



LABORATORIO DI BIOINGEGNERIA

Riccardo Bruni
Alice Carcone
Damiano Landi
Cecilia Pagano Mariano

INTRODUZIONE

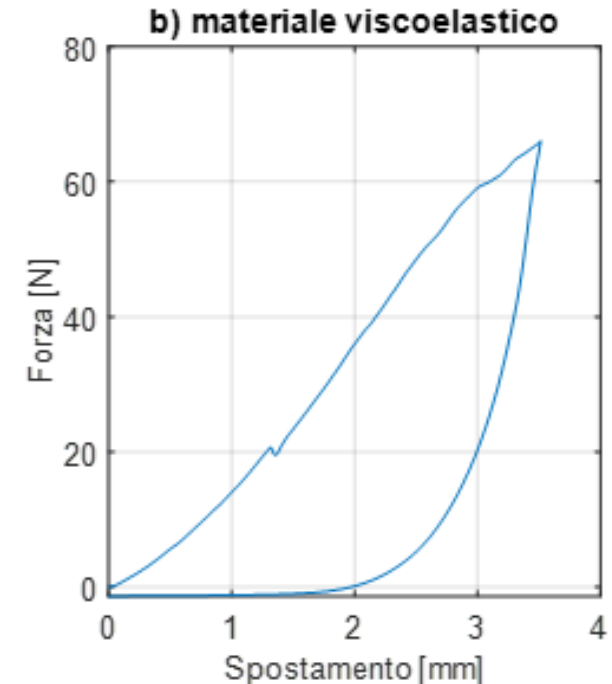
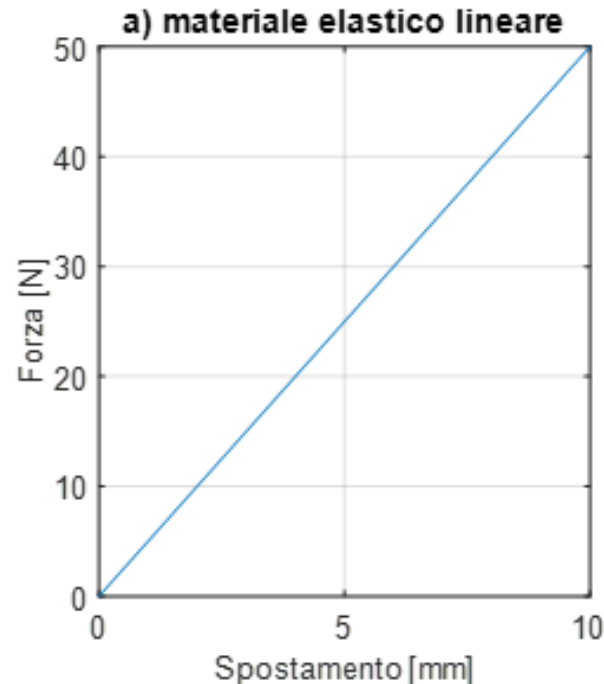
- Modelli viscoelastici dei tessuti biologici
- Biomeccanica del movimento e antropometria
- Modelli per la statica del corpo umano

COMPORTAMENTO DEI MATERIALI

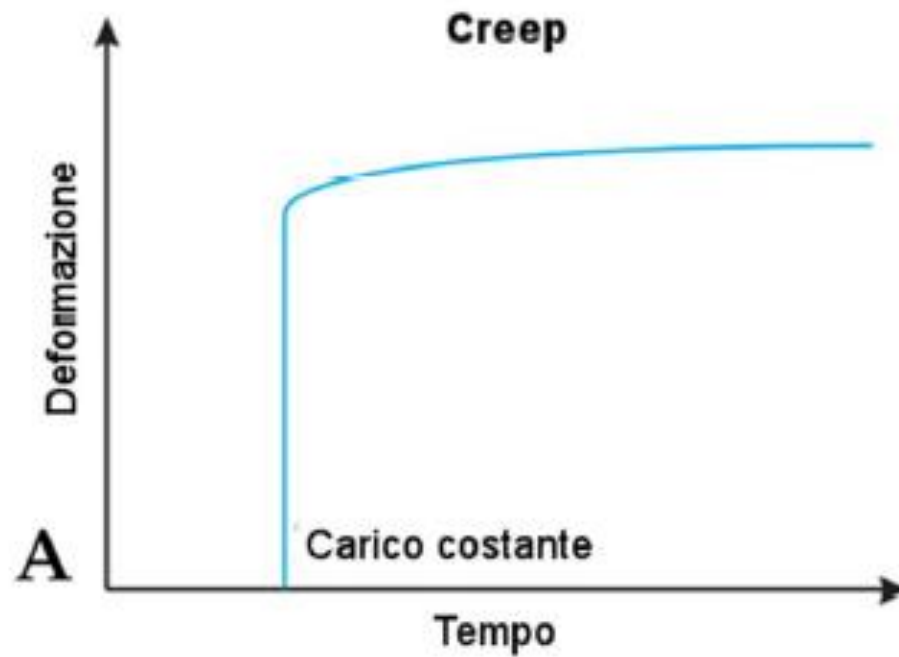
Corpo Elastico: recupera la configurazione indeformata alla rimozione del carico.

Corpo non Elastico: non recupera la configurazione iniziale nel momento in cui si rimuove la forza applicata

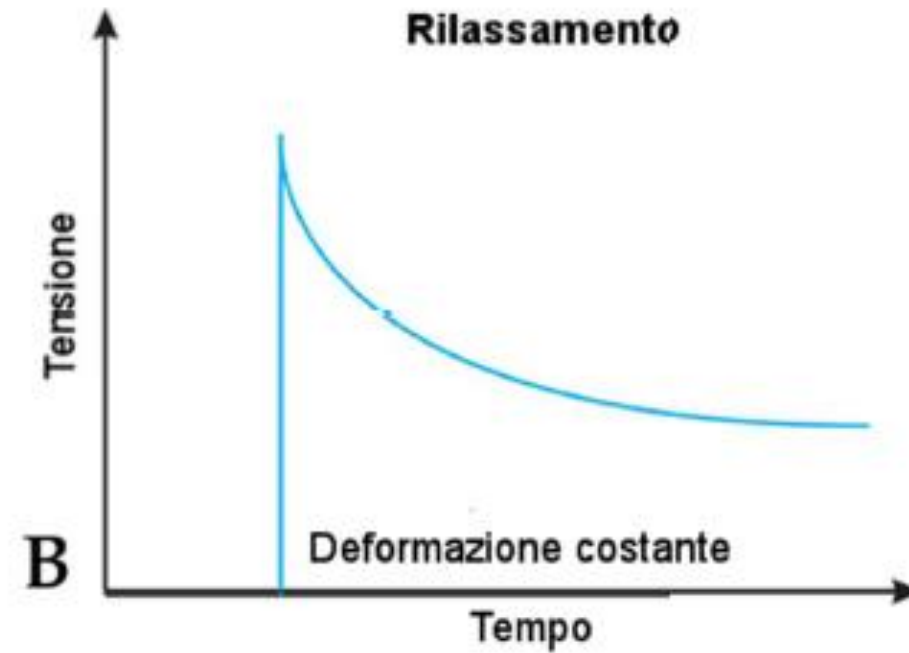
Corpo Viscoelastico: sforzo-deformazione dipende dal tempo



COMPORTAMENTO DEI MATERIALI VISCOELASTICI

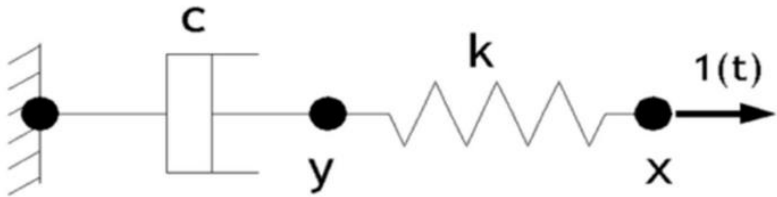


A) Funzione di Creep.



B) Funzione di rilassamento

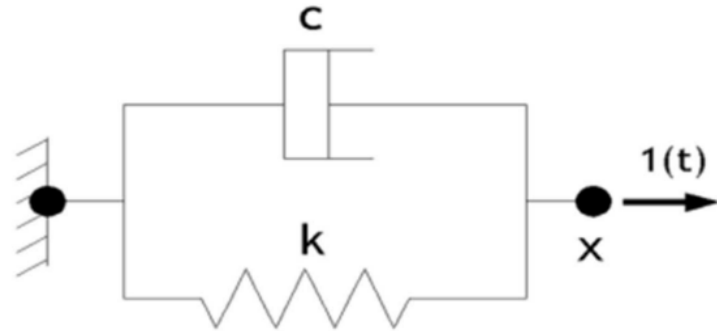
MODELLI VISCOELASTICI



- Corpo di Maxwell:

Funzione di Creep: $x(t) = \left[\frac{1}{k} + \frac{t-t_0}{c} \right] H_f(t)$

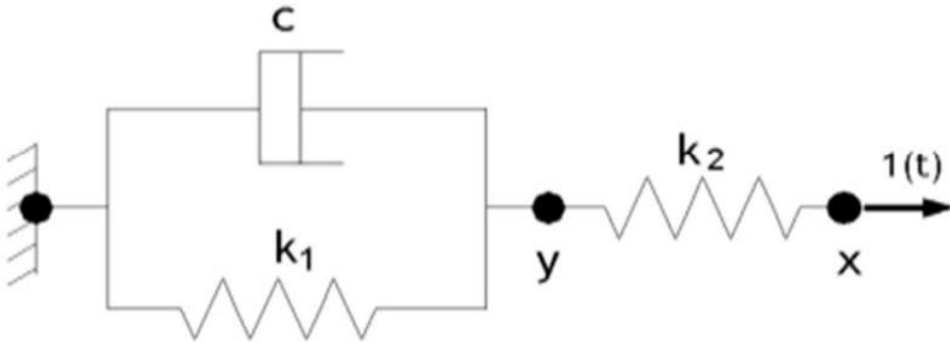
Funzione di Rilassamento: $F(t) = k e^{-\frac{k}{c}(t-t_0)} H_u(t)$



- Corpo di Voigt:

Funzione di Creep: $x(t) = \frac{H_f(t)}{k} \left[1 - e^{-\frac{k}{c}(t-t_0)} \right]$

Funzione di Rilassamento: $F(t) = k H_u(t) + c \delta(t)$

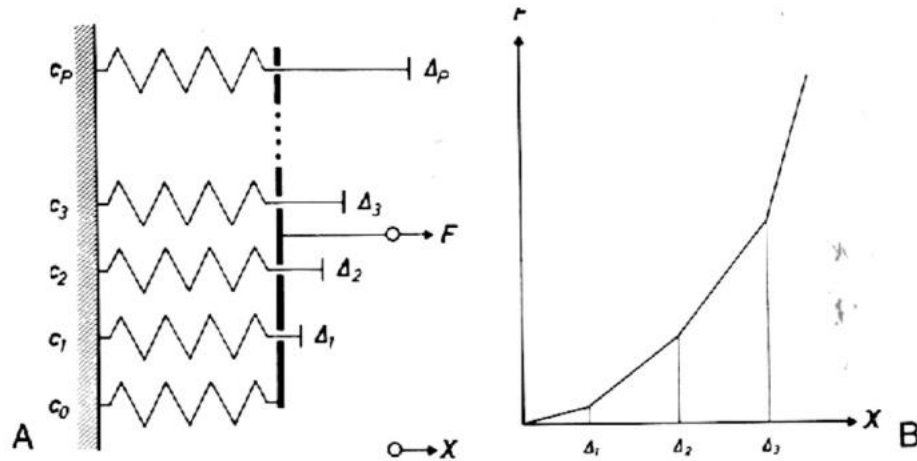


- Corpo di Kelvin:

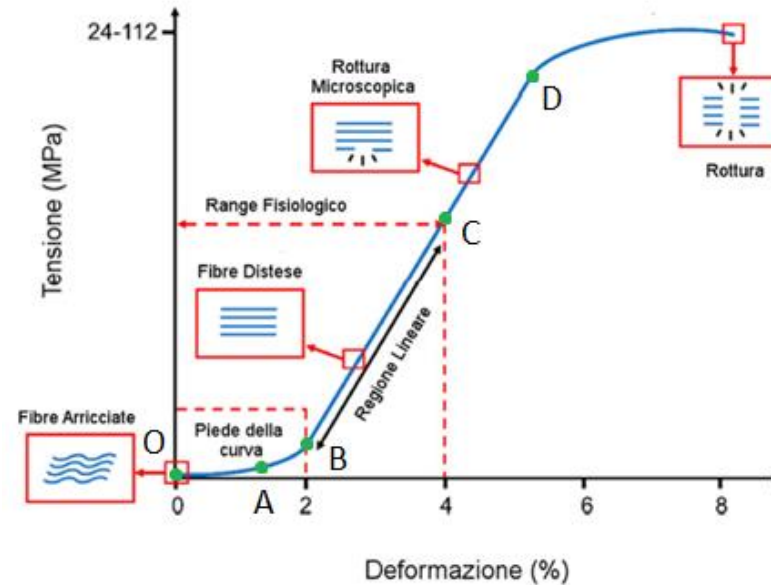
Funzione di Creep: $x(t) = \frac{H_f(t)}{k_2} \left[1 + \frac{k_2}{k_1} \left(1 - e^{-\frac{k_1}{c}(t-t_0)} \right) \right]$

Funzione di Rilassamento: $F(t) = k_2 H_u(t) \left[1 - \frac{k_2}{k_1 + k_2} \left(1 - e^{-\frac{k_1 + k_2}{c}(t-t_0)} \right) \right]$

CARATTERIZZAZIONE DEI TESSUTI BIOLOGICI



- A) Modello elastico non lineare che mostra il progressivo reclutamento delle componenti lineari individuali.
- B) Risultante curva carico-deformazione non lineare.



Curva sforzo-deformazione, riportata dalla letteratura, per un materiale biologico sottoposto a trazione (con i tipici valori di linearità e rottura).

