



UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica

Studio, realizzazione e verifica sperimentale di un sistema per l'acquisizione multi-sito della risposta galvanica della pelle

Study, implementation and experimental verification of a system for the multi-site acquisition of the galvanic response of the skin

Tesi di laurea di:

Marini Alessandro

Relatore:

Prof. Susanna Spinsante

Anno Accademico 2023-2024

A mio nonno Pierluigi

Indice

Indice	3
INTRODUZIONE	5
CAPITOLO 1: ACQUISIZIONE DELLA GSR.....	6
1.1 MISURAZIONE DELLA GSR	8
CAPITOLO 2: STRUMENTI UTILIZZATI.....	10
2.1 SENSORE GROVE GSR	10
2.2 SCHEDA ARDUINO UNO	12
2.2.1 Collegamento tra Arduino e il sensore GSR.....	14
2.3 AMBIENTE DI SVILUPPO INTEGRATO DI ARDUINO	18
2.4 COOLTERM	21
2.5 MATLAB	24
CAPITOLO 3: PROVE SPERIMENTALI.....	27
CAPITOLO 4: RISULTATI.....	32
CAPITOLO 5: CONCLUSIONI	70
BIBLIOGRAFIA	71
RINGRAZIAMENTI:.....	72

ABSTRACT

Lo scopo della tesi è quello di prototipare e validare un sistema per l'acquisizione della risposta galvanica della pelle che possa essere applicato su più aree del corpo.

L'analisi si focalizzerà, principalmente, nell'acquisire contemporaneamente i segnali da più siti di misura per riscontrare se ci siano delle somiglianze o differenze tra di essi.

La possibilità di acquisire segnali di risposta galvanica della pelle ugualmente validi, da siti di misura differenti, apre interessanti prospettive per la realizzazione di sistemi di acquisizione versatili e orientati al comfort della persona che li utilizza.

The aim of the thesis is to prototype and evaluate a system for the acquisition of the galvanic response of the skin that can be applied to multiple areas of the body.

The analysis will mainly focus on simultaneously recording this signal on multiple measurement sites to find if there are any similarities or differences between them.

The possibility of acquiring galvanic skin response signals of equal quality from different measurement sites opens up interesting opportunities for the design of flexible acquisition systems that are comfortable to use.

INTRODUZIONE

La risposta galvanica della pelle (in inglese Galvanic Skin Response - GSR), nota anche come attività elettrodermica (EDA) o conduttanza cutanea (skin conductance - SC), è il segnale ottenuto da un metodo di misurazione della resistenza elettrica cutanea.

La conducibilità della pelle varia in funzione dell'attività delle ghiandole sudoripare che sono controllate dal sistema nervoso simpatico, ovvero una parte del sistema nervoso autonomo che è direttamente coinvolto nella regolazione dello stato emozionale di un individuo.

Questo significa che, se una persona è psicologicamente eccitata, ad esempio si trova in una condizione di stress, il sistema nervoso simpatico si attiva notevolmente e di conseguenza aumenta anche l'attività delle ghiandole sudoripare ovvero aumenta la sudorazione corporea e ciò porta alla diminuzione della resistenza elettrica cutanea.

In definitiva quindi la GSR, misurando le continue variazioni di resistenza elettrica della pelle, può essere un indicatore affidabile dello stato emotivo e cognitivo di una persona [1].

Lo scopo della tesi è quello di realizzare un sistema per l'acquisizione della risposta galvanica della pelle che possa essere usato in varie modalità, ad esempio usando più siti di misura.

Per questo motivo nel primo capitolo verranno analizzate, anzitutto, le tecniche classiche di acquisizione della risposta galvanica della pelle.

Nel secondo capitolo, invece, verranno trattati gli strumenti hardware e software che sono stati utilizzati per realizzare il sistema di acquisizione.

Nel terzo capitolo ci si focalizza sul modo in cui si sono svolte le acquisizioni e che tipo di prove sperimentali sono state eseguite per misurare il segnale GSR.

Nel quarto capitolo verranno rappresentati graficamente ed elaborati i valori digitali, relativi alle prove sperimentali, che sono stati acquisiti dal sistema di acquisizione.

Nel quinto capitolo, infine, verranno discussi i risultati ottenuti e le informazioni ricavate da questa analisi.

CAPITOLO 1: ACQUISIZIONE DELLA GSR

Misurare e studiare il segnale di risposta galvanica della pelle risulta essere molto importante quando si vuole avere un riscontro sullo stato emotivo di una persona.

La GSR misura le continue variazioni in termini di resistenza elettrica cutanea mediante la variazione del sudore corporeo.

La sudorazione corporea è regolata dall'attività di varie tipologie di ghiandole della pelle dette ghiandole sudoripare.

Una tipologia di esse, le ghiandole sudoripare eccrine, hanno la funzione di produrre sudore in risposta alla stimolazione di una variazione dello stato emotivo e cognitivo dell'individuo.

La funzionalità di queste ghiandole viene attivata da una condizione di stress psicologico, causando un cambiamento degli ioni positivi e negativi nel fluido secreto, diminuendo, di fatto, la resistenza della pelle al passaggio di una corrente elettrica esterna attraverso il derma.

La Figura 1 illustra la presenza di ghiandole sudoripare eccrine nel derma.

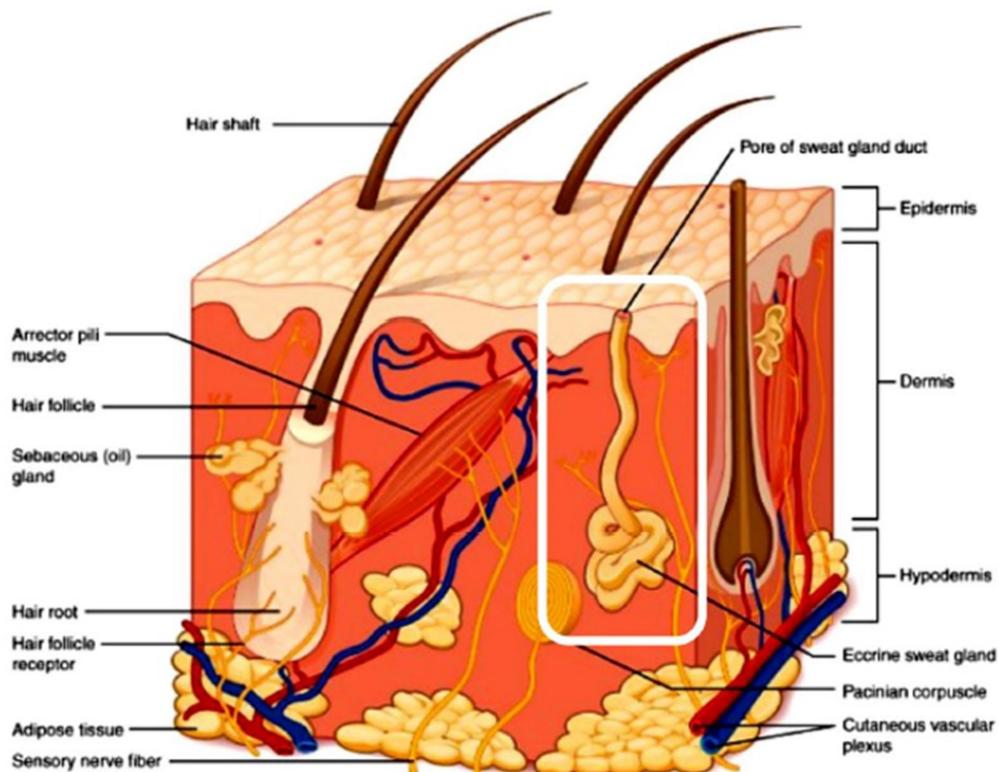


Figura 1: Ghiandole sudoripare eccrine nel derma [1].

Un aspetto molto importante da considerare quando si vuole misurare il segnale di conduttanza cutanea è il sito di misura.

La scelta del sito di misura dipende principalmente dalla quantità di ghiandole sudoripare eccrine in esso presenti e dalle loro rispettive dimensioni.

In alcune parti del corpo, come dita, palmi delle mani e piante dei piedi, il numero di ghiandole sudoripare eccrine è maggiore rispetto ad altre.

In queste aree, la densità associata alla tipologia di ghiandola sudoripara va da 600 a 700 ghiandole/cm².

Numerose stime condotte su altre parti del corpo come sulla fronte (180 ghiandole/cm²) o sulla schiena (60 ghiandole/cm²) dimostrano che i migliori siti per misurare la risposta galvanica della pelle sono i palmi, dita delle mani e le piante dei piedi. La Figura 2 illustra, appunto, i siti di misura maggiormente usati negli studi relativi alla acquisizione della GSR.

I siti di misura scelti in questo lavoro per misurare la resistenza elettrica della pelle sono:

- 1) Le dita delle mani.
- 2) Il palmo della mano.

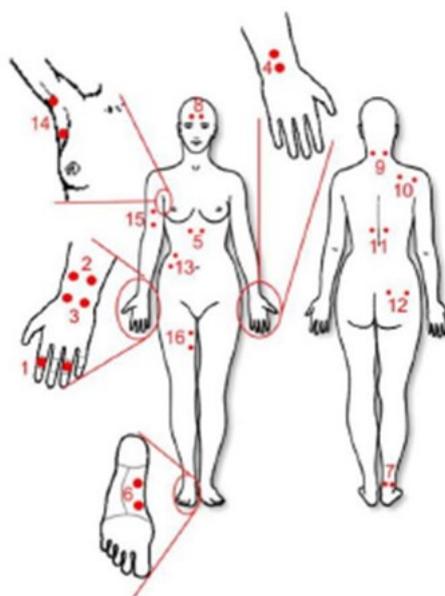


Figura 2: I diversi siti di misura usati in letteratura per l'acquisizione della GSR [2].

1.1 MISURAZIONE DELLA GSR

Il segnale GSR viene tipicamente elaborato andando a scomporlo in due componenti:

- 1) Componente baseline o tonica: è la componente a più bassa frequenza del segnale GSR che varia lentamente nel corso di alcuni minuti.

Essa rappresenta il valore assoluto della resistenza elettrica della pelle, definendo così il “livello di conduttanza cutanea” (in inglese “skin conductance level” o SCL) [3].

- 2) Componente fasica: è la componente a più alta frequenza del segnale GSR che cambia molto rapidamente in pochi secondi.

Essa rappresenta la risposta ad uno stimolo emotivo provocato da un determinato evento, viene quindi definita “risposta di conduttanza cutanea” (in inglese “skin conductance response” o SCR) [4].

La differente natura delle due componenti è mostrata graficamente in Figura 3.

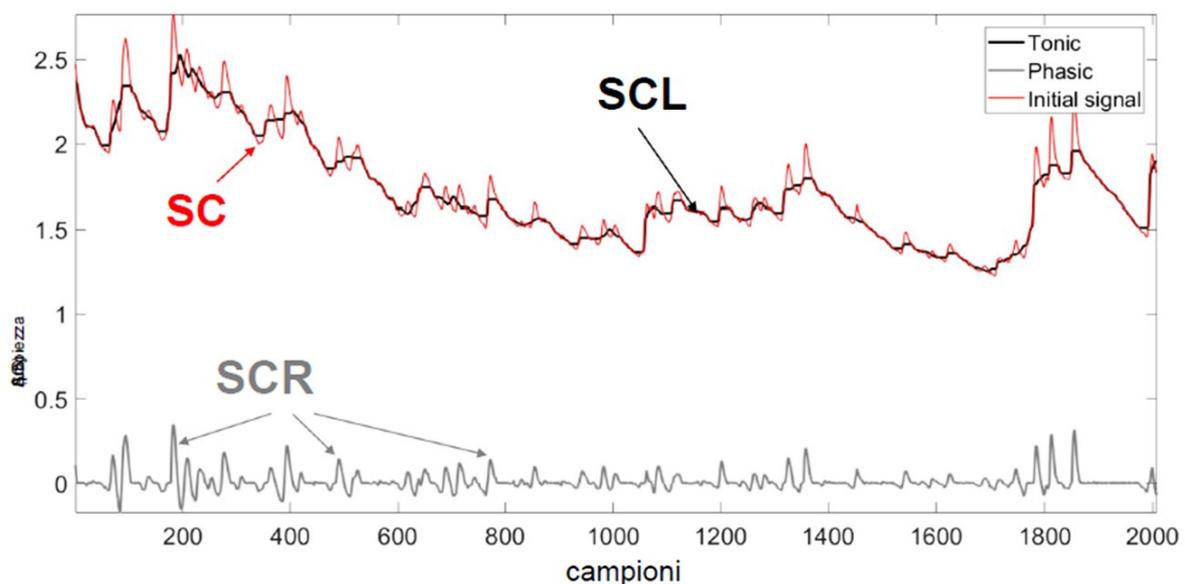


Figura 3: Componente tonica e fasica della conduttanza cutanea (SC) [5].

Per misurare la risposta galvanica della pelle esistono tre principali metodi di acquisizione:

- 1) Metodo endosomatico: la misurazione endosomatica consiste nel misurare una differenza di potenziale elettrico attraverso la pelle palmare e plantare senza l'applicazione di una corrente esterna.

La differenza di potenziale d'interesse verrà misurata applicando un singolo elettrodo in un sito attivo, come il palmo della mano, mentre l'elettrodo di riferimento verrà applicato in un sito inattivo, come ad esempio l'avambraccio.

- 2) Metodo esosomatico con corrente continua: il metodo consiste nell'applicare una piccola tensione costante (0.5 V) tra due elettrodi posizionati sulla superficie della pelle. Misurando il flusso di corrente che scorre tra i due elettrodi, è possibile ricavare la resistenza cutanea tramite la legge di Ohm.
- 3) Metodo esosomatico con corrente alternata: analogo al precedente, con la differenza che invece di applicare una corrente esterna continua, viene applicata una corrente alternata per evitare problemi di induzione dei campi elettromagnetici [6].

Il metodo utilizzato nel presente studio per acquisire la GSR è il metodo esosomatico con corrente continua.

CAPITOLO 2: STRUMENTI UTILIZZATI

Gli strumenti hardware e software utilizzati per acquisire e visualizzare i valori del segnale GSR sul computer sono: (1) sensore Grove GSR, (2) scheda Arduino Uno, (3) ambiente di sviluppo integrato (IDE) di Arduino, (4) applicazione Coolterm e (5) ambiente Matlab.

2.1 SENSORE GROVE GSR

Il sensore Grove GSR [7] acquisisce in ingresso la resistenza elettrica cutanea (grandezza fisica) e fornisce in uscita un segnale in tensione (grandezza elettrica), il cui valore è funzione del segnale in ingresso.

Esso è formato da due elettrodi che, di solito, vengono posizionati su due dita adiacenti. Applicando una tensione costante tra i due elettrodi e misurando il flusso di corrente che scorre tra di essi, tramite la legge di Ohm, si ricava la resistenza elettrica della pelle. Il sensore con le sue componenti è illustrato in Figura 4.

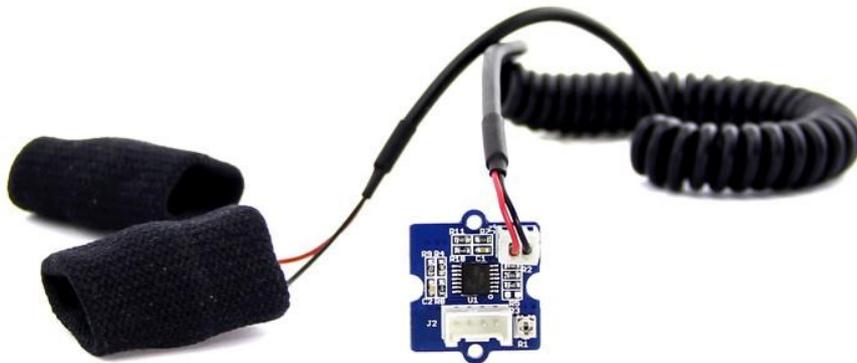


Figura 4: Sensore Grove GSR.

Di seguito, inoltre, vengono riportati lo schema circuitale hardware della scheda del sensore GSR, mostrato in Figura 5, e le sue caratteristiche hardware principali elencate in Tabella 1.

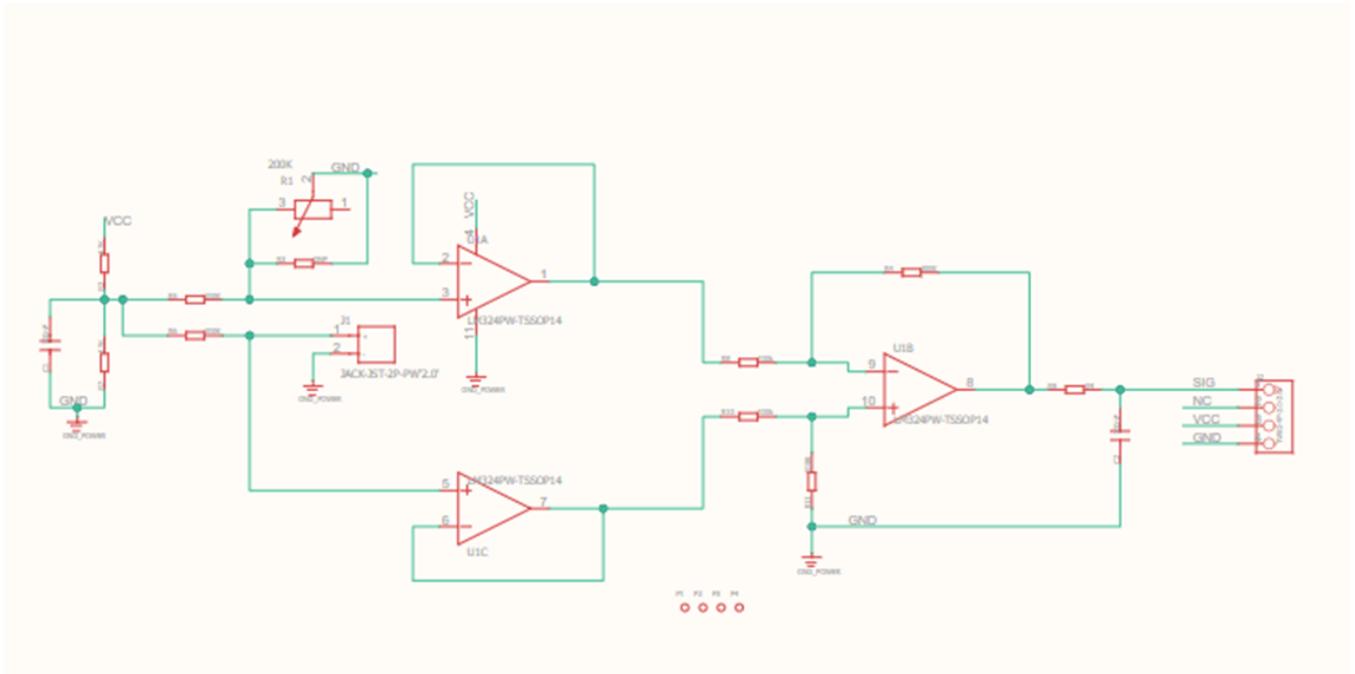


Figura 5: schema circuitale del sensore GSR usato.

Tabella 1: caratteristiche hardware principali del Sensore GSR

PARAMETRO	Valore/intervallo
Tensione di esercizio	3.3 V/5 V
Sensibilità	Regolabile tramite potenziometro
Segnale di ingresso	Resistenza
Segnale di uscita	Tensione analogica
Materiale di contatto delle dita	Nichel

Uno dei parametri cui bisogna fare attenzione è la sensibilità del sensore GSR, caratteristica hardware, che può essere regolata tramite il potenziometro incorporato all'interno della scheda del sensore.

Per realizzare le prove sperimentali, il sensore è stato calibrato in modo tale che qualora non avesse nessun ingresso, l'ADC della scheda Arduino UNO restituisca in uscita il valore 512.

Avendo a disposizione 1024 diversi valori digitali in uscita dall'ADC che opera a 10 bit, facendo corrispondere lo "zero" al valore 512, si è equivalentemente divisa la dinamica del sensore tra valori positivi e negativi.

Questo significa che l'ADC dovrebbe restituire in uscita un range di valori tra $[-512, 512]$. Tuttavia, considerando che la resistenza della pelle può assumere soltanto valori positivi, i valori digitali in uscita dall'ADC variano nell'intervallo $[512, 1023]$.

2.2 SCHEDA ARDUINO UNO

Arduino è una piattaforma hardware e software che realizza schede elettroniche e permette la programmazione dei microcontrollori tramite l'ambiente di sviluppo integrato (IDE) di Arduino [8].

Il modello utilizzato per acquisire i valori del segnale GSR è Arduino UNO. Di seguito, in Tabella 2, vengono riportate le principali caratteristiche di questa scheda hardware, che è mostrata anche in Figura 6. Inoltre, la Figura 7 illustra nel dettaglio quanti e quali pin I/O ha a disposizione Arduino UNO.



Figura 6: Arduino UNO Rev3 SMD.

Tabella 2: caratteristiche hardware di ARDUINO UNO

Microcontrollore	ATMEGA328P
Frequenza	16 MHz
Memoria Flash	32 kB
Memoria EEPROM	1 kB
Memoria SRAM	2 kB
Pin I/O digitali	14
Pin di input analogici	6
Pin con PWM	6

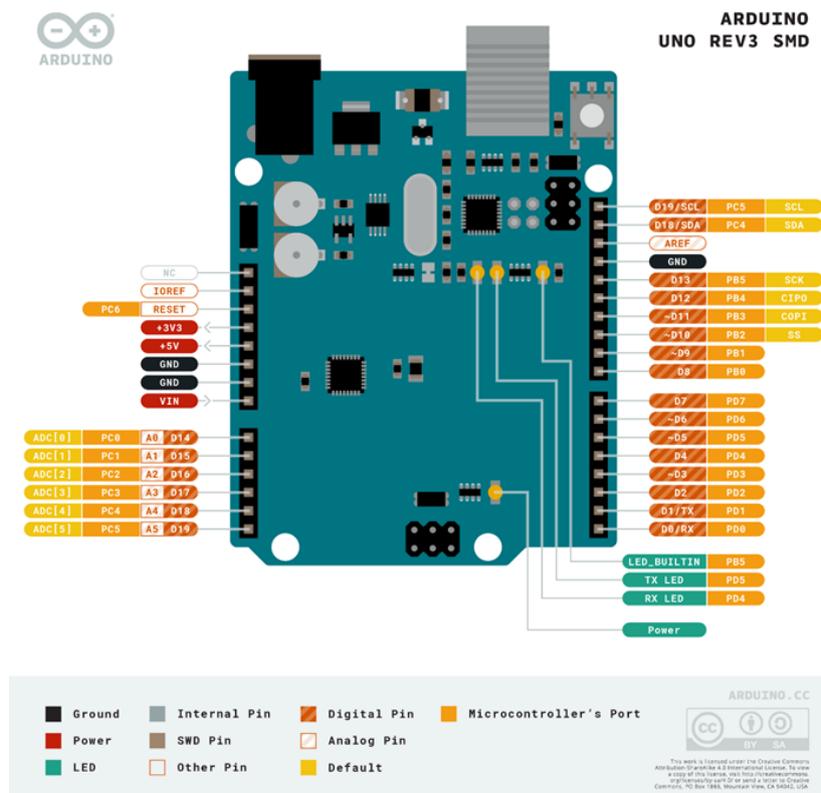


Figura 7: Pin I/O di Arduino UNO [9].

Come si evince dalla Tabella 2, la scheda Arduino UNO ha a disposizione 14 pin I/O digitali tra i quali 6 di questi hanno anche la modalità PWM.

I 5 pin di input analogici (pin A0-A5) verranno utilizzati qualora, come nel nostro caso, dovessimo leggere valori analogici in tensione.

Per leggere un valore analogico di tensione su uno dei 5 pin di input analogici, verrà utilizzato un convertitore analogico-digitale (ADC) a 10 bit.

Questo significa che il valore analogico di tensione, che entra dall'ADC, viene convertito in un valore discreto che può assumere un numero finito di valori, il quale dipende dal numero di bit dell'ADC.

Quindi:

1. Il numero di valori analogici in ingresso all'ADC è teoricamente infinito: il segnale può assumere un qualsiasi valore da 0 V (massa) a 5 V (alimentazione).
2. Il numero di valori possibili in uscita dall'ADC è $2^{10} = 1024$ (livelli di quantizzazione: da -512 a +512).

Per determinare il valore di tensione che corrisponde ai livelli di quantizzazione (da -512 a +512) si utilizza questa semplice equazione:

$$V_{adc} = V_{adc_{uscita}} * q [V] = \frac{V_{adc_{uscita}} * 5}{1024} [V] \text{ (Eq. 1)}$$

Dove:

- 1) V_{adc} : valore in tensione associata al livello di quantizzazione
- 2) $V_{adc_{uscita}}$: livello di quantizzazione (da -512 a +512)
- 3) $q = \frac{5 [V]}{1024} = 0.00488 [V]$

Il quanto (q) è il più piccolo salto di tensione misurabile, cioè la differenza di tensione che fa aumentare di una unità il valore restituito dal convertitore ADC.

2.2.1 Collegamento tra Arduino e il sensore GSR

Per avere un corretto collegamento tra la scheda Arduino e il sensore GSR bisogna:

- 1) Collegare il filo giallo del sensore GSR con uno dei pin di input analogici di Arduino (pin A0-A5).
- 2) Collegare il filo rosso del sensore GSR con il pin della tensione di alimentazione 5 V di Arduino, in modo tale che il sensore venga alimentato a 5 V.
- 3) Collegare il filo nero del sensore GSR con il pin della messa a terra di Arduino (GND).

Questa semplice procedura è riportata sinteticamente nella seguente Tabella 3. Il collegamento è anche mostrato visivamente in Figura 8.

Tabella 3: schema di interfaccia tra Arduino e il sensore GSR.

ARDUINO	SENSORE GSR
5 V	Rosso
TERRA	Nero
Pin (A0-A5)	Giallo

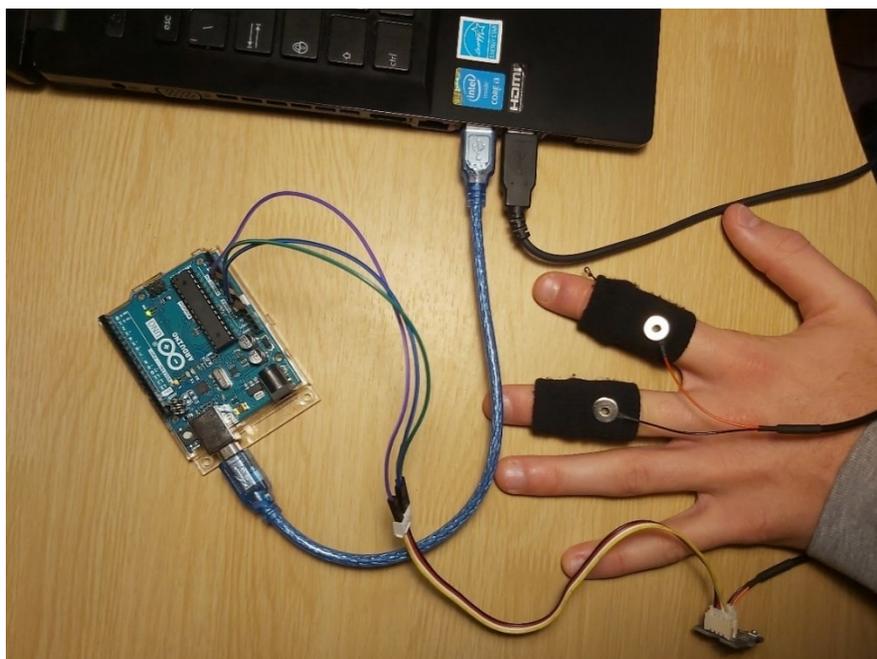


Figura 8: Collegamento tra il sensore GSR, Arduino e il computer

Come si vede dalla Figura 8 per alimentare e programmare la scheda Arduino UNO viene utilizzato un cavo USB, direttamente collegato con una delle porte USB del computer. Una vista ingrandita degli ingressi usati viene fornita in Figura 9.

