

# Implementazione di un algoritmo per analizzare dei segnali EMG con Matlab

Manuel Delucchi, Jordan Germano, Dante Baroncini

## 1 Introduzione EMG

L'elettromiografia (**EMG**) è un esame diagnostico che permette di studiare la funzionalità dei muscoli e dei nervi connessi presenti in una data area del corpo.

Dal punto di vista strumentale, prevede l'utilizzo di alcuni **elettrodi di superficie** (*metodo non invasivo*) o di **agolettrodi** (*metodo invasivo*), e di un'apparecchiatura computerizzata chiamata **elettromiografo**, capace di registrare e tradurre in un grafico l'attività muscolare e i segnali nervosi che transitano lungo i nervi deputati al controllo dei muscoli.

- **Agolettrodi** (*invasivi*, penetrano nella pelle)
  - **Vantaggi**: Precisa differenziazione delle attività elettriche dei singoli muscoli, ampiezza elevata e contenuto ad alta frequenza del segnale, cross-talk ridotto (il **cross-talk muscolare** si verifica quando il segnale EMG di un muscolo interferisce con quello di un altro, limitando l'affidabilità del segnale del muscolo in esame);
  - **Svantaggi**: Penetrazione della pelle, difficile quindi da usare in condizioni dinamiche (durante il movimento, sport).
- **Elettrodi di Superficie** (*non invasivi*, posizionati al centro del muscolo di interesse e richiedono una pelle "pulita" per una trasmissione del segnale migliore)
  - **Vantaggi**: maggiore comfort e convenienza;
  - **Svantaggi**: Cross-Talk e ricezione scarsa del segnale.

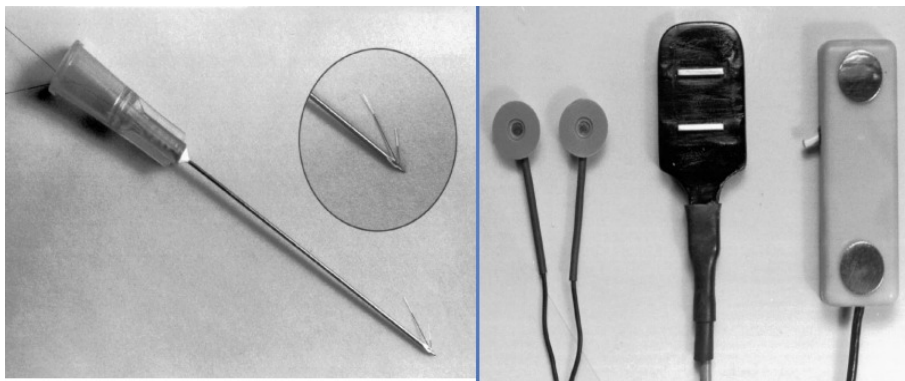


Figure 1: "Alla sinistra abbiamo un Agolettrodo, alla destra degli Elettrodi di Superficie."

L'EMG è semplicemente il segnale, di bassissima ampiezza, generato durante l'attività muscolare. Esso presenta un andamento irregolare e frastagliato. Ciò accade in quanto, a differenza del muscolo cardiaco, i muscoli scheletrici non si contraggono in modo sincrono, ma attivano le loro porzioni funzionali, le cosiddette unità motorie, in numero proporzionale all'intensità della forza esercitata: in pratica, maggiore è la forza che si intende esercitare, maggiore è la porzione di muscolo coinvolta e, pertanto, maggiore sarà l'ampiezza del segnale EMG registrato. Tale segnale registrato è detto **Raw Signal** (possiede un ampio spettro di frequenze 20-500Hz) che, come vedremo, andrà filtrato, rettificato e ne andrà estratto l'involuppo.

L'elettromiografia trova impiego in tutti quei casi in cui si sospetti una malattia dei nervi o una patologia dei muscoli. Sintomi e segni tipici di queste condizioni sono:

- Formicolio, intorpidimento e/o alterazioni della sensibilità a carico di distretti più o meno estesi del corpo;
- Debolezza muscolare;
- Dolore muscolare e crampi;
- Paralisi;
- Spasmi muscolari involontari.

