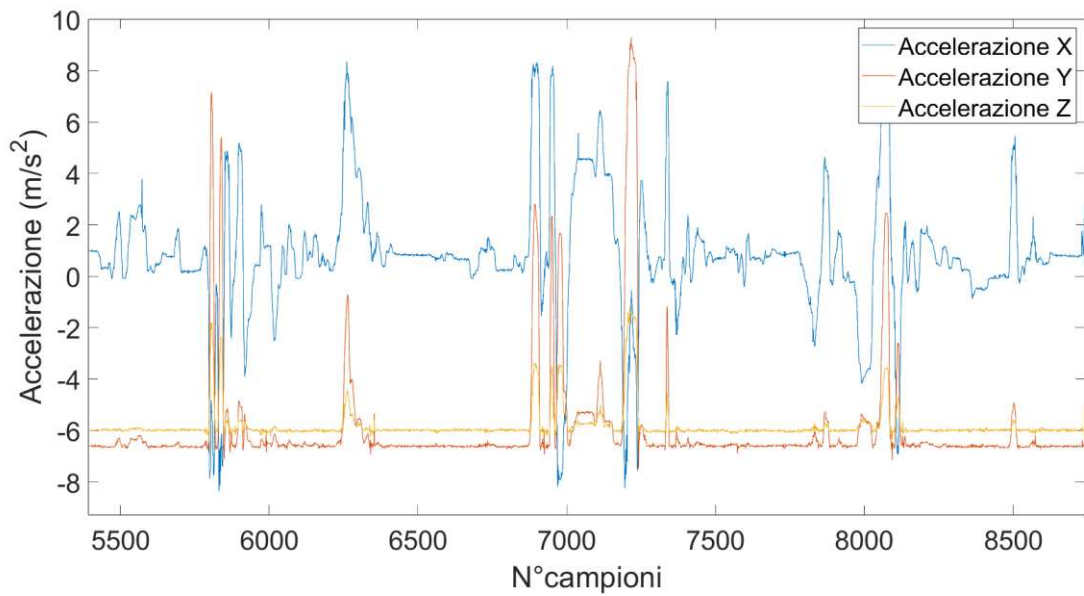
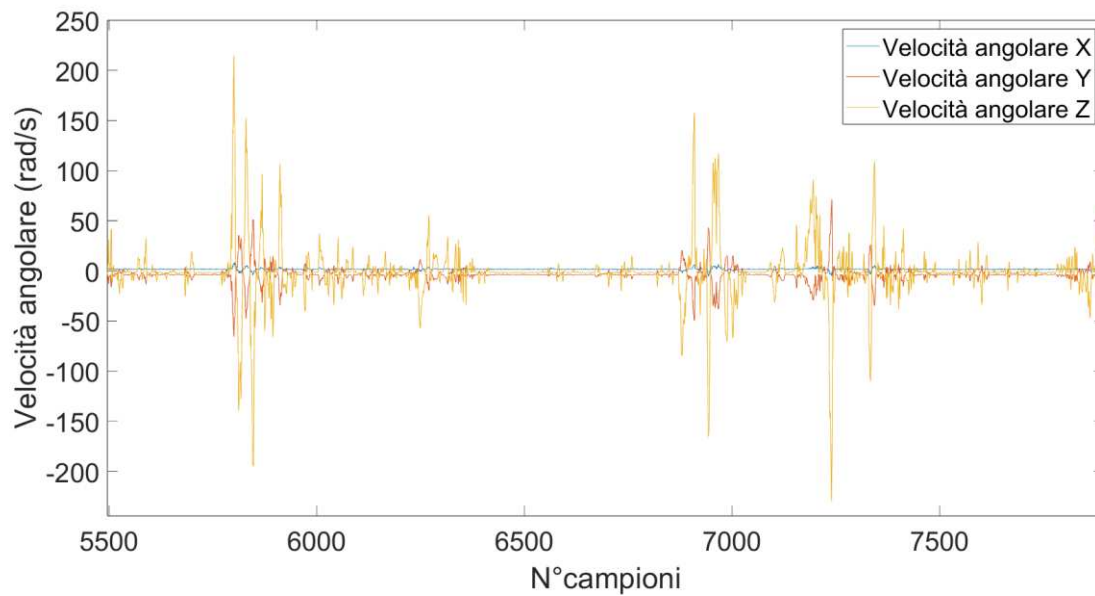


Figura 23 - Prova Soggetto 4 grafico del segnale dell'accelerometro



*Figura 24 - Prova Soggetto 4 grafico del segnale del giroscopio*

Come si può notare si sono prese delle parti di grafico a partire da quello completo.

I picchi che si possono notare possono essere dovuti ad una vibrazione o ad un brusco movimento del volante che può essere avvenuto a causa di incidenti sia con altre auto che elementi posti nell'ambiente circostante (es. cordoli o marciapiedi).

## Capitolo 4

# Elaborazione dei risultati

## 4.1 MATLAB

Per visualizzare le acquisizioni ottenute dalle simulazioni di guida è stato utilizzato MATLAB.

Esso è una piattaforma di programmazione e di calcolo numerico per l'analisi di dati, lo sviluppo di algoritmi e la creazione dei modelli [7].

Il trasferimento dei dati da Arduino a MATLAB avviene tramite CoolTerm, un software per la comunicazione con dispositivi seriali tramite USB o Bluetooth; utile per lo scambio di dati con hardware collegati alla porta seriale.

Fatto ciò, non resta che aprire MATLAB e caricare il file per importare i dati, così da poter eseguire le operazioni desiderate.

## 4.2 Comparazione dei dati ottenuti dalle acquisizioni

Dalle acquisizioni fatte sono state ottenute tre accelerazioni e tre velocità angolari lungo i tre assi  $x, y, z$ .

Lo scopo del seguente studio è quello di vedere se c'è un nesso tra  $a_x, a_y$  e  $g_z$  e i segnali  $a_z, g_x$  e  $g_y$ , questo è stato possibile andando a calcolare il modulo delle accelerazioni e delle velocità angolari lungo  $x$  e  $y$ .