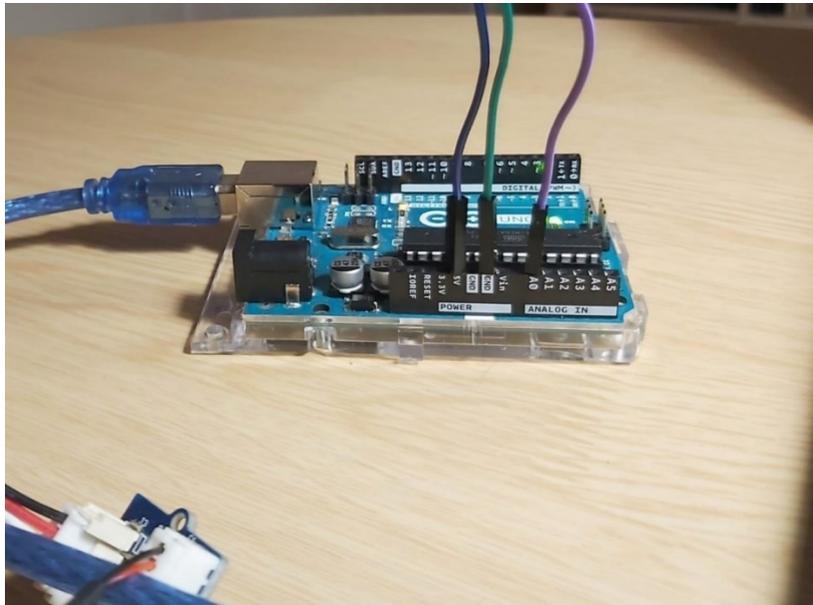


Figura 9: Dettaglio sul collegamento del sensore alla scheda Arduino.

Nelle prove sperimentali, oltre ad acquisire la resistenza elettrica della pelle con un singolo sensore, si sono realizzate diverse prove di acquisizione utilizzando contemporaneamente due sensori GSR.

Di seguito, quindi, viene riportato anche come realizzare un collegamento con due sensori GSR e la scheda Arduino UNO. Tale modalità è mostrata anche in Figura 10.

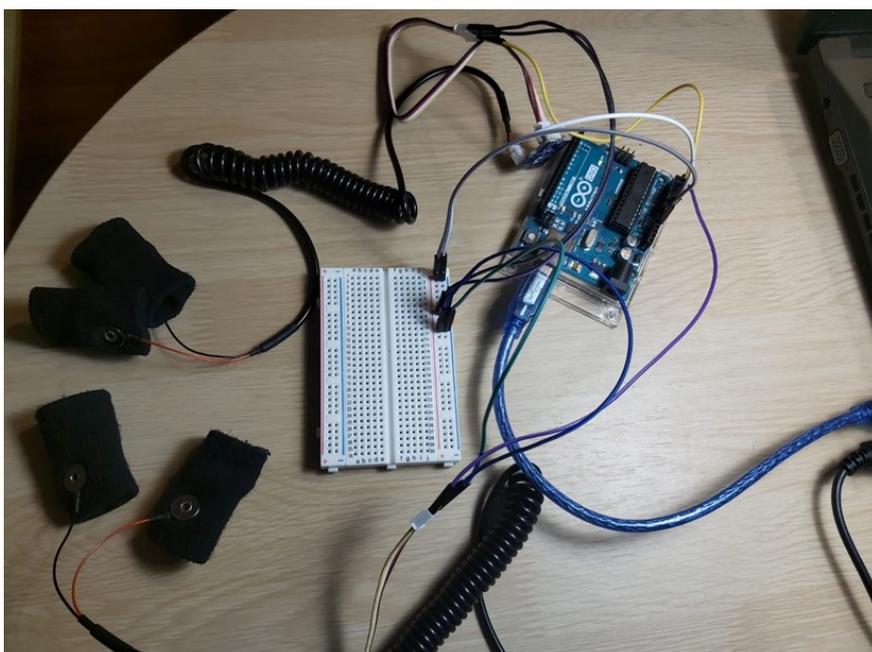


Figura 10: Collegamento di due sensori GSR e la scheda Arduino UNO.

Di seguito, in Figura 11, viene raffigurato lo stesso collegamento mostrato in Figura 10 ma ingrandito in modo tale da scorgere più facilmente i collegamenti eseguiti.

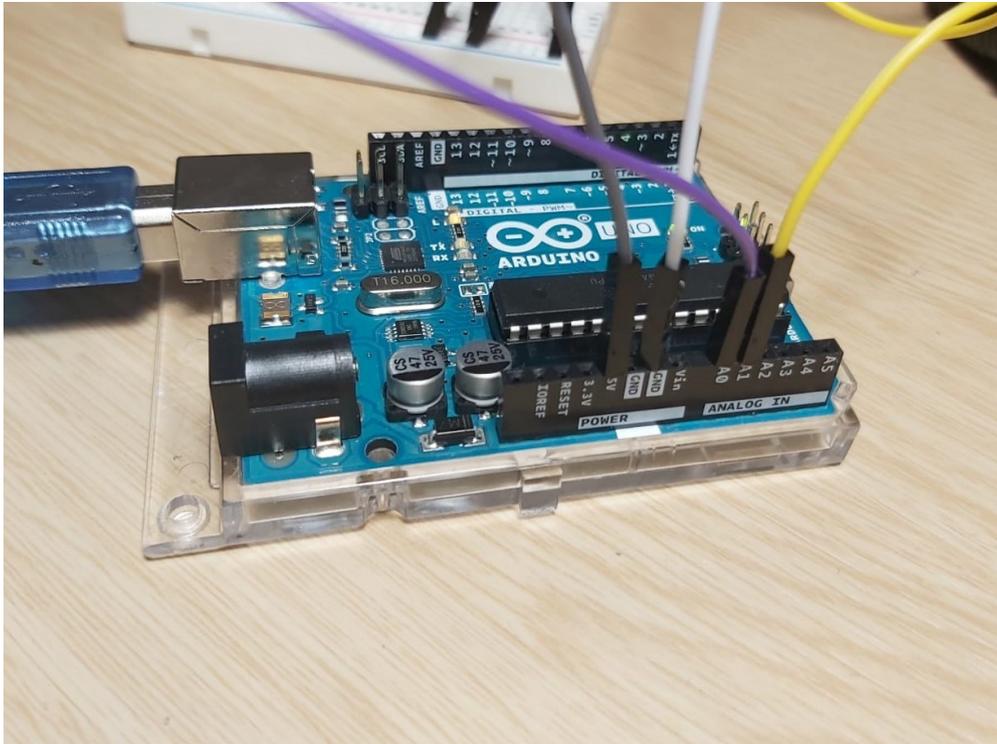


Figura 11: Ingrandimento del collegamento di Figura 10.

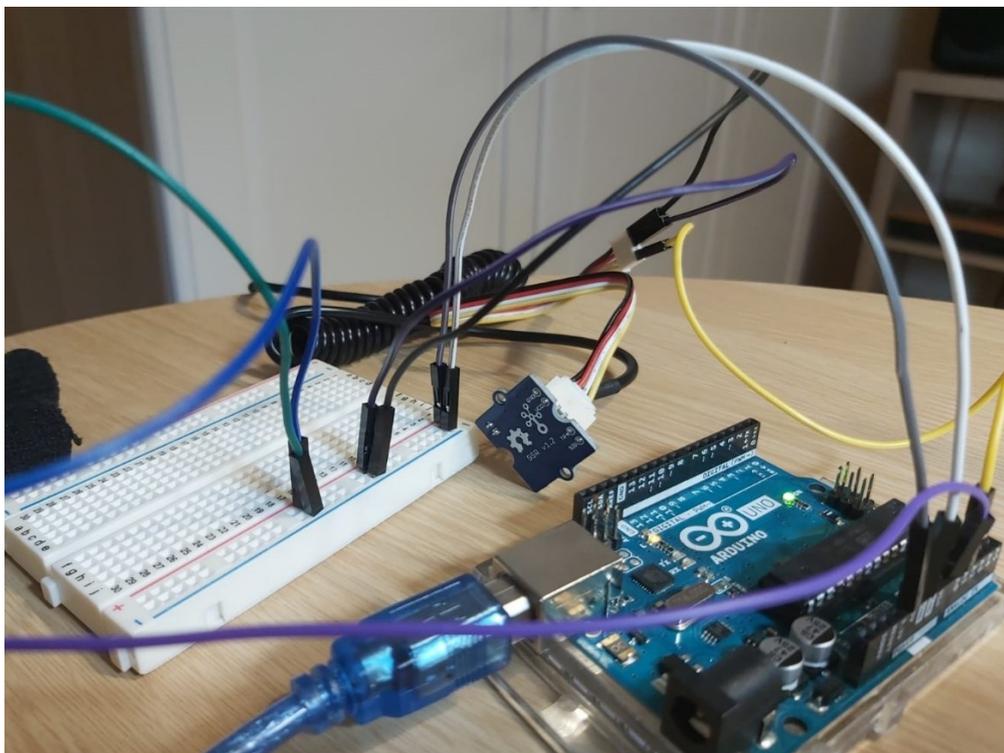


Figura 11: Ingrandimento del collegamento di Figura 10.

Siccome la scheda Arduino UNO non ha a disposizione due pin di alimentazione a 5 V, per alimentare entrambi i sensori alla tensione di 5 V si è utilizzata una breadboard.

Nelle Figure 11 e 12:

- 1) Il jumper grigio è usato per collegare il pin 5 V di Arduino con la linea di alimentazione (+) della breadboard mentre il jumper bianco è usato per collegare il pin GND di Arduino con la linea di alimentazione (-) della breadboard.
- 2) Il jumper viola(1) corrisponde al filo giallo del sensore GSR 1: deve essere collegato su un pin di input analogico (si utilizza il pin A0).
- 3) Il jumper giallo corrisponde al filo giallo del sensore GSR 2: deve essere collegato su un pin di input analogico (si utilizza il pin A1).
- 4) Il jumper blu corrisponde al filo rosso del sensore GSR 1: deve essere collegato su uno dei fori della linea + della breadboard.
- 5) Il jumper verde corrisponde al filo nero del sensore GSR 1: deve essere collegato su uno dei fori della linea - della breadboard.
- 6) Il jumper viola(2) corrisponde al filo rosso del sensore GSR 2: deve essere collegato su uno dei fori della linea + della breadboard.
- 7) Il jumper nero corrisponde al filo nero del sensore GSR 2: deve essere collegato su uno dei fori della linea - della breadboard.

2.3 AMBIENTE DI SVILUPPO INTEGRATO DI ARDUINO

L'ambiente di sviluppo integrato di Arduino (IDE) è un'applicazione che consente di realizzare i programmi eseguibili sulle schede di Arduino (detti sketch) tramite il linguaggio Arduino, ovvero una semplificazione del linguaggio C++.

In questo caso bisogna realizzare un programma che consente di visualizzare sul computer i valori letti dal pin analogico su cui è collegato il sensore GSR.

Lo sketch utilizzato per realizzare le prove sperimentali con un singolo sensore GSR è riportato nella Figura 13.

```

sketch_gsr.ino
1  const int gsr=A0;
2  int sensorValue=0;
3  int gsr_average=0;
4  void setup() {
5      Serial.begin(9600);
6
7  }
8
9  void loop() {
10     long sum=0;
11     for(int i=0;i<10;i++) // Faccio la media su 10 misure per rimuovere il glitch
12     {
13         sensorValue=analogRead(gsr);
14         sum=sum+sensorValue;
15         delay(5);
16     }
17     gsr_average=sum/10;
18     Serial.print("gsr_average:");
19     Serial.println(gsr_average);
20 }
21

```

Figura 13: Sketch di acquisizione della GSR da singolo sensore.

Di seguito viene fornita la spiegazione del codice sorgente implementato.

Nella fase di inizializzazione si introducono:

- 1) La costante “gsr” associata al pin A0
- 2) La variabile “sensorValue” utilizzata per memorizzare il valore letto sul pin A0
- 3) La variabile “gsr_average” utilizzata per memorizzare la media sulle 10 letture consecutive.

Nella fase di set up tramite l’istruzione “Serial.begin” (9600) viene impostata la comunicazione seriale tra il computer e la scheda Arduino definendo la velocità di trasmissione in simboli per secondo (baud).

Nel main loop, per ogni valore letto sul monitor, si calcola una media sulle 10 letture del pin A0.

Per fare in modo che il microcontrollore della scheda Arduino possa leggere i valori sul pin A0 su cui è collegato il sensore GSR (vedere Figura 9) bisogna utilizzare l’istruzione “analogRead” (gsr).

La media viene eseguita per rimuovere possibile rumore che vada a disturbare la singola misura.

Per realizzare la media su 10 letture, all'interno del ciclo for, si sommano per 10 volte i valori letti sul pin A0 (mediante l'istruzione `sum=sum+sensorValue`) e poi si divide il risultato finale per 10.

Infine, per poter visualizzare la media di 10 letture consecutive del pin A0 sul monitor, viene utilizzata l'istruzione "Serial.println" (`gsr_average`).

Per realizzare le prove sperimentali usando contemporaneamente i due sensori, bisogna utilizzare un altro programma.

Questo secondo sketch, quindi, mostrato in Figura 14, viene eseguito quando c'è la necessità di dover leggere insieme i valori su due pin analogici diversi della scheda Arduino UNO.

```
sketch_sensori.ino
1
2  const int sens1=A0;
3  int sensorValue1=0;
4  int gsr_average1=0;
5  const int sens2=A1;
6  int sensorValue2=0;
7  int gsr_average2=0;
8  void setup() {
9      Serial.begin(9600);
10
11 }
12
13 void loop() {
14     long sum1=0;
15     long sum2=0;
16     for(int i=0;i<10;i++) // Faccio la media su 10 misure per rimuovere il glitch
17     {
18         sensorValue1=analogRead(sens1);
19         sum1=sum1+sensorValue1;
20         sensorValue2=analogRead(sens2);
21         sum2=sum2+sensorValue2;
22
23         delay(10);
24     }
25     gsr_average1=sum1/10;
26     gsr_average2=sum2/10;
27     Serial.print(gsr_average1 );Serial.print(" ");Serial.print( gsr_average2);Serial.println();
28 }
29
30
```

Figura 14: Sketch di acquisizione della GSR da due sensori.

Di seguito viene fornita la spiegazione del codice sorgente implementato.

Lo stesso ragionamento fatto precedentemente, viene applicato in questo sketch per visualizzare sul monitor i valori letti dalla scheda Arduino sul pin A0 su cui è collegato

il primo sensore, e sul pin A1 su cui è collegato il secondo sensore (si veda la Figura 11).

Per analogia, quindi, si usano le stesse variabili (ma con nomi diversi) e le stesse istruzioni dello sketch precedente per leggere la media di 10 letture consecutive sia sul pin A0 che sul pin A1.

Infine, per poter visualizzare la media di 10 letture consecutive, sia sul pin A0 che sul pin A1, vengono utilizzate le istruzioni: `“Serial.print (gsr_average1)”`; `“Serial.print (“;”)”`; `“Serial.print (gsr_average2)”`; `“Serial.println()”`.

Si usa questa serie di istruzioni per poter visualizzare i dati come due vettori colonna. In questo modo, una volta che si sono salvati i dati tramite l'applicazione Coolterm, si possono importare i dati salvati nell'ambiente Matlab, rappresentarli come dei vettori colonna e infine realizzare i grafici di interesse.

2.4 COOLTERM

Per visualizzare i valori letti dai pin analogici della scheda Arduino sul computer, l'IDE di Arduino ha a disposizione una finestra seriale di monitoring (Serial Monitor).

Tuttavia, il Serial Monitor di Arduino presenta diversi limiti, uno tra tutti è l'impossibilità di salvare i dati inviati serialmente da Arduino.

Per salvare i valori letti dal pin A0 e dal pin A1 di Arduino, si utilizza il software Coolterm: un terminale alternativo di Arduino che offre numerose funzionalità aggiuntive.

Una volta caricato lo sketch sulla scheda Arduino, i passaggi da eseguire per visualizzare e salvare i dati letti da Arduino sono:

- 1) Prima di avviare la comunicazione seriale tra Arduino e il computer, bisogna configurare correttamente la trasmissione dati. Con Arduino connesso al computer, aprire l'applicazione Coolterm e selezionare la voce “Options”. Qui è possibile impostare la porta a cui è connessa la scheda Arduino e la velocità di trasmissione a 9600 baud/rate. La Figura 15 mostra la voce “Options” e le sue impostazioni.

- 2) Per salvare i dati in un file di testo, prima di avviare la comunicazione seriale, selezionare la voce “Connection”, scegliere la voce “File Capture” e infine selezionare la voce “Start”. In Figura 16 viene raffigurato come scegliere il nome del file su cui salvare i dati acquisiti.
- 3) Per avviare la comunicazione tra Arduino e il computer, bisogna selezionare la voce “Connect”. Da qui inizieranno a comparire sul monitor i valori letti dal pin A0 e dal pin A1 su cui sono collegati i due sensori GSR. In Figura 17 è illustrato come andare ad avviare la trasmissione tramite la voce “Connect”.
- 4) Per interrompere la comunicazione basta selezionare la voce “Disconnect”. In Figura 18 viene raffigurata l’icona “Disconnect”.

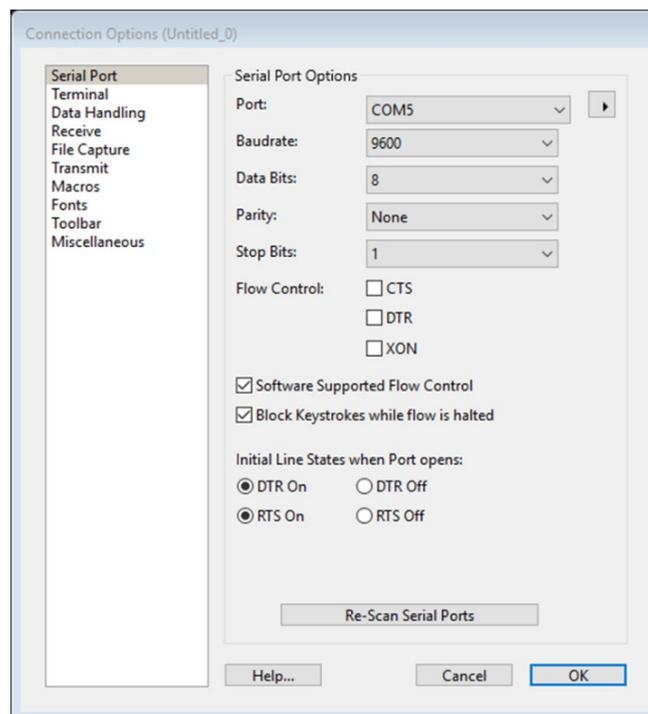


Figura 15: Voce “Options”.

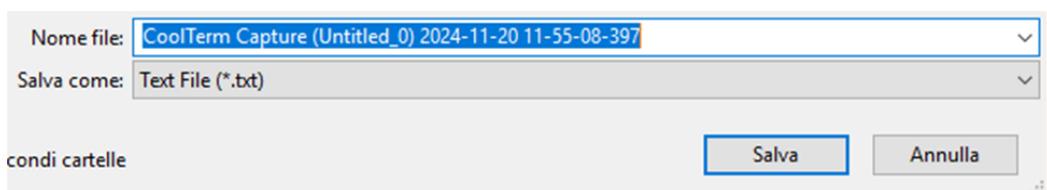


Figura 16: Voce “Start”.

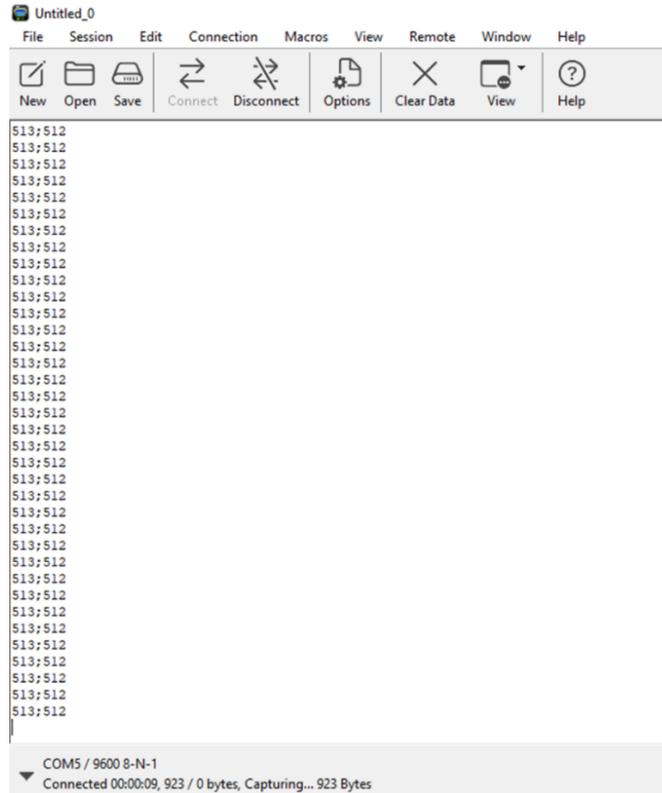


Figura 17: Voce “Connect”.

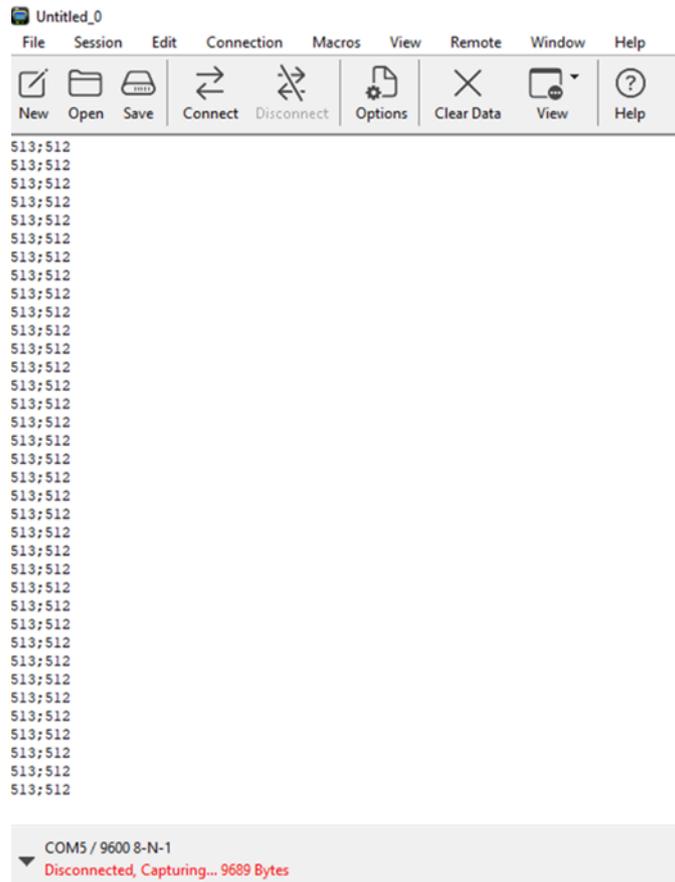


Figura 18: Voce “Disconnect”.

2.5 MATLAB

Matlab è un'applicazione di calcolo numerico, sviluppata da MathWorks, che realizza programmi e algoritmi utilizzando il linguaggio di programmazione Matlab [10].

Due delle principali funzionalità di Matlab sono:

- 1) Manipolare vettori e matrici.
- 2) Rappresentare graficamente i dati numerici.

Matlab viene utilizzato, infatti, per rappresentare graficamente la risposta galvanica della pelle, ovvero verranno raffigurati i valori digitali prelevati dal pin A0 e dal pin A1 sui quali ho collegato i due sensori GSR.

I passaggi da seguire per poter realizzare tali grafici sono:

- 1) Importare su Matlab il file di testo, realizzato con l'applicazione Coolterm, in cui risiedono i valori letti dai pin analogici A0 e A1. Questo è reso possibile selezionando la voce "Import Data". Una volta selezionata basta scegliere il file di testo che si vuole importare su Matlab. La Figura 19 mostra dove si trova la voce "Import Data" su Matlab.

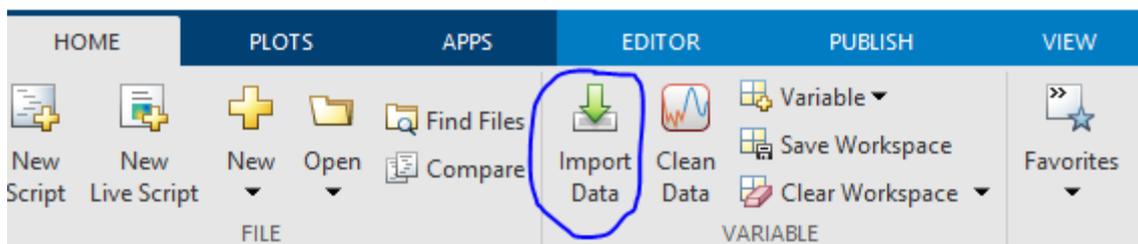


Figura 19: Voce "Import Data".

- 2) Una volta selezionato il file di testo che vogliamo importare, si aprirà una sottofinestra, in cui si visualizzerà i dati salvati. Per selezionare i dati salvati come vettori colonna bisogna andare sulla voce "Output Type" e selezionare "Column vectors".
- 3) Per importare i vettori colonna sul Workspace di Matlab basta selezionare la voce "ImportSelection".

La Figura 20 mostra la voce "Output Type" e la voce "ImportSelection".