## 2 Implementazione del Programma

### 2.1 Descrizione e Obiettivi Esercitazione

Affrontiamo un problema per *l'analisi Elettromiografica*: si richiede di estrarre dal segnale EMG l'involuppo dell'attivazioni muscolari relative ad un task motorio. Il task consiste nel chiedere ad un soggetto di restare seduto su una piattaforma robotica. Durante ogni prova, la piattaforma robotica si muove seguendo una traiettoria circolare. Il soggetto deve controbilanciare il movimento della piattaforma con l'attivazione dei muscoli addominali obliqui. In tutto vengono eseguite 4 prove distinte ripetute 2 volte per un totale di 8 registrazioni.

Si vuole verificare se la velocità o l'ampiezza dei movimenti hanno un effetto sull'ampiezza dell'attivazione muscolare.

In questa esercitazione sono stati forniti i dati di tre soggetti, i quali, come già anticipato, sono stati sottoposti a 8 prove in 4 condizioni differenti:

- **Condizione 1** (prove 1 e 2): i soggetti dovevano compiere movimenti piccoli e lenti;
- **Condizione 2** (prove 3 e 4): movimenti piccoli e veloci;
- **Condizione 3** (prove 5 e 6): movimenti grandi e lenti;
- **Condizione 4** (prove 7 e 8): movimenti grandi e veloci.

Ogni prova ha una matrice time-samples x 3. La prima colonna è il *tempo*, le ultime due sono *due muscoli distinti* (ai quali ci riferiremo come muscolo1 e muscolo2). Invece, la frequenza di campionamento usata è  $fs = 2000\text{Hz}$ .

Gli obiettivi dell'esercitazione sono:

1. Estrarre e visualizzare l'involuppo del segnale EMG;
2. Normalizzazione del segnale EMG rispetto al massimo valore di ogni soggetto;
3. Calcolare e visualizzare lo spettro medio del segnale;
4. Rilevare e visualizzare le attivazioni muscolari in ogni segnale;
5. Calcolare e visualizzare la singola durata di attivazione;
6. Calcolare e visualizzare la durata di attivazione media;
7. Permutation test: movimenti lenti vs movimenti veloci, movimenti grandi vs movimenti piccoli.

### 2.2 Procedimento

#### 2.2.1 Estrazione dell'Involuppo

E' stata inizialmente implementata una funzione *getenvelope()* necessaria per poter **filtrare il segnale**, eliminando il rumore, ed **estrarre l'involuppo**. Per ottenere ciò bisogna prima filtrare il segnale con un *filtro passabanda*, poi *rettificarlo* ed infine filtrarlo con un *passabasso*.

Quando si parla di **"rettificazione del segnale"** si intende portare tutto lo spettro in campo positivo, quindi tutte le ampiezze negative sono rese positive. Questa operazione porta a molti benefici: una migliore lettura del segnale, calcolo di parametri standard come la media, la deviazione standard ed il calcolo del valore massimo.

Nell'implementazione della funzione è stato necessario l'utilizzo di un ciclo *for* per poter riempire una struttura contenente nella prima colonna le matrici con gli involuppi del muscolo1 e nella seconda colonna le matrici con gli involuppi del muscolo2. Come anticipato, è stato eseguito prima il *filtraggio passabanda* attraverso la funzione di Matlab *filter()*, è stato *rettificato* il segnale attraverso la funzione *abs()* ed infine è stato applicato un *filtro passabasso* sempre mediante la funzione *filter()*. Tale funzione necessita dei dati del muscolo in questione e dei coefficienti dei singoli filtri ottenuti mediante la funzione *butter()* la quale prende in ingresso l'ordine dei filtri, la loro frequenza di taglio normalizzata ed il tipo di filtro in questione.

- **Passabanda**: ordine filtro 3, limite inferiore (in frequenza) 30 Hz, limite superiore 300 Hz;
- **Passabasso**: ordine filtro 3, frequenza di taglio 2 Hz.

#### 2.2.2 Normalizzazione del Segnale EMG

Successivamente è stata implementata una funzione *datanormalization()* che calcola il *valore massimo* dello spettro in un test che riguarda sia il muscolo1 che il muscolo2 partendo dall'involuppo ottenuto con la funzione introdotta nel primo step ed utilizza tale valore per *normalizzare il segnale*. Questo massimo è il massimo assoluto calcolato per entrambi i muscoli ed ottenuto come il massimo dei massimi tra le singole prove per ogni muscolo. E' stata considerata la singola prova per ciascun muscolo e per poterla normalizzare è stata divisa per il massimo assoluto del singolo muscolo. La struttura che viene tornata dalla funzione verrà riempita con i rispettivi valori di involuppo normalizzati per ogni muscolo: nella prima colonna ci saranno le matrici contenenti gli involuppi del muscolo1, nella seconda quelli del muscolo2.