Set-up sperimentale

- Tendine di maiale;
- Macchinario Instron, mod 3365;
- Computer per analizzare i dati con il software Bluehill;
- Carta vetrata;





Precondizionamento
e test di isteresi



Test di rilassamento



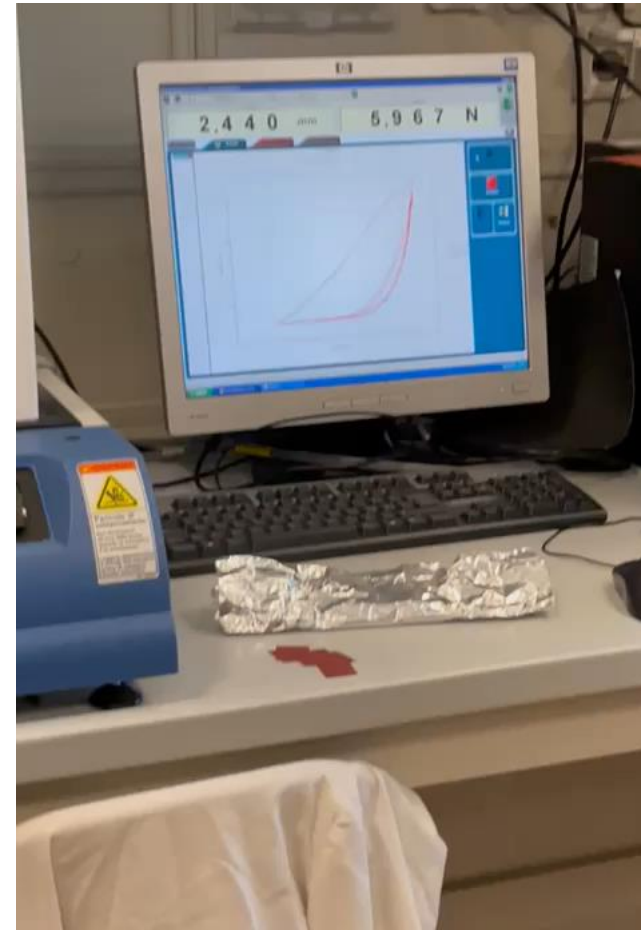
Test a rottura

PROCEDURA SPERIMENTALE



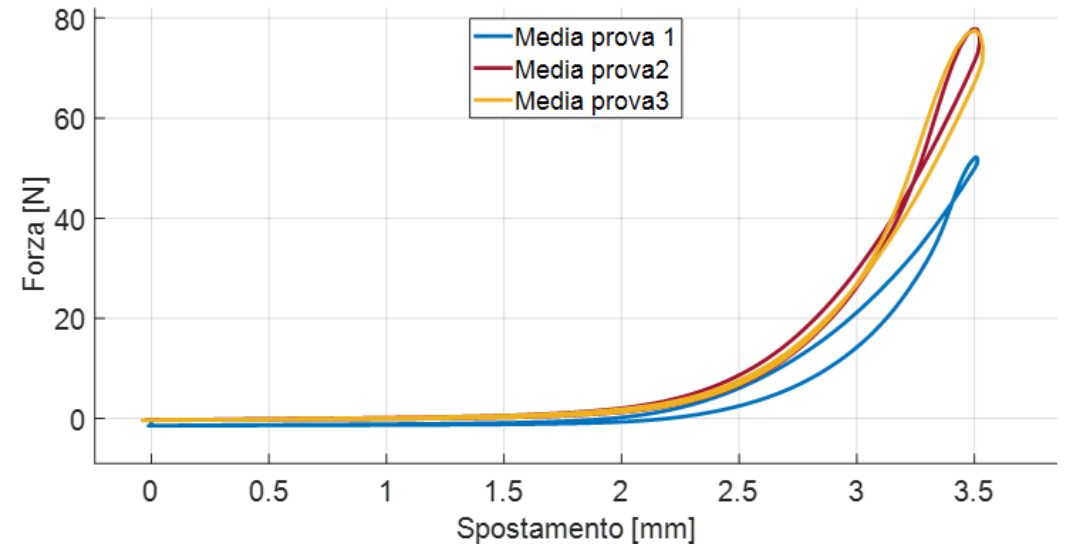
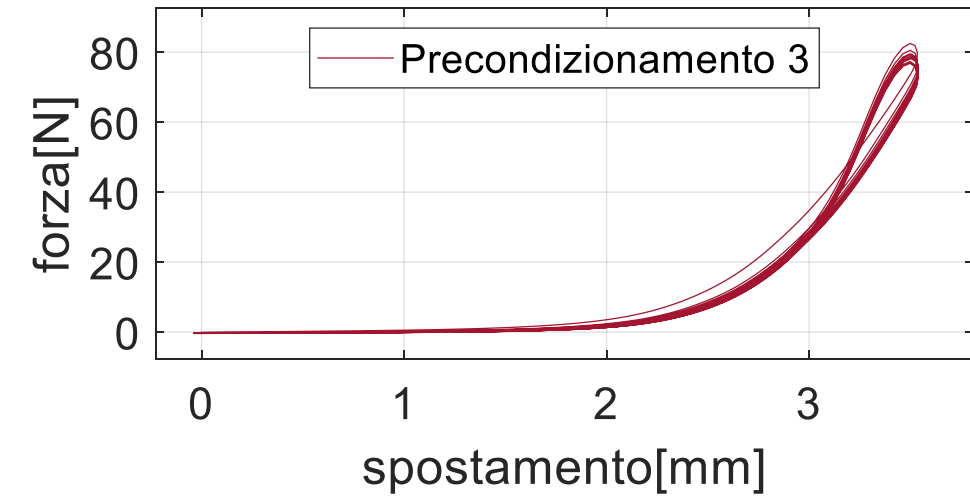
Precondizionamento
e test di isteresi

Attività sperimentale





Precondizionamento e test di isteresi

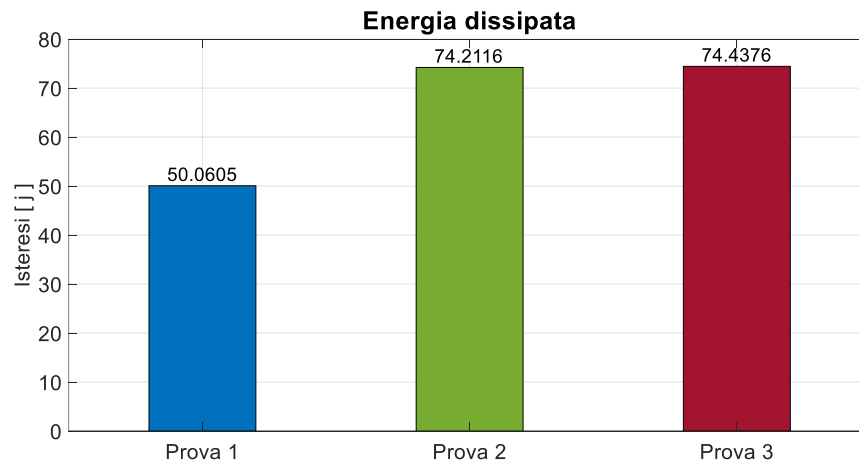


- Creazione delle matrici di tempo, forza e spostamento
- Mantenimento dei soli cicli dal 6 al 10
- Media dei cicli dal 6 al 10

- Apporto energetico



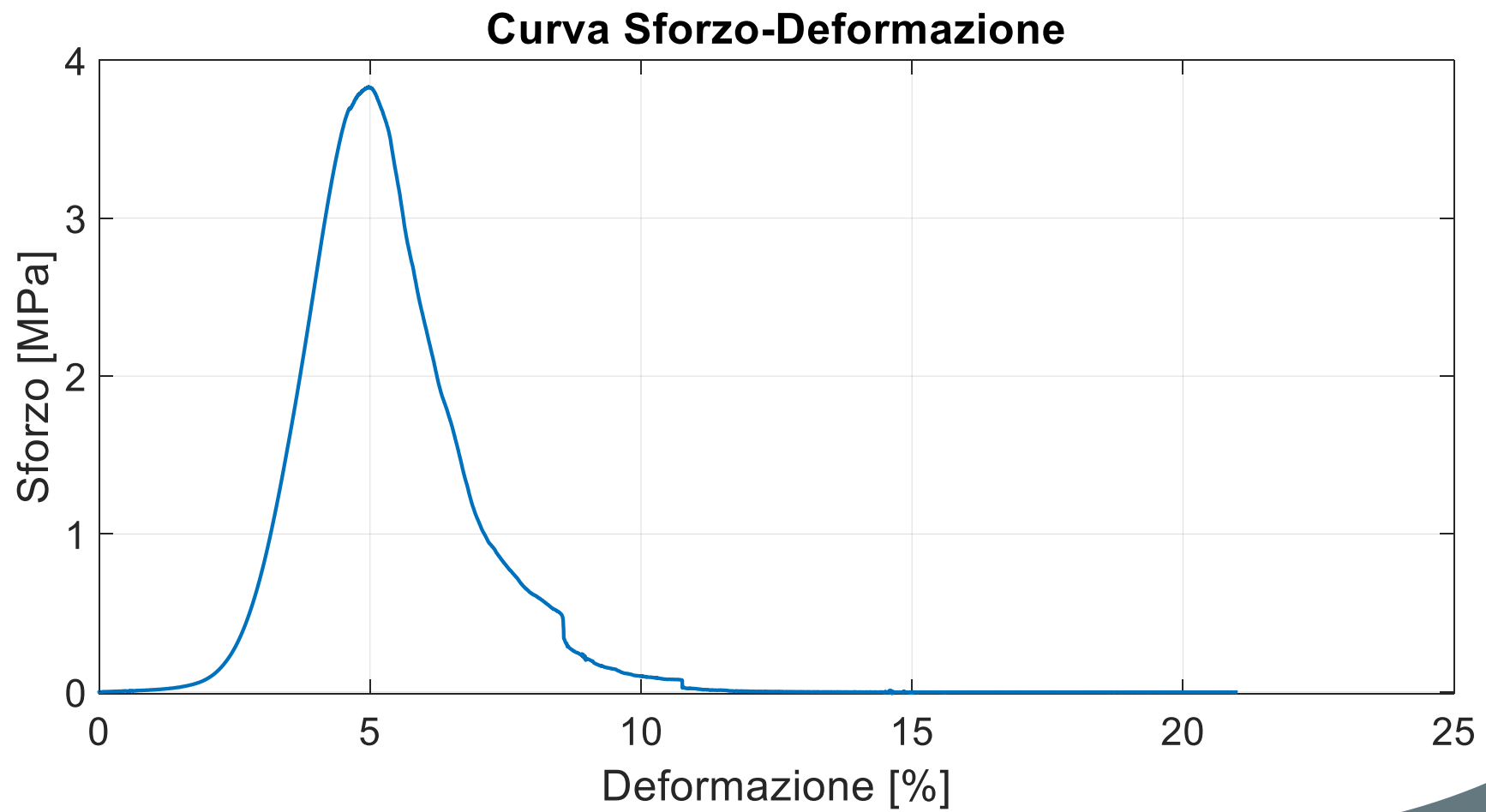
Precondizionamento e test di isteresi



PROVINO NON SOLIDALE
ALLO STRUMENTO:
SCIVOLAMENTO

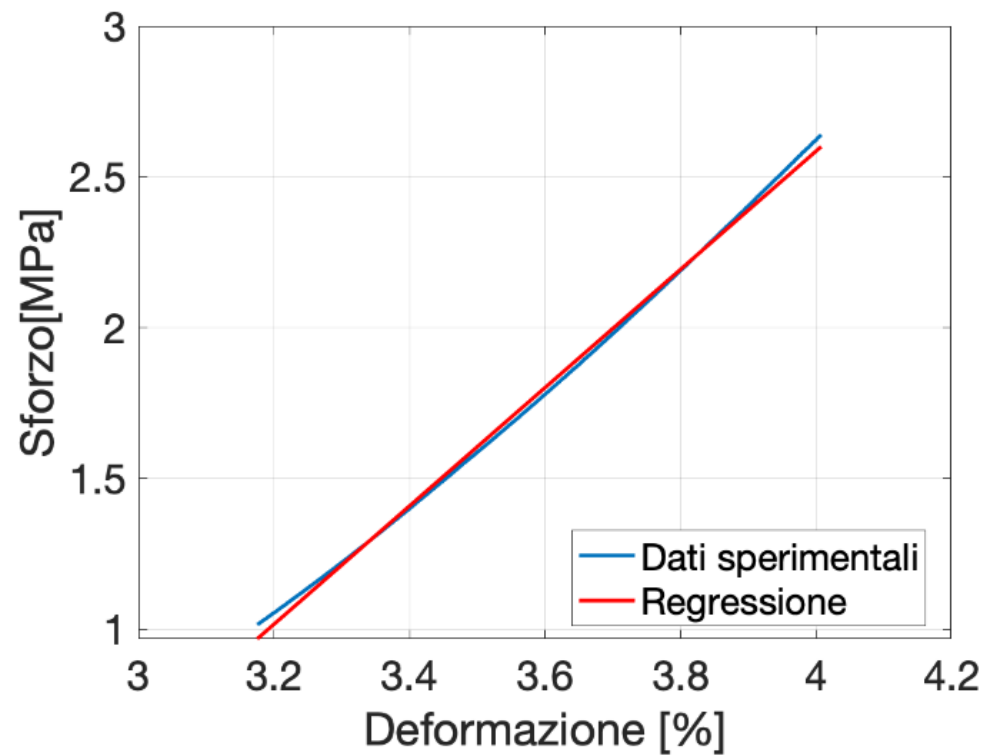


Test a rottura

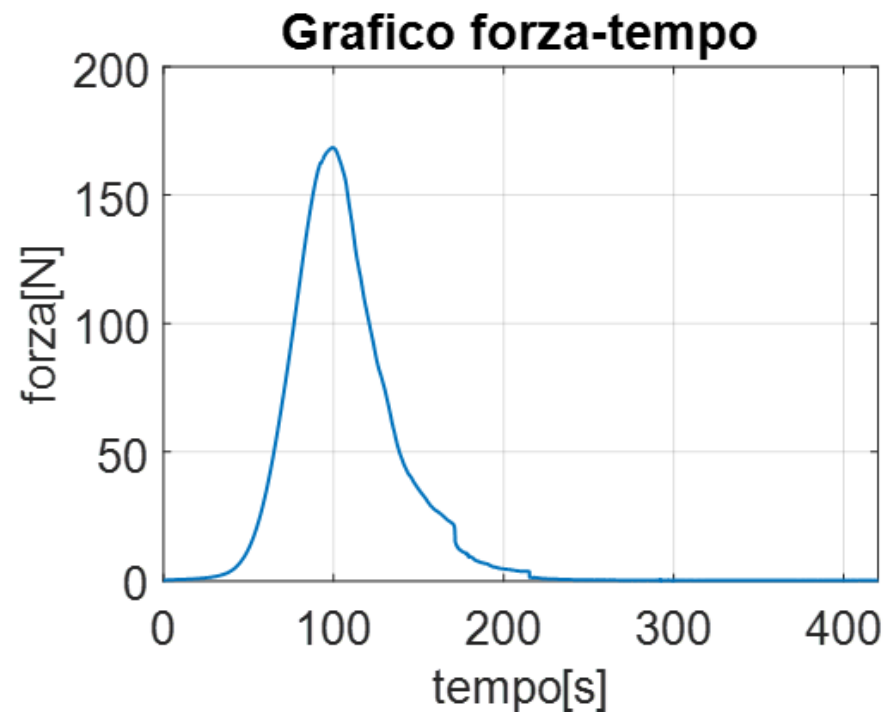




Test a rottura

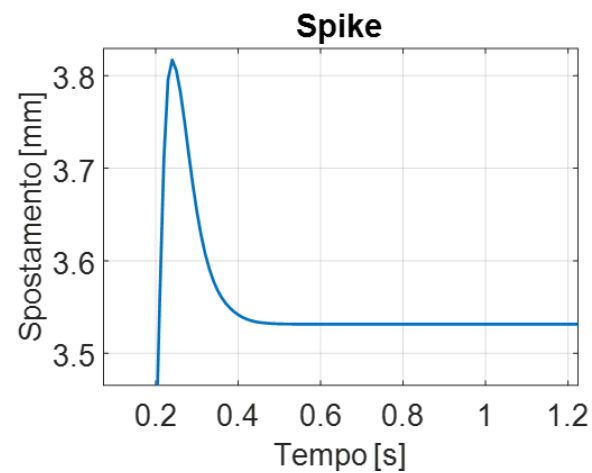
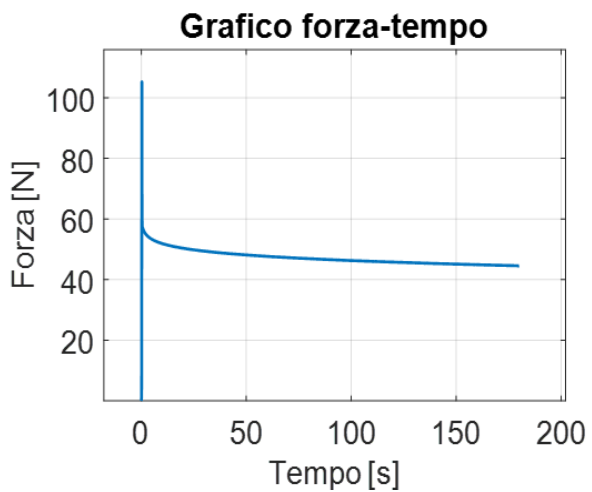
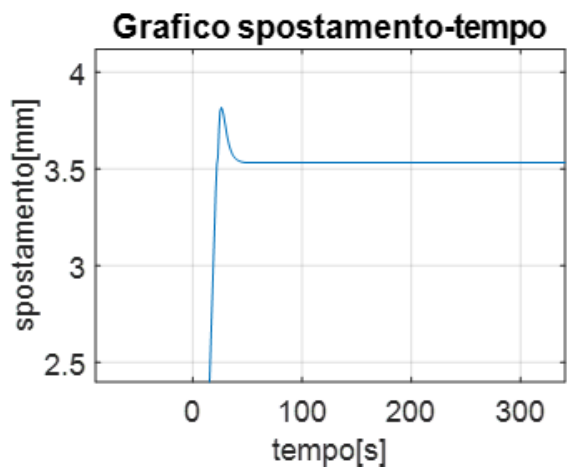