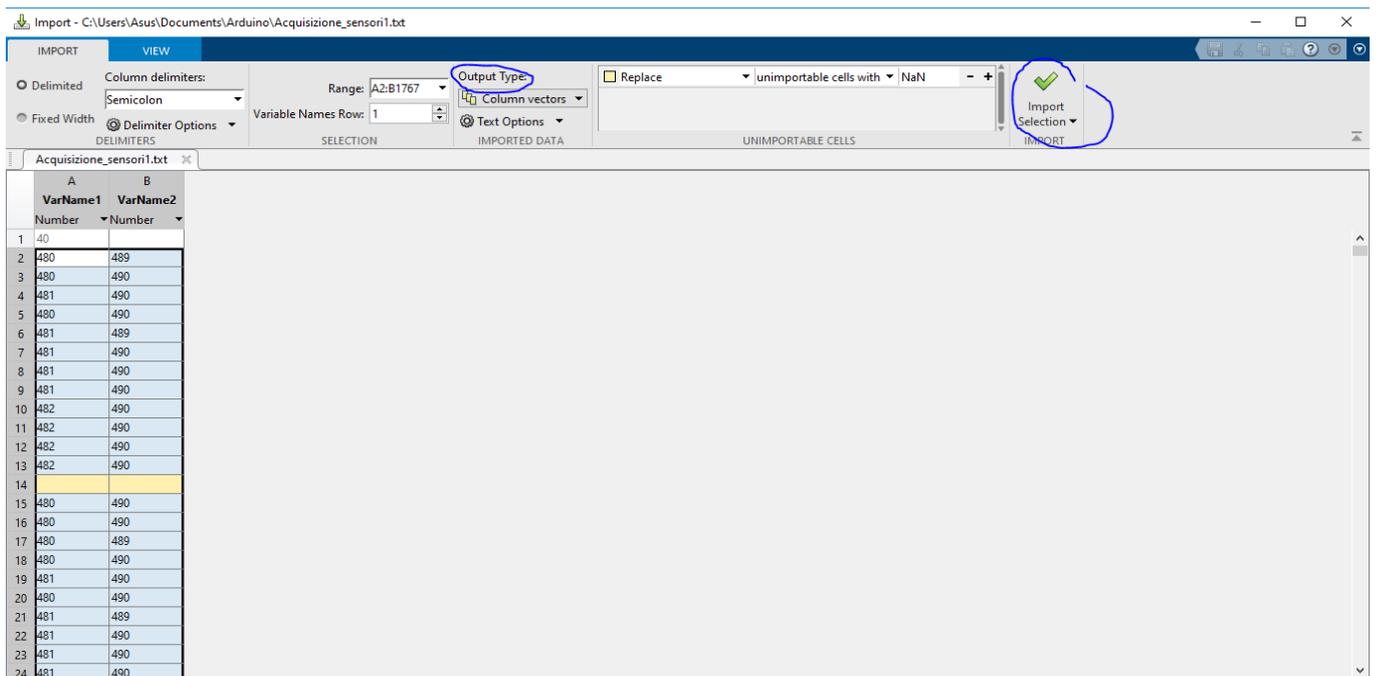


Figura 20: Voci "Output Type" e "Import Selection".

4) Il codice Matlab utilizzato per rappresentare graficamente i due vettori colonna è riportato nella Figura 21.

```

1 plot(VarName1);
2 hold on
3 plot(VarName2);
4 title("Acquisizione sensori");
5 xlabel("N°campioni");
6 ylabel("gsr average:");
7 hold off
8 clc
9 |

```

Figura 21: Codice Matlab per rappresentare graficamente i vettori

Di seguito viene fornita la spiegazione del codice sorgente implementato.

Per rappresentare graficamente i vettori colonna su Matlab, si può utilizzare la funzione `plot(VarName1)` dove `VarName1` è il nome utilizzato per il primo vettore colonna. Analogamente facciamo la stessa cosa per `VarName2`, ossia per il secondo vettore colonna.

Per poter rappresentare le due curve sullo stesso grafico, prima di scrivere `plot(VarName2)` bisogna inserire l'istruzione `hold on` e dopo aver scritto `plot(VarName2)` bisogna inserire l'istruzione `hold of`.

I vettori `VarName1` e `VarName2` sono vettori colonna con `N` righe x 1 colonna dove `N` è il numero di campioni dell'acquisizione.

Per questo motivo scrivendo `plot(VarName1)` o `plot(VarName2)` viene creato un grafico dove sull'asse delle `x` si avrà il numero `N` di campioni dell'acquisizione mentre sull'asse delle `y` si avrà i corrispondenti valori.

Per abbellire il grafico è possibile inserire delle etichette per il titolo, l'asse delle `x` e l'asse delle `y` tramite le rispettive funzioni: `title`, `xlabel`, `ylabel`.

Infine, prima di eseguire il codice, bisogna verificare che i vettori `VarName1` e `Varname2` non abbiano delle celle `NaN` (Not a Number). Questa dicitura, infatti, sta a significare che è avvenuta una perdita di informazione durante l'acquisizione dei segnali GSR e perciò queste celle dovranno essere eliminate o sostituite.

CAPITOLO 3: PROVE SPERIMENTALI

Le prove sperimentali che sono state svolte per acquisire la risposta galvanica della pelle sono organizzate in due gruppi:

- 1) Nel primo gruppo, le acquisizioni del segnale GSR vengono svolte su un singolo sito di misura: in questo caso, quindi, viene utilizzato un solo sensore GSR.
- 2) Nel secondo gruppo, le acquisizioni del segnale GSR vengono eseguite su due siti di misura: in questo caso, quindi, vengono applicati due sensori GSR.

Poiché il segnale di risposta galvanica è molto variabile, tutte le acquisizioni sono state svolte rispettando la seguente procedura:

- 1) Il soggetto interessato è stato fatto sedere su una sedia.
- 2) La mano o le mani su cui vengono collegati gli elettrodi devono essere appoggiate ad un piano e devono rimanere ferme per tutta la durata dell'acquisizione.
- 3) La persona sotto test deve essere il più rilassata possibile: questo significa che l'interessato non deve essere in alcun modo stimolato, ovvero non può parlare né ascoltare suoni o musica e né guardare immagini o video.

Per analizzare il segnale GSR su un singolo sito di misura, sono state realizzate in totale 10 acquisizioni ciascuna con una durata di 3 minuti.

5 acquisizioni sono state effettuate utilizzando il primo sensore GSR mentre le altre 5 sono state svolte utilizzando il secondo sensore.

In tutte e 10 le acquisizioni, gli elettrodi vengono posizionati su due dita adiacenti: uno degli elettrodi viene inserito nell'indice mentre l'altro nel medio.

La Figura 22 illustra in che modo sono state realizzate le 10 acquisizioni. Inoltre, in Figura 23 viene raffigurato nel dettaglio il posizionamento degli elettrodi.

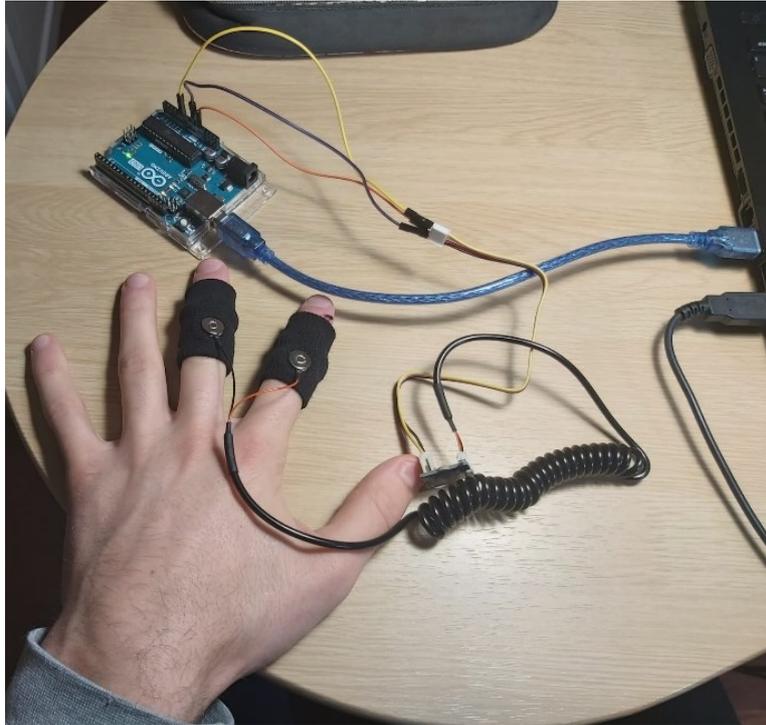


Figura 22: Postazione di acquisizione.

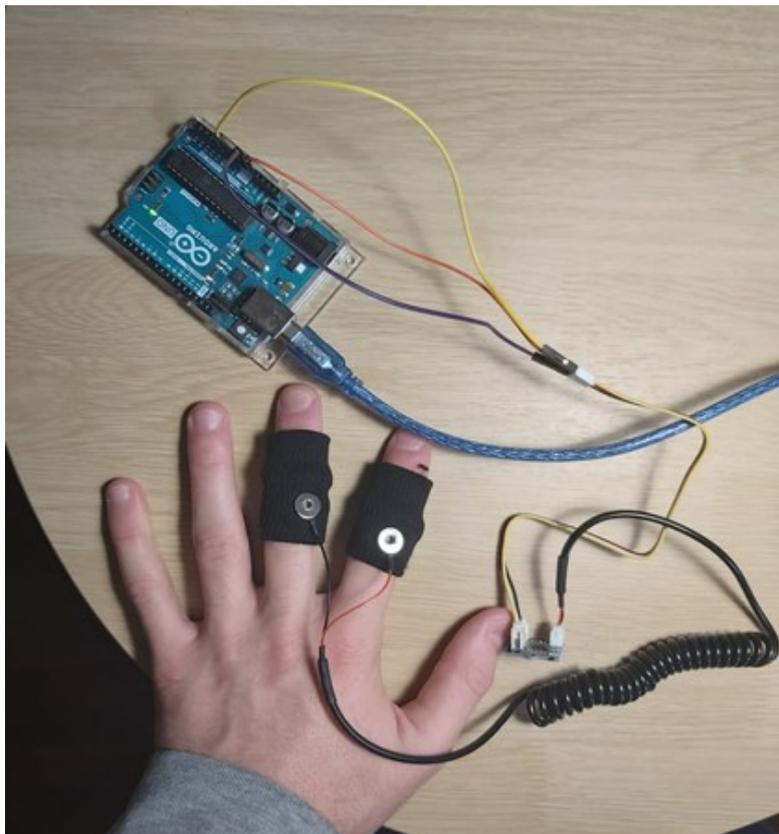


Figura 23: Posizionamento degli elettrodi.

Per analizzare il segnale GSR su due siti di misura diversi sono state effettuate diverse acquisizioni:

- 1) Le prime 5 acquisizioni, ciascuna di durata di 3 minuti, sono state svolte applicando i due sensori su coppie di dita diverse della stessa mano. La prima coppia di elettrodi, infatti, è stata applicata sull'indice e sul medio mentre la seconda coppia di elettrodi è stata applicata sul mignolo e sull'anulare. La Figura 24 illustra la modalità appena descritta.
- 2) Altre 5 acquisizioni, ciascuna di durata di 3 minuti, sono state svolte applicando i due sensori sulla stessa coppia di dita su mani diverse. La prima coppia di elettrodi, infatti, è stata applicata sull'indice e sul medio della mano destra mentre la seconda coppia di elettrodi è stata applicata sull'indice e sul medio della mano sinistra. La Figura 25 mostra la modalità appena descritta.
- 3) 3 acquisizioni, ciascuna di durata di 9 minuti, sono state svolte applicando il primo sensore sul palmo della mano mentre il secondo sensore è stato applicato sull'indice e sul medio sempre della stessa mano. Questo tipo di acquisizione viene raffigurata in Figura 26.
- 4) Le ultime 3 acquisizioni, ciascuna di durata di 9 minuti, sono state svolte applicando il primo sensore sul palmo della mano sinistra mentre il secondo sensore è stato applicato sull'indice e sul medio della mano destra. La Figura 27 mostra quanto appena descritto.

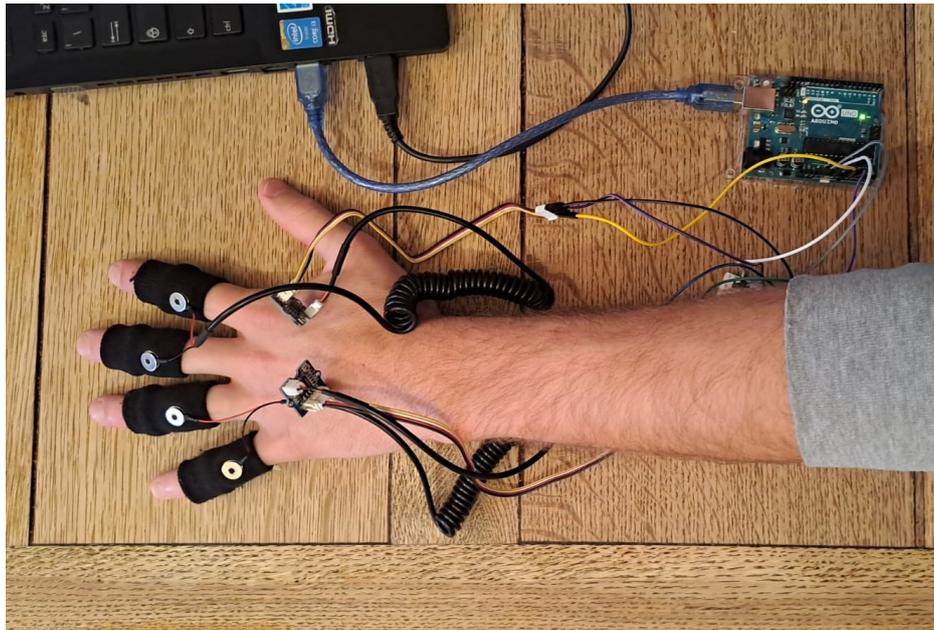


Figura 24: Coppie di dita diverse della stessa mano.

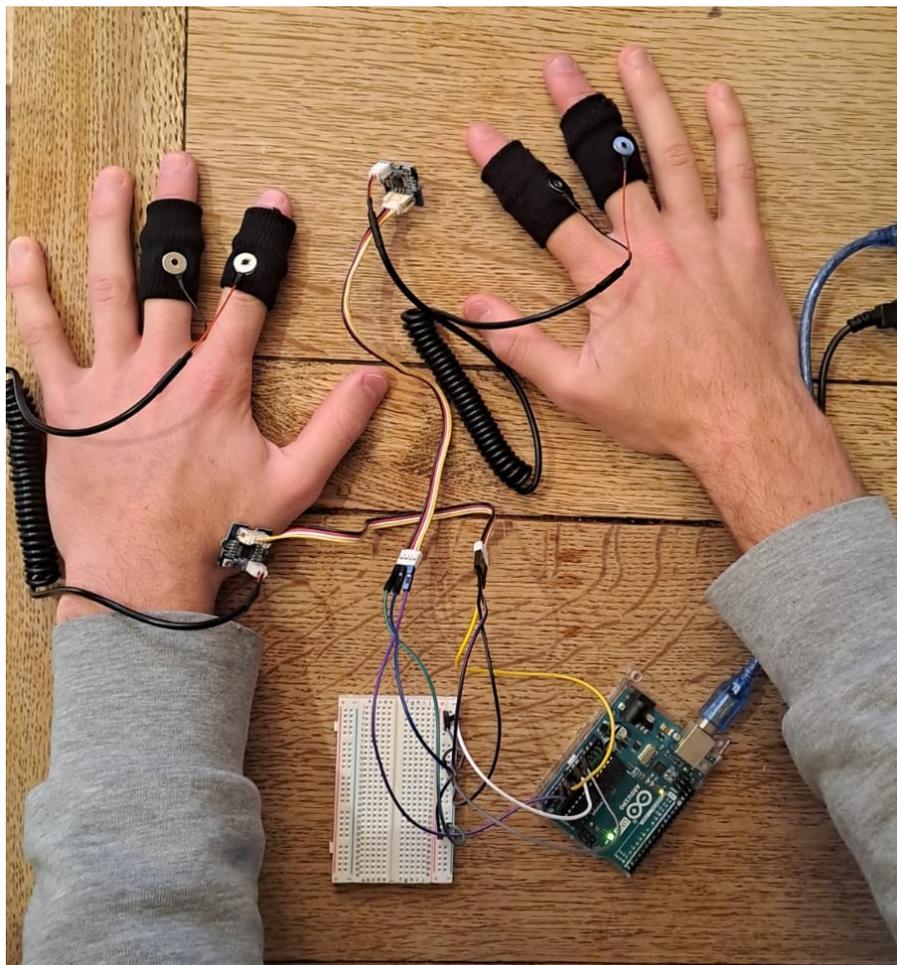


Figura 25: Stessa coppia di dita su mani diverse.

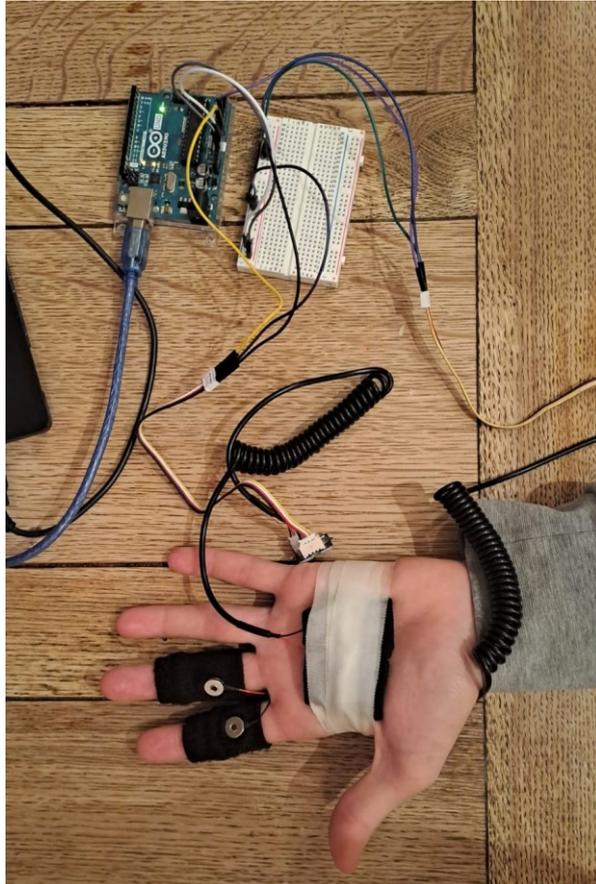


Figura 26: Palmo e dita della stessa mano.

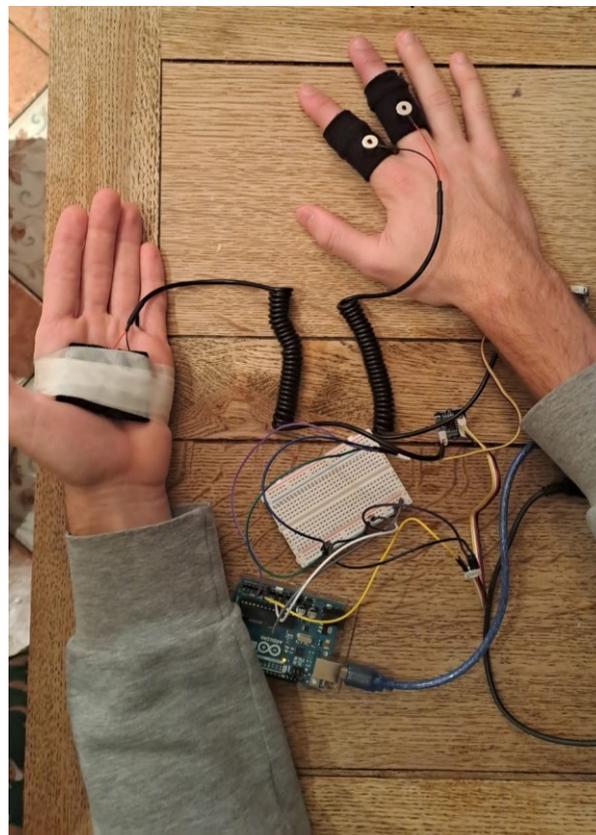


Figura 27: Palmo e dita di due mani diverse.

CAPITOLO 4: RISULTATI

Per quanto riguarda il primo gruppo di acquisizioni che utilizzano un solo sensore GSR, vengono rappresentati graficamente i valori digitali acquisiti dal pin A0 della scheda Arduino su cui è collegato il sensore.

Sul grafico i valori digitali che restituisce Arduino (da -512 a +512) sono riportati in valori di tensione tramite l'equazione (1) descritta nel sotto capitolo 2.2.

Per ogni acquisizione, inoltre, viene calcolato il valor medio del segnale GSR e l'incertezza di misura sugli N campioni dell'acquisizione:

$$1) \text{ Valore Medio (M)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (g_{sr_average_i}) \text{ [V]}$$

$$2) \text{ Incertezza di misura (u)} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N |g_{sr_average_i} - M|^2} \text{ [V]}$$

Come viene spiegato nel dettaglio nel capitolo 2.3, la variabile $g_{sr_average_i}$ rappresenta la media di 10 letture consecutive sul pin analogico A0.

Di seguito vengono raffigurati i grafici delle prime 5 acquisizioni con il primo sensore GSR.

La Figura 28 mostra i risultati rilevati nella prima acquisizione.

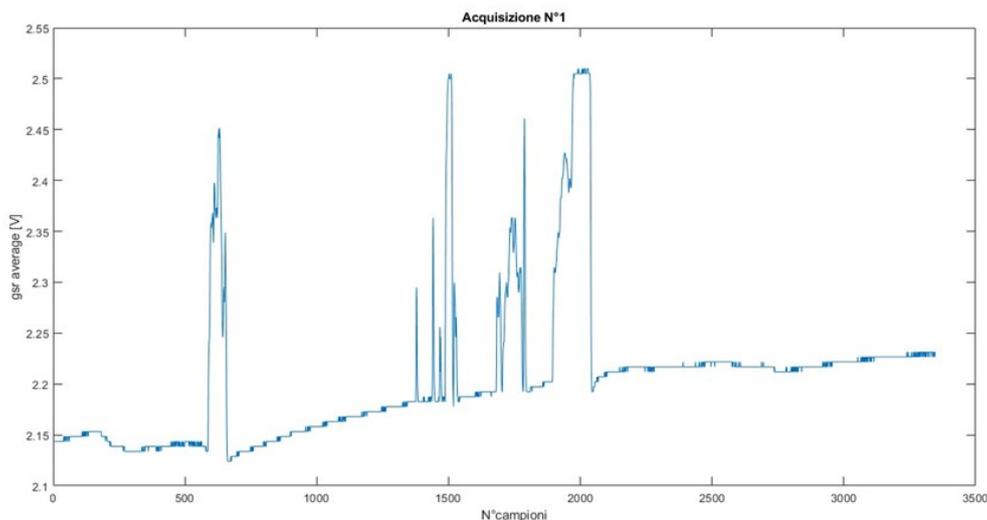


Figura 28: Acquisizione 1.

Numero di campioni = 3346

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero:

$M=2.2063$ [V]; $u=0.0013$ [V]

La Figura 29 illustra graficamente i valori letti nella seconda acquisizione.

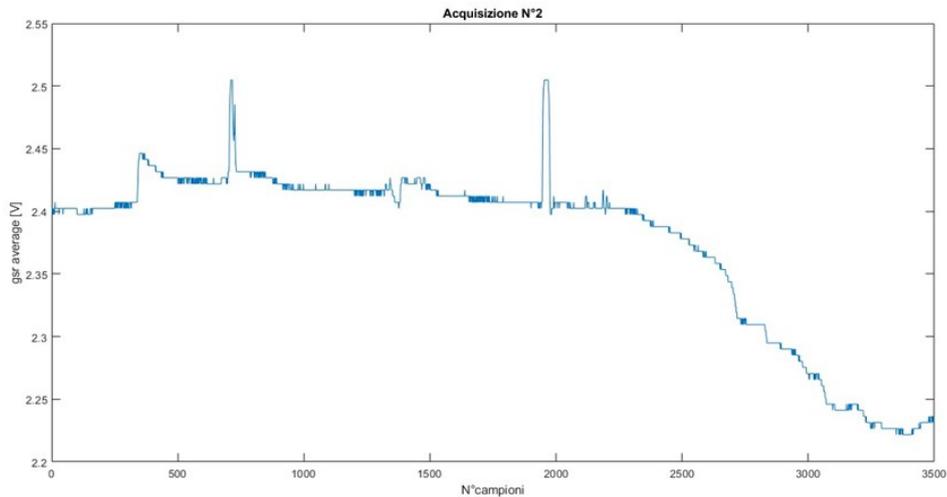


Figura 29: Acquisizione 2.

Numero di campioni =3498

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero:

$M= 2.3762$ [V]; $u=0.0011$ [V]

La Figura 30 mostra i risultati ottenuti nella terza acquisizione.

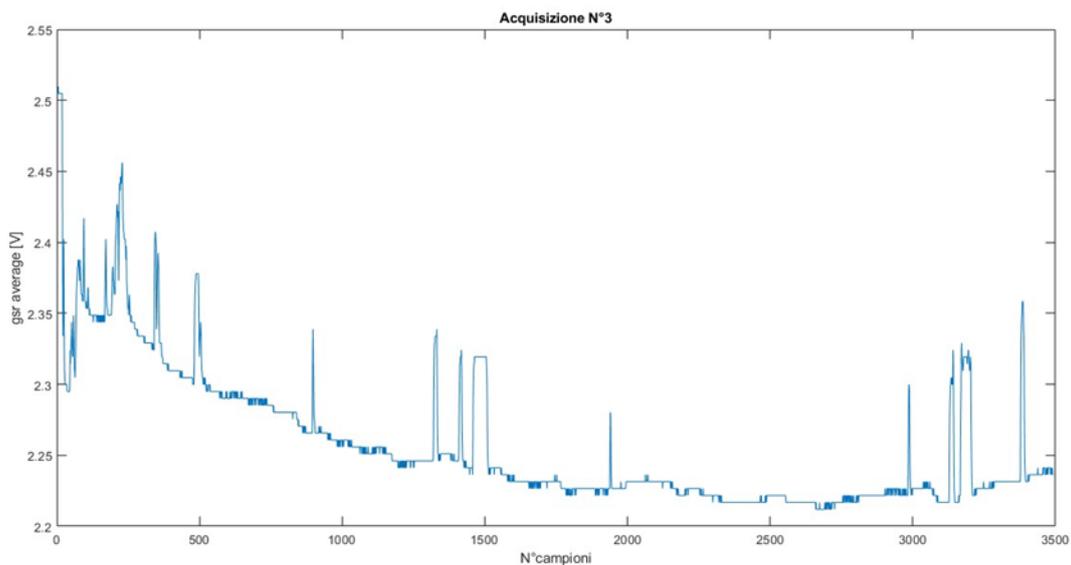


Figura 30: Acquisizione 3

Numero di campioni =3492

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero:

$$M= 2.25828[V]; u=0.00083 [V]$$

La Figura 31 illustra graficamente i valori letti nella quarta acquisizione.