### 2.2.3 PSD Medio

Per calcolare e plottare lo spettro medio dei 3 soggetti è stata creata una funzione *computePxx()* la quale calcolerà le **PSD** (*Spettro di Densità di Potenza*) dei 2 muscoli per ciascun soggetto attraverso la funzione di Matlab *pwelch()* e la **PSD media** di questi sfruttando la funzione *mean()*.

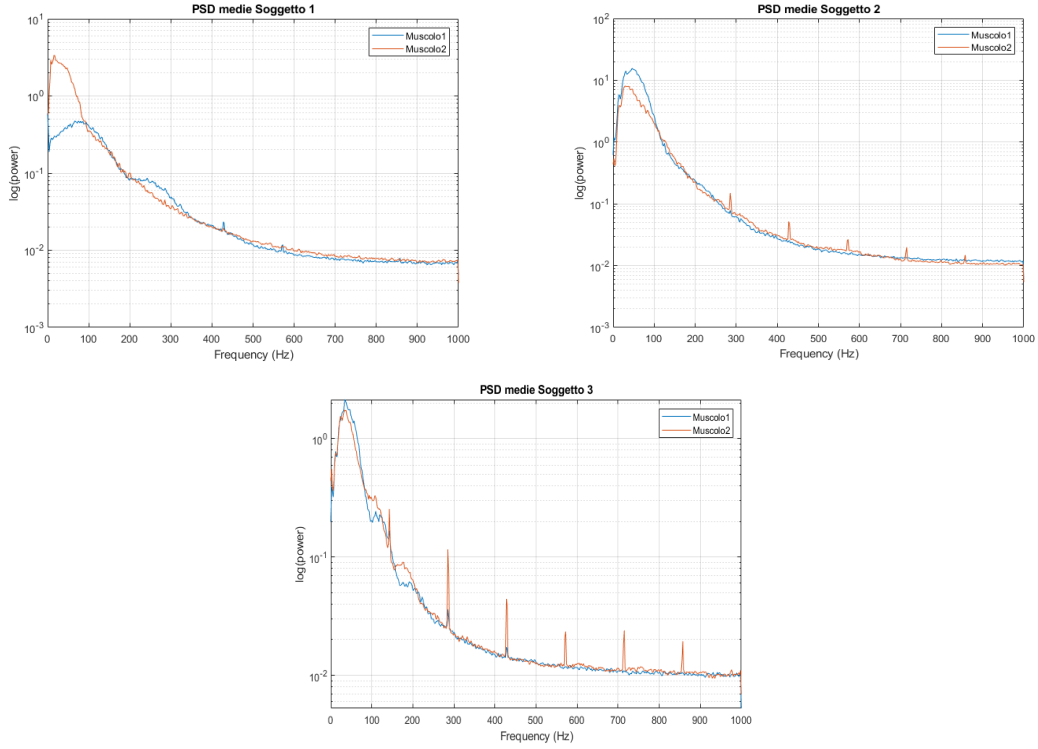


Figure 2: Confronto fra i grafici semilogaritmici delle PSD medie di muscolo1 e muscolo2 dei tre soggetti ottenute attraverso la funzione *computePxx()*.

### 2.2.4 Attivazioni

E' stata implementata una funzione *detectactivation()* che permette di estrarre le **attivazioni** (picchi) di ogni soggetto. Pre-allocata una struttura che conterrà i picchi e le posizioni dei picchi dei due muscoli, per poter calcolare in modo univoco un valore di soglia necessario per individuare i picchi, si deve implementare una funzione che si basa su media e deviazione standard del segnale:

$$Soglia = Media + (Multiplier * DeviazioneStandard)$$

Dove la media si trova attraverso la funzione *mean()* e la deviazione standard attraverso la funzione *std()* di Matlab, mentre il **multiplier**, che è stato settato a mano per poter modificare la soglia al suo variare, è dovuto al fatto che i campioni del segnale in corrispondenza dei picchi si discostano di molto dalla media.