MODULO DI YOUNG
 $E = 188 \text{ MPa}$





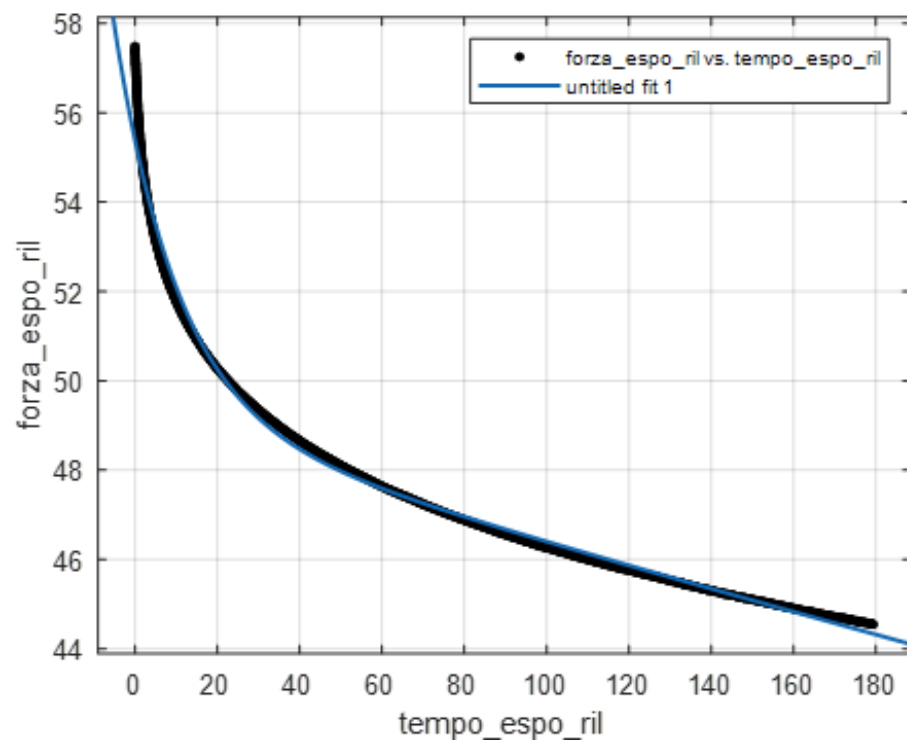
Test di rilassamento



COMPORTAMENTO
REALE DELLO
STRUMENTO DI MISURA

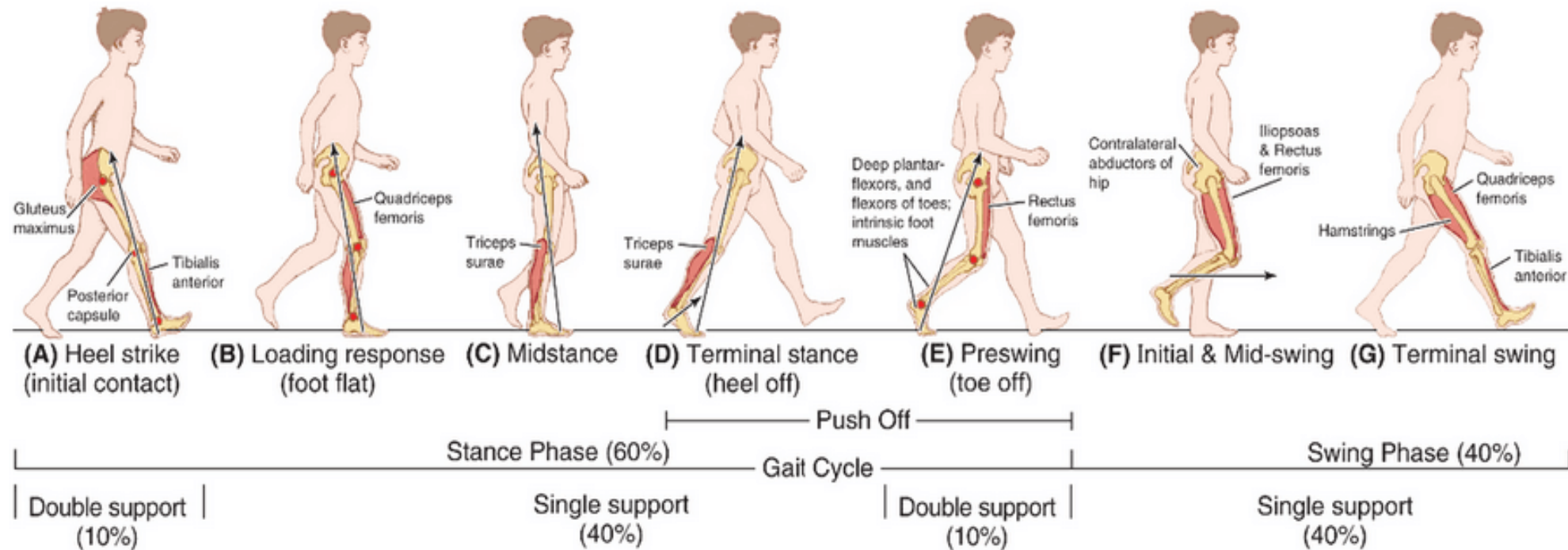


Test di rilassamento



MODELLO VISCOELASTICO
PER IL TENDINE: 2 CORPI DI
MAXWELL IN SERIE

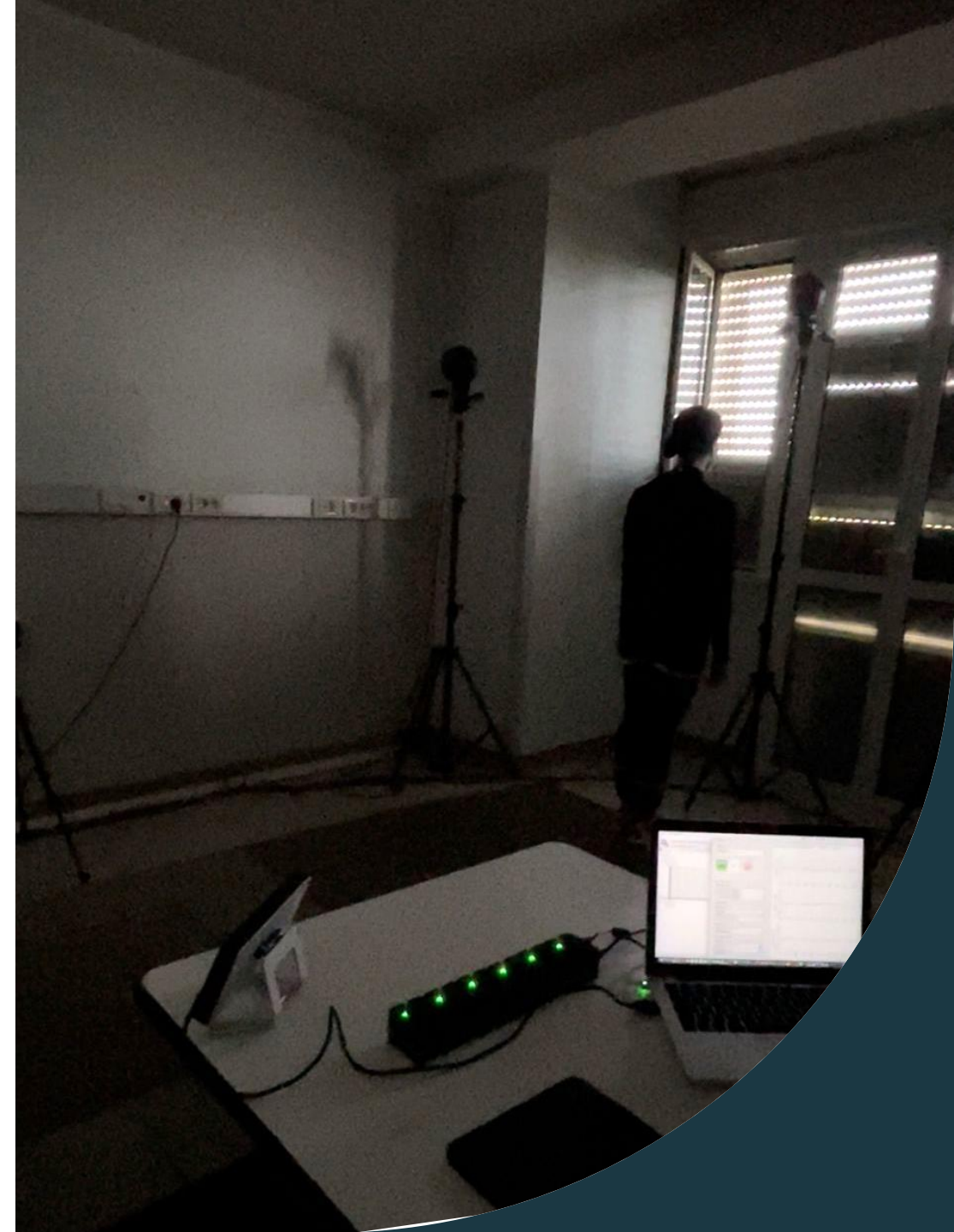
ANTROPOMETRIA E BIOMECCANICA DEL MOVIMENTO: analisi del cammino



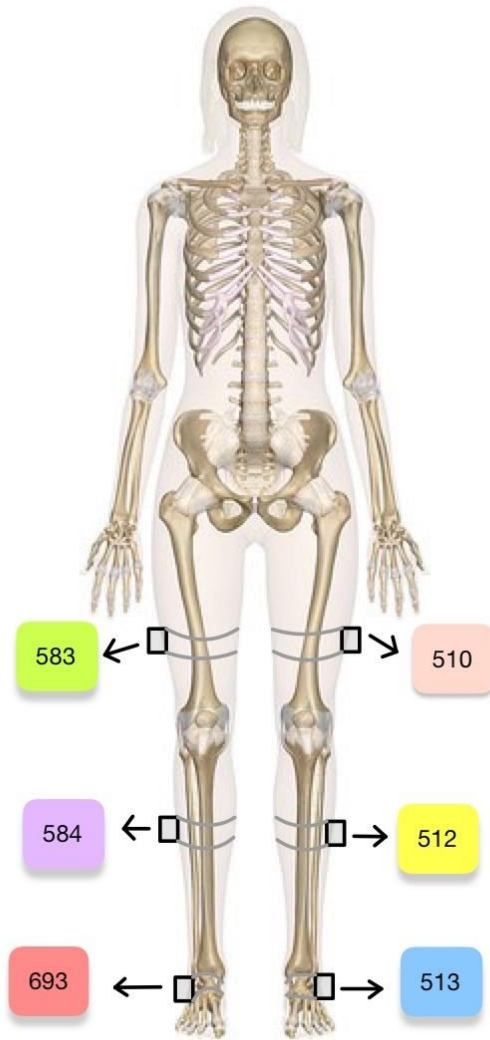
Gait Cycle

Set-up sperimentale: APDM

- Sensori OPAL;
- Docking Station;
- Acces Point;
- PC con il software Motion Studio.

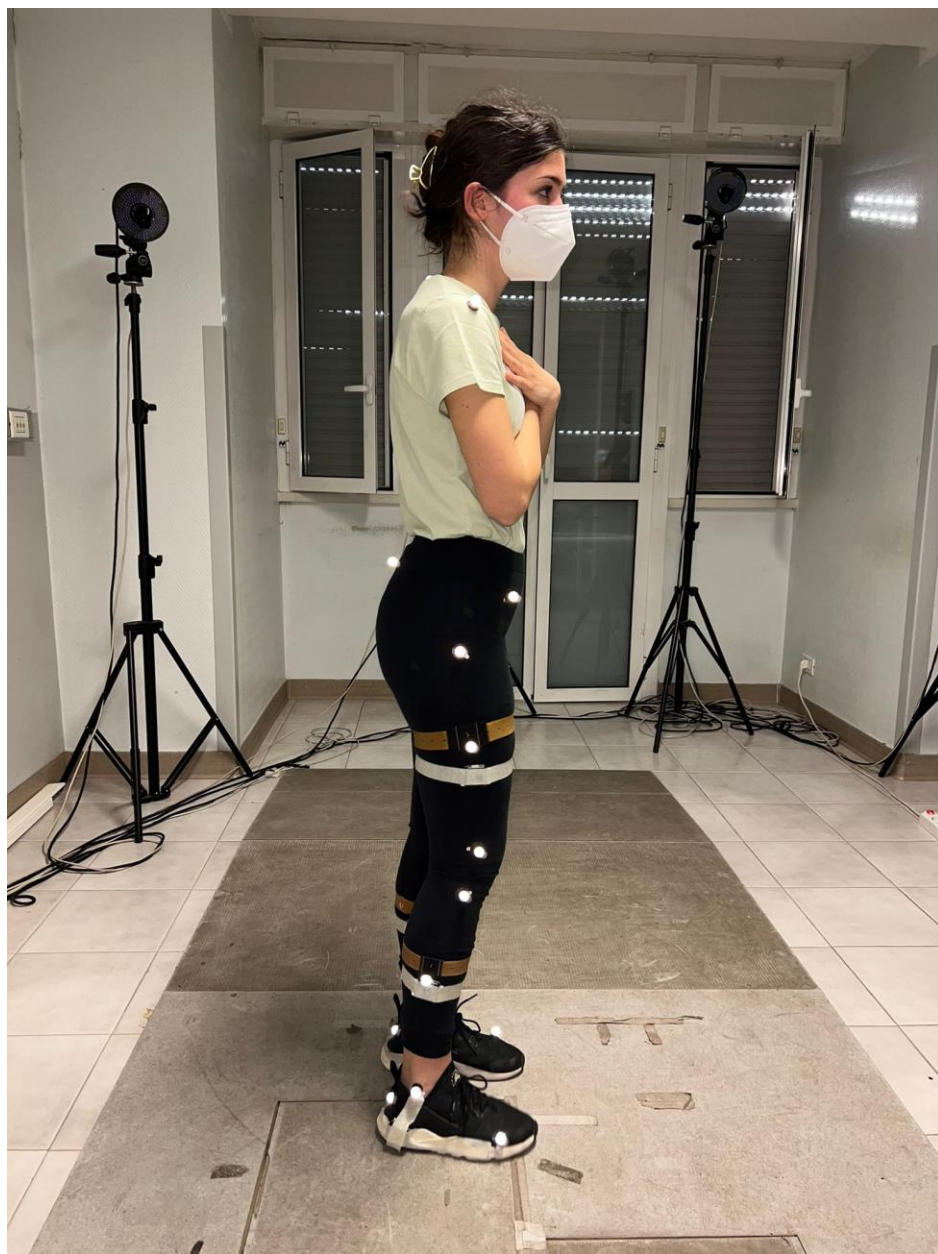


Posizione dei sensori Opal (APDM)



SENSORI:

- 583 Coscia Dx,
- 584 Gamba Dx,
- 693 Piede Dx,
- 510 Coscia Sx,
- 512 Gamba Sx,
- 513 Piede Sx.