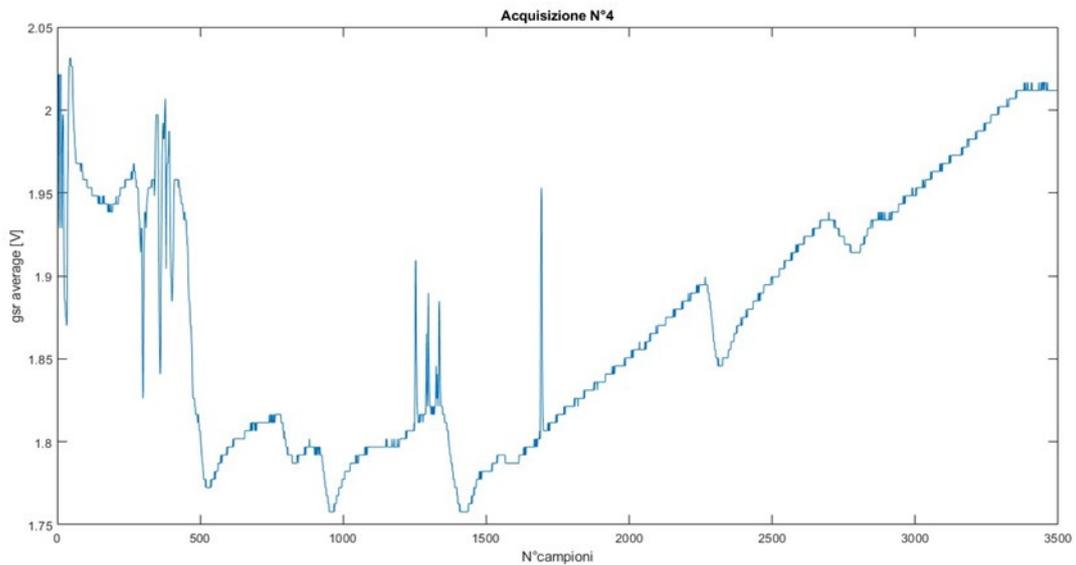


Figura 31: Acquisizione 4

Numero di campioni =3496

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero:

$$M= 1.8765[V]; u=0.0013 [V]$$

La Figura 32 rappresenta graficamente i risultati ottenuti nella quinta acquisizione.

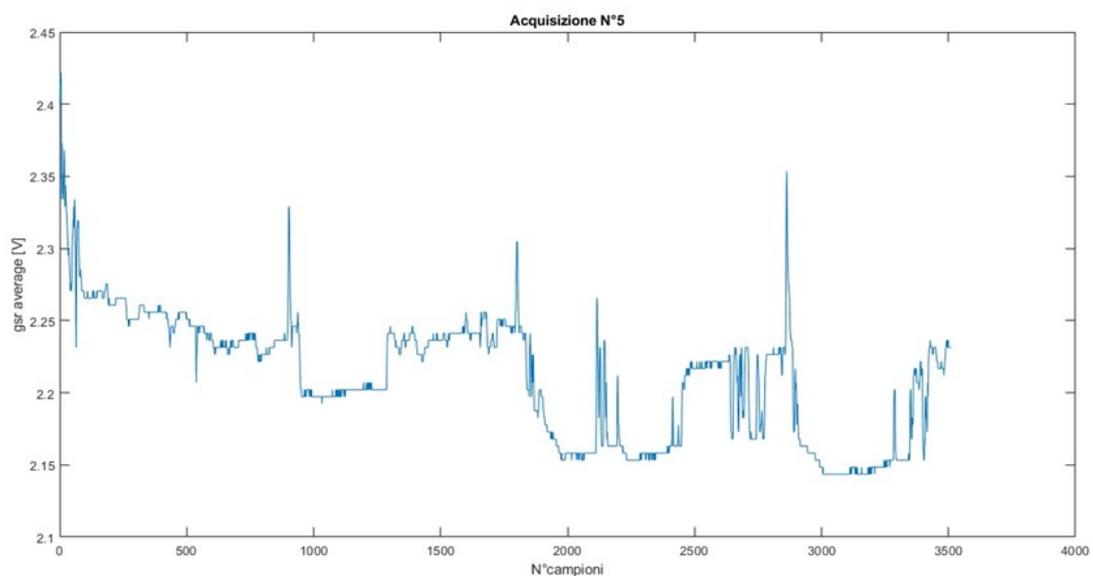


Figura 32: Acquisizione 5

Numero di campioni =3510

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero:

$M=2.21176$ [V]; $u= 0.00073$ [V]

Da qui verranno rappresentati i grafici delle ultime 5 acquisizioni effettuate utilizzando il secondo sensore GSR.

La Figura 33 riporta graficamente i risultati della sesta acquisizione.

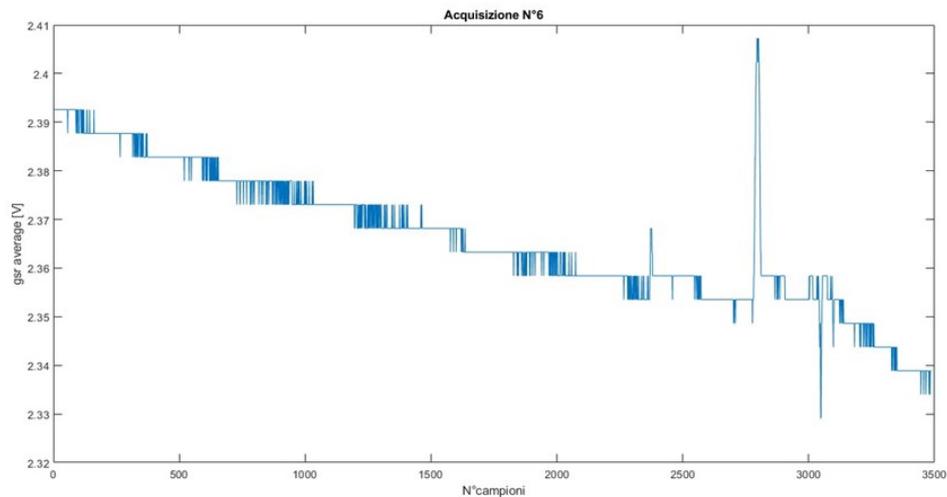


Figura 33: Acquisizione 6

Numero di campioni =3487

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero:

$M=2.36604$ [V]; $u=0.00024$ [V]

La Figura 34 mostra graficamente i valori letti nella settima acquisizione.

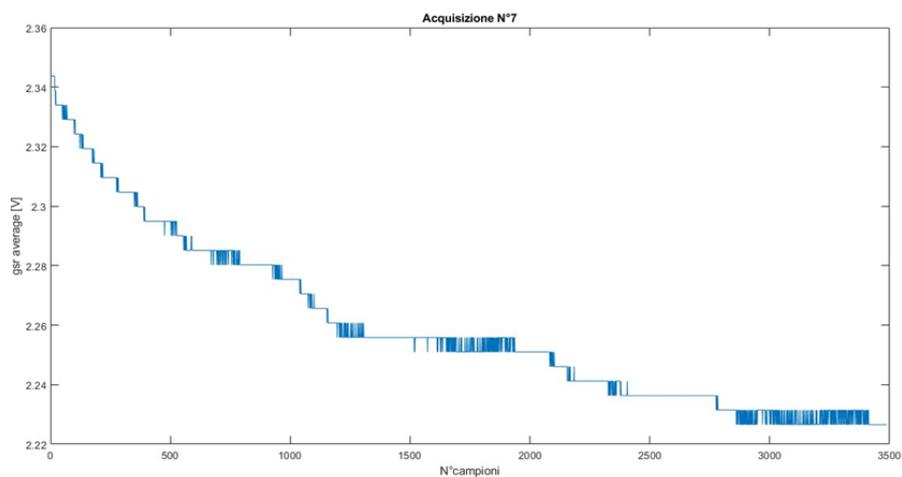


Figura 34: Acquisizione 7

Numero di campioni =3488

Con 2 cifre≠0: $M=2.25921$ [V]; $u=0.00048$ [V]

La Figura 35 illustra graficamente i risultati dell'ottava acquisizione.

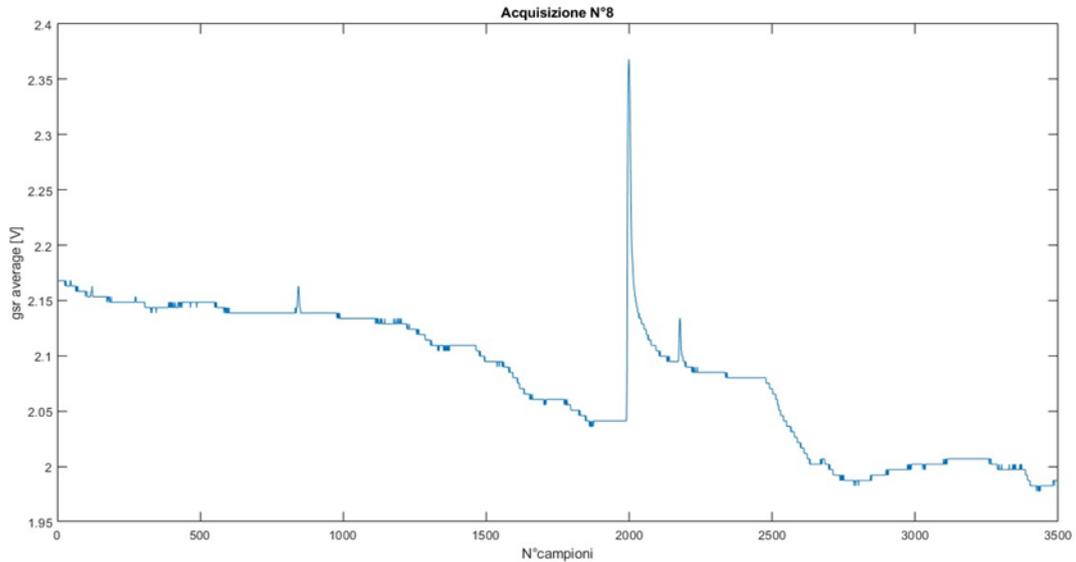


Figura 35: Acquisizione 8

Numero di campioni =3498

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero:

$M=2.08249$ [V]; $u= 0.00104$ [V]

La Figura 36 riporta graficamente i valori letti della nona acquisizione.

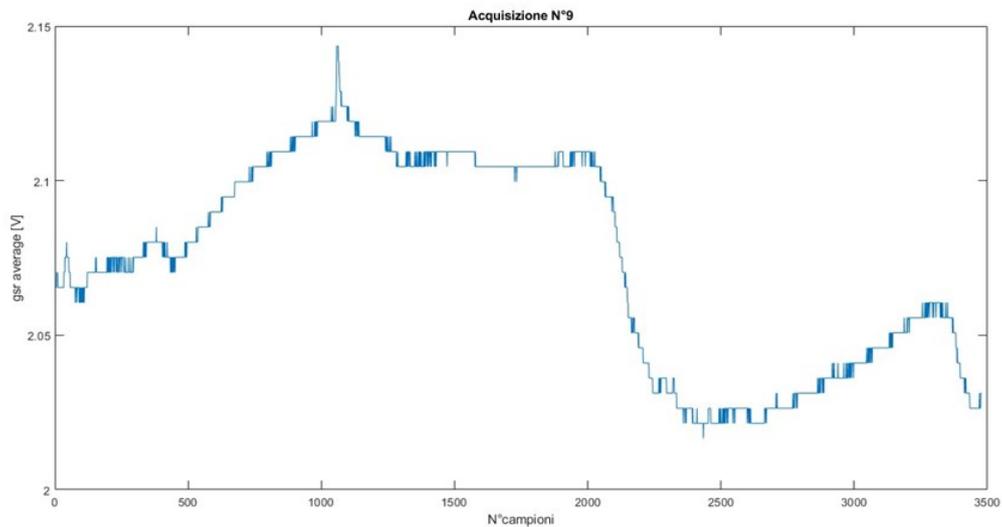


Figura 36: Acquisizione 9

Numero di campioni =3478

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero: $M= 2.07440$ [V];
 $u=0.00057$ [V]

La Figura 37 mostra i risultati ottenuti nella decima acquisizione.

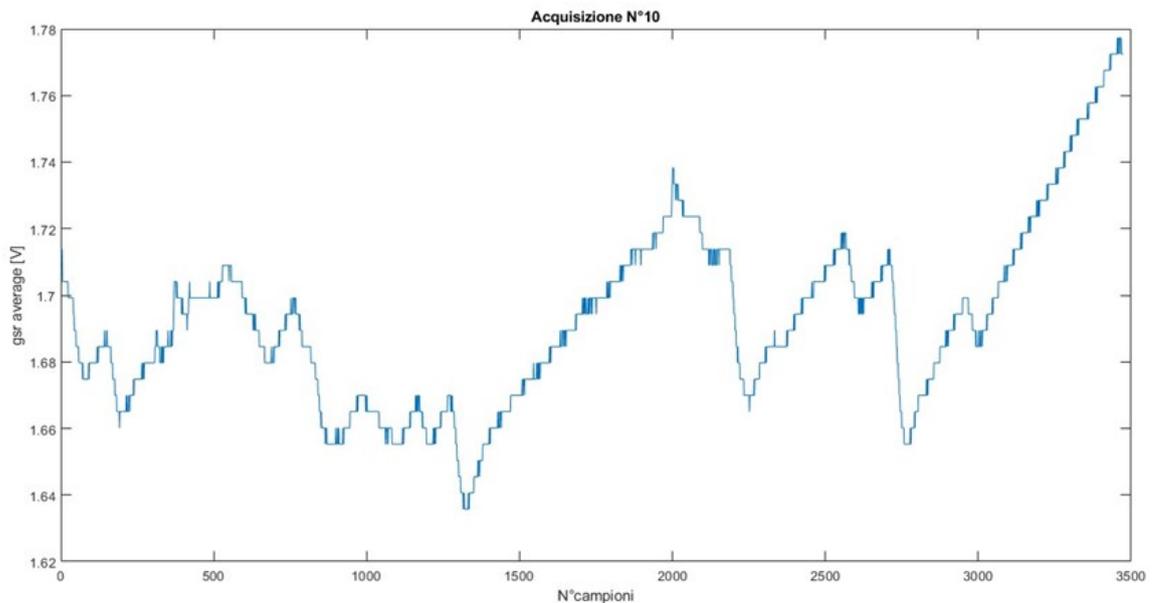


Figura 37: Acquisizione 10

Numero di campioni =3474

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero:

$M=1.69255$ [V]; $u=0.00046$ [V]

Per quanto riguarda il secondo gruppo di acquisizioni che utilizzano due sensori GSR, vengono rappresentati graficamente i valori digitali acquisiti dal pin A0 e dal pin A1 della scheda Arduino, convertendoli in valori di resistenza (della pelle umana) mediante la seguente equazione:

Human Resistance = $((1024 + 2 \times \text{gsr_average}) \times 10000) / (\text{Serial_calibration} - \text{gsr_average})$ [Ω] (Eq.2).

Dove:

- gsr_average = media di 10 letture consecutive su uno dei due pin analogici

- Serial_calibration = valore digitale in uscita dalla scheda Arduino quando il sensore GSR non ha nessun ingresso.

Serial calibration1=512; Serial calibration2=511.

La Figura 38 illustra il codice Matlab utilizzato per rappresentare graficamente i valori digitali in termini di Resistenza Umana.

```

1 N=length(VarName1);
2 c=2.*VarName1;
3 s=1024+c;
4 n=10000.*s;
5 d=512-VarName1;
6 human_resistance1=n./d;
7
8 l=2.*VarName2;
9 m=1024+l;
10 z=10000.*m;
11 k=511-VarName2;
12 human_resistance2=z./k;
13
14 Media1=mean(human_resistance1);
15 deviazione1=std(human_resistance1);
16 Numeratore=sqrt(N);
17 incertezza1=deviazione1./Numeratore;
18
19 Media2=mean(human_resistance2);
20 deviazione2=std(human_resistance2);
21 Numeratore=sqrt(N);
22 incertezza2=deviazione2./Numeratore;
23
24 plot(human_resistance1);
25 hold on
26 plot(human_resistance2);
27 title("Human Resistance sensori");
28 xlabel("N°campioni");
29 ylabel("Human Resistance [Ω]");
30 hold off

```

Figura 38: Codice Matlab per il calcolo della Resistenza Umana.

Di seguito viene fornita la spiegazione del codice sorgente implementato:

VarName1 e VarName2 sono i due vettori colonna che contengono rispettivamente i valori digitali acquisiti dal sensore GSR1 collegato sul pin A0 e dal sensore GSR2 collegato sul pin A1.

Per ognuno di essi viene calcolato i valori in termini di resistenza utilizzando l'equazione 2.

Questi valori sono contenuti nei vettori human_resistance1 e human_resistance2.

Per poter rappresentare le due curve sullo stesso grafico, prima di scrivere plot(human_resistance1) bisogna inserire l'istruzione hold on e dopo aver scritto plot(human_resistance2) bisogna inserire l'istruzione hold off.

Scrivendo `plot(human_resistance1)` o `plot(human_resistance2)` si otterrà un grafico dove sull'asse delle x si avrà il numero N di campioni dell'acquisizione mentre sull'asse delle y i corrispondenti valori.

Inoltre, per ogni vettore di "human_resistance" viene calcolato il valor medio e l'incertezza di misura:

- 1) Il valor medio del vettore si ricava utilizzando l'istruzione "mean".
- 2) Per determinare l'incertezza di misura, prima si calcola la sua deviazione standard utilizzando l'istruzione "std" e poi la si divide per la radice di N dove N è il numero di campioni dell'acquisizione.

In tutti i grafici che sono stati realizzati, la curva blu corrisponde ai valori di resistenza acquisiti dal primo sensore GSR (vettore "human_resistance1") mentre la curva rossa corrisponde ai valori di resistenza acquisiti dal secondo sensore GSR (vettore "human_resistance2").

Di seguito verranno rappresentati graficamente i valori letti nelle prime cinque acquisizioni, ovvero quelle prove che sono state svolte applicando i due sensori su coppie di dita diverse della stessa mano.

La Figura 39 mostra i risultati della prima acquisizione.

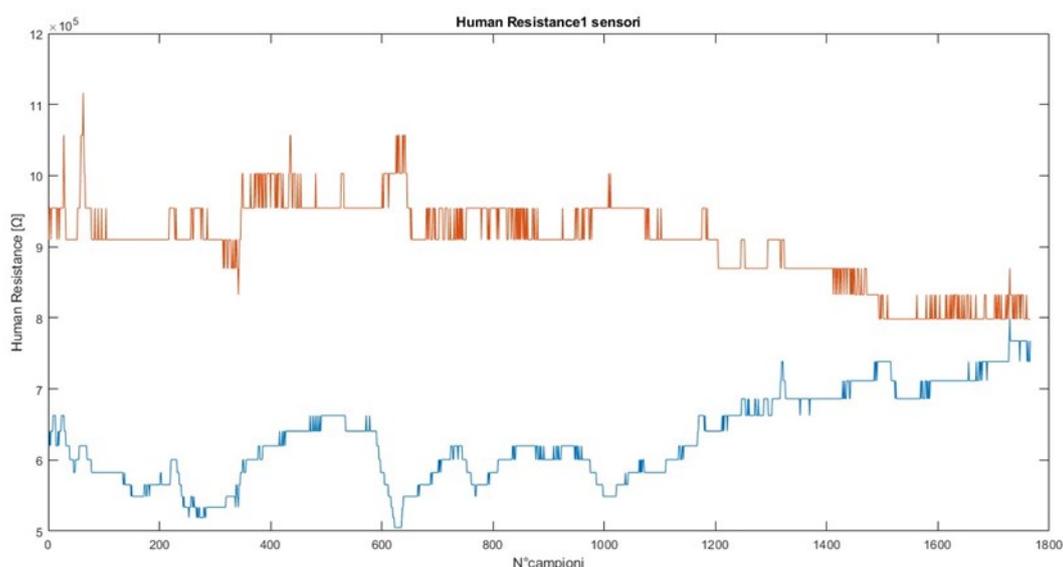


Figura 39: Human Resistance 1.

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero:

Numero di campioni=1766

Human Resistance Medio1= 629 040 [Ω] ; incertezza di misura1= 1500 [Ω]

Human Resistance Medio2= 906 592 [Ω] ; incertezza di misura2= 1400 [Ω]

La Figura 40 riporta visivamente i valori di resistenza della seconda acquisizione.

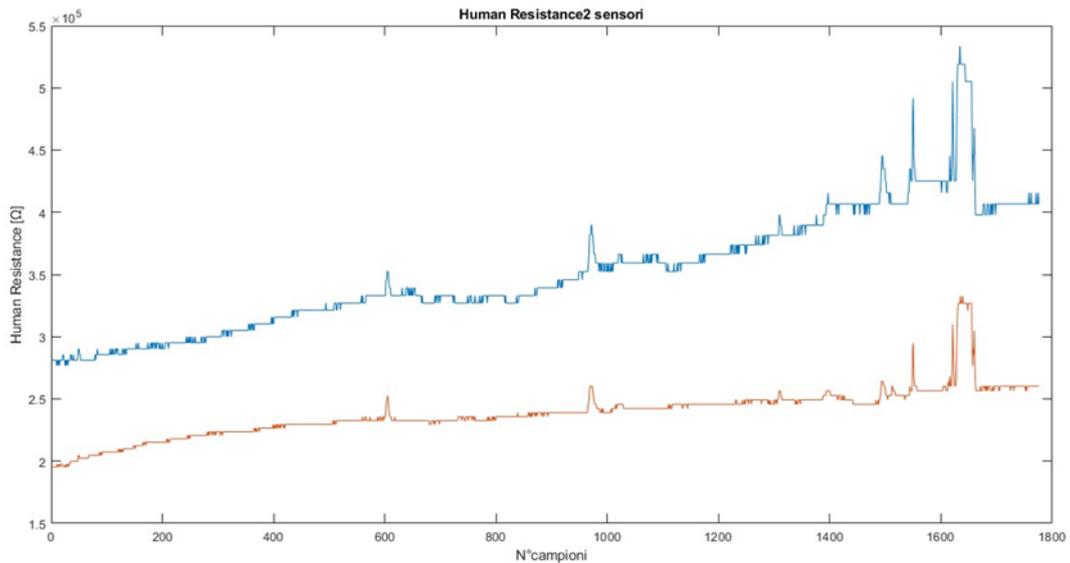


Figura 40: Human Resistance 2.

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero:

Numero di campioni=1776

Human Resistance Medio1= 351 113 [Ω] ; incertezza di misura1= 1200 [Ω]

Human Resistance Medio2= 238 298 [Ω] ; incertezza di misura2= 470 [Ω]

La Figura 41 illustra i valori di resistenza della terza acquisizione.

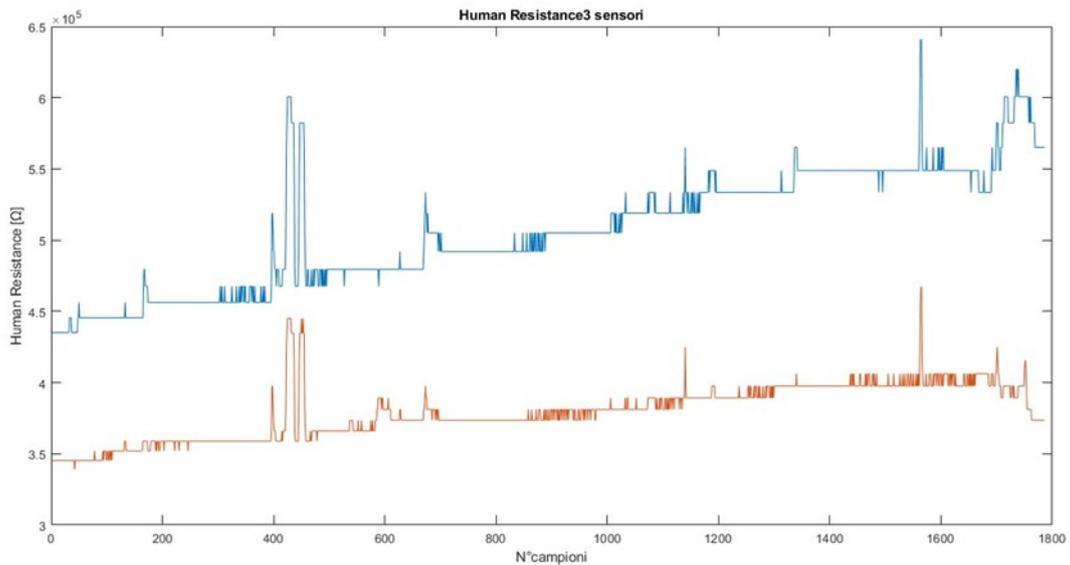


Figura 41: Human Resistance 3.

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero:

Numero di campioni=1786

Human Resistance Medio1= 506 567 [Ω] ; incertezza di misura1= 990 [Ω]

Human Resistance Medio2= 379 250 [Ω] ; incertezza di misura2= 450 [Ω]

La Figura 42 riporta i valori di resistenza della quarta acquisizione.

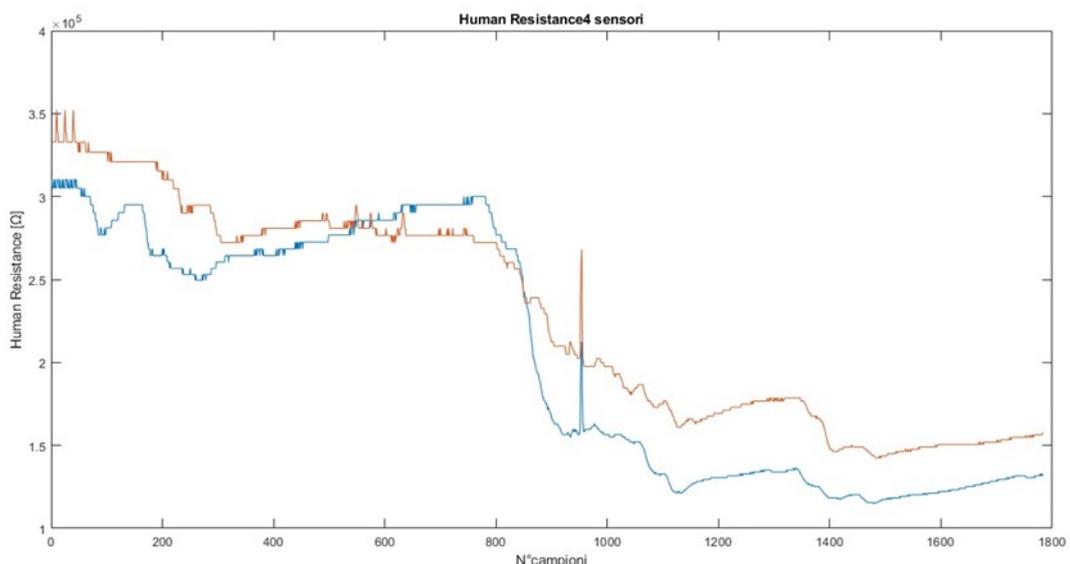


Figura 42: Human Resistance 4.

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero:

Numero di campioni=1783

Human Resistance Medio1= 204 360 [Ω] ; incertezza di misura1= 1800 [Ω]

Human Resistance Medio2= 227 983 [Ω] ; incertezza di misura2= 1600 [Ω]

La Figura 43 mostra i valori di resistenza della quinta acquisizione.