Per trovare le attivazioni usiamo la funzione di Matlab *findpeaks()* e si fissa come minima altezza dei picchi (*'MinPeakHeight'*) la soglia calcolata e come distanza minima tra due picchi successivi (*'MinPeakDistance'*) un valore di settato appositamente per evitare di trovare picchi che non siano attivazioni. Tali valori indicano la possibilità di trovare picchi solo dopo una determinata soglia ed ad una data distanza.

E' stata implementata una parte di codice che permetta di non tenere conto di **falsi picchi di attivazione** individuati in alcune prove del muscolo 2 del soggetto 1. E' stato necessario poiché non era in alcun modo possibile scegliere dei parametri della funzione *detectactivation()* in modo tale da eliminare i falsi picchi senza però modificare i veri punti di attivazione. Per ovviare al problema sono stati eliminati i picchi troppo vicini all'inizio della registrazione imponendo una soglia di 4000 campioni che corrispondono a 2 secondi. Scelta sensata se si pensa che l'attivazione di un muscolo non è istantanea all'inizio dell'attivazione.

Per visualizzare le **singole attivazioni** nelle 4 condizioni è stata creata una cell con gli involucri dei muscoli1 nei 3 soggetti nelle prime 3 colonne e con gli involucri dei muscoli2 dei 3 soggetti nelle ultime 3 colonne ed un'altra cell per le **posizioni di attivazione** di questi. E' stata definita una funzione *datadivision()* che crea e grafica le cell (rispettive ai muscoli1 e 2) contenenti le finestre di attivazioni suddivise per prova e soggetto. È necessario definire N finestre di ugual lunghezza M (con  $M = 7001$ , si sceglie per esempio la lunghezza della finestra a 7001ms, ca. 0.7s) contenenti ciascuna un'attivazione muscolare. Per fare questo, si considera come punto centrale della finestra il picco di attivazione (trovato in precedenza), attorno al quale andranno quindi considerati  $M/2$  campioni prima del picco e  $M/2$  successivi ad esso. Una volta selezionate tutte le finestre contenenti una singola attivazione, sarà necessario mediare sulle singole finestre, ottenendo quindi l'attivazione media per ogni condizione (in due prove distinte), per ogni soggetto e per ogni muscolo.

Anche in questo caso è stata implementata una porzione di codice che ci permette di non considerare picchi troppo vicini, in questo caso, alla fine della registrazione poiché una finestra centrata in tali picchi eccederebbe il termine della registrazione (anche in questo caso si è notato come questo avvenga solo per un'attivazione del muscolo2 nel primo soggetto).

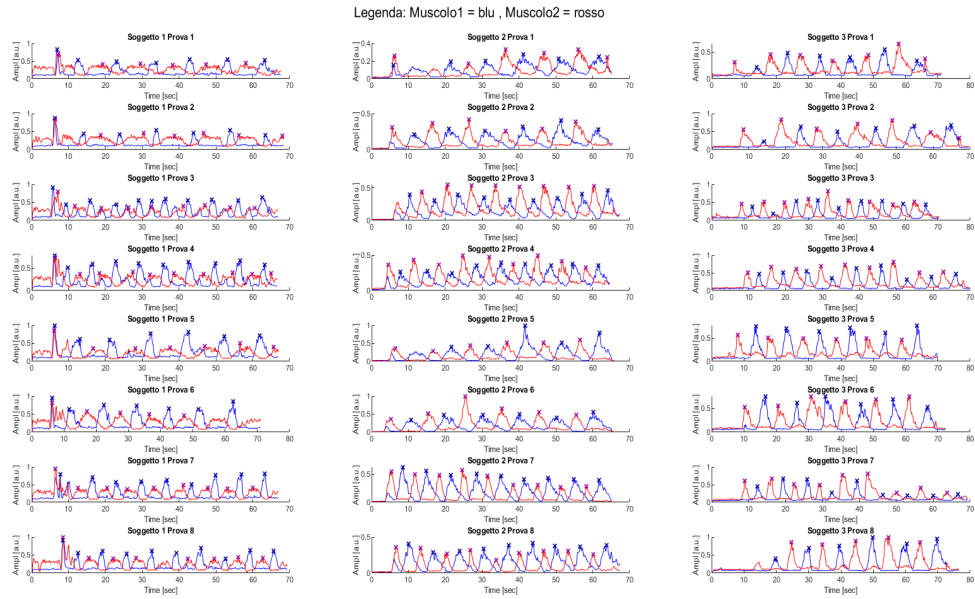


Figure 3: "Visualizzazione di tutti i picchi singole attivazioni per ogni soggetto in ogni condizione. Muscolo1 (blu), Muscolo2 (rosso)."