Successivamente è stato trovato il massimo assoluto tra  $|a|, |g|, a_z$  e  $g_z$ .

In seguito, sono stati normalizzati i segnali; la normalizzazione è il rapporto tra tutti i valori del segnale e il valore massimo di essi ottenendo un insieme di valori entro un intervallo predefinito, ovvero tra -1 e 1. Successivamente, è stata applicata la funzione `xcorr`, ossia la correlazione incrociata che consiste nel vedere se c'è somiglianza tra due vettori dati dai segnali registrati e normalizzati.

Nella successiva pagina troviamo alcuni grafici riguardanti i passaggi detti in precedenza.

Prova Soggetto 1:

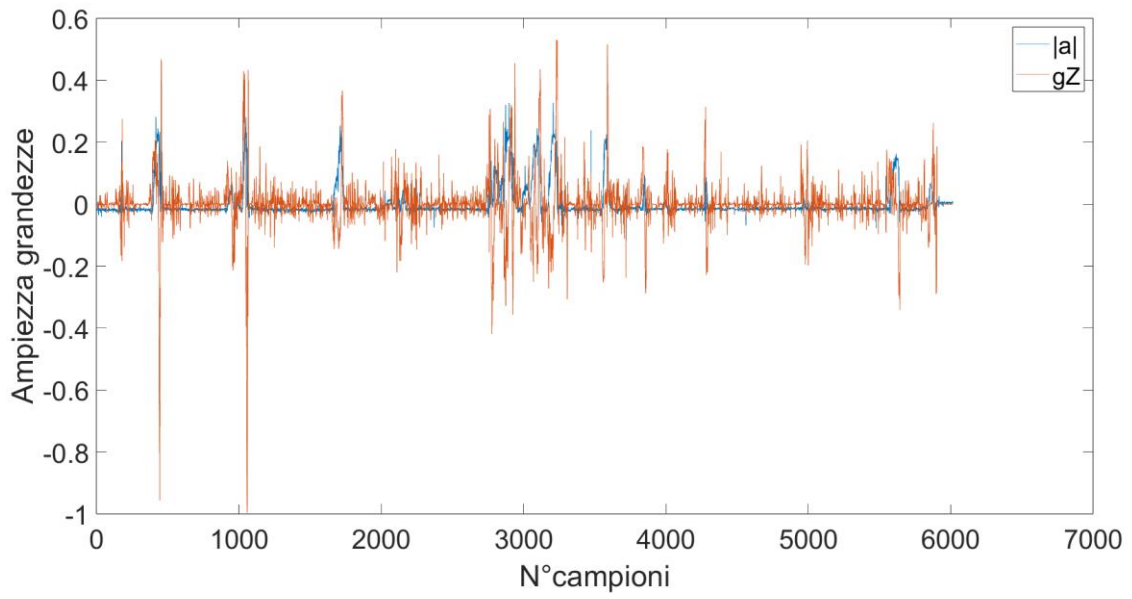


Figura 25 - Grafico  $|a|$  e  $gZ$  normalizzati prova Soggetto 1

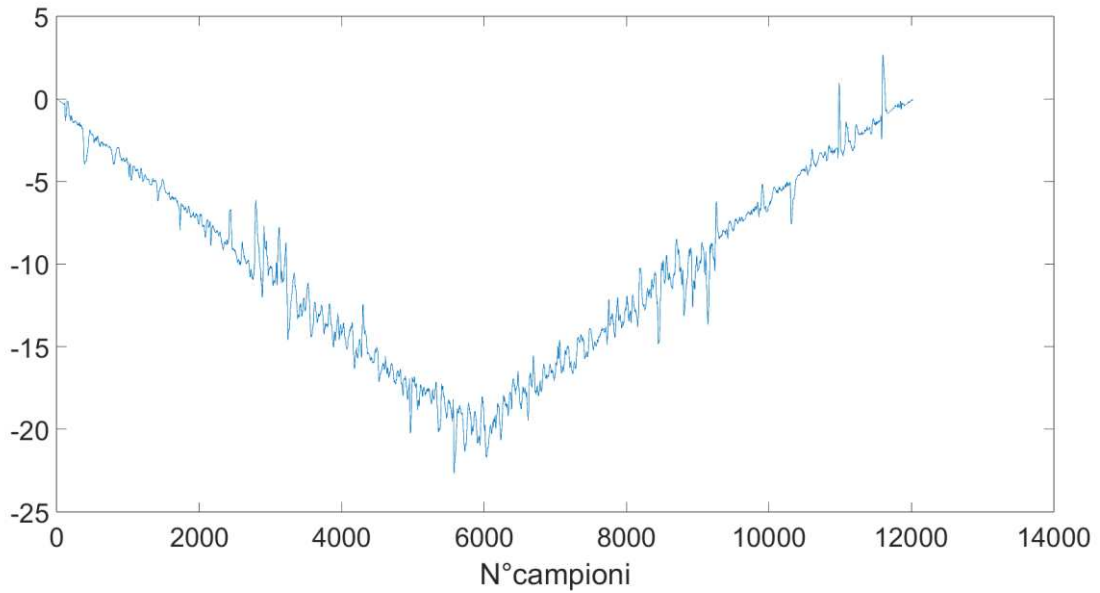


Figura 26 - Grafico correlazione incrociata  $|a|$  e  $gZ$  prova Soggetto 1

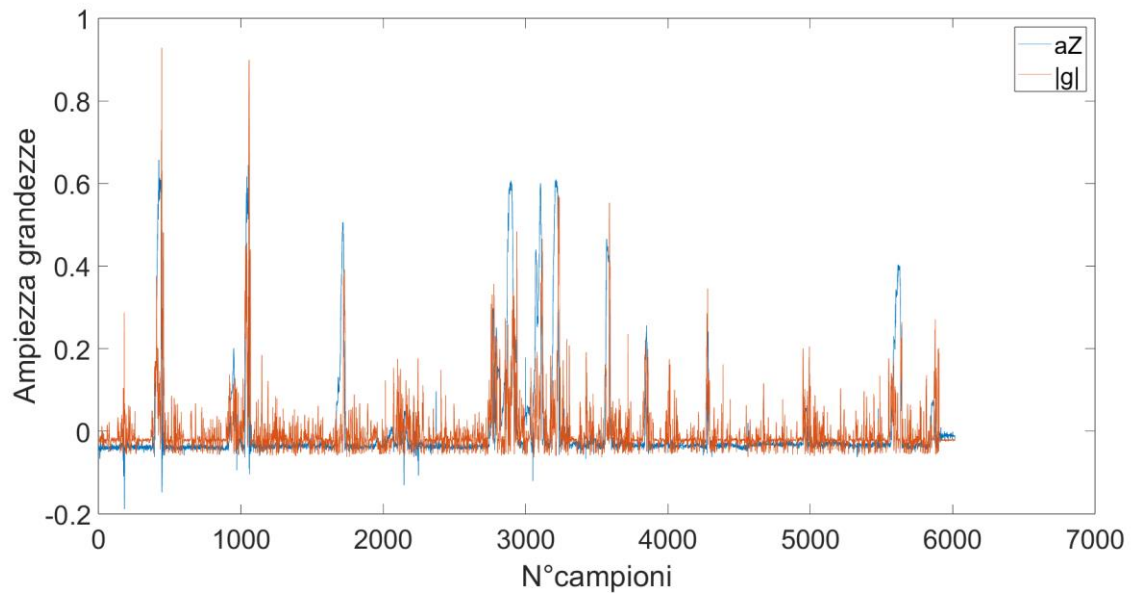


Figura 27 - Grafico aZ e |g| normalizzati prova Soggetto 1

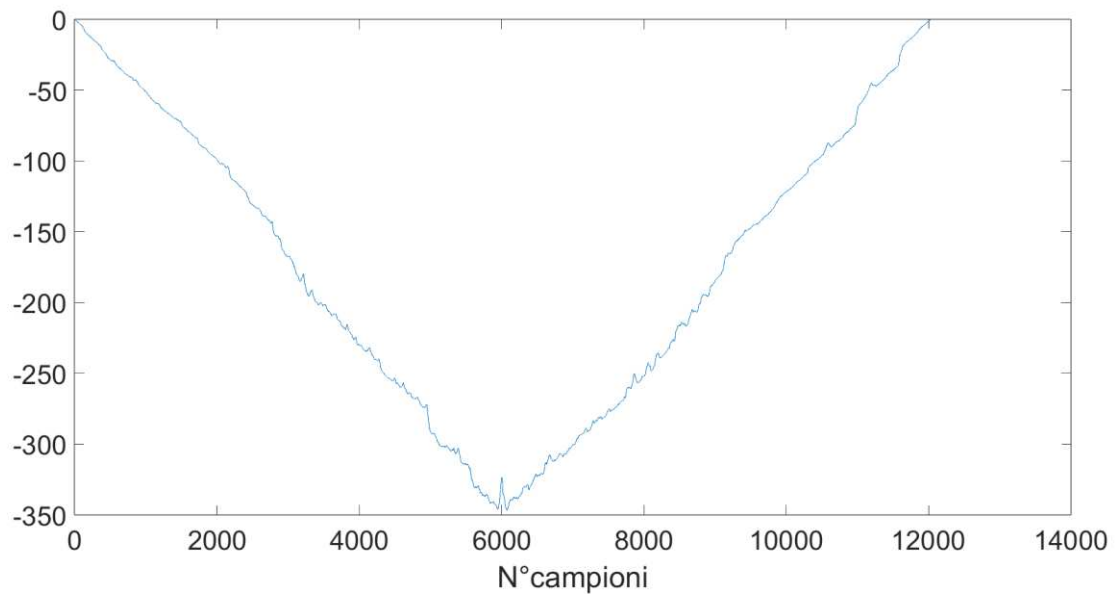


Figura 28 - Grafico correlazione incrociata aZ e |g| prova Soggetto 1

Prova Soggetto 2:

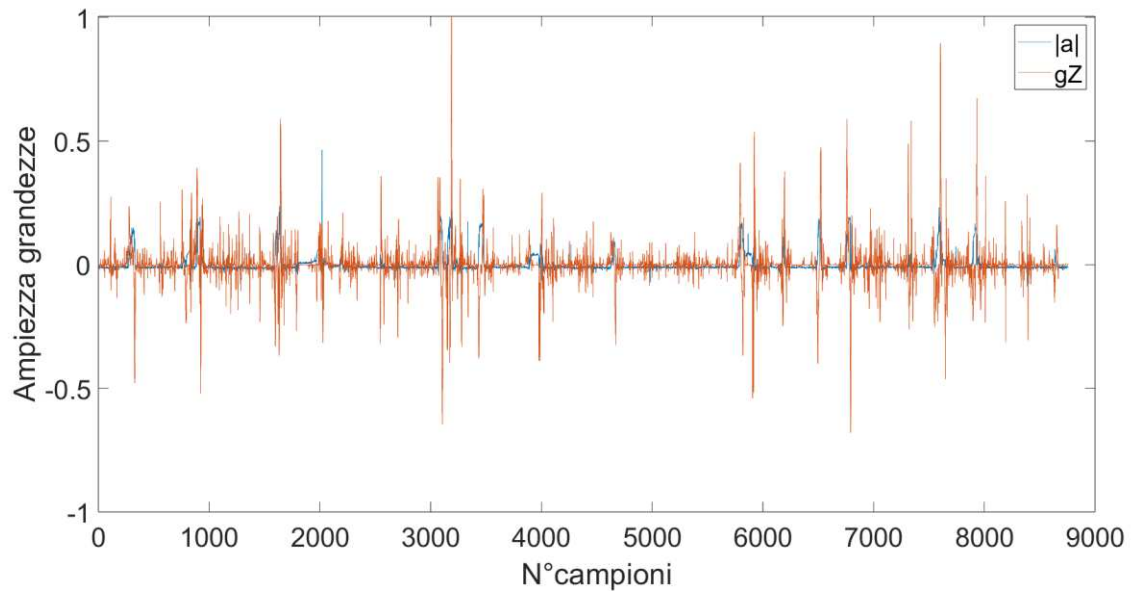


Figura 29 - Grafico  $|a|$  e  $gZ$  normalizzati prova Soggetto 2

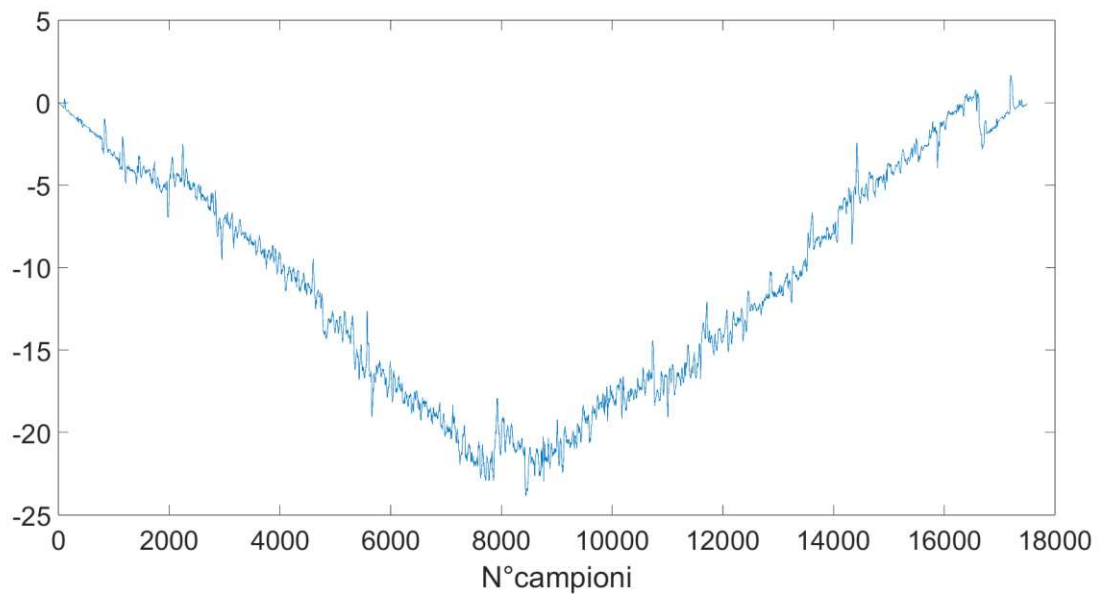


Figura 30 - Grafico correlazioni incrociata  $|a|$  e  $gZ$  prova Soggetto 2