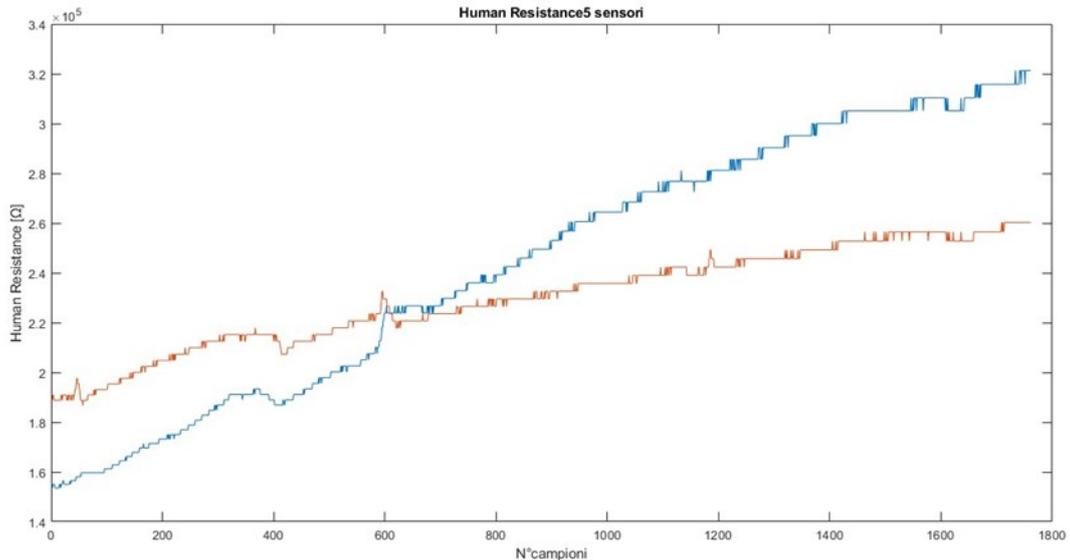


Figura 43: Human Resistance 5.

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero:

Numero di campioni=1761

Human Resistance Medio1= 244 151 [Ω] ; incertezza di misura1= 1300 [Ω]

Human Resistance Medio2= 230 136 [Ω] ; incertezza di misura2= 470 [Ω]

Di seguito, invece, verranno riportati i grafici delle altre cinque acquisizioni che sono state eseguite applicando i due sensori sulla stessa coppia di dita di mani diverse.

La Figura 44 illustra i valori di resistenza della sesta acquisizione.

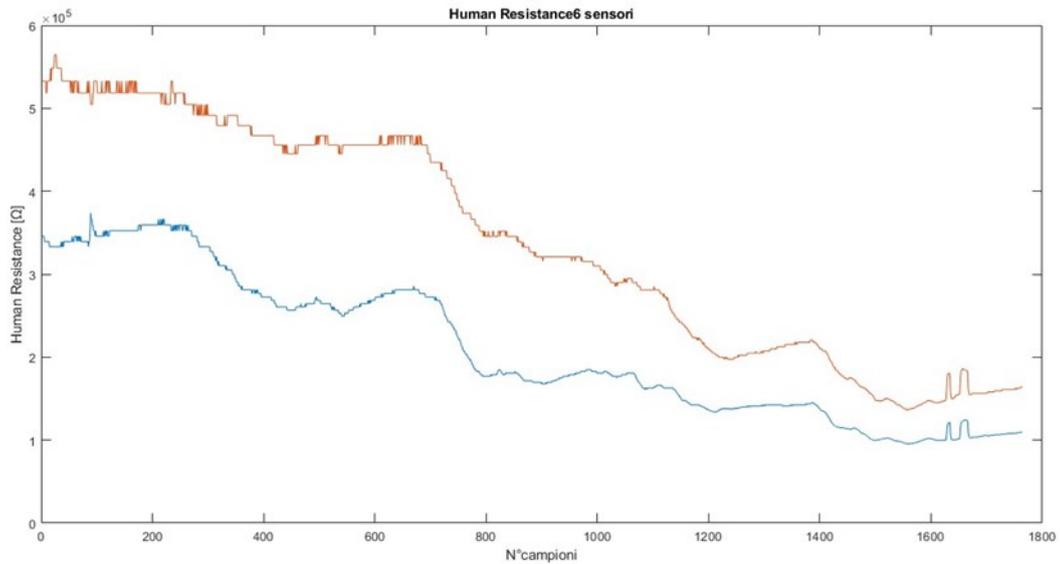


Figura 44: Human Resistance 6.

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero:

Numero di campioni=1764

Human Resistance Medio1= 210 810 [Ω] ; incertezza di misura1= 2070 [Ω]

Human Resistance Medio2= 340 246 [Ω] ; incertezza di misura2= 3300 [Ω]

La Figura 45 riporta i valori di resistenza della settima acquisizione.

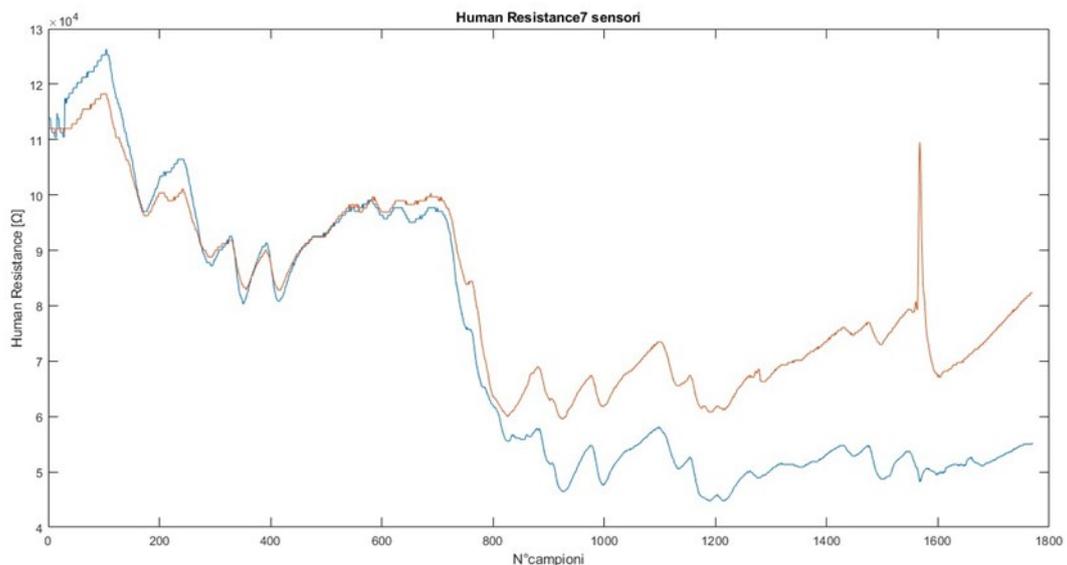


Figura 45: Human Resistance 7.

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero:

Numero di campioni=1770

Human Resistance Medio1= 72 190 [Ω] ; incertezza di misura1= 580 [Ω]

Human Resistance Medio2= 81 805 [Ω] ; incertezza di misura2= 380 [Ω]

La Figura 46 riporta i valori di resistenza dell'ottava acquisizione.

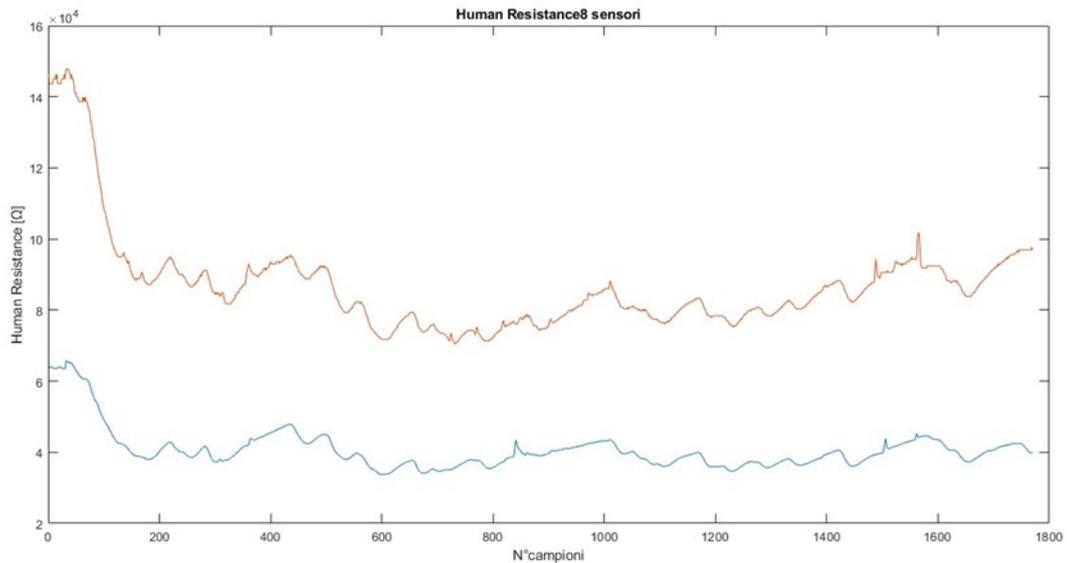


Figura 46: Human Resistance 8.

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero:

Numero di campioni=1770

Human Resistance Medio1= 40 706 [Ω] ; incertezza di misura1= 140 [Ω]

Human Resistance Medio2= 87 008 [Ω] ; incertezza di misura2= 350 [Ω]

La Figura 47 mostra i valori di resistenza della nona acquisizione.

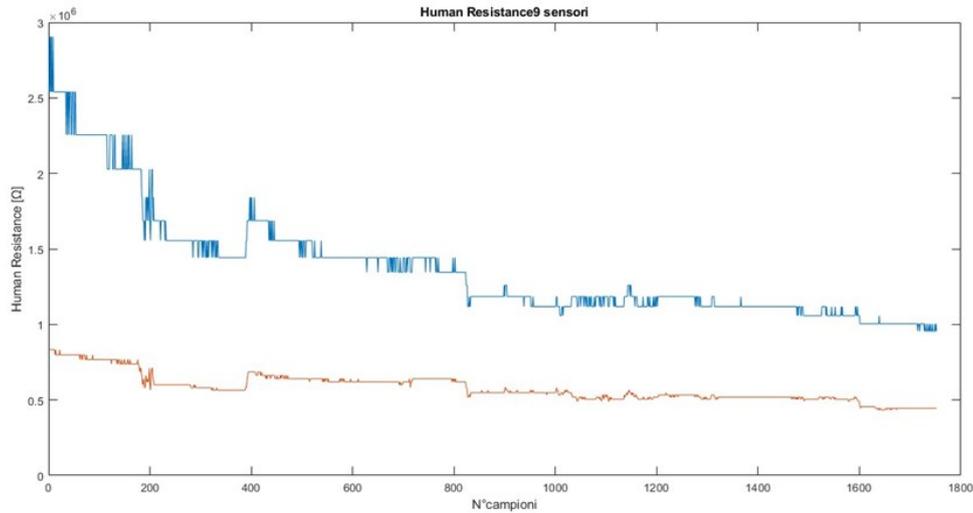


Figura 47: Human Resistance 9.

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero:

Numero di campioni=1752

Human Resistance Medio1= 1 375 530 [Ω] ; incertezza di misura1= 8900 [Ω]

Human Resistance Medio2= 579 064 [Ω] ; incertezza di misura2= 2200 [Ω]

La Figura 48 riporta i valori di resistenza della decima acquisizione.

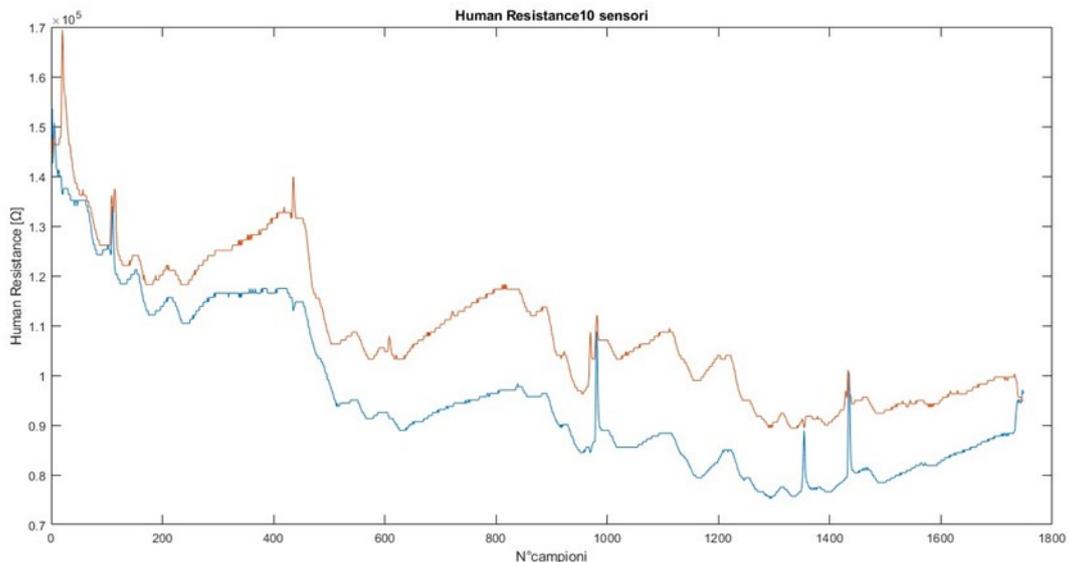


Figura 48: Human Resistance 10.

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero:

Numero di campioni=1749

Human Resistance Medio1= 95 809 [Ω] ; incertezza di misura1= 390 [Ω]

Human Resistance Medio2= 109 173 [Ω] ; incertezza di misura2= 340 [Ω]

A seguire verranno riportati i grafici relativi alle tre acquisizioni che sono state realizzate applicando un sensore sul palmo della mano mentre l'altro sulle dita sempre della stessa mano.

La Figura 49 mostra visivamente i valori di resistenza della undicesima acquisizione.

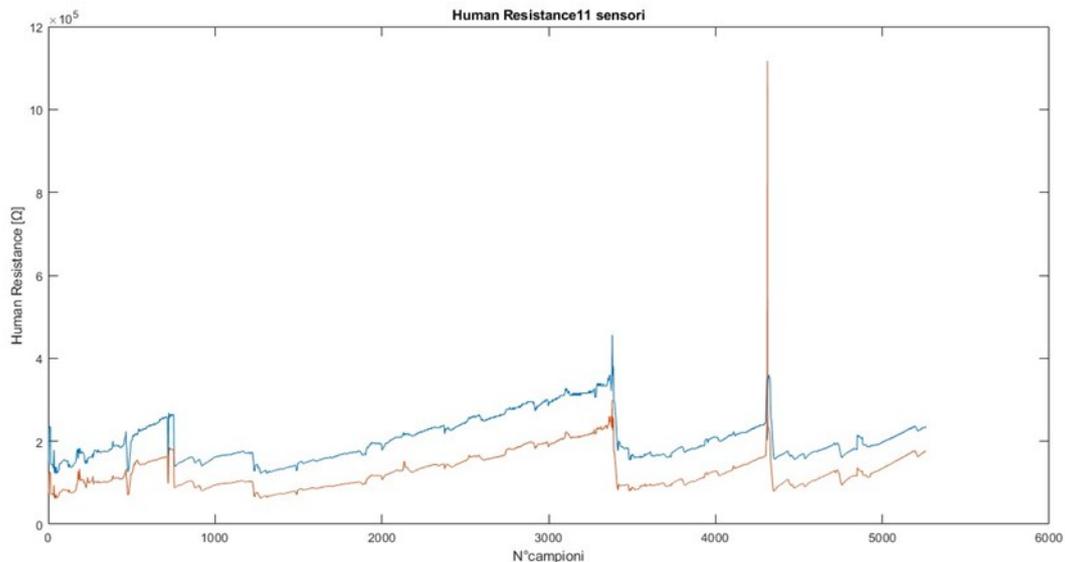


Figura 49: Human Resistance 11.

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero:

Numero di campioni=5261

Human Resistance Medio1= 204 375 [Ω] ; incertezza di misura1= 730 [Ω]

Human Resistance Medio2= 127 083 [Ω] ; incertezza di misura2= 604 [Ω]

La Figura 50 illustra graficamente i valori di resistenza della dodicesima acquisizione.

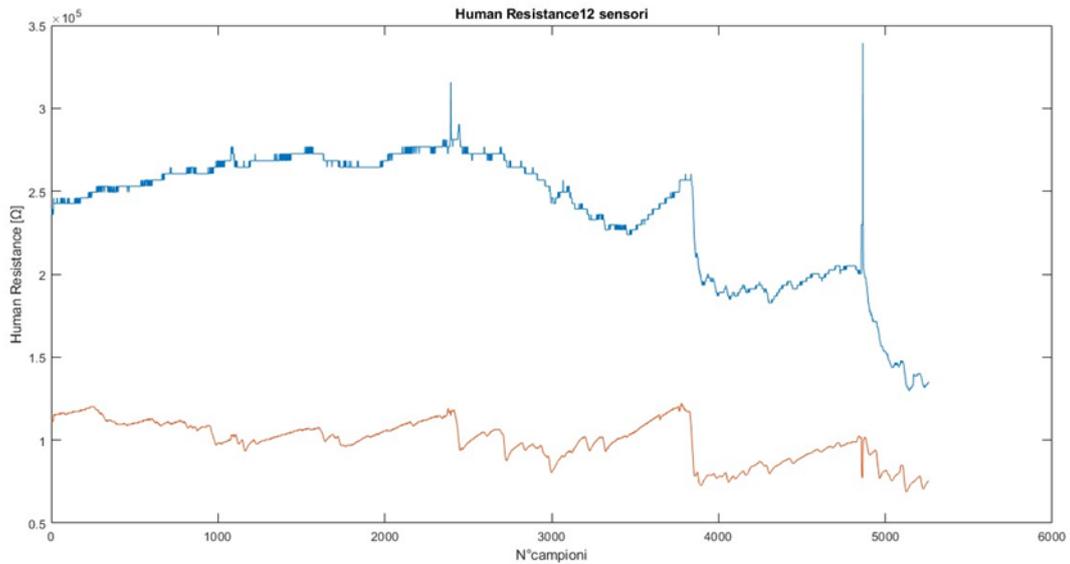


Figura 50: Human Resistance 12.

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero:

Numero di campioni=5260

Human Resistance Medio1= 238 566 [Ω] ; incertezza di misura1= 520 [Ω]

Human Resistance Medio2= 99 814 [Ω] ; incertezza di misura2= 170 [Ω]

La Figura 51 riporta i grafici dei valori di resistenza della tredicesima acquisizione.

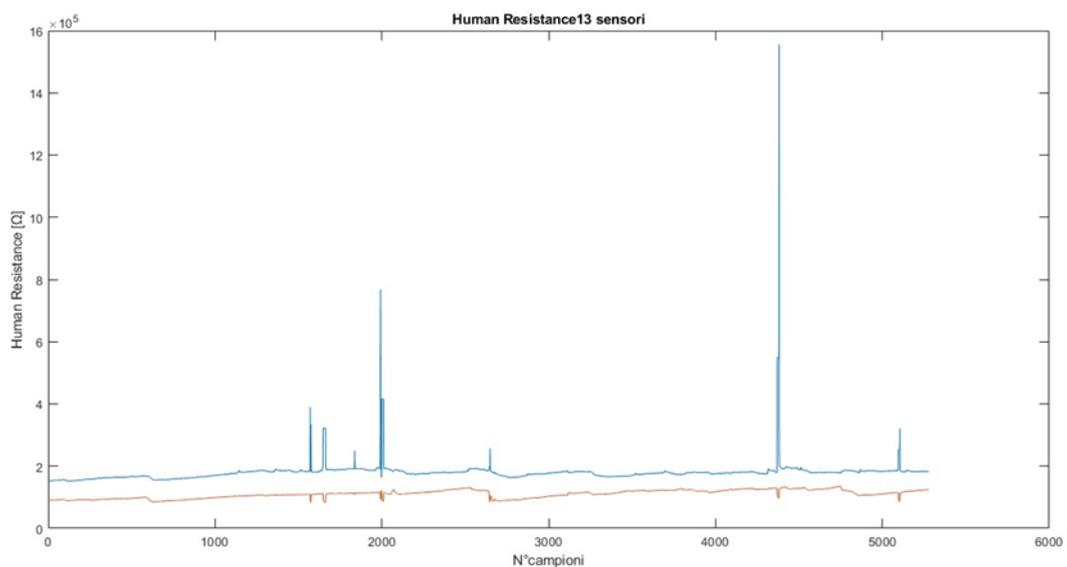


Figura 51: Human Resistance 13.

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero:

Numero di campioni=5277

Human Resistance Medio1= 179 410 [Ω] ; incertezza di misura1= 460 [Ω]

Human Resistance Medio2= 110 429 [Ω] ; incertezza di misura2= 180 [Ω]

Da qui in avanti, invece, verranno rappresentati i grafici delle ultime tre acquisizioni che sono state eseguite applicando un sensore sul palmo della mano sinistra mentre l'altro sull'indice e sul medio della mano destra.

La Figura 52 mostra i grafici dei valori di resistenza della quattordicesima acquisizione.

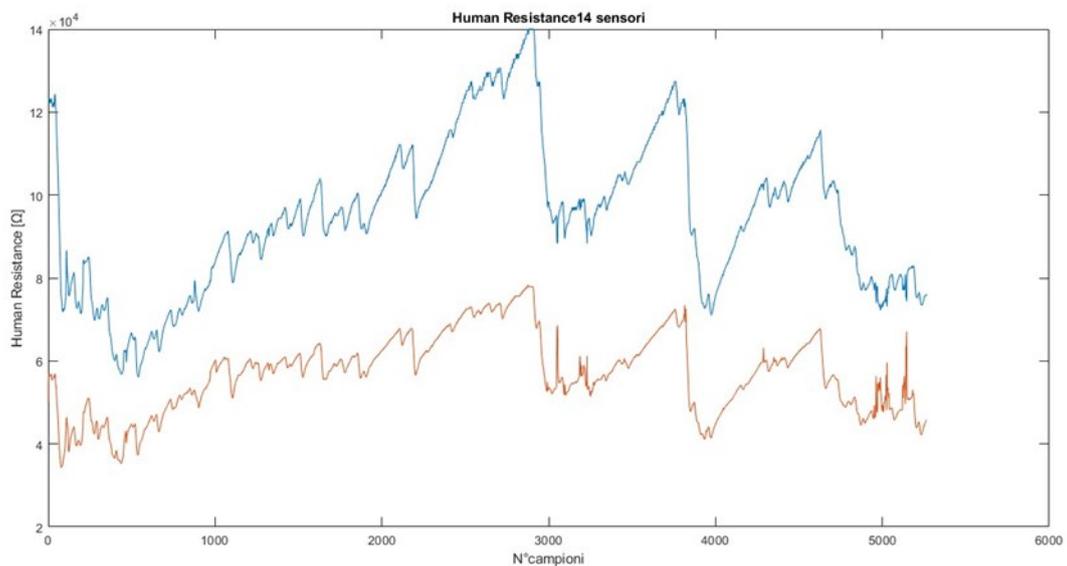


Figura 52: Human Resistance 14.

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero:

Numero di campioni=5265

Human Resistance Medio1= 95 140 [Ω] ; incertezza di misura1= 260 [Ω]

Human Resistance Medio2= 56 905 [Ω] ; incertezza di misura2= 130 [Ω]

La Figura 53 riporta i grafici dei valori di resistenza della quindicesima acquisizione.

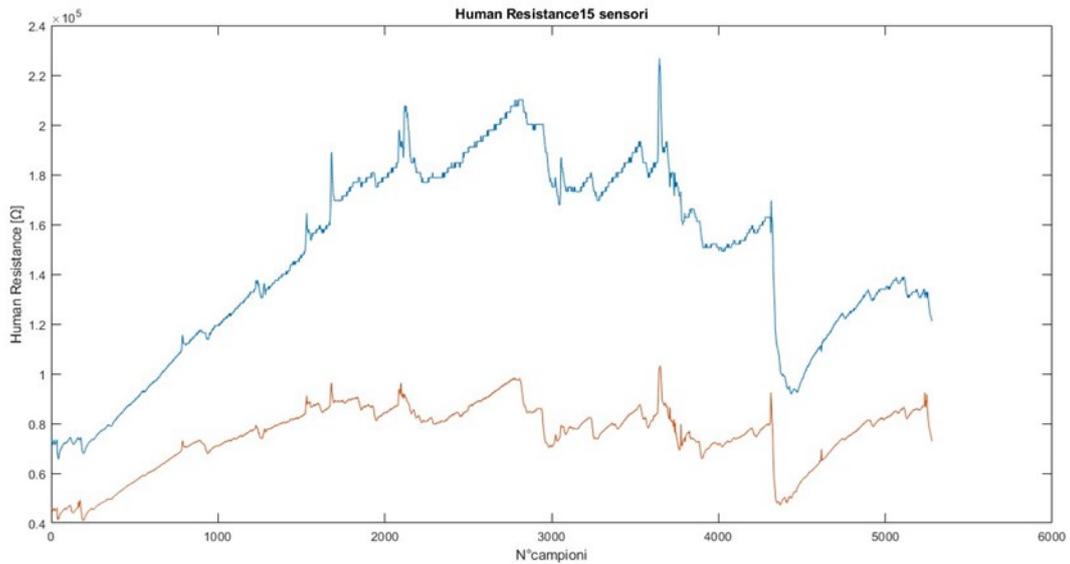


Figura 53: Human Resistance 15.

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero:

Numero di campioni=5279

Human Resistance Medio1= 146 790 [Ω] ; incertezza di misura1= 530 [Ω]

Human Resistance Medio2= 75 282 [Ω] ; incertezza di misura2= 180 [Ω]

La Figura 54 mostra i grafici dei valori di resistenza letti nella sedicesima acquisizione.

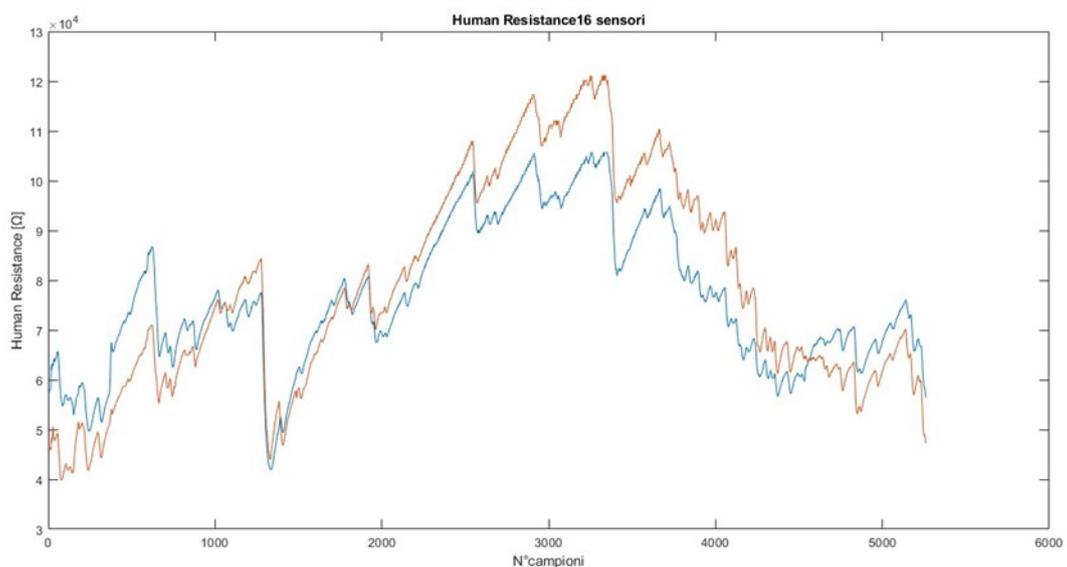


Figura 54: Human Resistance 16.