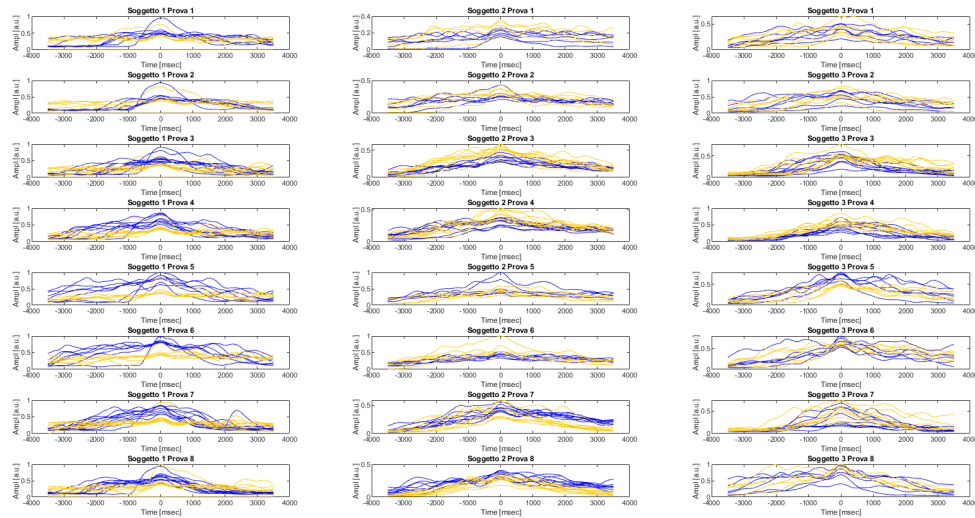


Figure 4: "Visualizzazione delle singole attivazioni per ogni soggetto in ogni condizione. Visualizzazione dell'involuppo dei due muscoli osservati durante l'esperimento (muscolo1-blu, muscolo2-giallo)"

Per calcolare e visualizzare la durata di attivazione media per ogni soggetto e per ogni prova è stata creata una funzione `windowsmean()` che crea e grafica due cell corrispondenti ai muscoli 1 e 2, che contengono la finestra media in base al soggetto (1,2,3) e alla condizione (1,2,3,4).

(Grafici nella pagina successiva: Figura 6)

Dopodichè, è stata implementata una funzione `evaluatefwhm()` per il calcolo della **FWHM** (Full Width at Half Maximum). Tale valore permette di misurare la larghezza di una distribuzione data dalla differenza fra i valori assunti dalla variabile indipendente x quando la variabile dipendente y è pari a metà del suo valore massimo.

La funzione, quindi, permetterà di calcolare la FWHM per i tre soggetti, così da poter calcolare la durata di ogni attivazione:

tale durata sarà infatti la distanza tra i due punti secanti, ovvero la dimensione delle singole FWHM.

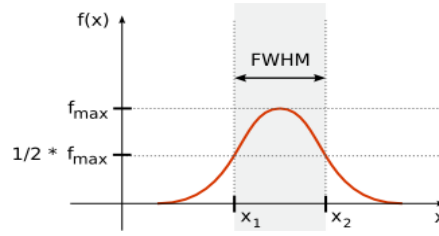


Figure 5: "FWHM (Full Width at Half Maximum)"