Angoli di rotazione
dei segmenti



Angoli di giunto

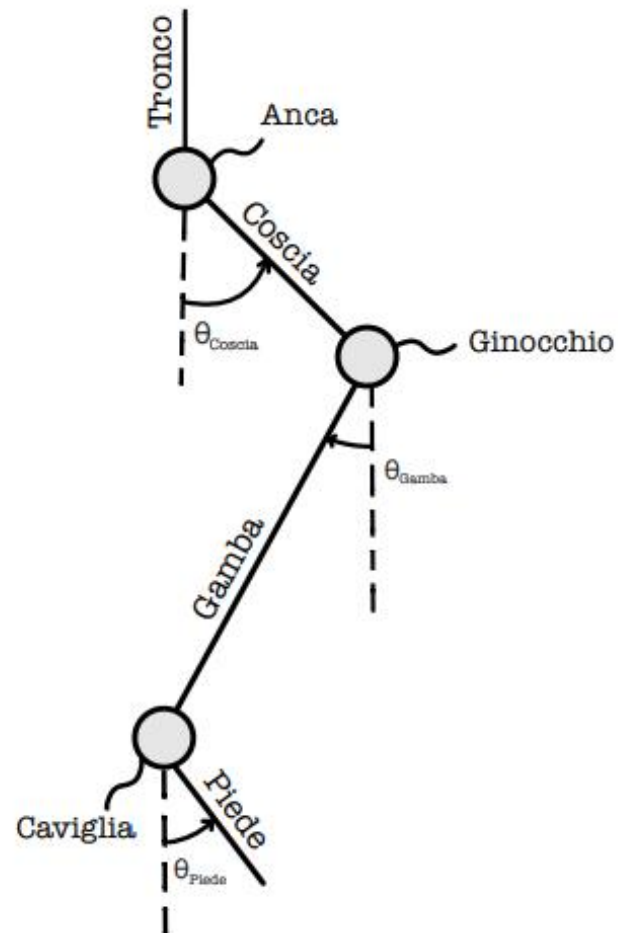


Estrazione di due
passi

PROCEDURA SPERIMENTALE: APDM



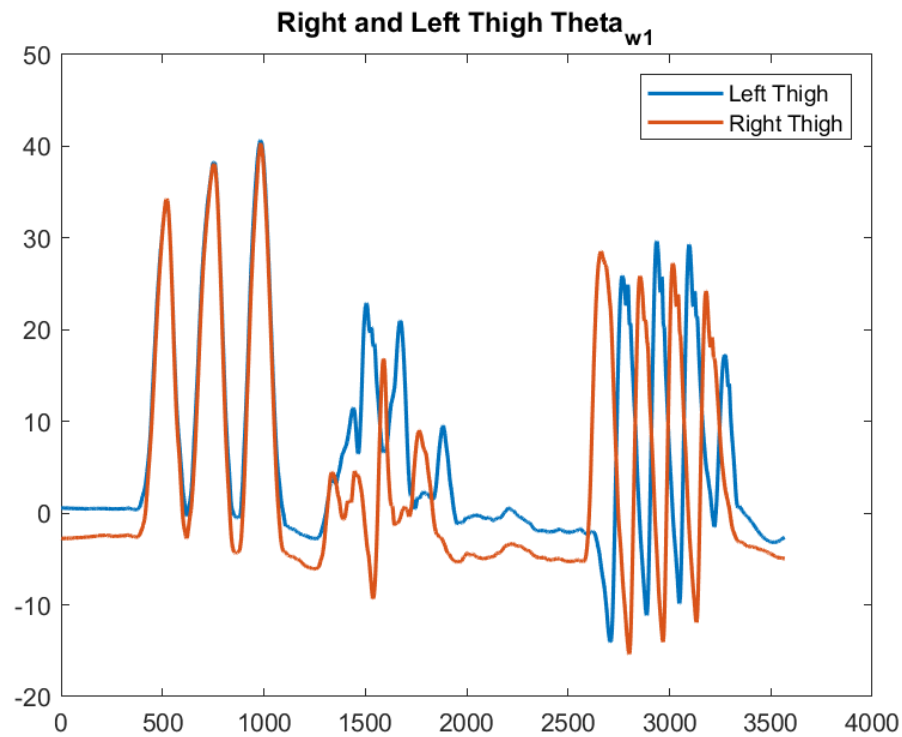
Angoli di rotazione dei segmenti



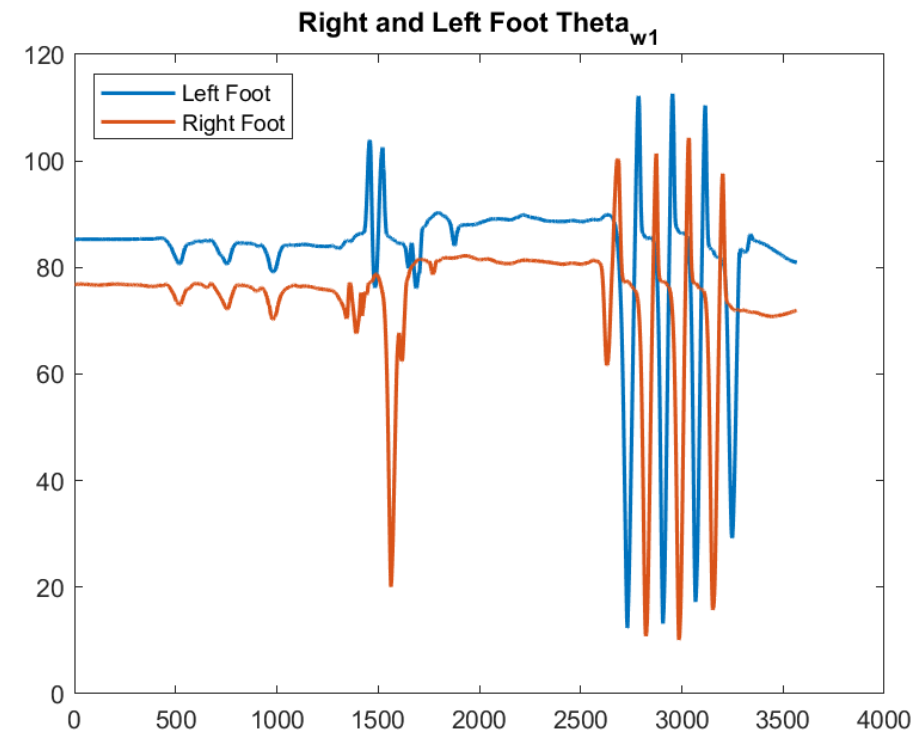
- Dati dei quaternioni
- Matrice di coseni direttori (orientamento della terna base rispetto alla terna locale del sensore)
- $\theta_{coscia} = arctg \left(-\frac{R_b^s(2,3)}{R_b^s(1,3)} \right)$



Angoli di rotazione dei segmenti



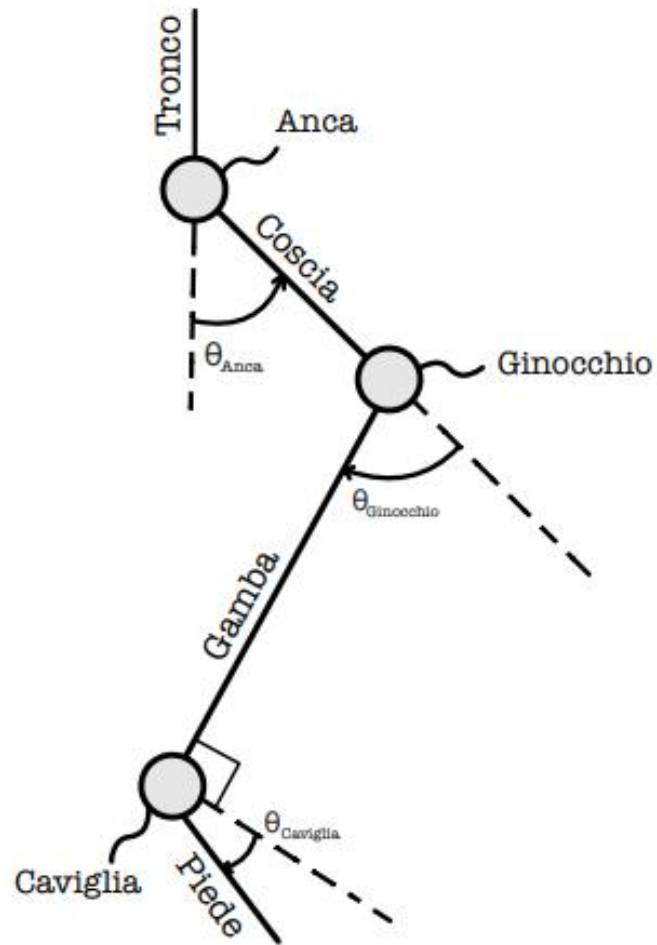
Angoli di rotazione del link di coscia (thigh) rispetto alla verticale.



Angoli di rotazione del link di piede (foot) rispetto alla verticale.



Angoli di giunto



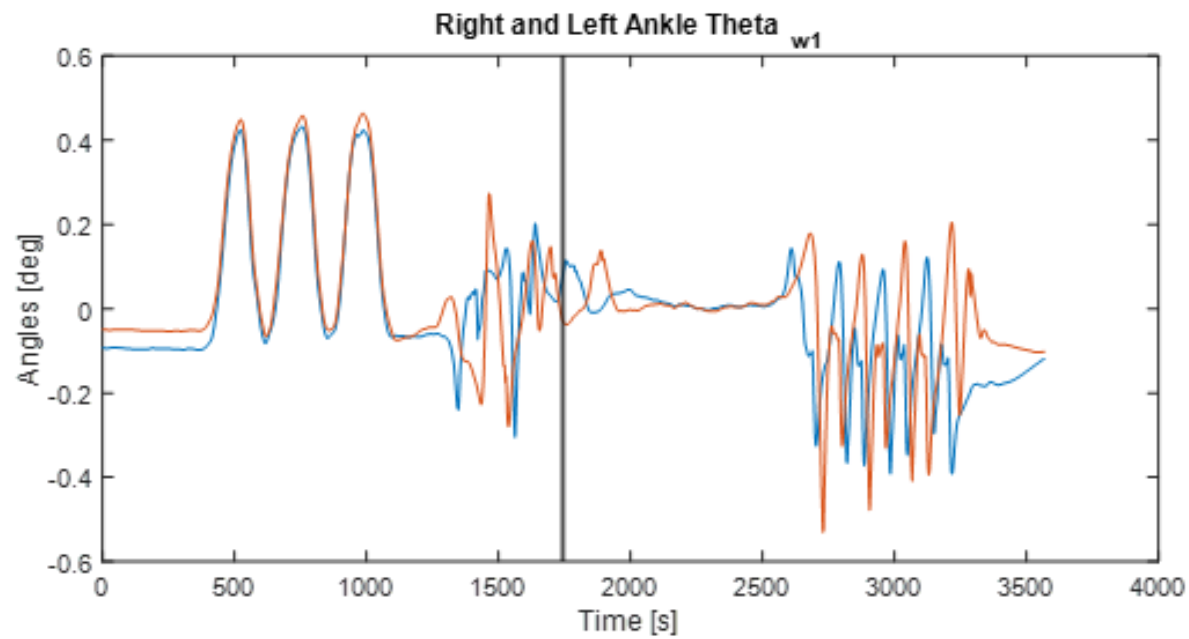
$$\theta_{anca} = \theta_{coscia}$$

$$\theta_{ginocchio} = \theta_{coscia} - \theta_{gamba}$$

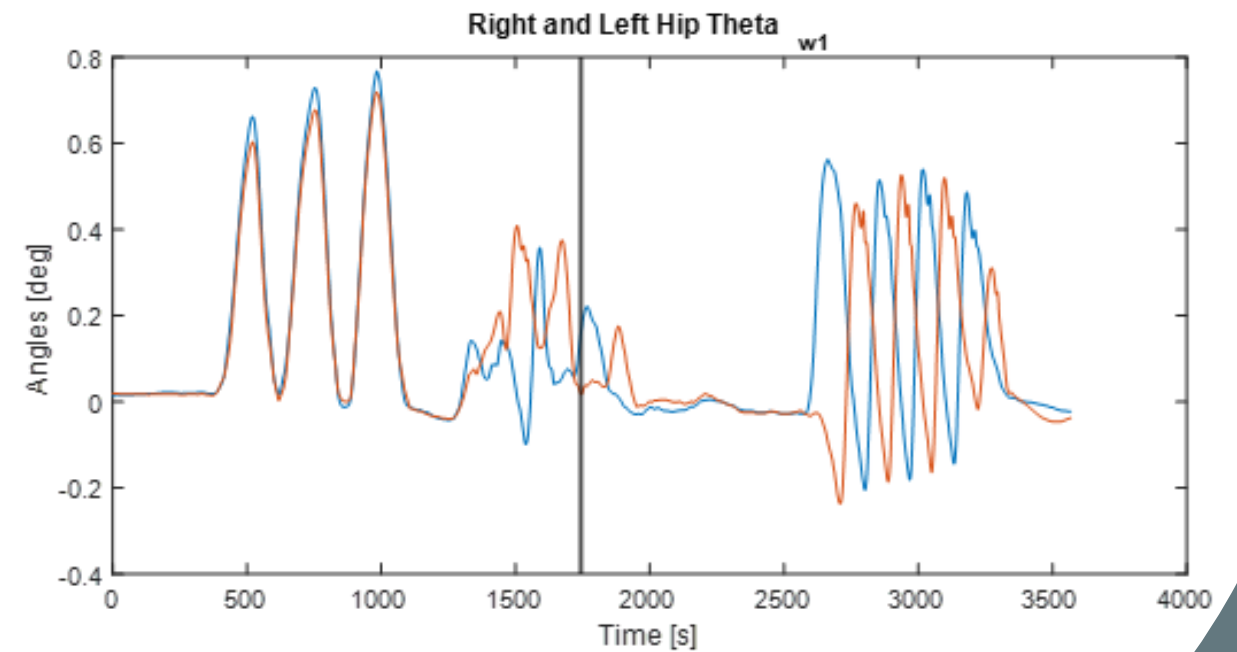
$$\theta_{caviglia} = \theta_{piede} - \theta_{gamba} - \frac{\pi}{2}$$



Angoli di giunto



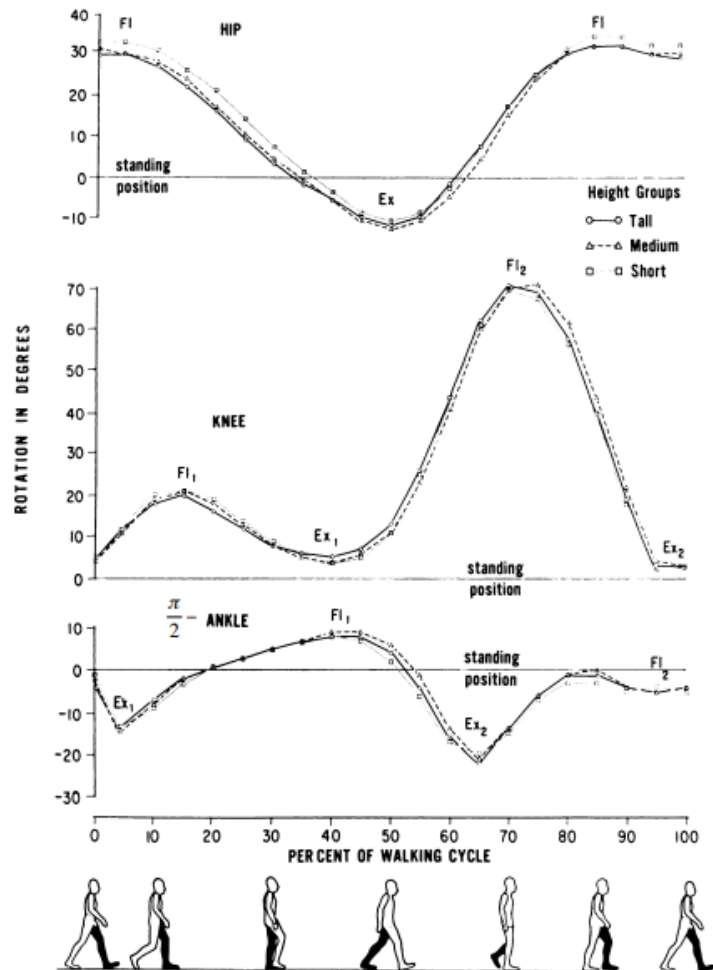
Angoli del giunto anca (ankle) rispetto alla direzione del tronco (verticale).