Indicando l'incertezza di misura con due cifre diverse da zero:

Numero di campioni=5261

Human Resistance Medio1= 76 195 [Ω] ; incertezza di misura1= 200 [Ω]

Human Resistance Medio2= 78 589 [Ω] ; incertezza di misura2= 300 [Ω]

Per quanto riguarda il gruppo di acquisizioni che utilizzano due sensori, è stata eseguita un'ulteriore analisi.

L'analisi si focalizza nell'individuare il numero di picchi associati alla componente fasica, quella a più alta frequenza, di ciascun segnale GSR.

Per individuare la componente fasica del segnale GSR e conteggiare i rispettivi picchi è stato implementato il seguente codice Matlab che viene riportato nelle Figure 55, 56, 57, 58 e 59.

```
5  clc
6  load('Acq16.mat');
7  load('Acq16.16mat.mat');
8  % poichè i vettori contengono i valori digitali di tensione, prima di usare
9  % il codice devo convertirli in human resistance HR (secondo la formula
10 % fornita sulla pagina web del sensore) e poi invertirli per trovare la
11 % skin conductance (SC)
12
13 calibration_param=512;
14 num_ele=length(VarName2);
15
16 HR=zeros(num_ele,1);
17 SC=zeros(num_ele,1);
18 for j=1:num_ele
19     HR(j,1)=((1024+2*VarName1(j,1))*10)/(calibration_param-VarName1(j,1)); %valori in kOhm
20     SC(j,1)=1/HR(j,1); %valori in milliSiemens
21     % moltiplico per 10^3 per avere i valori in microSiemens (perchè la
22     % soglia di rivelazione dei picchi è poi data in microSiemens
23     SC(j,1)=SC(j,1)*1000;
24 end
25
26
27 %% Frequenza di campionamento
28 fs = 10;
29
30 %% Applicazione del filtro mediano per ottenere la componente fasica del segnale (SCR)
31 %% il filtro ha una finestra mobile di ampiezza pari a +/-4 secondi centrata sul singolo campione
32
33 l = length(SC);
34 w = 4*fs; % Numero di samples presenti in 4 secondi di segnale (4s*frequency sampl.)
35 for i=w+1:(length(SC)-w)
36     x=SC(i-w:i+w);
37     % x -> finestra composta dal campione corrente, i 4*fs campioni che lo
38     % precedono e i 4*fs che lo seguono
39     med(i)=mean(x); %vettore medio della finestra x creata - SCL component
40     SCR(i)=SC(i)-med(i);
41 end
42
```

Figura 55: Parte 1 del codice Matlab per individuare i picchi della componente fasica.

La variabile “calibration_param” è pari a 512 quando lavoro con il sensore GSR1 mentre è uguale a 511 quando utilizzo il sensore GSR2.

```

42
43
44   SCR=SCR';
45   %per poter graficare insieme SC e SCR nel Tempo, devo escludere gli ultimi 4
46   %secondi dal segnale SC che è più lungo di SCR
47   lu_SCR=length(SCR);
48   samples = 0:(lu_SCR-1);           % Sample Indices Vector
49   t = samples'/fs;                 % Time Vector (seconds)
50
51   figure(1)
52   hold on
53   plot(t,SC(1:lu_SCR))
54   plot(t,SCR)
55   yline(0.01,'--')
56   xline(60,'g');
57   xline(66,'g');
58   legend({'SC','SCR','threshold',' ',' '},'Interpreter','latex','Location','southwest');
59   legend('boxoff')
60   xlabel('time [s]','Interpreter','latex'); ylabel('SC [μs]', 'Interpreter','latex');
61
62
63   %% Creazione vettore onset ed offset - Find Picchi
64   sup_threshold=0.01; % Threshold per la creazione del vettore onset (in uS)
65   inf_threshold=0; % Threshold per la creazione del vettore offset
66   %ONSET
67   dimSCR=size(SCR);
68   l_SCR=dimSCR(1,1);
69   for i=1:l_SCR
70       if SCR(i)>sup_threshold
71           onset(i)=i;
72       else
73           onset(i)=0;
74       end
75   end

```

Figura 56: Parte 2 del codice Matlab per individuare i picchi della componente fasica.

```

77   % OFFSET
78   for i=1:l_SCR-1
79       if SCR(i)<inf_threshold
80           offset(i)=i;
81       else
82           offset(i)=0;
83       end
84   end
85
86   %% Creazione matrice contenete le coppie onset-offset (on_off_couple)
87   % Ciascuna riga contiene nella prima colonna l'onset nella seconda l'offset
88   % (intervallo all'interno del quale sarà presente un picco)
89
90   index=1; % indice che scorre il vettore onset e il vettore offset
91   token=1; % variabile booleana(true=1,false=0) ausiliaria per passare da un vettore all'altro (onset/offset)
92   l=min(length(offset), length(onset));
93   on_off_couple=[];
94
95   for i=1:l
96       if token==1
97           while onset(index)==0 && index<l % condizioni:valore di onset nullo e index minore della lunghezza min tra onset e offset
98               index=index+1; % finchè il valore i-esimo dell'onset è nullo si scorre il vettore onset
99           end
100          on_off_couple(i,1)=index; %valore i-esimo dell'onset diverso da zero, index è memorizzato nella I colonna della matrice
101          token=0; % il token viene poi settato a zero così che si possa verificare la condizione del secondo if e scorrere il vettore offset
102       end
103       if token==0
104           while offset(index)==0 && index<l % condizioni:valore di offset nullo e index minore della lunghezza min tra onset e offset
105               index=index+1; % finchè il valore i-esimo dell'onset è nullo si scorre il vettore offset
106           end
107          on_off_couple(i,2)=index; % quando il valore i-esimo dell'offset è diverso da zero, index è memorizzato nella II colonna della matrice
108          token=(index<=length(onset)); % token=1 se l'espressione tra parentesi è vera, altrimenti token=0
109       end
110       if index==l
111           break
112       end
113   end

```

Figura 57: Parte 3 del codice Matlab per individuare i picchi della componente fasica.

```

114 dim=size(on_off_couple);
115 l_couple=dim(1,1);
116 %l_couple=length(on_off_couple);
117
118 % Quando per ultimo valore viene trovato un offset/onset corrispondente
119 % all'ultimo campione del segnale, nell' ultima riga della
120 % matrice on_off_couple appare una coppia di stessi valori onset ed offset corrispondenti
121 % all'ultimo campione-> Quindi lo sostituisco con una riga vuota
122 if on_off_couple(l_couple,1)==on_off_couple(l_couple,2)
123 on_off_couple(l_couple,:)=[];
124 end
125 dim=size(on_off_couple);
126 l_couple=dim(1,1);
127 %l_couple=length(on_off_couple);
128
129 %% Creazione della matrice contenente nelle colonne valori di ciascun intervallo (interval)
130 % Viene creata una matrice contenente tante colonne quante sono le coppie
131 % onset-offset (cioè quante sono le righe della matrice on_off_couple) e in ciascuna colonna sono contenuti tutti i valori di SC
132 % compresi tra onset ed offset
133 % Su ciascuna colonna (intervallo) viene poi calcolato il massimo (max)
134 interval=[]; % creazione della matrice interval vuota
135 for i=1:l_couple %numero righe
136 j=1;
137 k=on_off_couple(i,1); %i,1
138 while k<on_off_couple(i,2)
139 interval(j,1)=SCR(k); %valori SC corrispondenti alle posizioni k (tra onset e offset)
140 j=j+1;
141 k=k+1;
142 end
143 [max_vet(i), pos_max(i)]= max(interval(:,i)); % max value in ciascuna coppia
144 pos_max(i)=pos_max(i)+on_off_couple(i,1)-1; % max value originale: somma alla posizione trovata quella dell'onset (presente nella matrice couple)
145 end
146
147
148 %% Calcolo dell'ampiezza di ciascun picco
149 % L'ampiezza è la differenza tra il valore del picco (max_vet) e l'onset
150 for j=1:length(max_vet)
151 peak_amplitude(j)=max_vet(j)-interval(2,j);
152 end

```

Figura 58: Parte 4 del codice Matlab per individuare i picchi della componente fasica.

```

153
154 %% Calcolo del numero di picchi
155 % Il numero di picchi è pari alla lunghezza del vettore contenente i massimi
156 number_peak=length(max_vet);
157
158 figure(2)
159 hold on
160 plot(t,SC(1:1_SCR))
161 plot(t,SCR)
162 yline(0.01,'--')
163 title("Acquisizione n° (sensore n°)");
164 hold on
165 plot(pos_max/fs, max_vet, '*')
166 legend({'SC', 'SCR', 'threshold', 'peak'}, 'Interpreter', 'latex', 'Location', 'northeast');
167 legend('boxoff')
168 xlabel('time [s]', 'Interpreter', 'latex'); ylabel('SC [μS]', 'Interpreter', 'latex');
169
170
171

```

Figura 59: Parte 5 del codice Matlab per individuare i picchi della componente fasica.

Di seguito vengono rappresentati i grafici di ogni segnale GSR in termini di conduttanza cutanea (segnale blu) raffigurando, inoltre, la componente fasica del segnale (segnale rosso) e picchi rilevati.

La Figura 60 rappresenta graficamente i valori letti dal primo sensore nella prima acquisizione.

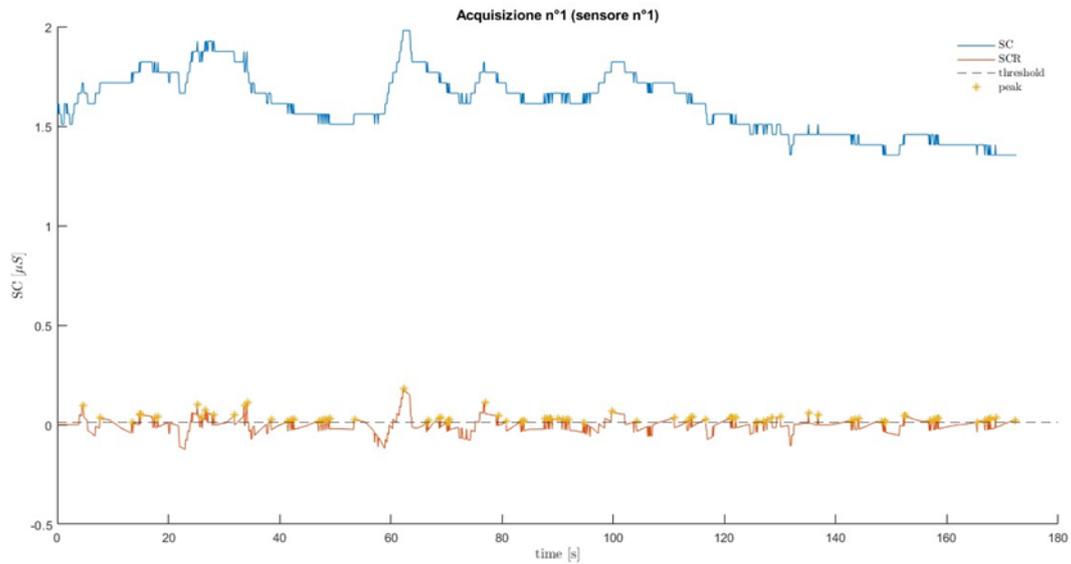


Figura 60: Acquisizione 1(sensore 1).

Numero di picchi=89.

La Figura 61 mostra graficamente i valori letti dal secondo sensore nella prima acquisizione.

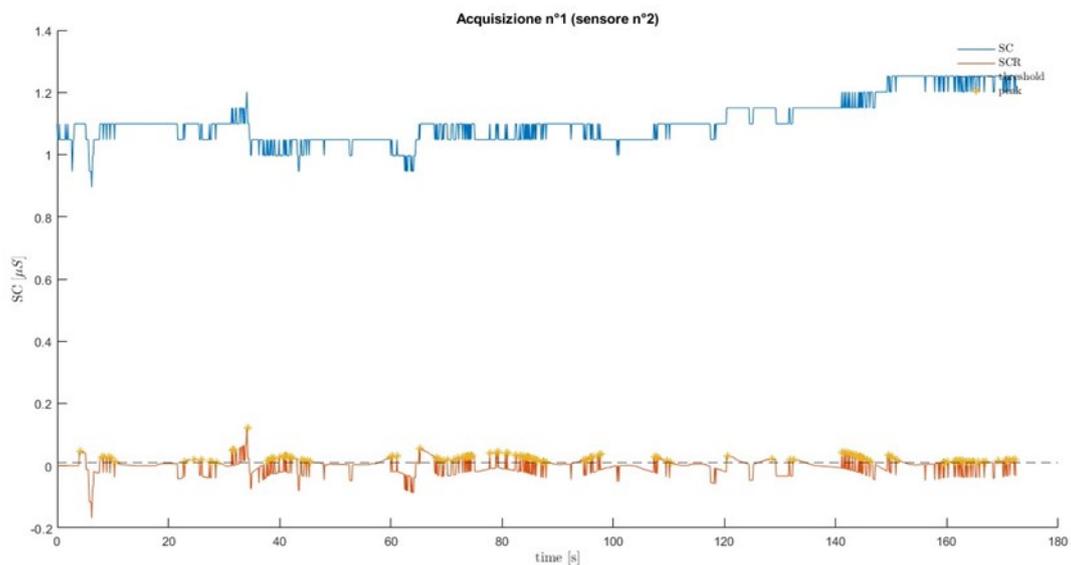


Figura 61: Acquisizione 1(sensore 2).

Numero di picchi=127.

La Figura 62 riporta graficamente i valori letti dal primo sensore nella seconda acquisizione.

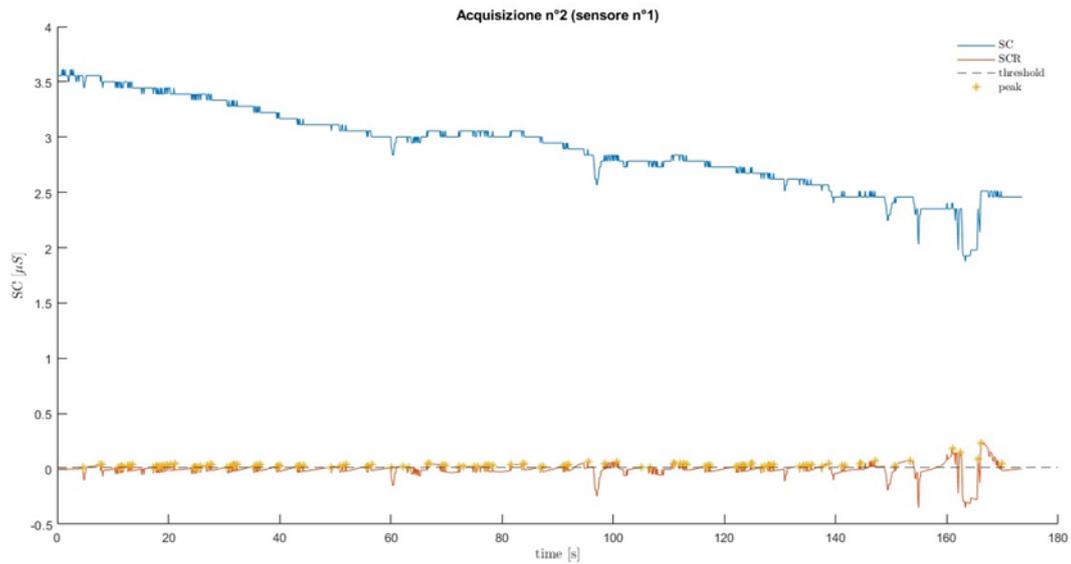


Figura 62: Acquisizione 2(sensore 1).

Numero di picchi=123

La Figura 63 riporta graficamente i valori letti dal secondo sensore nella seconda acquisizione.

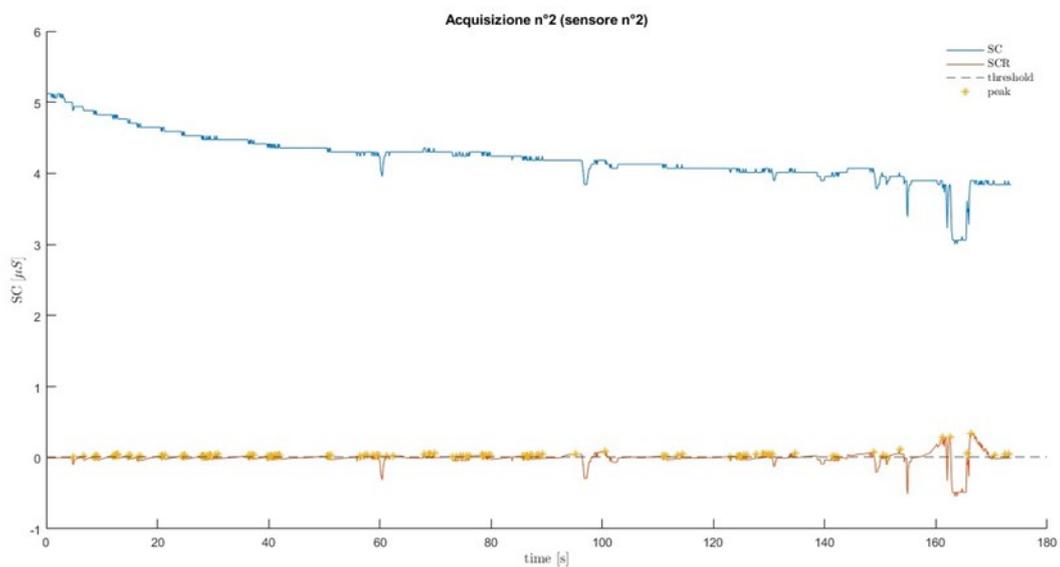


Figura 63: Acquisizione 2(sensore 2).

Numero di picchi=108

La Figura 64 rappresenta graficamente i valori letti dal primo sensore nella terza acquisizione.

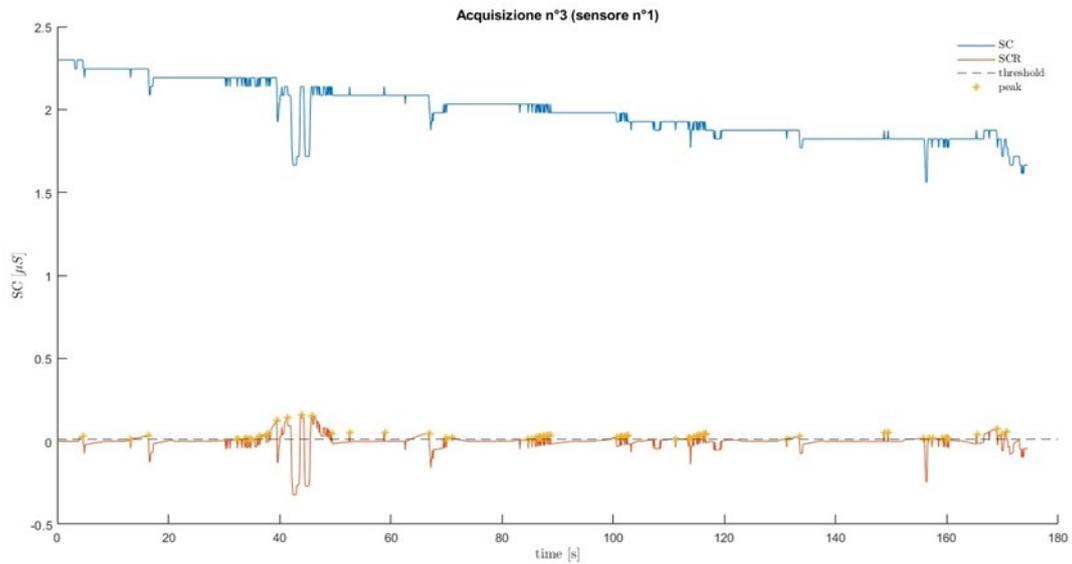


Figura 64: Acquisizione 3(sensore 1).

Numero di picchi=67.

La Figura 65 rappresenta graficamente i valori letti dal secondo sensore nella terza acquisizione.

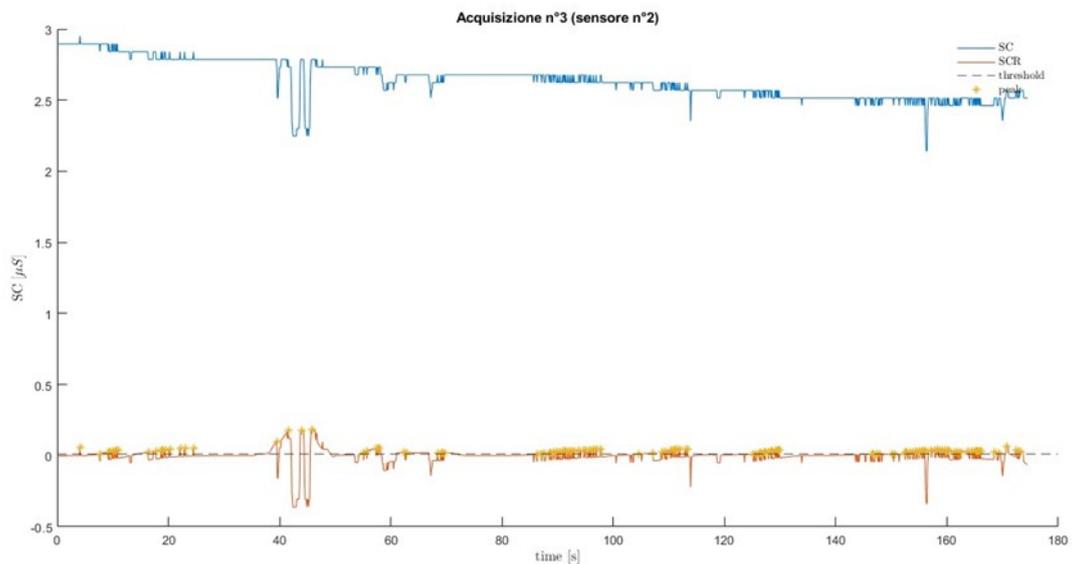


Figura 65: Acquisizione 3(sensore 2).

Numero di picchi=124

La Figura 66 mostra graficamente i valori letti dal primo sensore nella quarta acquisizione.

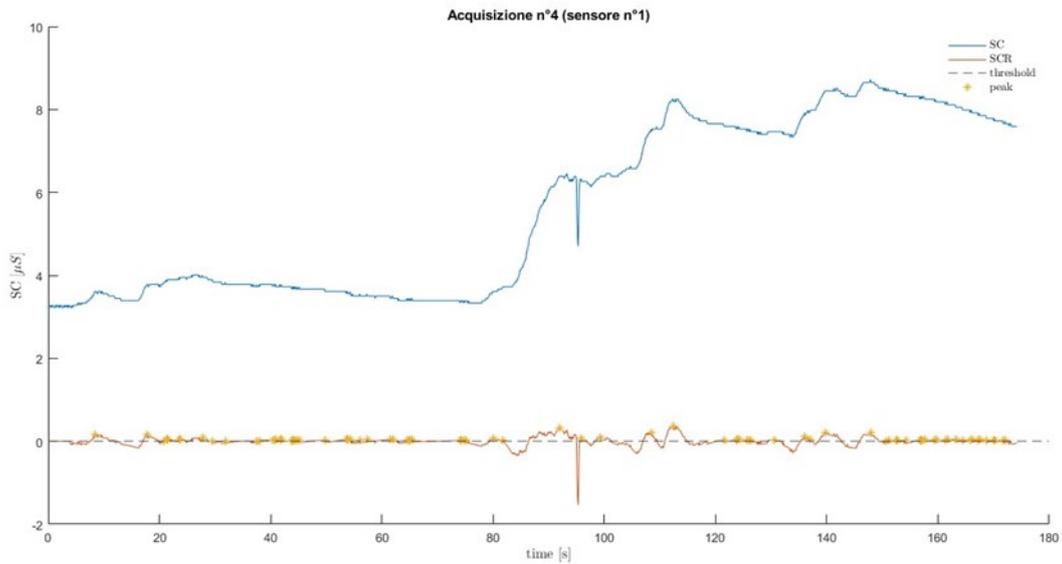


Figura 66: Acquisizione 4(sensore 1).

Numero di picchi=82.

La Figura 67 riporta graficamente i valori letti dal secondo sensore nella quarta acquisizione.

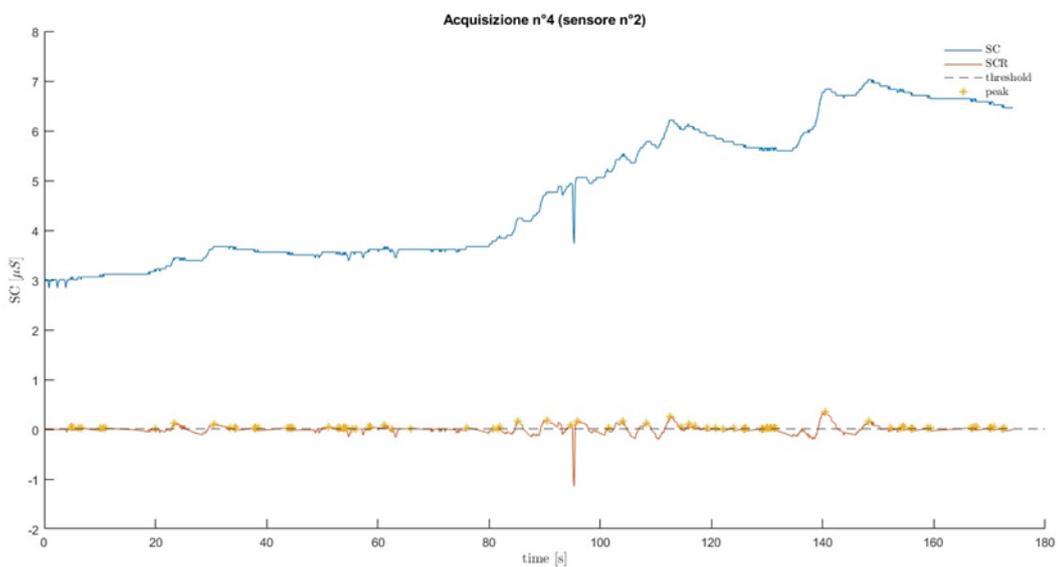


Figura 67: Acquisizione 4(sensore 2).

Numero di picchi=82.

La Figura 68 riporta graficamente i valori letti dal primo sensore nella quinta acquisizione.

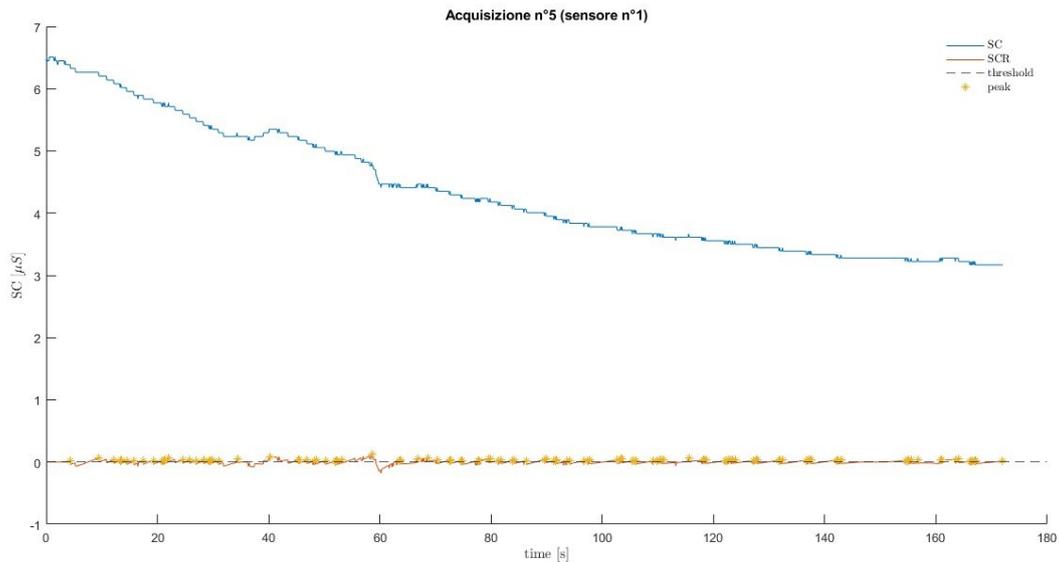


Figura 68: Acquisizione 5(sensore 1).