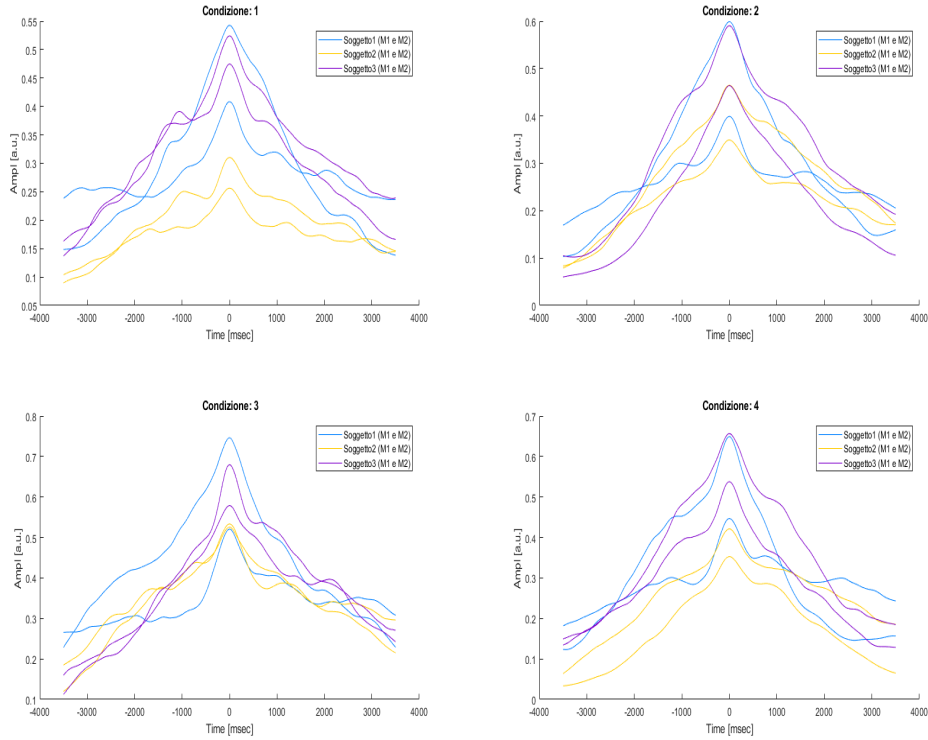


Figure 6: "Attivazione media dei tre soggetti per ogni muscolo nelle 4 condizioni. Soggetto1 (azzurro), Soggetto2 (giallo) e Soggetto3 (viola)"

### 2.2.5 Permutation Test

La procedura per svolgere un *Test di Permutazione (Permutation Test)* è la seguente:

- **Step 1:** Creazione della variabile osservata *Tobs* per i due muscoli: concatenazione di tutte le prove di ciascun soggetto in cui è stato richiesto di compiere movimenti lenti (vettore 1) e tutte quelle in cui è stato chiesto di compiere movimenti veloci (vettore 2). Calcolare la statistica *Tobs* come il modulo della differenza delle medie tra il vettore1 e il vettore2 (in valore assoluto);
- **Step 2:** Creazione della variabile randomica *Trand* per i due muscoli: concatenazione di tutte le prove di ciascun soggetto assieme (sia movimenti veloci, sia movimenti lenti), mischiare i valori all'interno del vettore concatenato. Dividere il vettore concatenato in due vettori di lunghezza uguale ai due precedenti (vettore1 e vettore2). Infine, è necessario sottrarre i due vettori come fatto per calcolare *Tobs*. Lo Step 2 va ripetuto N volte (con N grande a piacere);
- **Step 3:** Calcolo del *p-value*: Contare quante volte il valore di *Trand* è maggiore di *Tobs*.

Il Permutation Test va effettuato sia per osservare le differenze tra **movimenti lenti e movimenti veloci** (come spiegato sopra) sia per osservare le differenze tra **movimenti grandi e movimenti piccoli**.

Sono state perciò create due funzioni *permutationtest1()* e *permutationtest2()* per poter compiere tali step per, rispettivamente, movimenti lenti e movimenti veloci e per movimenti grandi e movimenti piccoli.

Sono stati svolti quindi i 2 test per i 2 muscoli utilizzando come metriche le ampiezze dei picchi. L'ipotesi di lavoro  $H_0$  è quindi che i valori ottenuti nei diversi movimenti (lenti/veloci e grandi/piccoli) appartengano alla stessa popolazione originale, ovvero che non si possano osservare differenze sostanziali. Abbiamo svolto un test con livello di significatività  $\alpha = 0.05$ , quindi con ipotesi alternativa  $H_1$  che i due gruppi appartengano a popolazioni differenti, ergo che si possano osservare differenze. Per ragionare sui test si utilizzano i valori di  $Tobs$  e del **P-value** : se il valore di  $Tobs$  è contenuto tra gli  $(1 - \alpha) * 100\%$  valori di  $Trand$ , allora accettiamo l'ipotesi  $H_0$ . Stiamo quindi escludendo i valori contenuti negli ultimi  $\alpha * 100\%$  valori di  $Trand$ . Ciò significa infatti che i valori osservati non rientrano tra i valori più estremi, collocati nella *zona di rifiuto*. Il **P-value**, invece, è la probabilità di ottenere un risultato almeno tanto estremo quanto lo è il valore di  $Tobs$ . Quindi bassi valori del P-value indicano che i valori osservati non siano interscambiabili e che quindi appartengano a due popolazioni diverse : se quindi **il valore del P-value è minore del valore di  $\alpha$**  va rifiutata l'ipotesi  $H_0$ . Abbiamo ottenuto i seguenti valori :