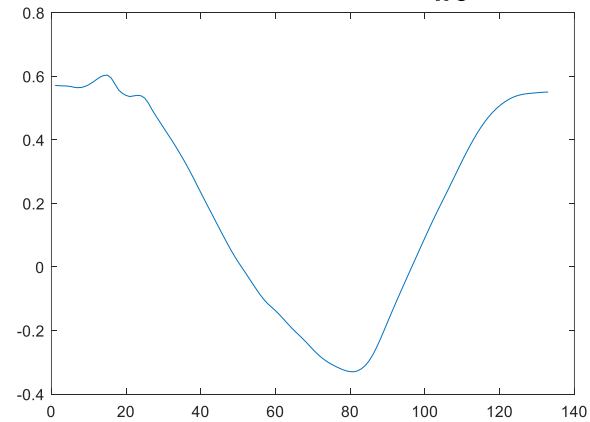
Angoli del giunto caviglia (hip) rispetto alla direzione perpendicolare alla gamba.



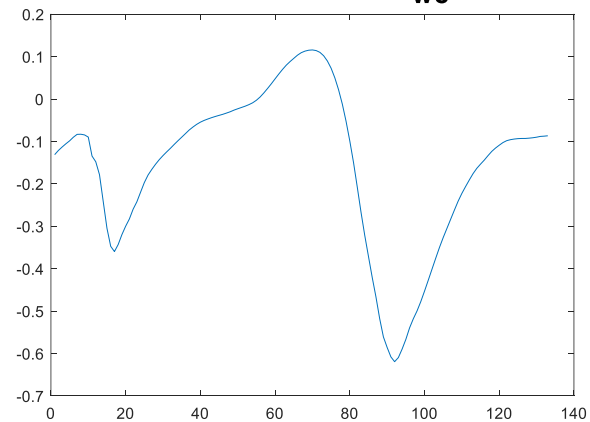
Estrazione di due passi



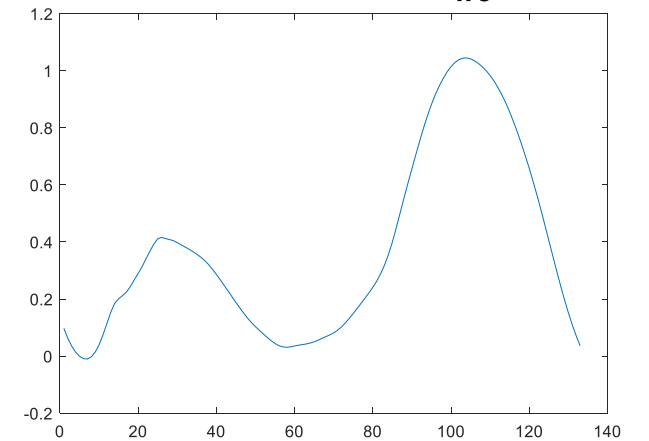
Left Ankle Theta_{w8}



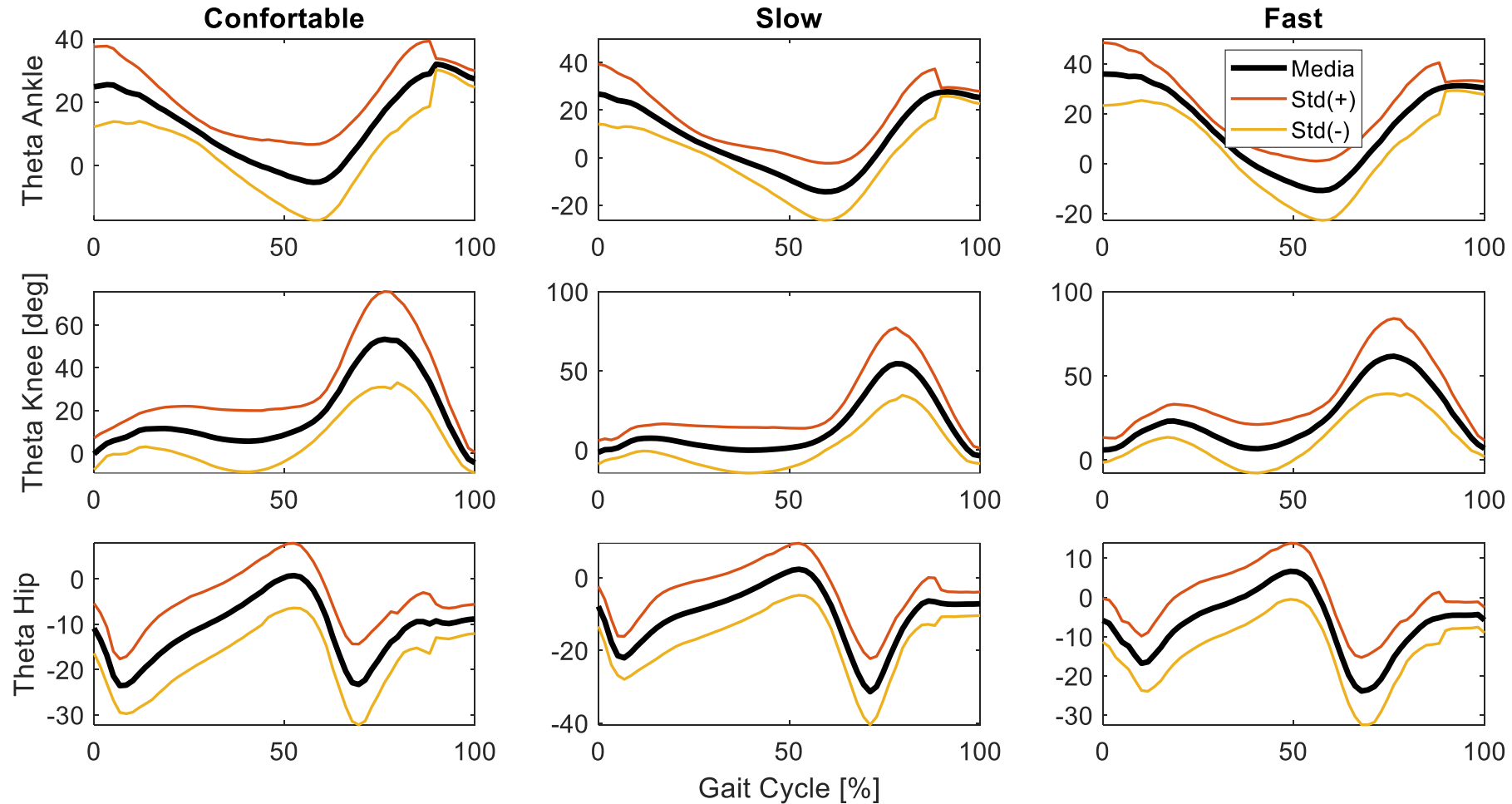
Left Hip Theta_{w8}



Left Knee Theta_{w8}



Confronto della media e della deviazione standard nelle tre velocità

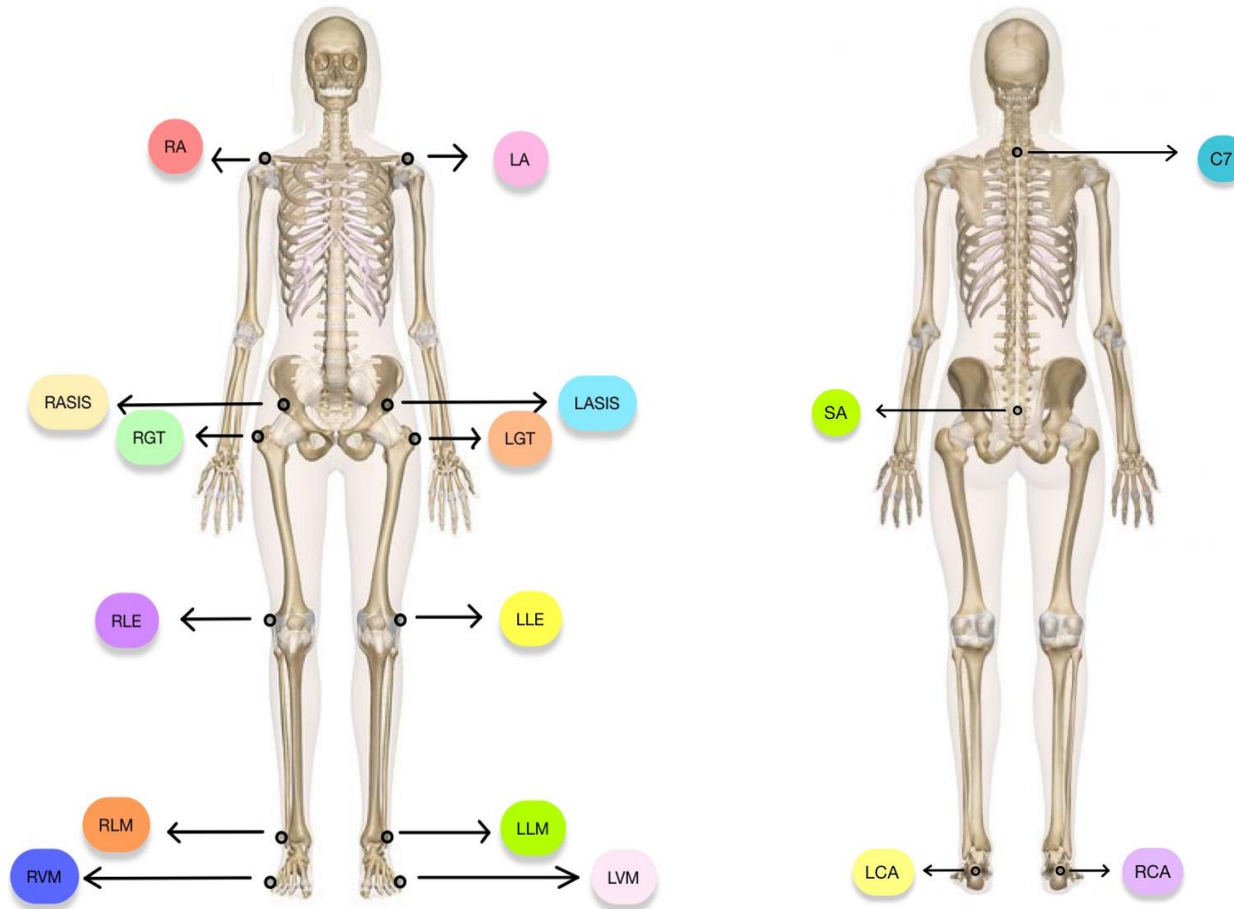


Set-up sperimentale: BTS

- Marker retroriflettenti;
- Sistema 8 telecamere infrarossi;
- Stanza buia;
- PC con Smart Tracker e Smart Capture;
- Abbigliamento attillato.

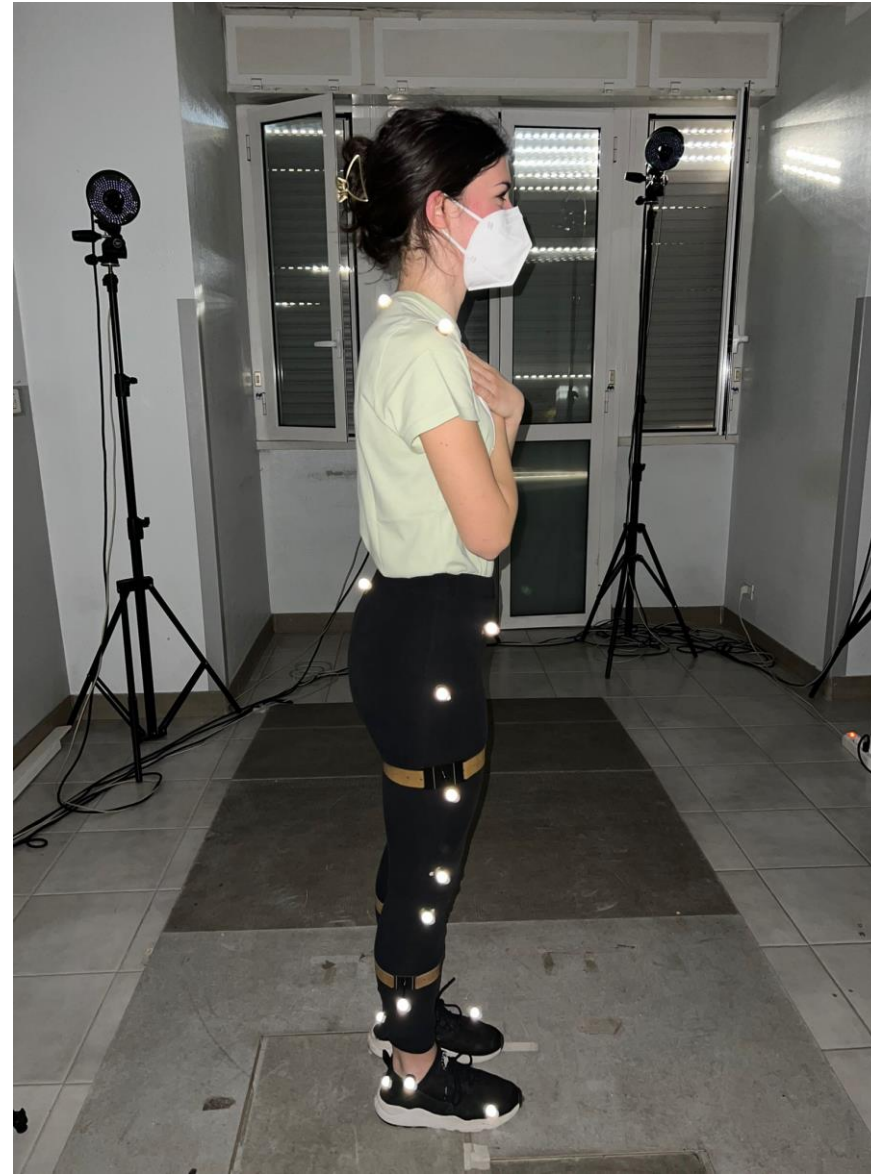


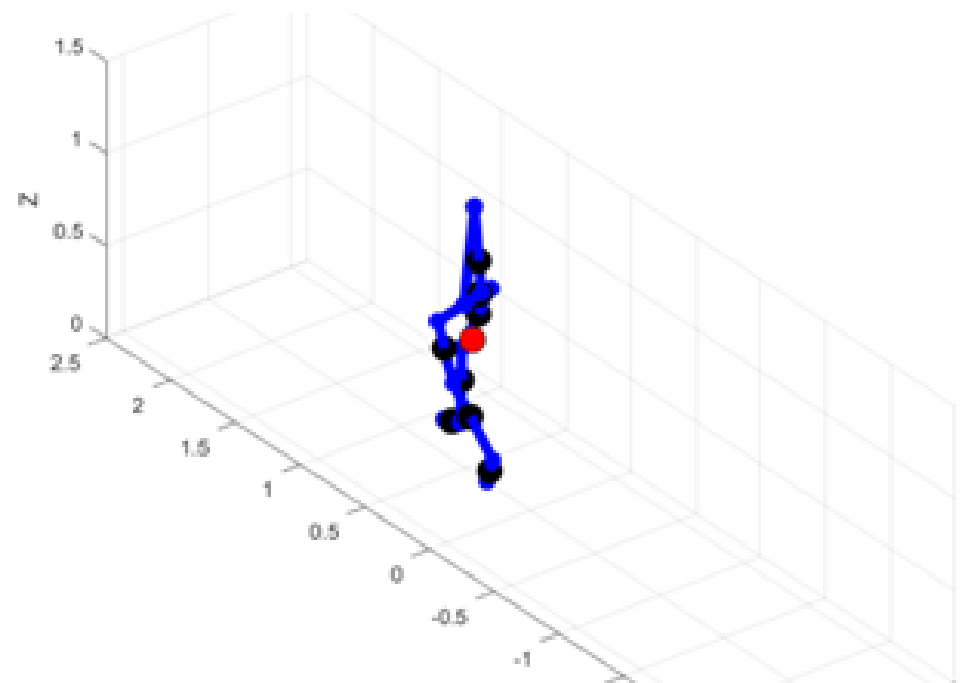
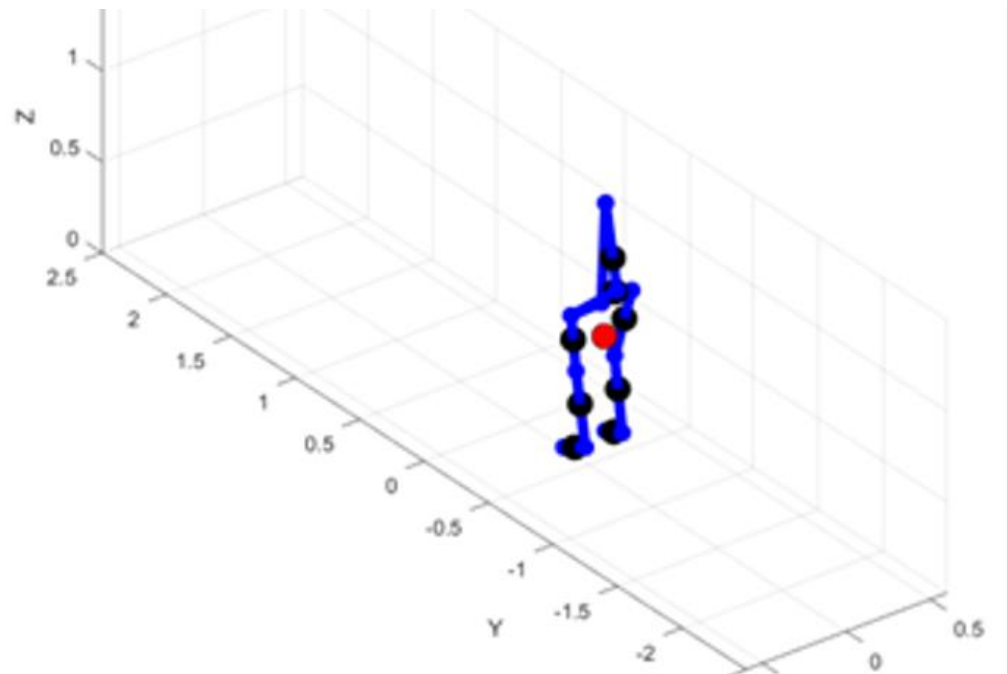
Posizione dei marker passivi (protocollo Davis-Hill)