Numero di picchi=111.

La Figura 69 riporta graficamente i valori letti dal secondo sensore nella quinta acquisizione.

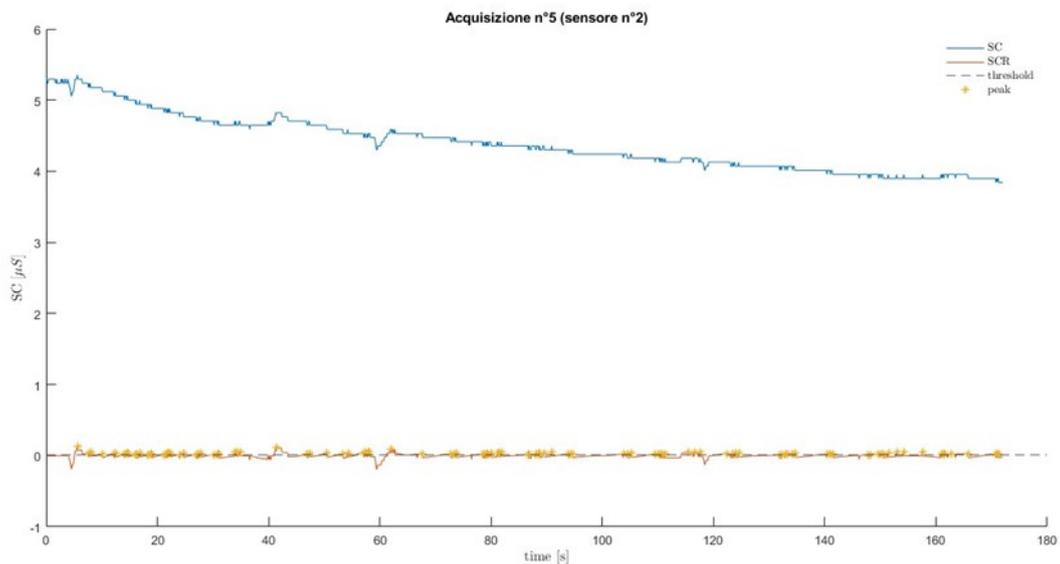


Figura 69: Acquisizione 5(sensore 2).

Numero di picchi=105.

La Figura 70 rappresenta graficamente i valori letti dal primo sensore nella sesta acquisizione.

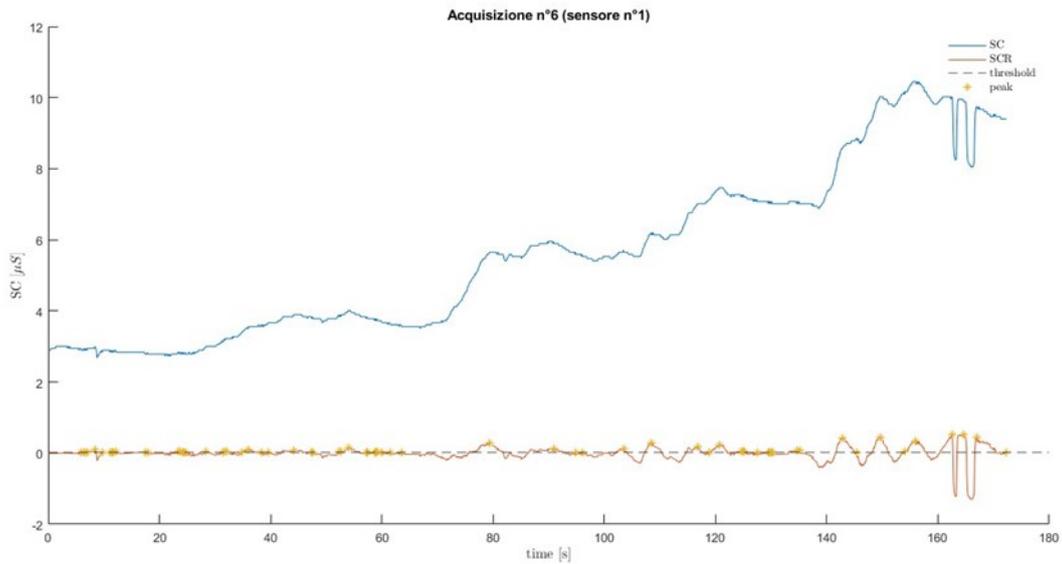


Figura 70: Acquisizione 6(sensore 1).

Numero di picchi=67.

La Figura 71 rappresenta graficamente i valori letti dal secondo sensore nella sesta acquisizione.

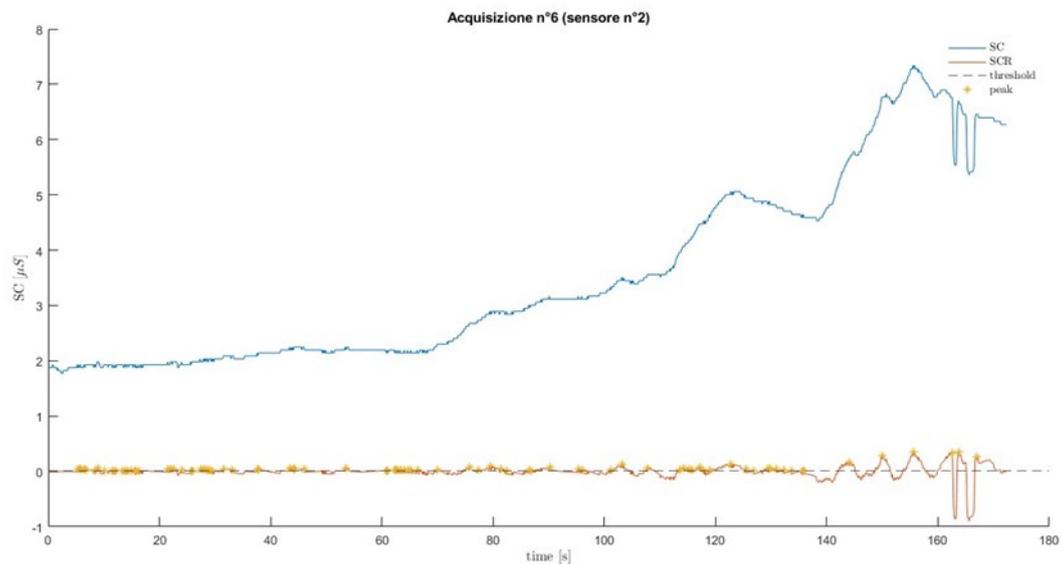


Figura 71: Acquisizione 6(sensore 2).

Numero di picchi =86

La Figura 72 rappresenta graficamente i valori letti dal primo sensore nella settima acquisizione.

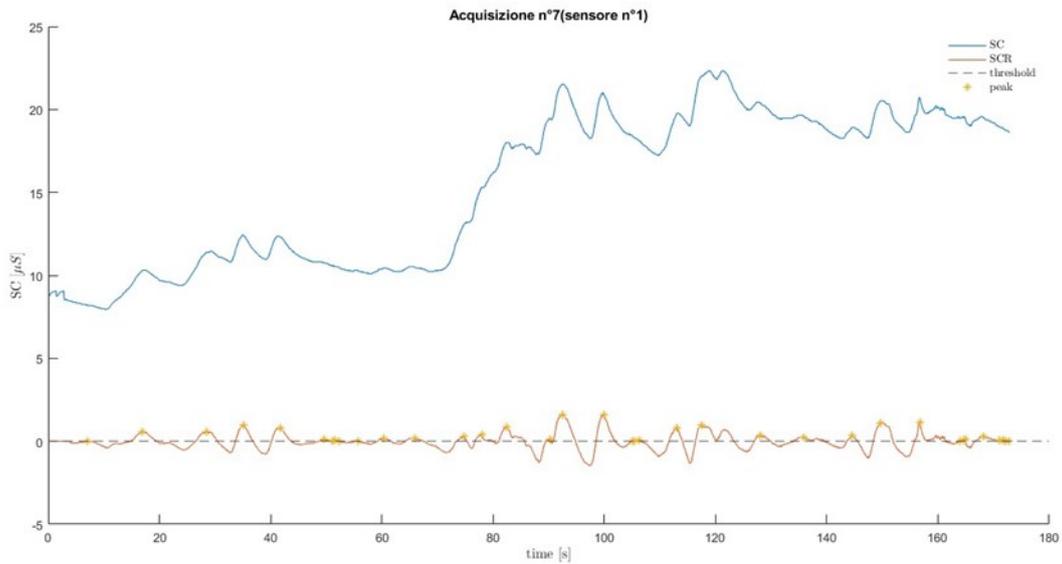


Figura 72: Acquisizione 7(sensor 1).

Numero di picchi =36

La Figura 73 riporta i grafici dei valori letti dal secondo sensore nella settima acquisizione.

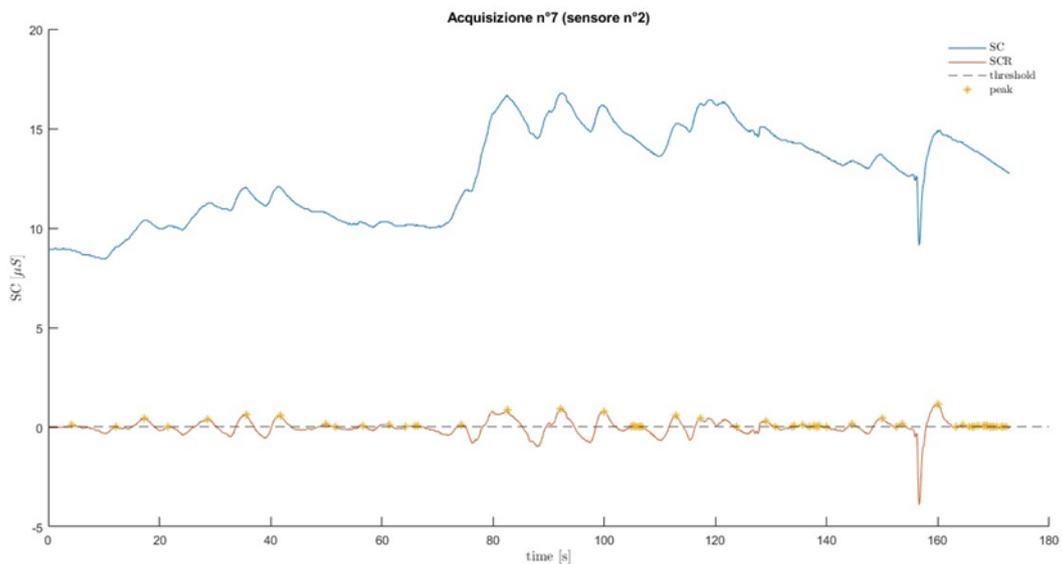


Figura 73: Acquisizione 7(sensor 2).

Numero di picchi =58.

La Figura 74 riporta i grafici dei valori letti dal primo sensore nell'ottava acquisizione.

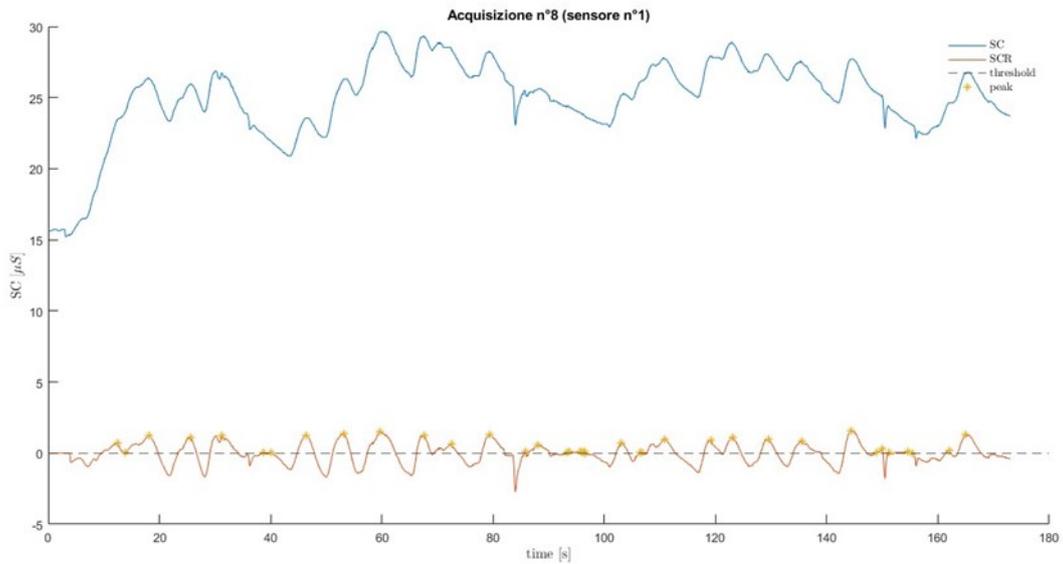


Figura 74: Acquisizione 8(sensore 1).

Numero di picchi =37.

La Figura 75 riporta i grafici dei valori letti dal secondo sensore nell'ottava acquisizione.

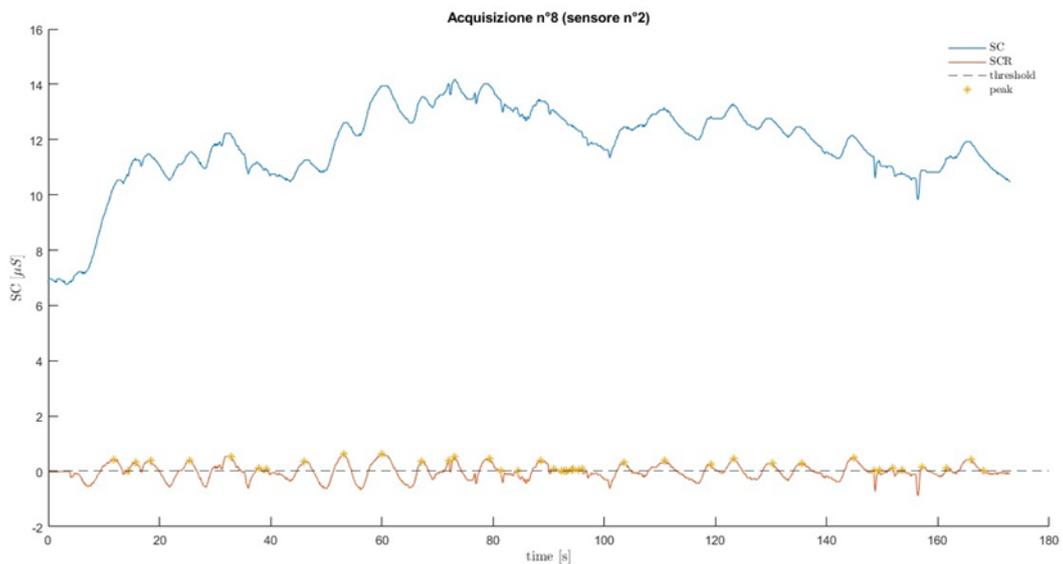


Figura 75: Acquisizione 8(sensore 2).

Numero di picchi =41.

La Figura 76 mostra i grafici dei valori letti dal primo sensore nella nona acquisizione.

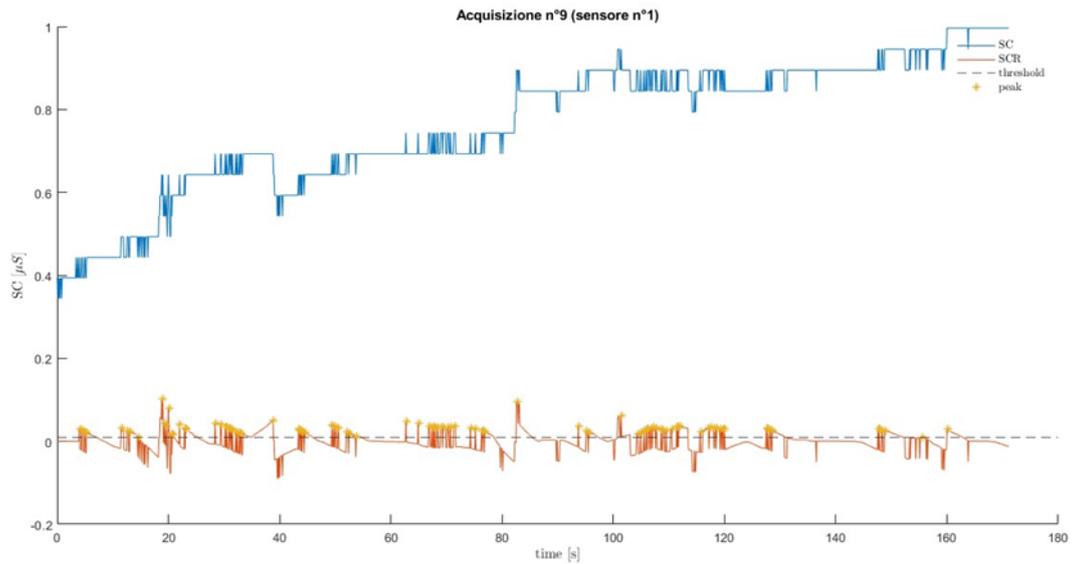


Figura 76: Acquisizione 9(sensore 1).

Numero di picchi =96.

La Figura 77 mostra i grafici dei valori letti dal secondo sensore nella nona acquisizione.

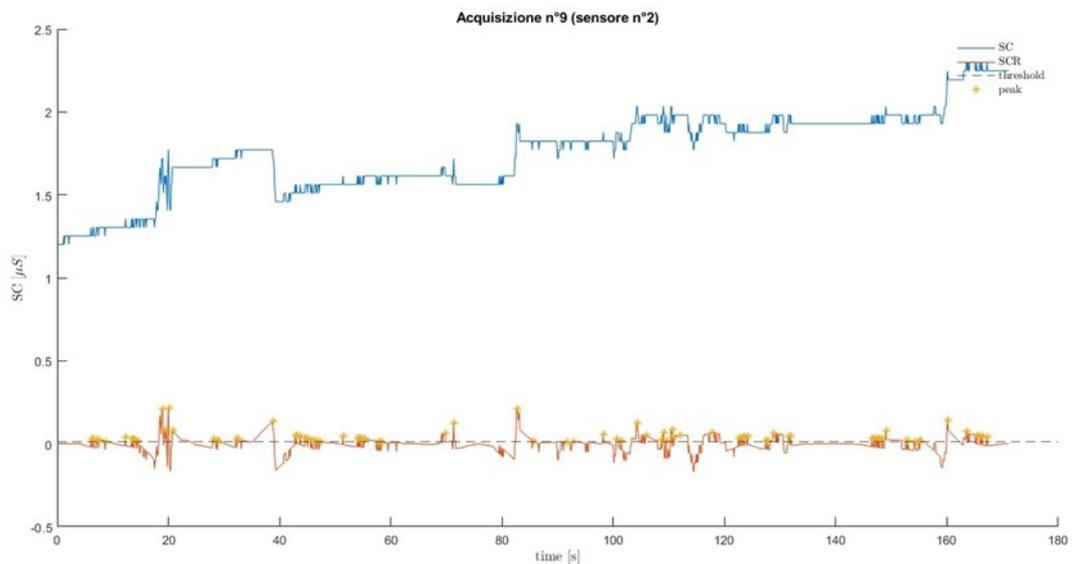


Figura 77: Acquisizione 9(sensore 2).

Numero di picchi =84.

La Figura 78 rappresenta graficamente i valori letti dal primo sensore nella decima acquisizione.

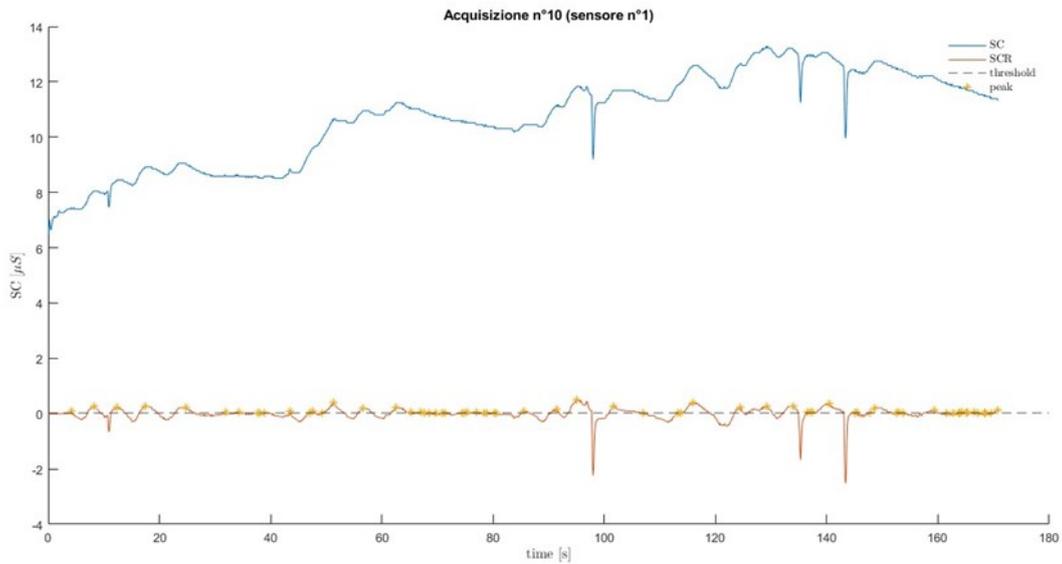


Figura 78: Acquisizione 10(sensore 1).

Numero di picchi =68.

La Figura 79 rappresenta graficamente i valori letti dal secondo sensore nella decima acquisizione.

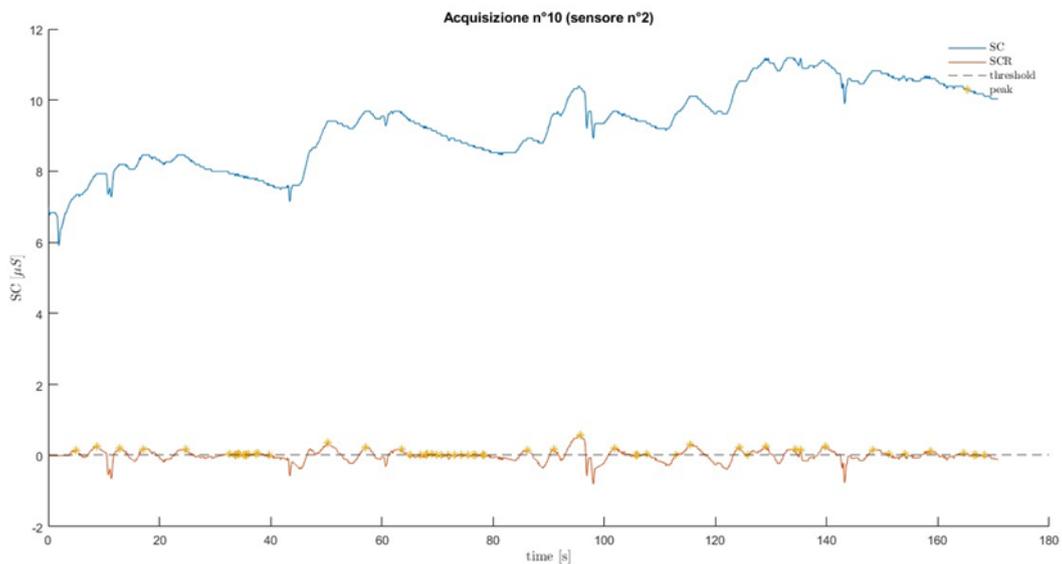


Figura 79: Acquisizione 10(sensore 2).

Numero di picchi =58.

La Figura 80 riporta graficamente i valori letti dal primo sensore nella undicesima acquisizione.

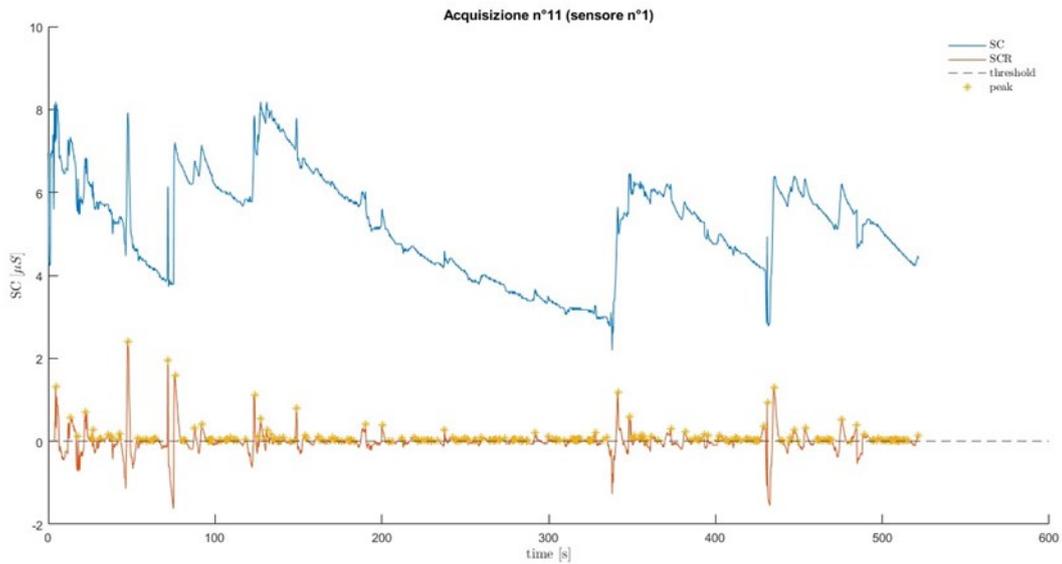


Figura 80: Acquisizione 11(sensore 1).

Numero di picchi =263.

La Figura 81 riporta graficamente i valori letti dal secondo sensore nella undicesima acquisizione.