- **Test1, Muscolo 1** :  $Tobs = 0.0381$ ,  $P-value = 0.1740$
- **Test1, Muscolo 2** :  $Tobs = 7.5689 * \exp(-4)$ ,  $P-value = 0.9950$
- **Test2, Muscolo 1** :  $Tobs = 0.1306$ ,  $P-value = 0$
- **Test2, Muscolo 2** :  $Tobs = 0.0377$ ,  $P-value = 0.4530$

Da questi valori e osservando la collocazione di  $Tobs$  nei rispettivi istogrammi dei valori di  $Trand$  sotto riportati possiamo concludere che differenze significative tra i due tipi di movimento si hanno solo nel caso del confronto tra movimenti grandi e piccoli del primo Muscolo (quindi Test2, Muscolo1).

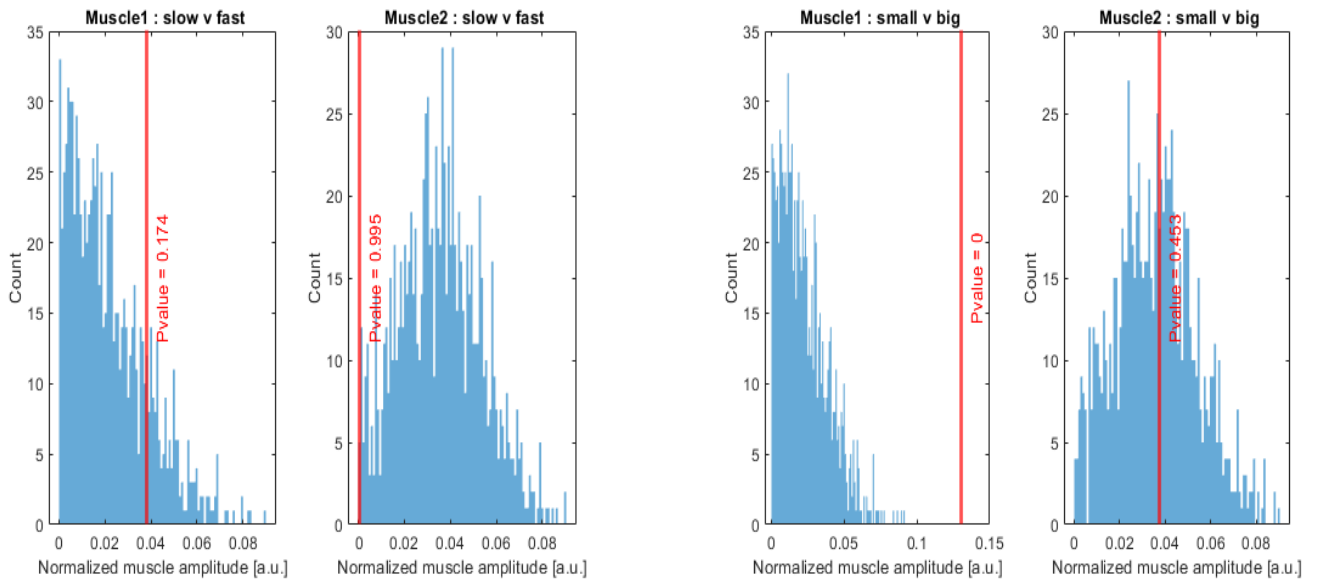


Figure 7: A sinistra Permutation Test1 tra movimenti lenti e veloci, a destra il Permutation Test2 tra movimenti piccoli e grandi.

### 3 Fonti e Bibliografia

- Prof M. Casadio, Use-case-EMG AA. 2021-2022
- Prof M. Fato, Slides sui Test non Parametrici AA. 2021-2022