MARKER:

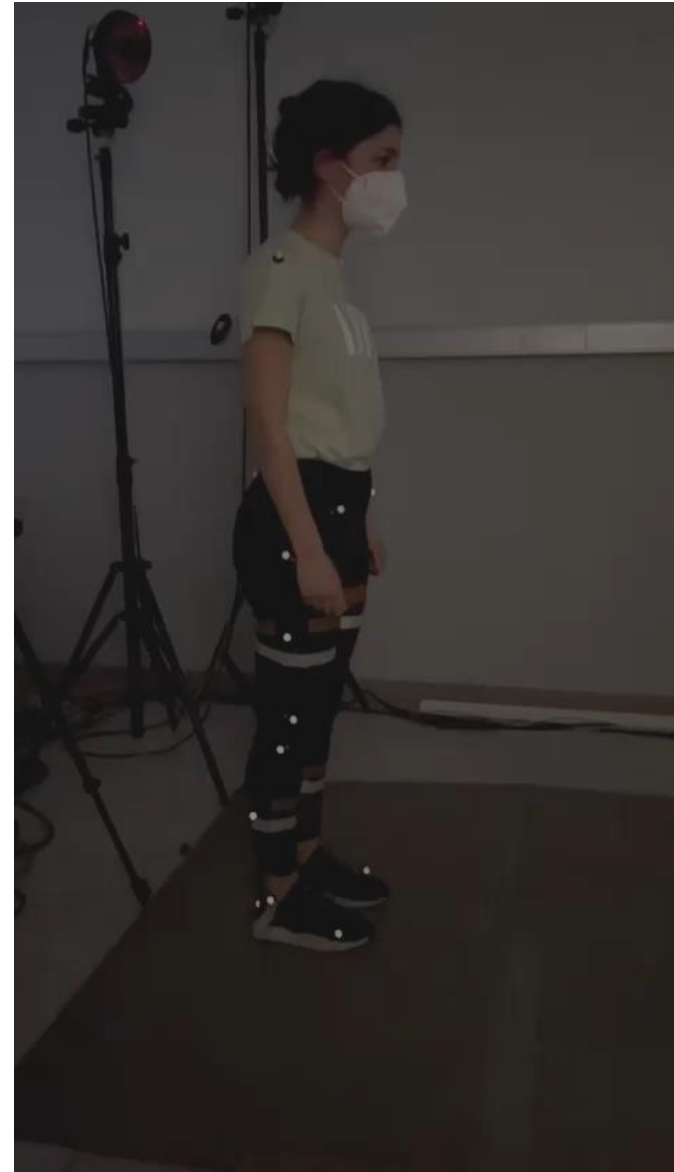
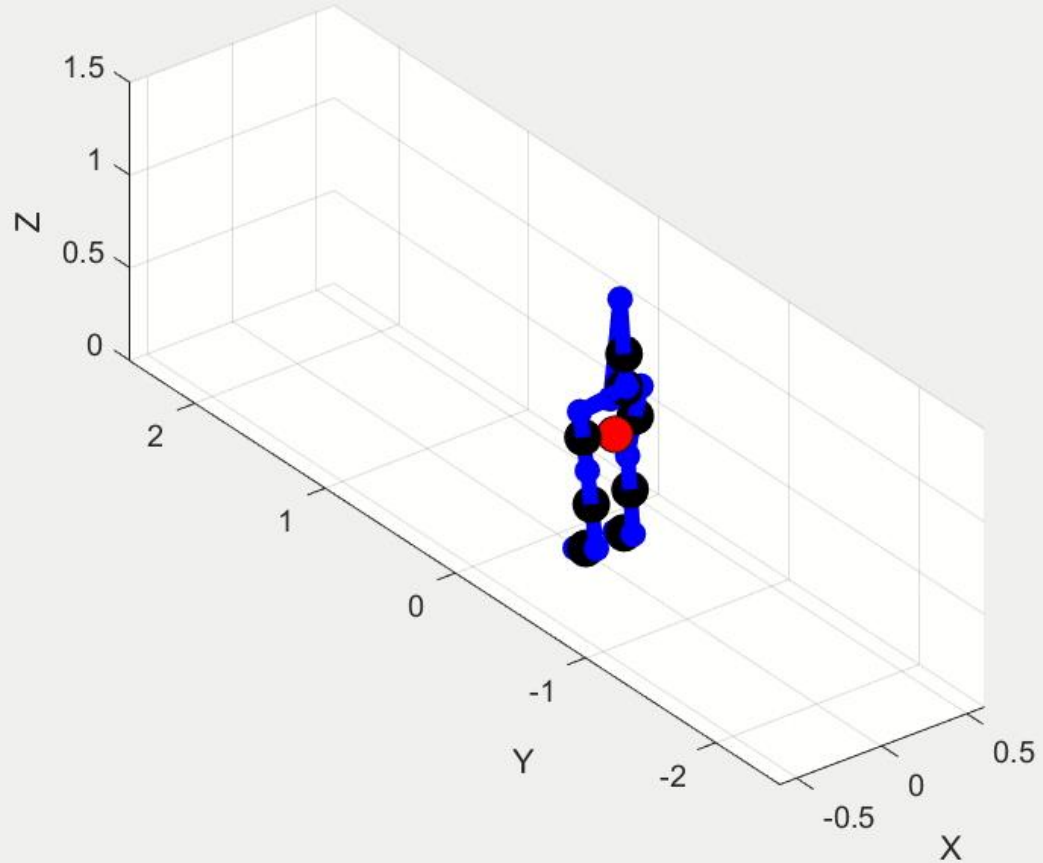
- Cresta iliaca [RASIS/LASIS]
- Gran trocantere [RGT/LGT]
- Epicondilo femorale [RLE/LRE]
- Malleolo [RLM/LLM]
- Tallone [RCA/LCA]
- Quinto metatarso [RVM/LVM]
- Sacro [SA]
- C7 [C7]
- Estremità acromiale [RA/LA]






Posizione centro di massa

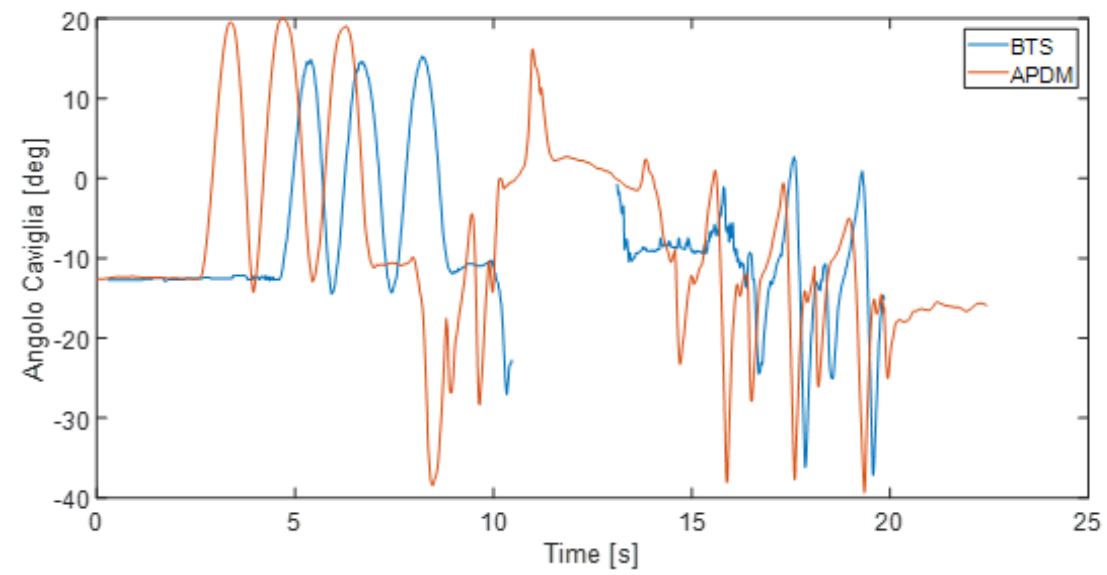
Riproduzione 3D del cammino



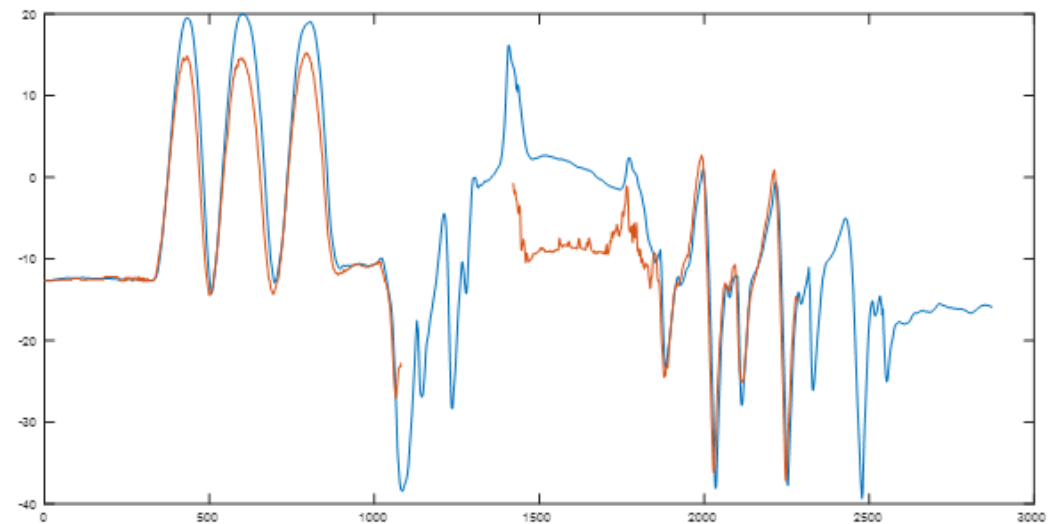


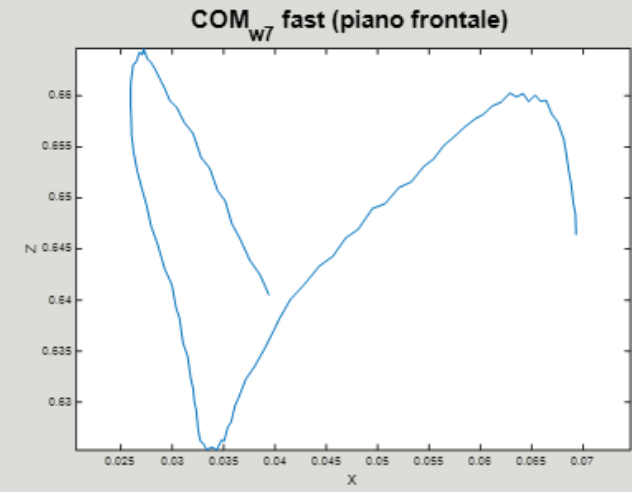
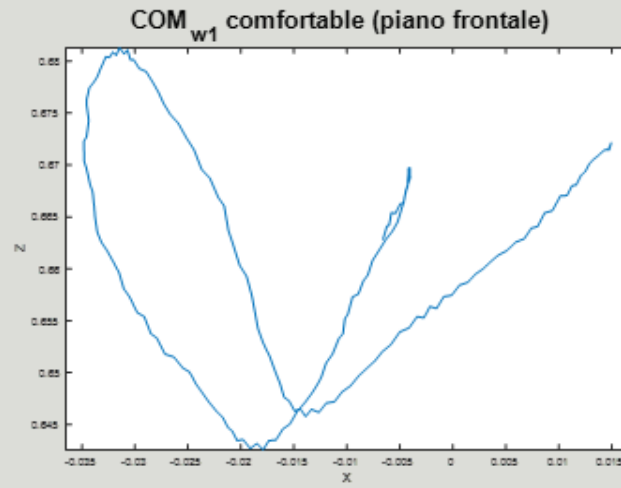
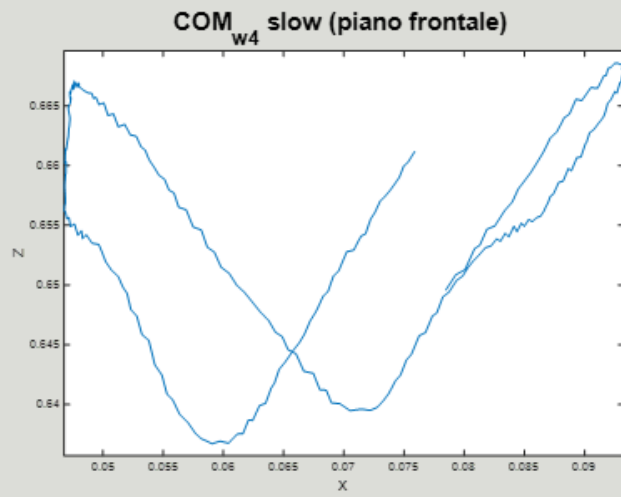
Come si visualizza l'andamento del COM nel piano frontale?