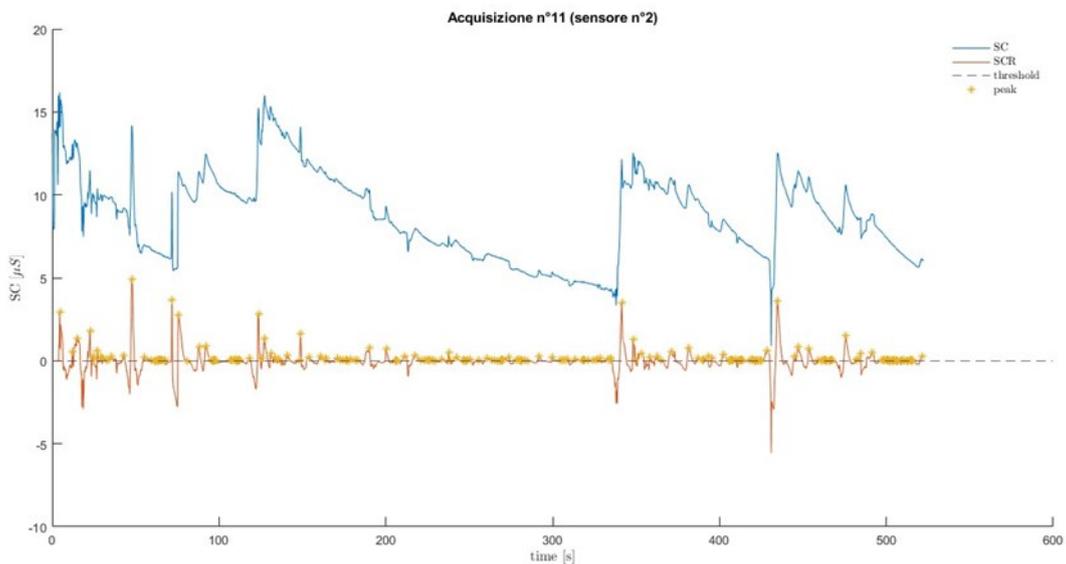


Figura 81: Acquisizione 11(sensore 2).

Numero di picchi =231.

La Figura 82 riporta graficamente i valori letti dal primo sensore nella dodicesima acquisizione.

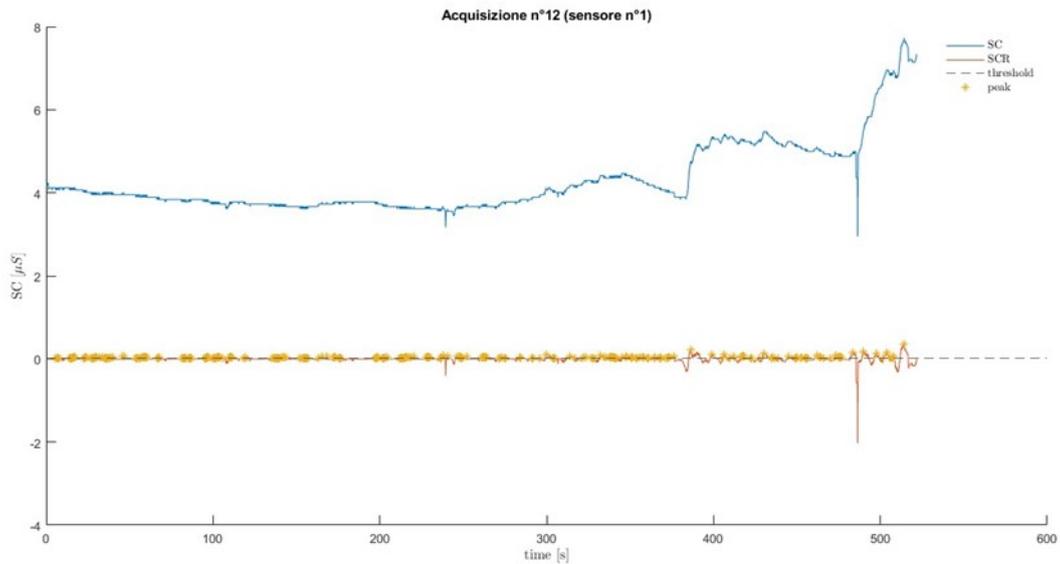


Figura 82: Acquisizione 12(sensore 1).

Numero di picchi =335.

La Figura 83 rappresenta graficamente i valori letti dal secondo sensore nella dodicesima acquisizione.

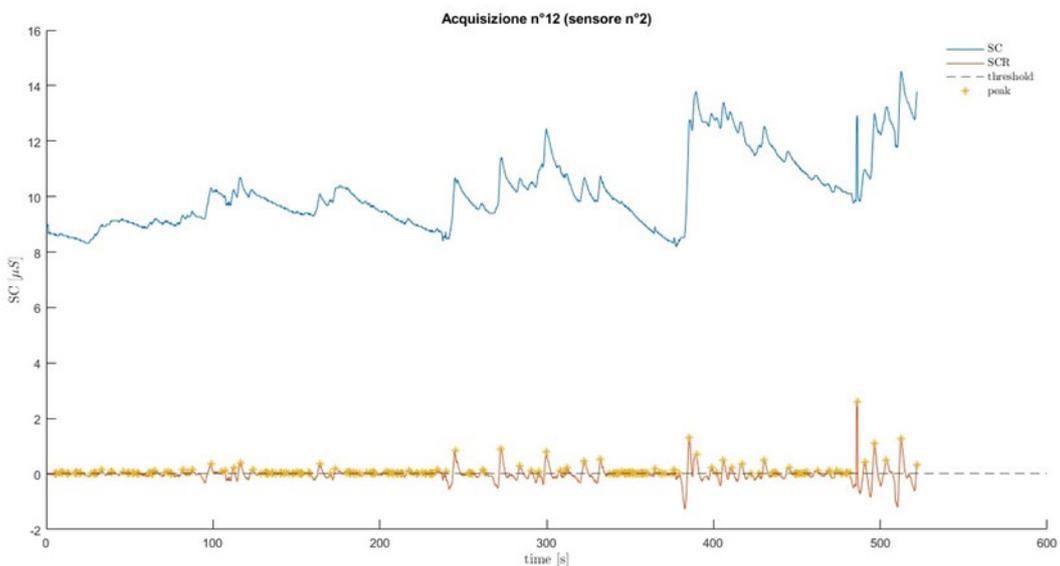


Figura 83: Acquisizione 12(sensore 2).

Numero di picchi =224.

La Figura 84 rappresenta graficamente i valori letti dal primo sensore nella tredicesima acquisizione.

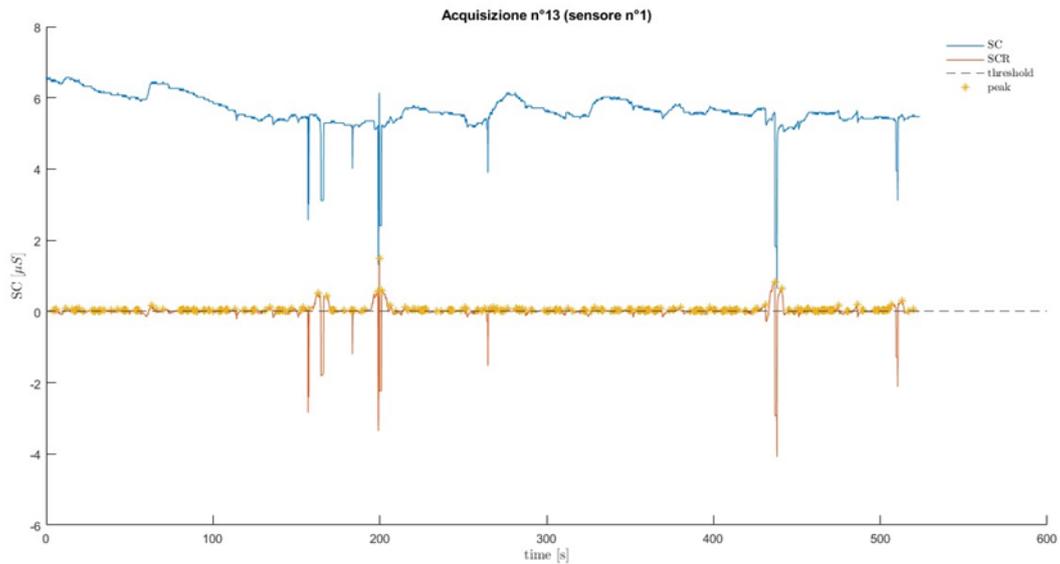


Figura 84: Acquisizione 13(sensore 1).

Numero di picchi =337.

La Figura 85 rappresenta graficamente i valori letti dal secondo sensore nella tredicesima acquisizione.

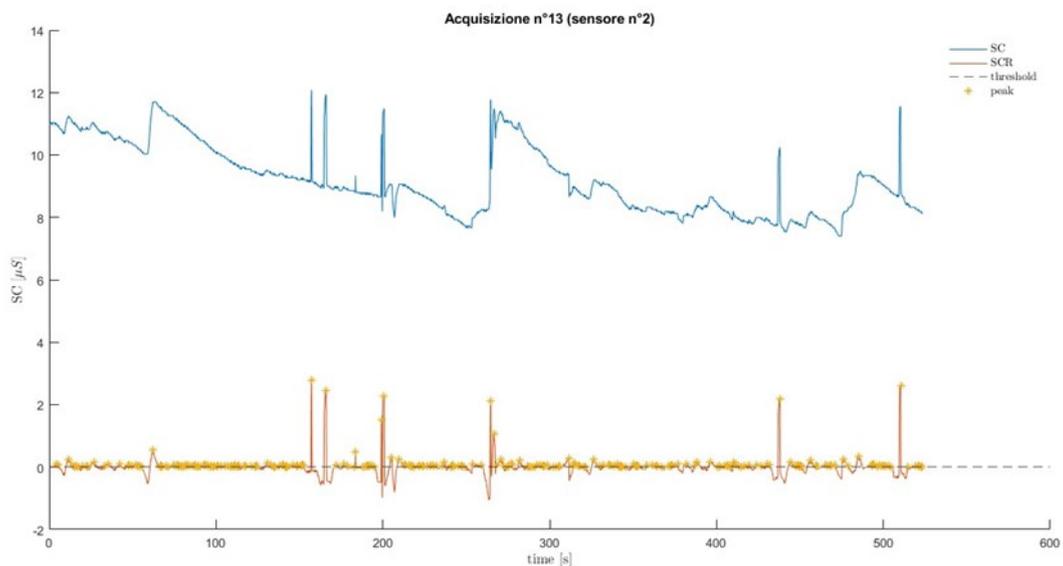


Figura 85: Acquisizione 13(sensore 2).

Numero di picchi =299.

La Figura 86 mostra graficamente i valori letti dal primo sensore nella quattordicesima acquisizione.

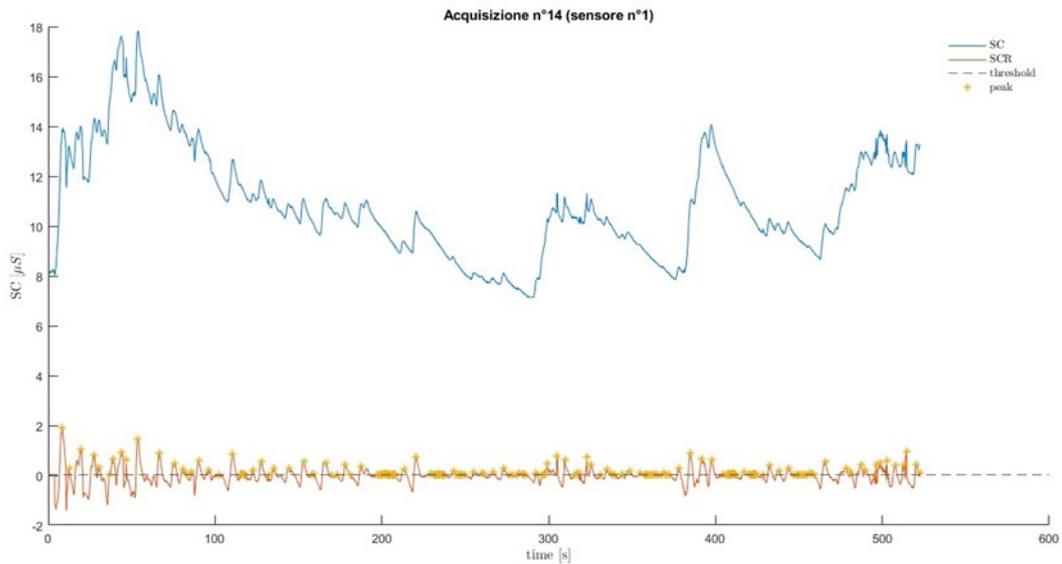


Figura 86: Acquisizione 14(sensore 1).

Numero di picchi =189.

La Figura 87 mostra graficamente i valori letti dal secondo sensore nella quattordicesima acquisizione.

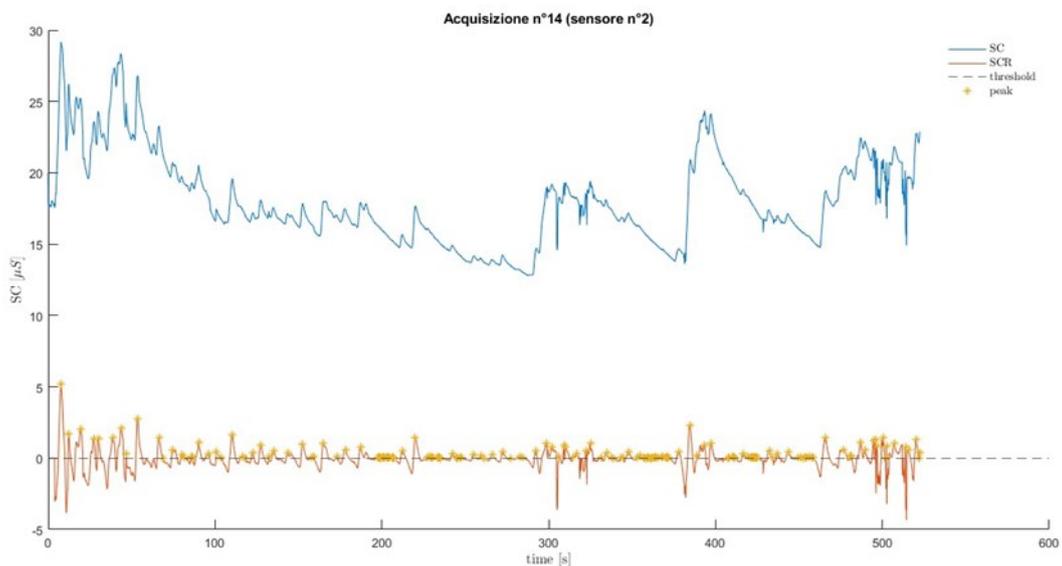


Figura 87: Acquisizione 14(sensore 2).

Numero di picchi =168.

La Figura 88 riporta graficamente i valori letti dal primo sensore nella quindicesima acquisizione.

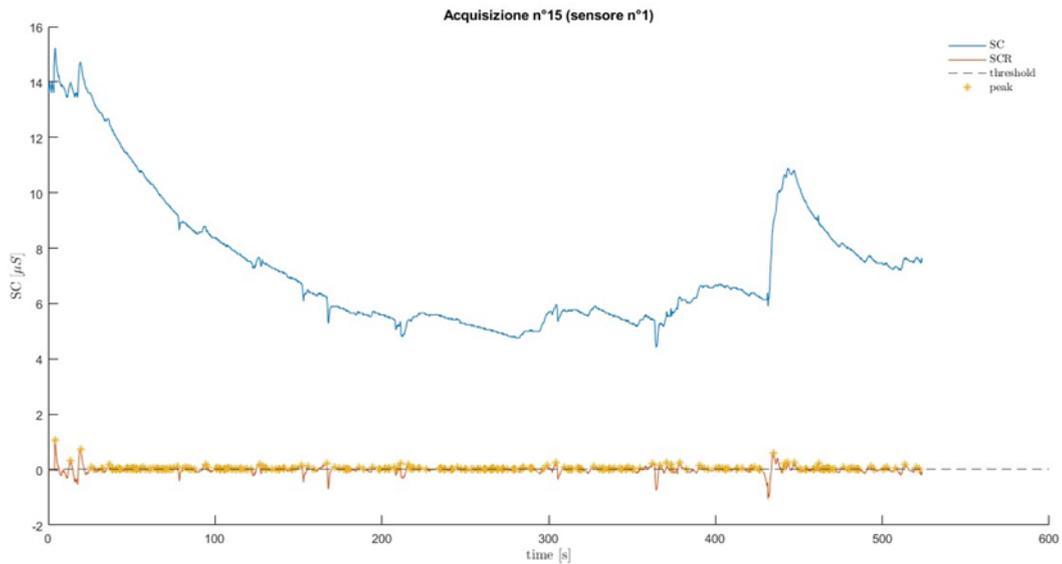


Figura 88: Acquisizione 15(sensore 1).

Numero di picchi =290.

La Figura 89 riporta graficamente i valori letti dal secondo sensore nella quindicesima acquisizione.

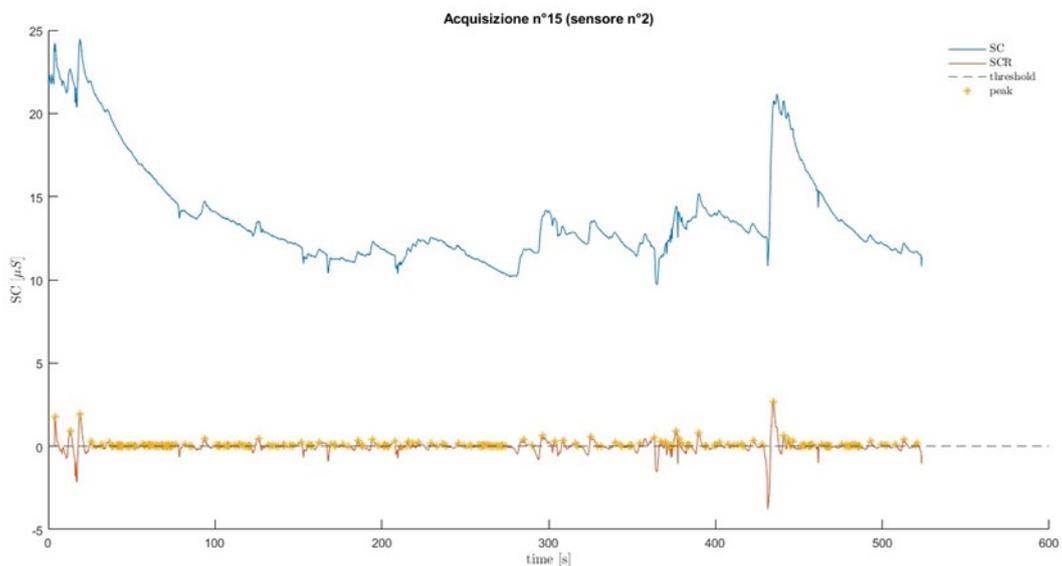


Figura 89: Acquisizione 15(sensore 2).

Numero di picchi =238.

La Figura 90 rappresenta graficamente i valori letti dal primo sensore nella sedicesima acquisizione.

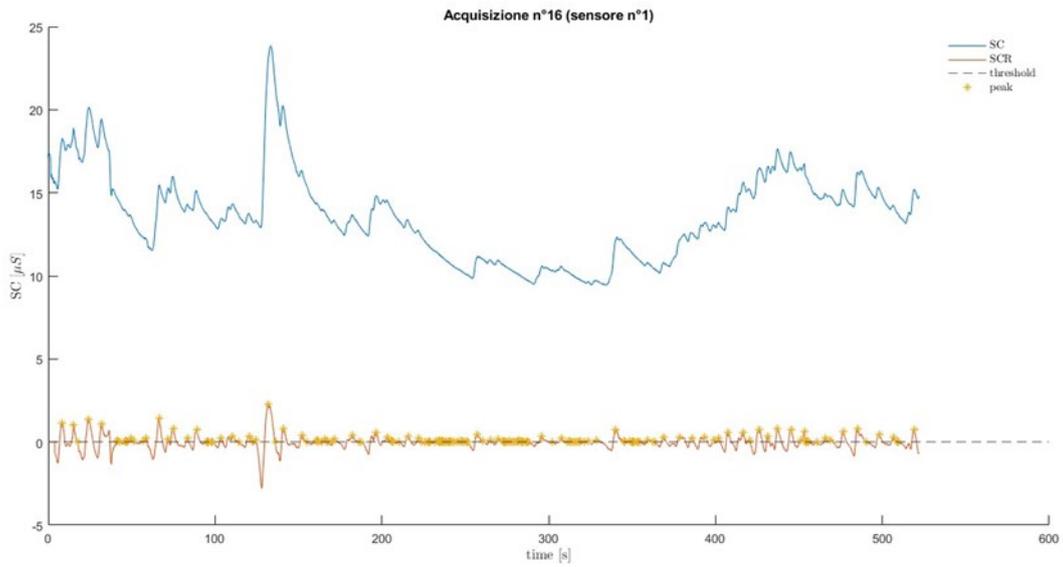


Figura 90: Acquisizione 16(sensore 1).

Numero di picchi =182.

La Figura 91 rappresenta graficamente i valori letti dal secondo sensore nella sedicesima acquisizione.

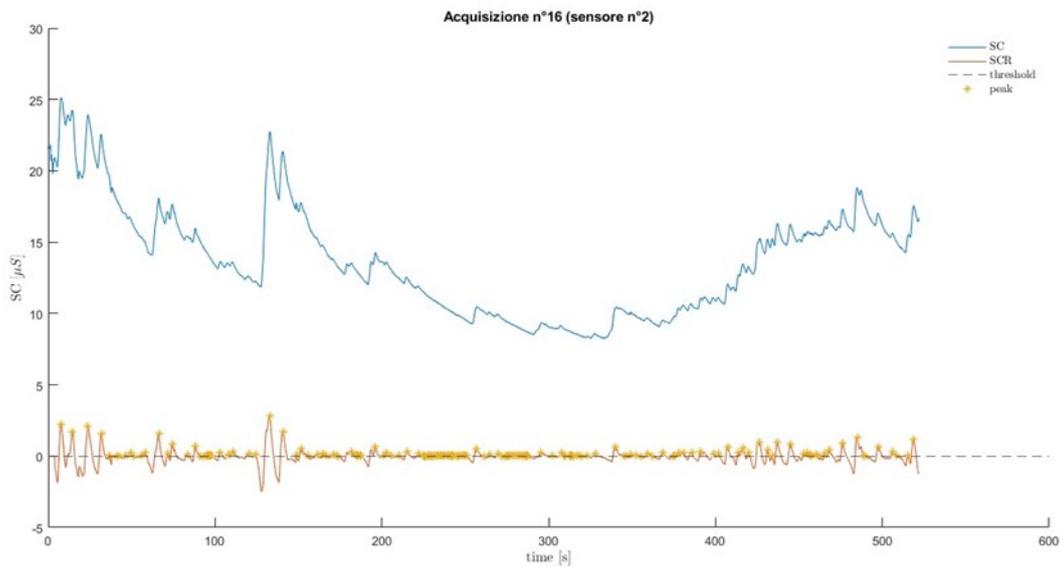


Figura 91: Acquisizione 16(sensore 2).

Numero di picchi =179.

Nella Tabella 4 viene riportata la differenza tra il numero di picchi contati con il primo sensore e il numero di picchi contati con il secondo sensore per ogni singola prova realizzata.

Tabella 4: Differenza del numero di picchi di ogni prova

Tipo area	Differenza del numero di picchi
Coppie di dita diverse della stessa mano(1)	38
Coppie di dita diverse della stessa mano(2)	15
Coppie di dita diverse della stessa mano(3)	57
Coppie di dita diverse della stessa mano(4)	0
Coppie di dita diverse della stessa mano(5)	6
Coppia di dita uguali di mani diverse (6)	19
Coppia di dita uguali di mani diverse (7)	22
Coppia di dita uguali di mani diverse (8)	4
Coppia di dita uguali di mani diverse (9)	12
Coppia di dita uguali di mani diverse (10)	10
Palmo e dita della stessa mano (11)	32
Palmo e dita della stessa mano (12)	111
Palmo e dita della stessa mano (13)	38
Palmo e dita di due mani diverse (14)	21
Palmo e dita di due mani diverse (15)	52
Palmo e dita di due mani diverse (16)	3

CAPITOLO 5: CONCLUSIONI

Per quanto riguarda il secondo gruppo di acquisizioni che utilizzano contemporaneamente due sensori GSR in due aree del corpo diverse, si può notare che, in quasi tutte le prove, l'andamento dei segnali è molto simile tra di loro.

Per ogni acquisizione, inoltre, è stata calcolata la differenza tra il numero di picchi contati sulla componente fasica rilevata con il primo sensore e il numero di picchi contati sulla componente fasica rilevata con il secondo sensore.

Come si evince dalla Tabella 4 questa differenza risulta essere molto variabile.

In alcune acquisizioni come nella (4), (5), (8) e (16) questa differenza è bassa o addirittura nulla, sottolineando che, pur applicando i due sensori in due siti diversi, il numero di impulsi rilevati nel segnale di conduttanza cutanea è simile.

In altre acquisizioni come nella (3), (12) e (15) questa differenza è alta, dimostrando che, pur avendo un andamento del segnale molto simile, il numero di impulsi fasici contati sulle due aree diverse del corpo è molto diverso.

Una delle problematiche riscontrate durante le prove sperimentali è, infatti, la difficoltà nel misurare correttamente il segnale GSR.

Il sensore GSR, essendo molto suscettibile a qualsiasi movimento degli elettrodi, potrebbe aver rilevato dei picchi fittizi che non sono legati ad una risposta provocata da uno stimolo di natura emozionale ma sono dovuti ad uno spostamento casuale degli elettrodi.

In definitiva, quindi, se il segnale GSR ha dei picchi molto alti significa che molto probabilmente questo aumento istantaneo della conduttanza cutanea è legato ad un movimento degli elettrodi durante l'acquisizione.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Boucsein W., 1992, *Electrodermal Activity*, Plenum Series in Behavioral Psychophysiology and Medicine, Plenum Press.
- [2] Marieke van Dooren, Gert Jan de Vries, Joris H Janssen, Emotional sweating across the body: Comparing 16 different skin conductance measurement locations, *Physiology Behavior*, Volume 106 Issue 2 2012, Pages 298-304.
- [3] Casaccia, F., Iadarola, G., Poli, A., Spinsante, S. (2022). CS-Based Decomposition of Acoustic Stimuli-Driven GSR Peaks Sensed by an IoT-Enabled Wearable Device. In: Spinsante, S., Silva, B., Goleva, R. (eds) *IoT Technologies for Health Care. HealthyIoT 2021. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, vol 432. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-99197-5_14.
- [4] Mathias Benedek e Christian Kaernbach, A continuous measure of phasic electrodermal activity, in *Journal of Neuroscience Methods*, vol. 190, n. 1, 30 giugno 2010, pp. 80–91.
- [5] Amin R., Faghieh R. T. (2022) “Physiological characterization of electrodermal activity enables scalable near real-time autonomic nervous system activation inference. *PLoSComputBiol* 18 (7).
- [6] Society for Psychophysiological Research Ad Hoc Committee on Electrodermal Measures, Publication recommendations for electrodermal measurements: Publication standards for EDA, in *Psychophysiology*, vol. 49, n. 8, 2012-08, pp. 1017–1034.
- [7] https://wiki.seeedstudio.com/Grove-GSR_Sensor/.
- [8] <https://www.arduino.cc/>.
- [9] <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3-smd>.
- [10] <https://it.mathworks.com/products/matlab.html>.

RINGRAZIAMENTI:

Un sentito ringraziamento va al mio relatore Susanna Spinsante che mi ha seguito con grande disponibilità e gentilezza.

Un ringraziamento anche ai miei genitori che mi hanno permesso di studiare e concludere gli studi.

Il mio grazie va infine a Giorgia Bravetti, la mia fidanzata, che mi ha supportato e sopportato durante tutto il percorso di studio.