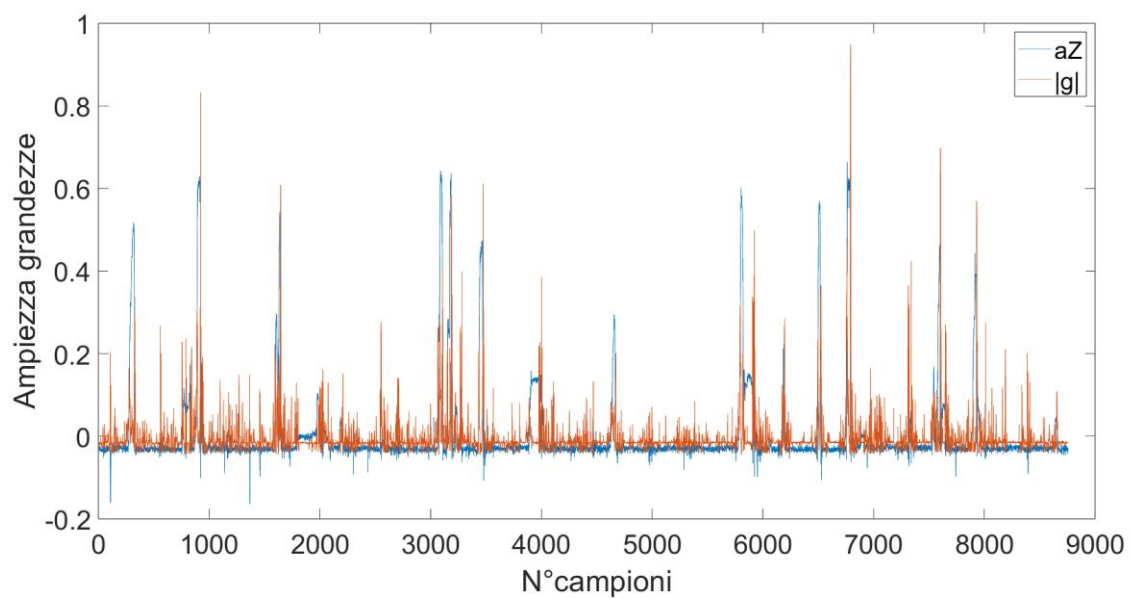


Figura 31 – Grafico  $aZ$  e  $|g|$  normalizzati prova Soggetto 2

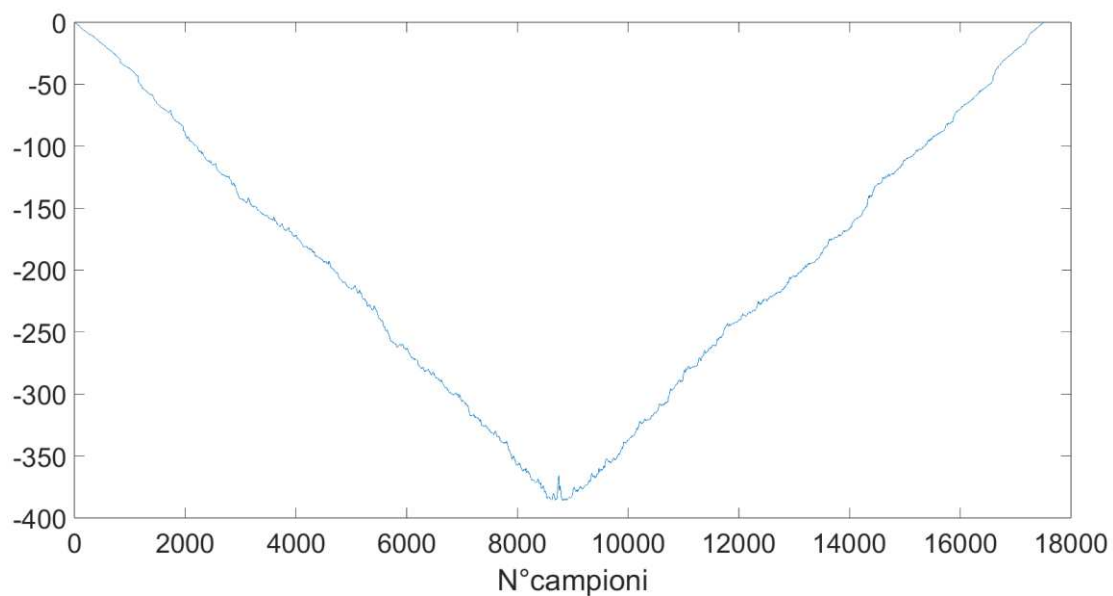


Figura 32 - Grafico correlazione incrociata  $aZ$  e  $|g|$  prova Soggetto 2

Prova Soggetto 3:

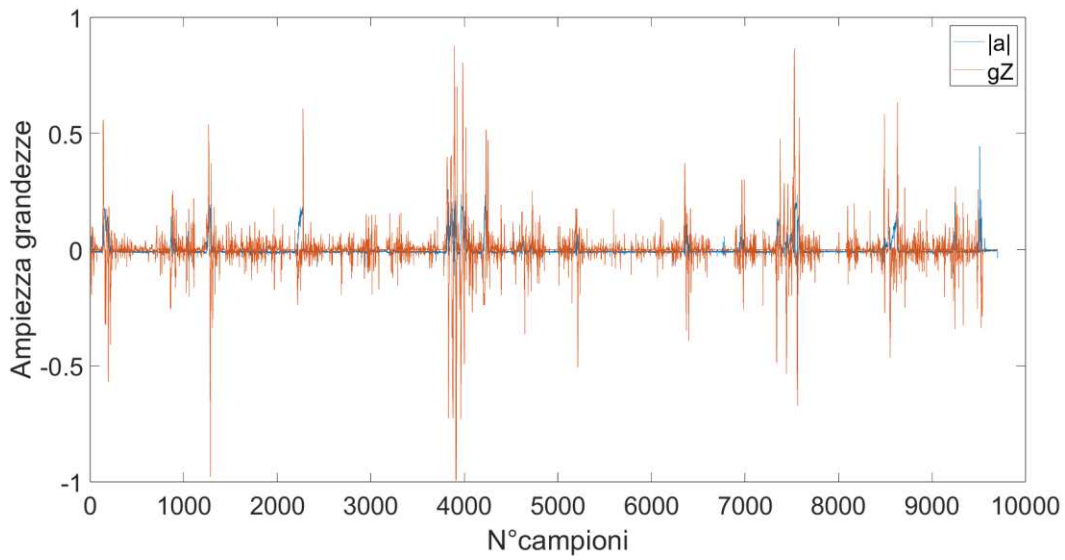


Figura 33 - Grafico  $|a|$  e  $gZ$  normalizzati prova Soggetto 3

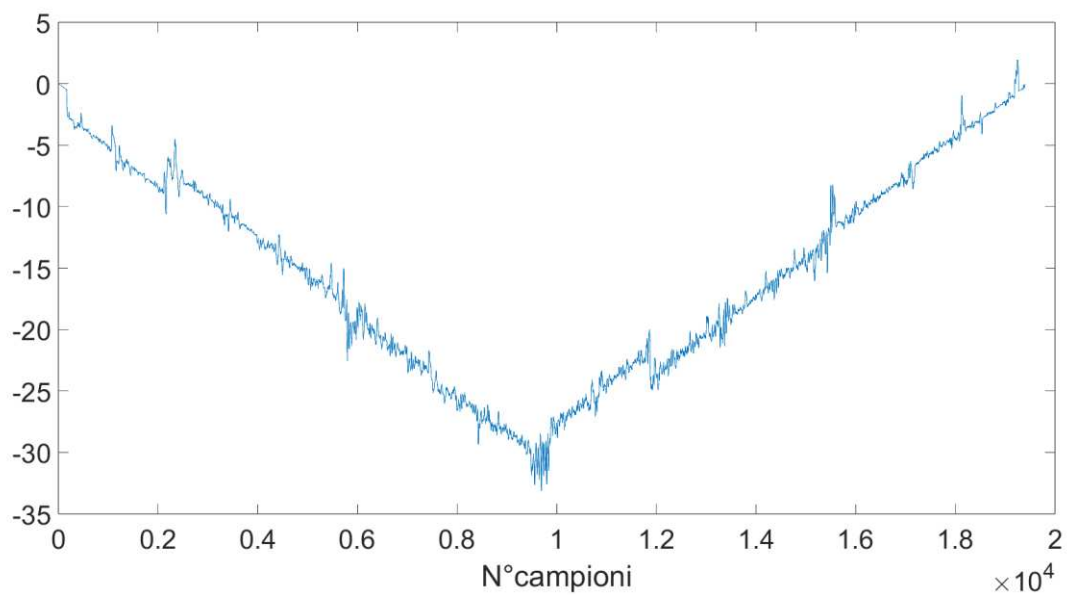


Figura 34 - Grafico correlazione incrociata  $|a|$  e  $gZ$  prova Soggetto 3

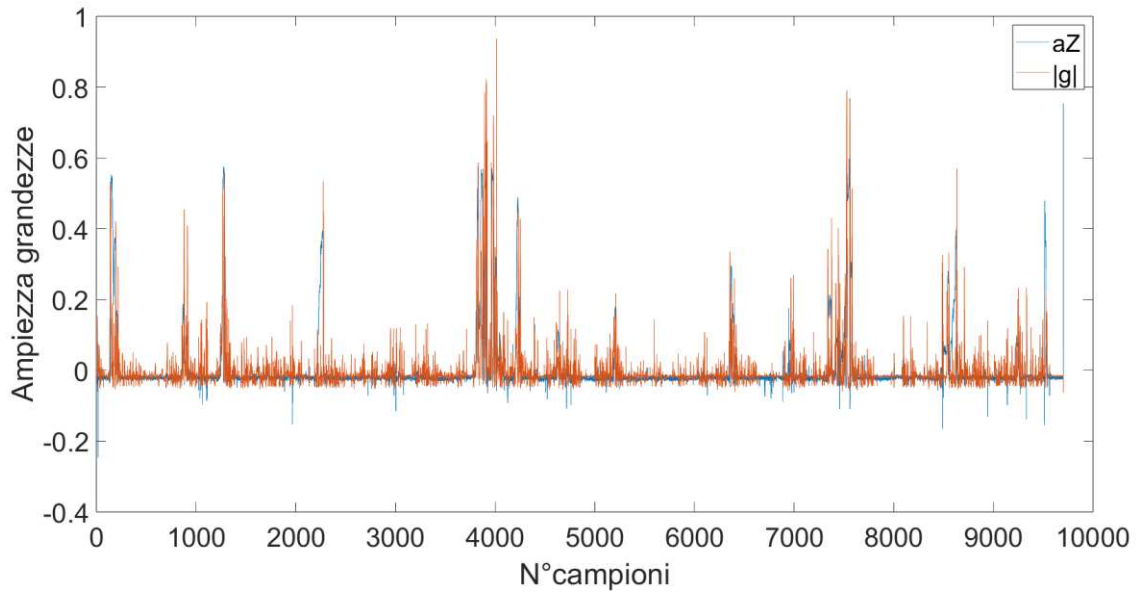


Figura 35 - Grafico aZ e |g| normalizzati prova Soggetto 3

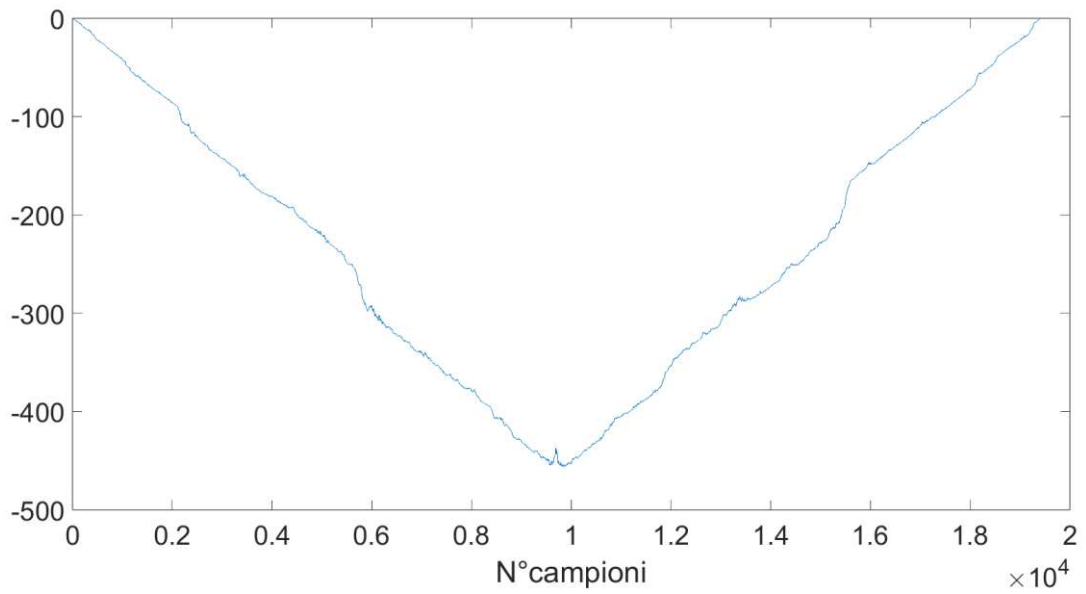


Figura 36 - Grafico correlazione incrociata aZ e |g| prova Soggetto 3

Prova Soggetto 4:

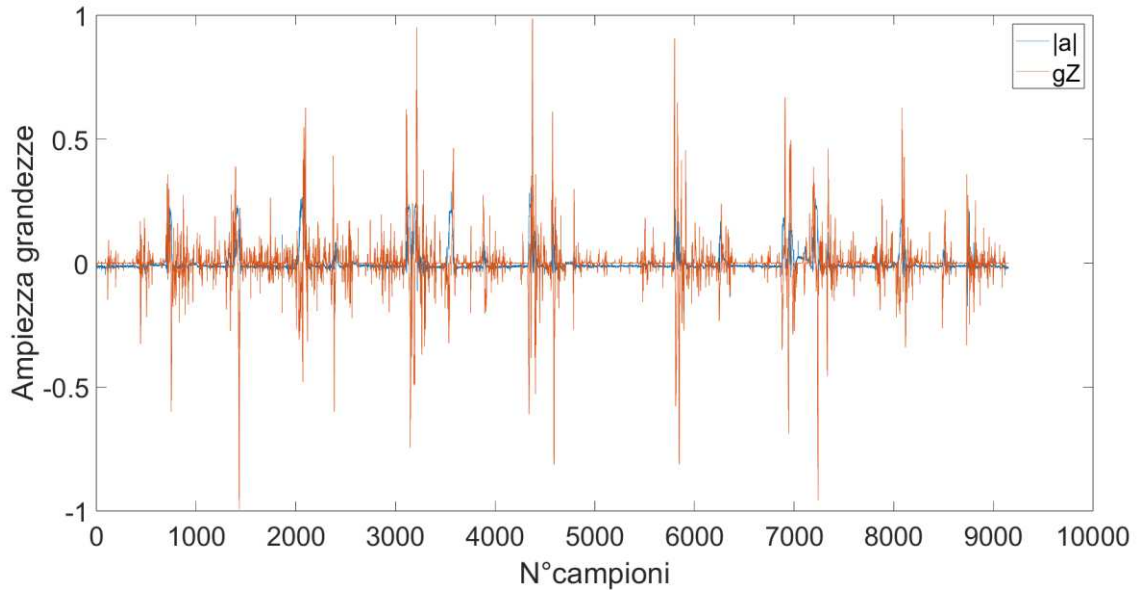


Figura 37 - Grafico  $|a|$  e  $gZ$  normalizzati prova Soggetto 4

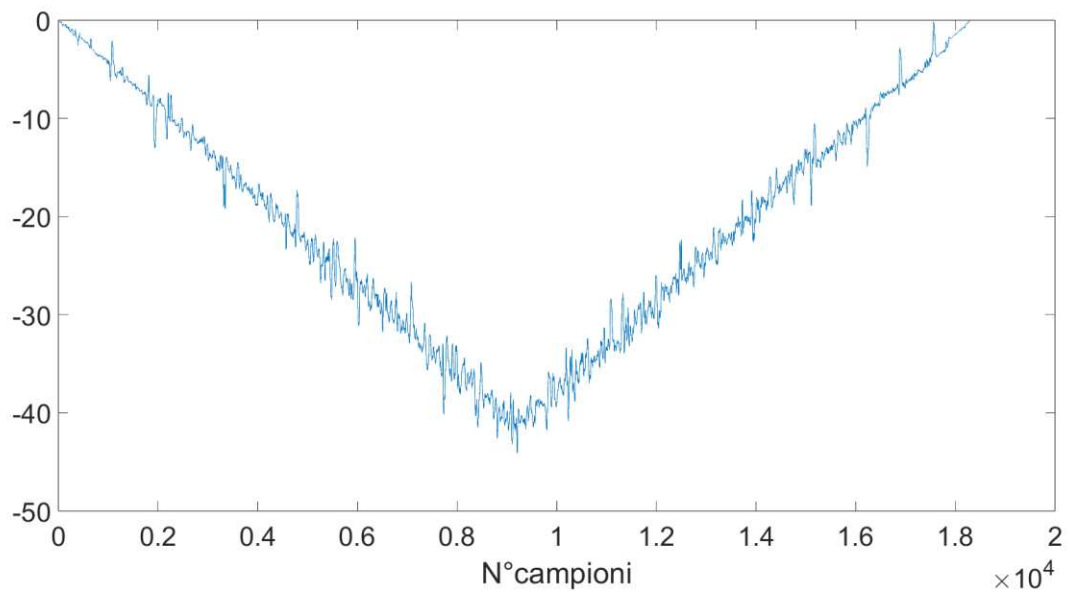


Figura 38 - Grafico correlazione incrociata  $|a|$  e  $gZ$  Soggetto 4

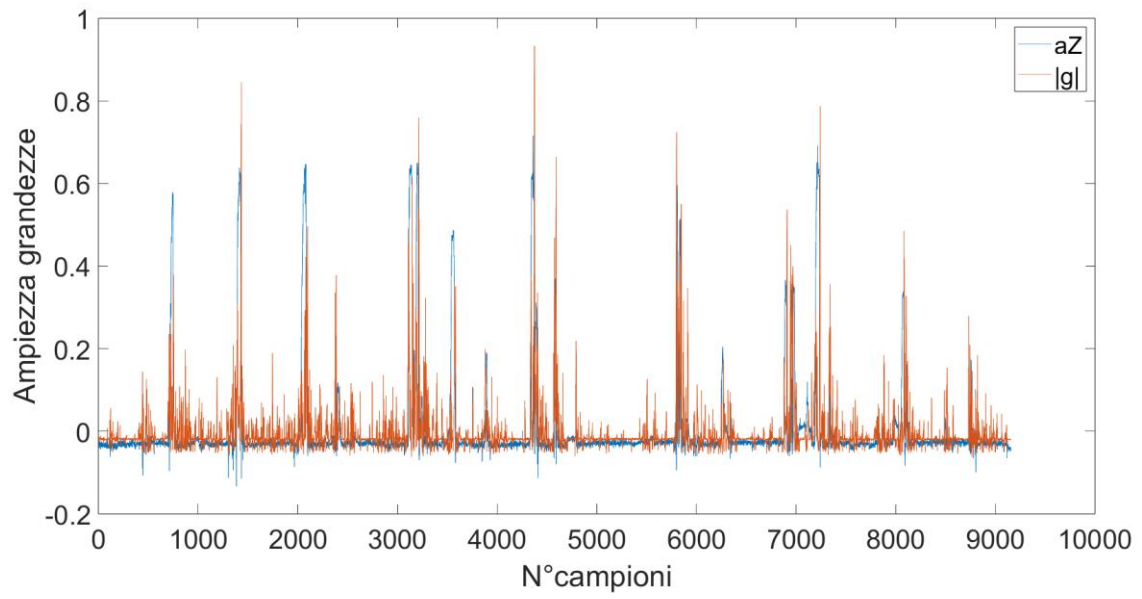


Figura 39 - Grafico aZ e |g| normalizzati prova Soggetto 4

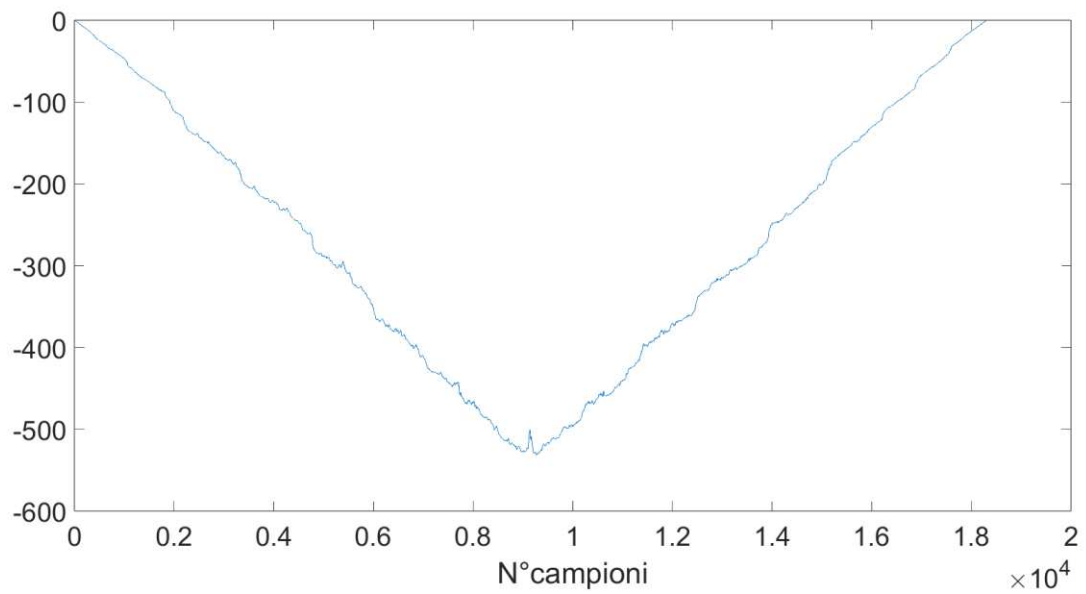


Figura 40 - Grafico correlazione incrociata aZ e |g| prova Soggetto 4

Per vedere se esiste una relazione tra rotazione del volante e vibrazione valutata tramite l'accelerazione si è calcolato il valore medio di  $|a|$ ,  $|g|$ ,  $a_z$  e  $g_z$  attraverso la funzione *mean* di MATLAB e successivamente quest'ultimo è stato sottratto dal segnale stesso.

Infine, sono stati plottati i segnali e, come si può notare dai grafici sopra riportati, questi si sovrappongono, ciò significa che c'è una relazione tra le grandezze citate precedentemente.

## Capitolo 5

# Conclusioni

Questo studio ha come obiettivo la riduzione degli incidenti dovuti alla stanchezza. In particolare, nella presente tesi, è stato usato il prototipo di un volante equipaggiato con vari sensori per misurare la forza impressa dalle mani del guidatore e l'accelerazione e la velocità angolare con cui il volante si muove.

Ciò è stato possibile eseguendo varie simulazioni di guida mediante il software denominato taxi driver che permette di riprodurre in maniera il più possibile realistica la guida su strada.

I dati ottenuti sono stati trasferiti in MATLAB con l'intento di visualizzarli graficamente e poter fare tutti i calcoli necessari.

L'analisi finale dello studio è stata quella riguardante la relazione tra movimento del volante e vibrazione arrivando alla conclusione che ci si aspettava, ovvero che accelerometro o giroscopio possono entrambi fornire informazioni sulla modalità con cui il volante viene ruotato dal guidatore.

Per gli studi futuri sarebbe interessante continuare ad aggiungere altri dispositivi come termocamere e sensori per la misurazione, ad esempio, della resistenza galvanica della pelle del guidatore, rappresentativa di condizioni di stress; oppure migliorare il setup già esistente per ottenere una risposta più precisa dai diversi sensori.

# Bibliografia

- [1] Dati ISTAT [www.istat.it/comunicato-stampa/incidenti-stradali-in-italia-2023](http://www.istat.it/comunicato-stampa/incidenti-stradali-in-italia-2023)
- [2] Sonnolenza al volante: un killer silenzioso  
[www.aci.it/laci/sicurezza-stradale/guida-e-sonnolenza/il-sonno-al-volante](http://www.aci.it/laci/sicurezza-stradale/guida-e-sonnolenza/il-sonno-al-volante)
- [3] Arduino [www.progettiarduino.com](http://www.progettiarduino.com)