1. si devono segmentare i passi
2. Si considerano i dati già ricavati in APDM
3. Occorre un ricampionamento



4. Occorre rimuovere l'offset e ritardo



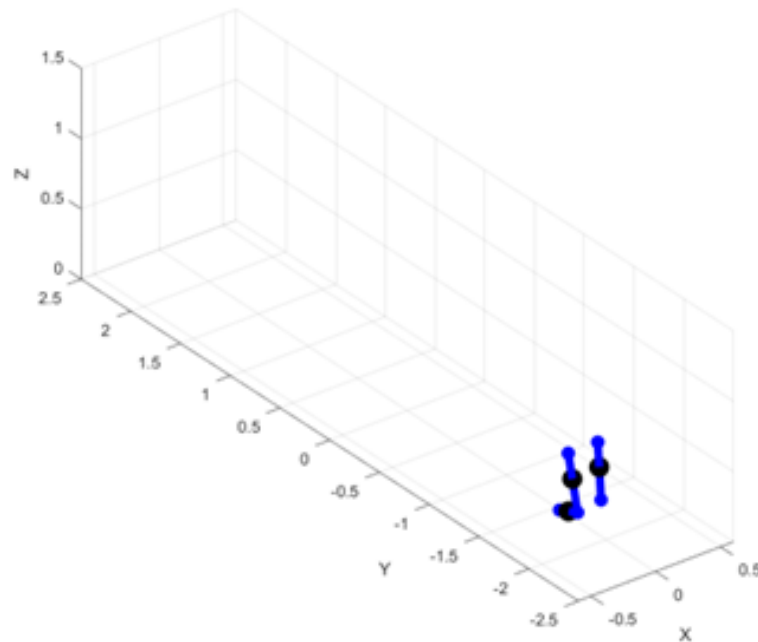
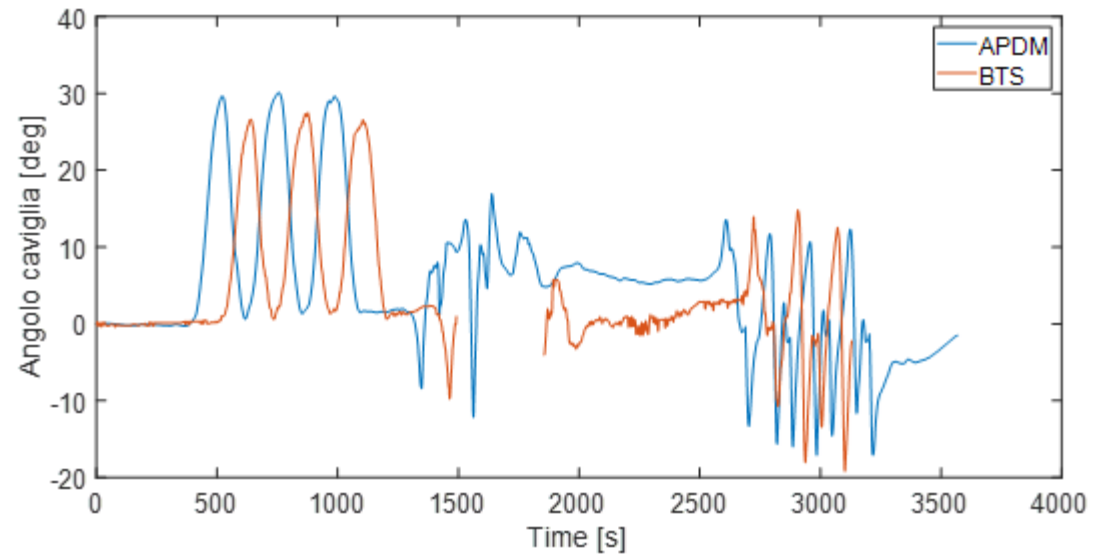
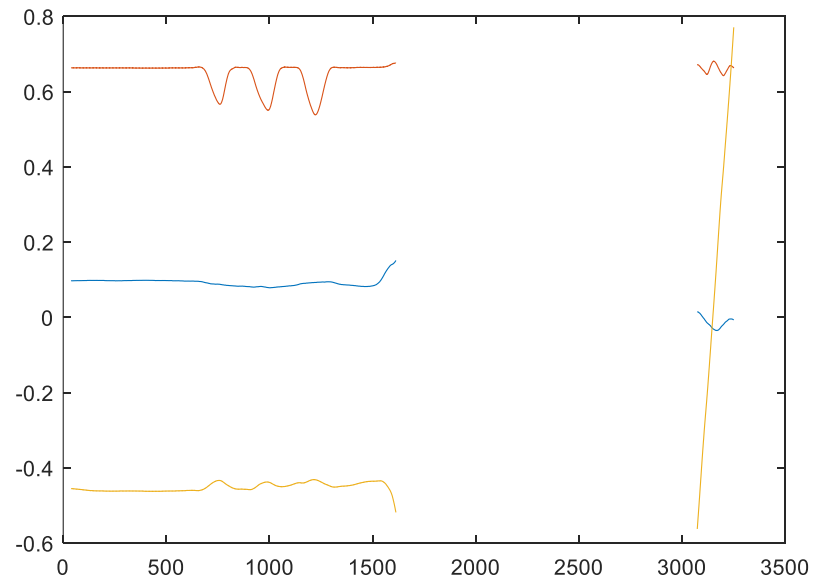


Andamento del COM nelle tre velocità

5. Plot andamento COM nel piano frontale

Problemi riscontrati

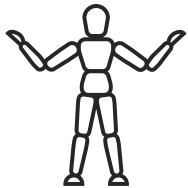
Com_{w1} resampled





MODELLI PER LA STATICA DEL CORPO UMANO

- Modello standard di arto inferiore
- Procedura sperimentale
- Processamento dei Dati



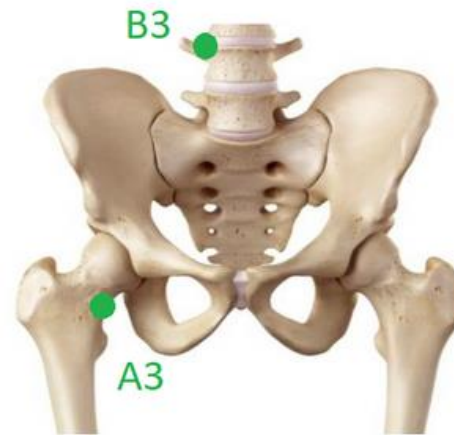
MODELLO

- Segmenti di coscia e gamba
- Punti di repere

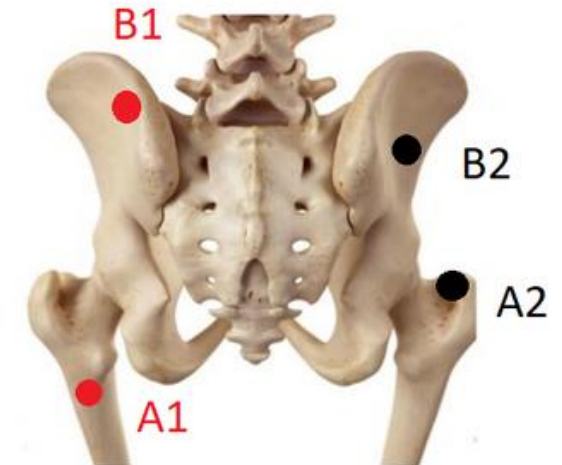
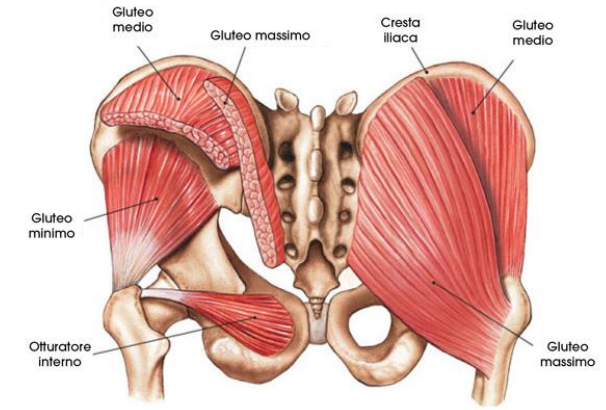


- Forze applicate e loro punti di applicazione
 - Forze di volume
 - Forza di reazione all'anca
 - Forze muscolari
 - Ground Reaction Force

Vista anteriore



Vista posteriore

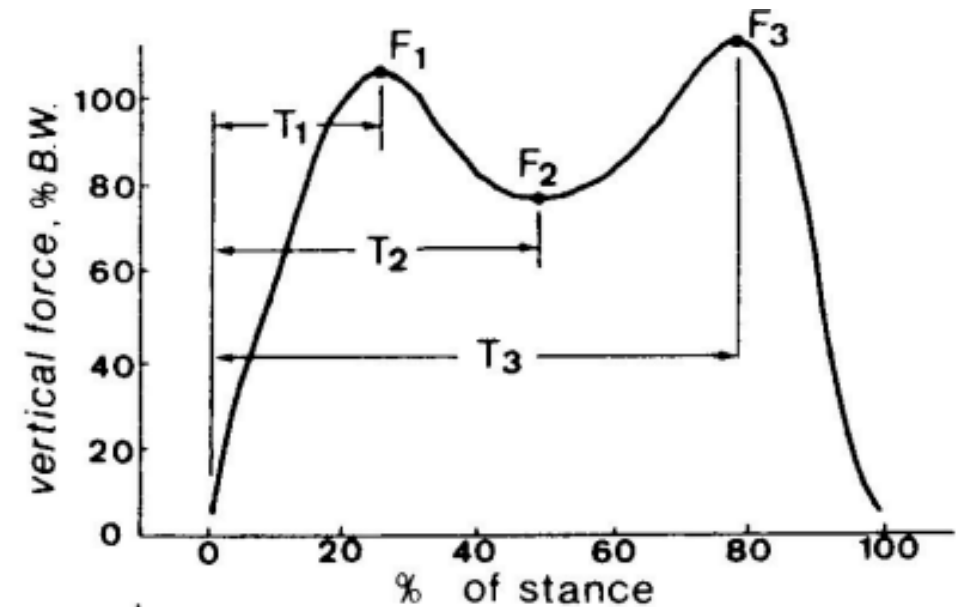


Ipotesi

Il corpo durante il cammino è considerato in condizioni quasi statiche

Non sono trascurati gli effetti dovuti al doppio supporto (double stance)

Il centro di massa dei segmenti di coscia e gamba si trova lungo la congiungente degli estremi



GRF: componente verticale

PROCEDURA SPERIMENTALE



Standing



Cammino
naturale



Cammino 10
Kg



Cammino 20
Kg

Rilevazione dati

- Cinematici

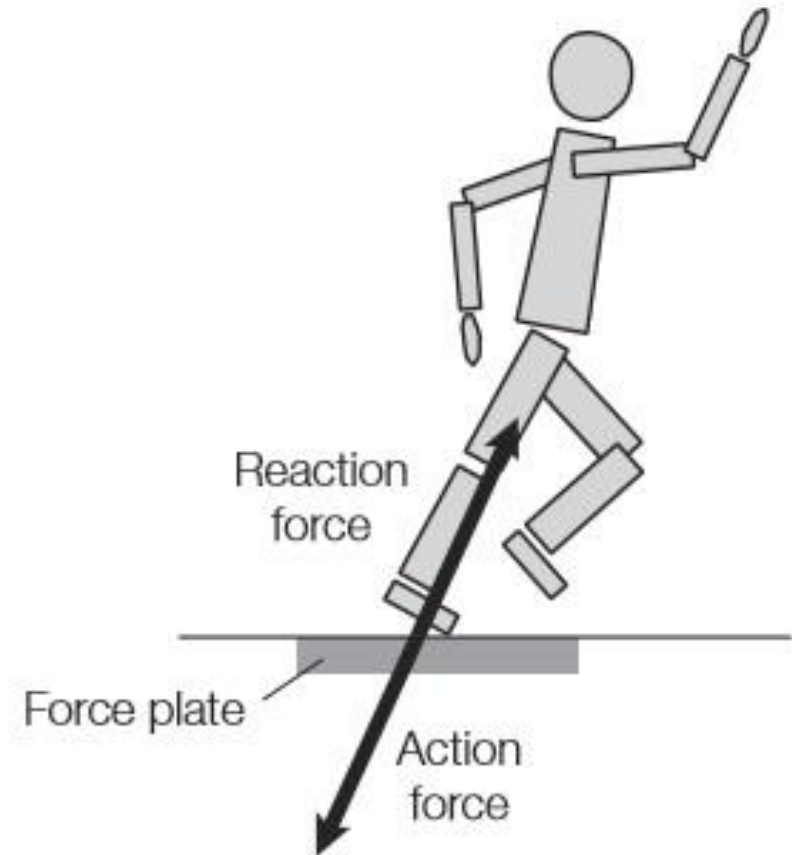
Sistema optoelettronico
(8 telecamere + 14 markers)

$F = 60 \text{ Hz}$

- Dinamici

Pedane di Forza

$F = 240 \text{ Hz}$





Attività sperimentale



PROCESSAMENTO DATI

- 1 Data Parsing
- 2 Data Pre-processing
- 3 Data Processing
- 4 Data Analysis

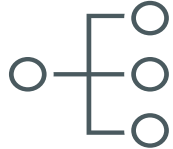
1

DATA PARSING

- Directory
- Caricamento dati Standing
- Caricamento dati Walking
- Caricamento dati CoP

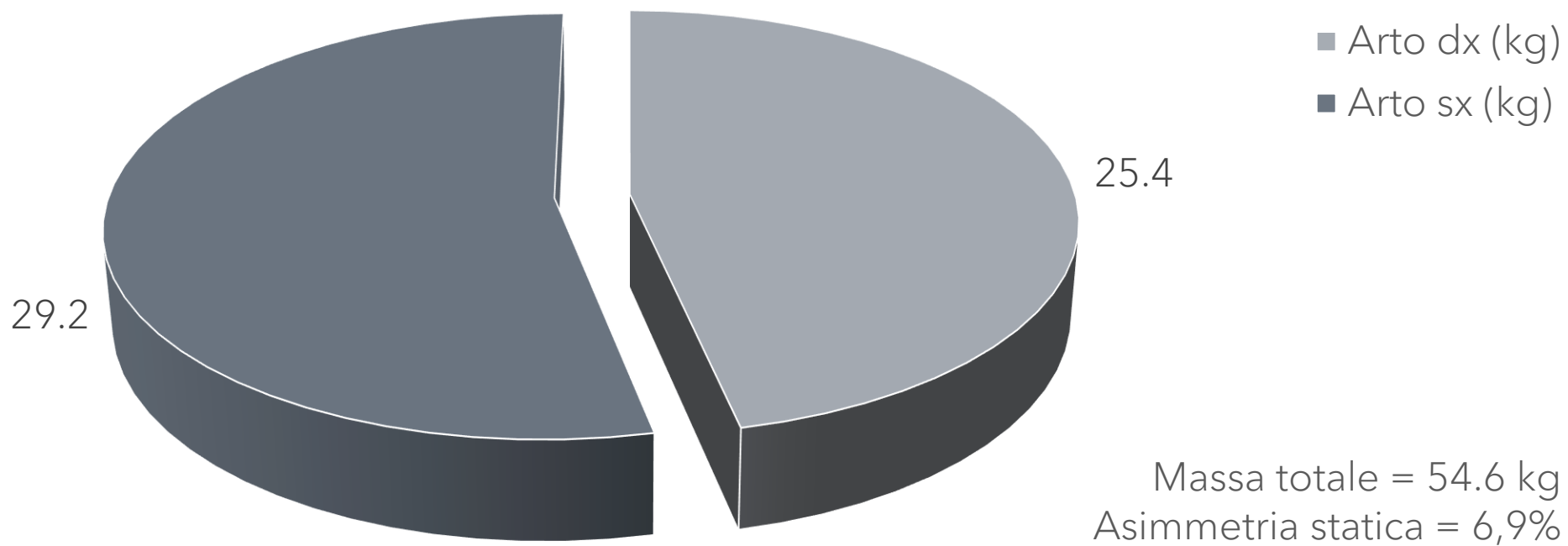
2

DATA PRE-PROCESSING

- Misure antropometriche 
 - Massa totale
 - Massa segmenti
 - Posizioni CoM segmenti
- Ricampionamento alla frequenza minore (BTS) dei dati delle pedane di forza

Risultati

- Massa registrata dalla media della GRF (componente verticale)