- [4] Volante Logitech [www.ldlc.com/it-it/scheda/PB00189805.html#:~:text=Il%20volante%20G29%20%C3%A8%20dotato,un'esperienza%20durevole%20e%20confortevole](http://www.ldlc.com/it-it/scheda/PB00189805.html#:~:text=Il%20volante%20G29%20%C3%A8%20dotato,un'esperienza%20durevole%20e%20confortevole)
- [5] Accelerometro e Giroscopio [www.reichelt.com/it/it/arduino-accelerometro-e-giroscopio-grove-a-6-assi-lsm6ds3-grv-6axis-acc-gy](http://www.reichelt.com/it/it/arduino-accelerometro-e-giroscopio-grove-a-6-assi-lsm6ds3-grv-6axis-acc-gy)
- [6] CoolTerm <https://www.maffucci.it/2021/12/28/coolterm-alternative-alla-serial-monitor-di-arduino/>
- [7] MATLAB <https://it.mathworks.com/products/matlab.html>

# Ringraziamenti

Desidero innanzitutto ringraziare dal punto di vista didattico alcuni dei miei professori, in particolare il mio relatore il Prof. Alessandro Terenzi e la mia correlatrice la Prof.ssa Susanna Spinsante che mi hanno accompagnato in questo percorso con grande disponibilità e che mi hanno seguito scrupolosamente nella stesura di questa tesi nonostante i vari impegni.

Il ringraziamento più grande va ai miei genitori per essermi stati accanto nei momenti brutti del mio percorso dicendomi sempre di andare tranquillo che, se l'esame non lo avessi superato l'avrei superato la prossima e quindi non facendomi pesare i miei fallimenti.

Ringrazio mia sorella Chiara per avermi sempre supportato nelle mie scelte giuste o sbagliate che siano, facendomi riflettere. Ah, e grazie per avermi aiutato a scrivere la tesi!

Un ringraziamento va al mio primo cane, Shila, che anche lei a modo suo mi ha aiutato in questo percorso tenendomi compagnia (facendo sonnellini nel mio letto) durante le lezioni online; saresti stata una brava ingegnera anche tu... e alla new entry Frida che con la sua interminabile energia mi dà sollievo nelle mie giornate "no" anche se non sei molto studiosa come la Shila.

Un ringraziamento speciale va alla mia compagnia che mi ha fatto passare dei weekend e delle serate indimenticabili nonostante i miei impegni universitari, giuro che recupererò.

Ringrazio anche tutte le persone incontrate in questo percorso soprattutto ad Arturo, Sara e Sofia con i quali ho sclerato durante le varie sessioni di esame e con cui ho passato intere giornate (non ne posso più di voi!).

E per ultimo Ringrazio me stesso per non aver mollato nei momenti di sconforto (parecchi), per essermi impegnato sia sul lato lavorativo sia su quello universitario e vorrei ricordare al me del futuro di non preoccuparsi che le difficoltà, anche se appaiono insormontabili, si superano sempre.

Ah, e come disse il signore dello Z3 M coupé, MAI DIRE MAI!