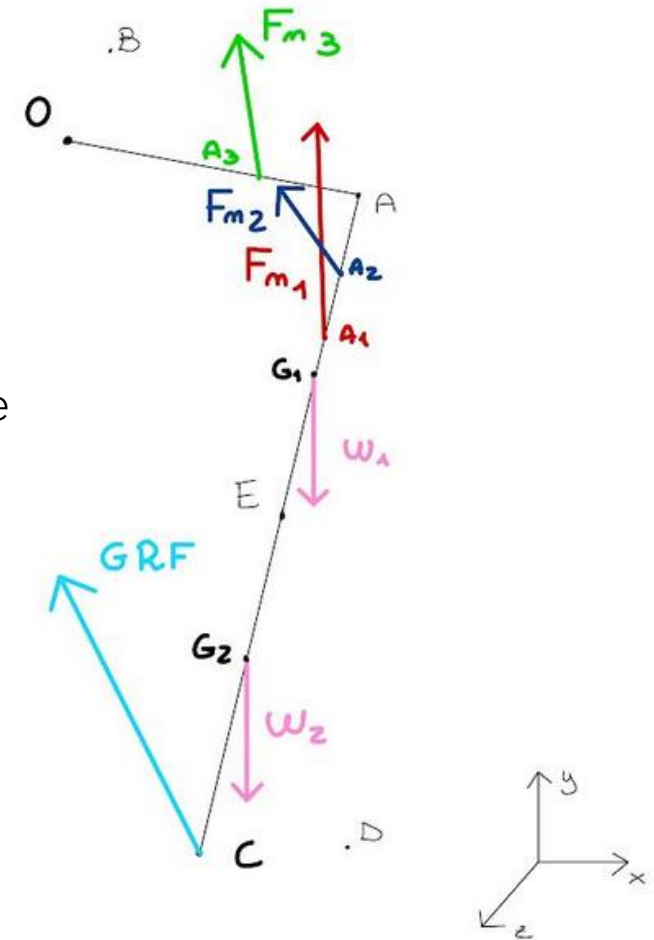


3

DATA PROCESSING

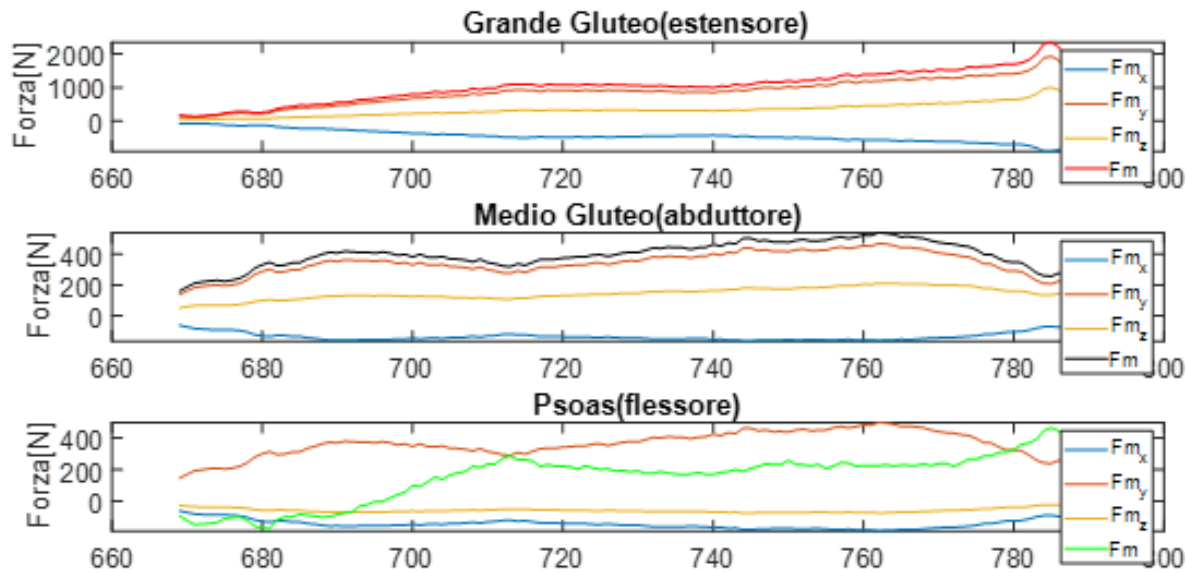
$$M_e + M_i = 0$$

- Coordinate punti di applicazione delle forze
- Distanza punti dall'origine
- Moduli forze esterne
- Moduli forze muscolari
- Equazione matriciale

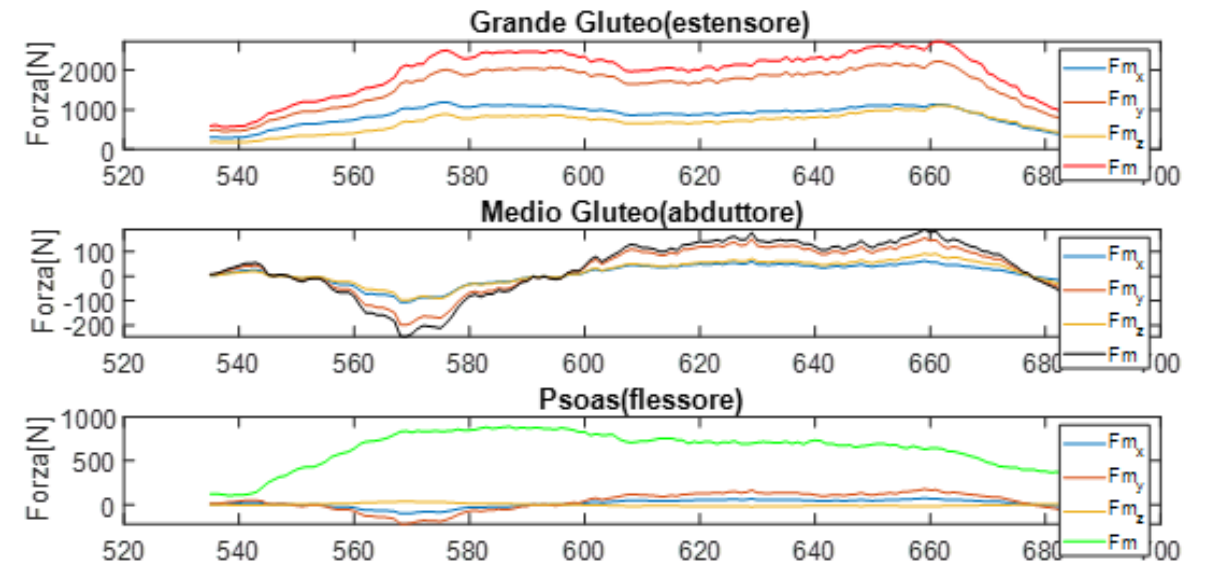


Risultati

- Andamento delle componenti delle forze muscolari per il lato destro e sinistro



lato sinistro



lato destro

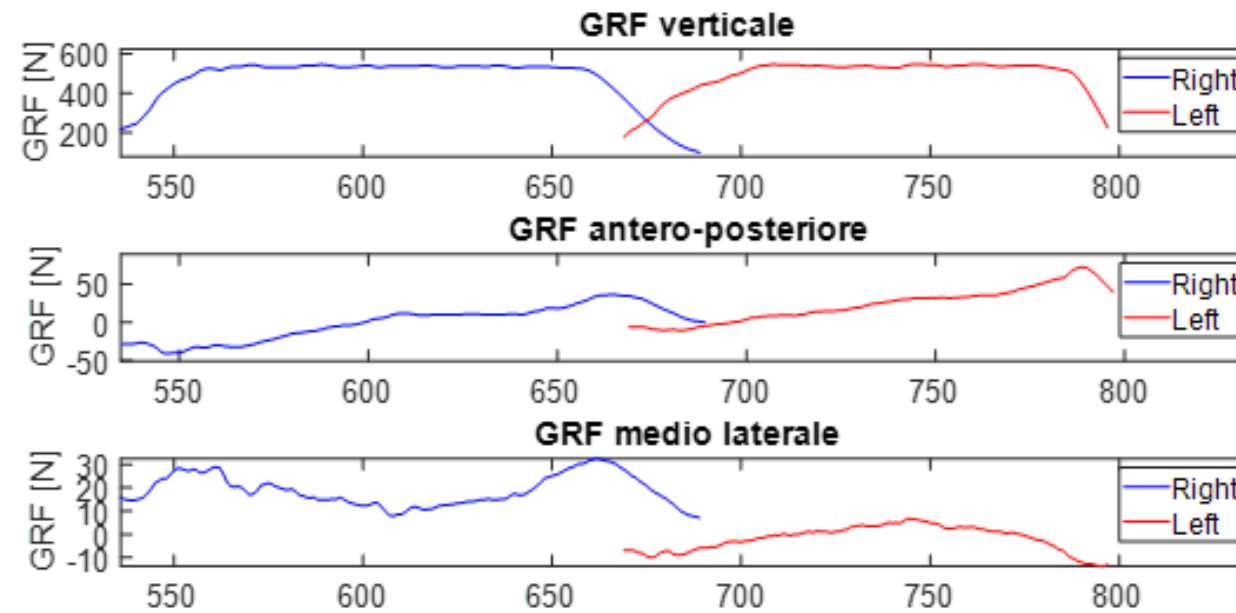
4

DATA ANALYSIS

- Fase di single stance
- Media delle forze muscolari
- Andamento del CoP

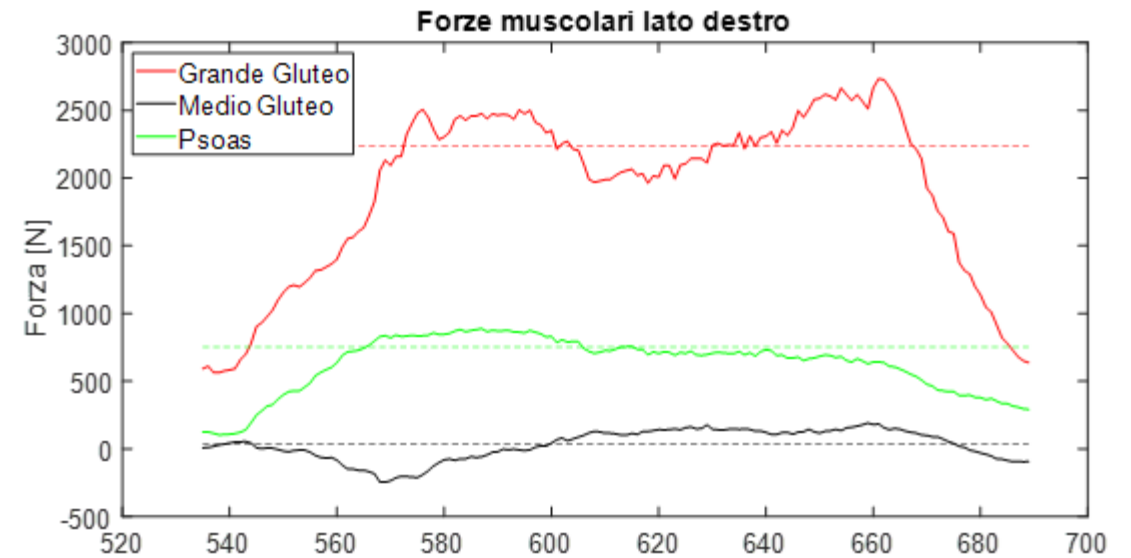
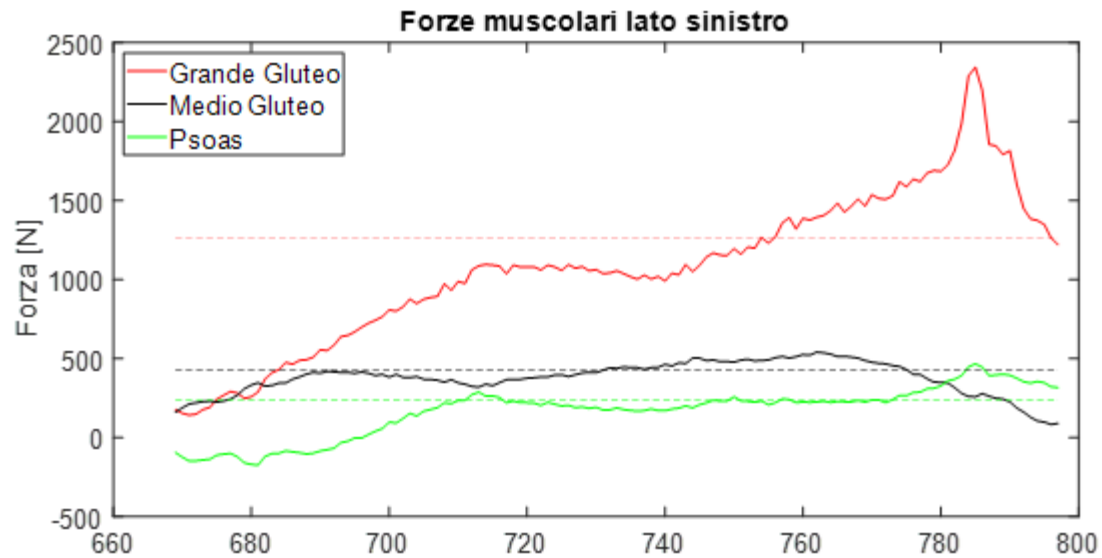
Risultati

- Estrazione single stance dalla componente verticale della GRF



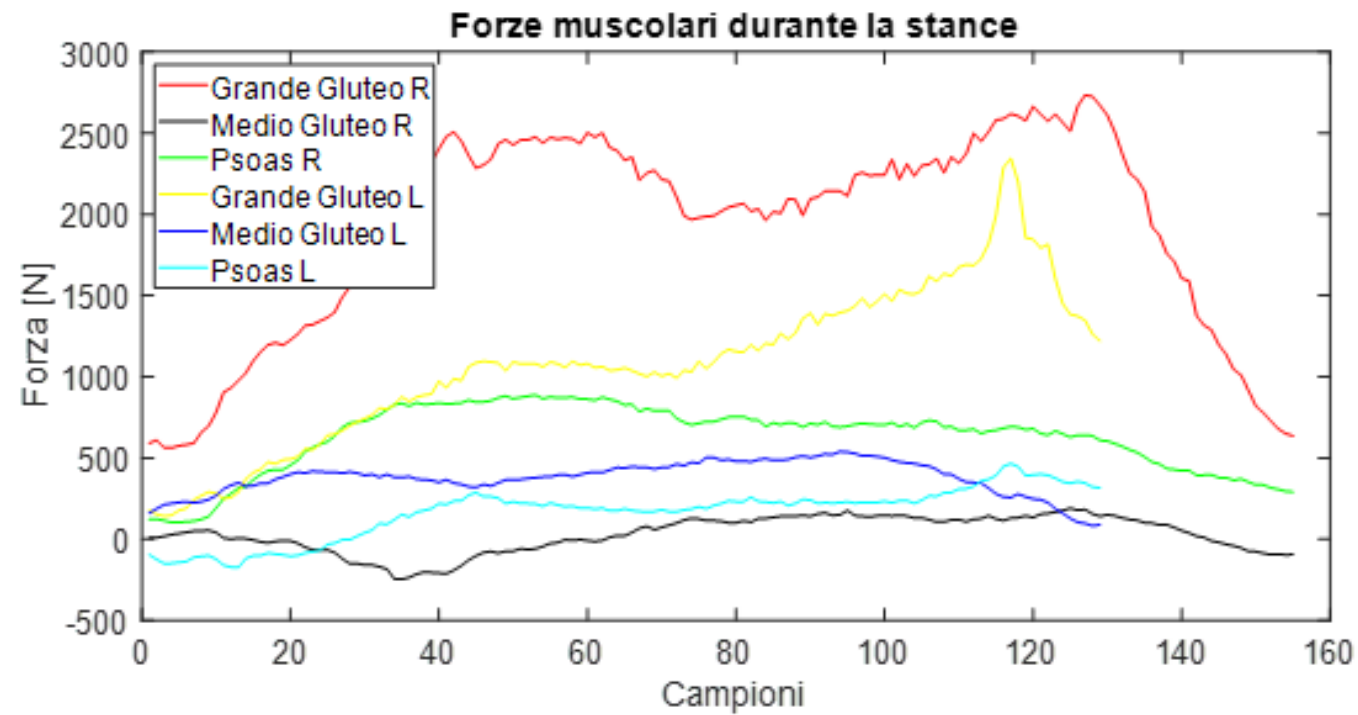
Risultati

- Media delle forze muscolari per ciascuna walking



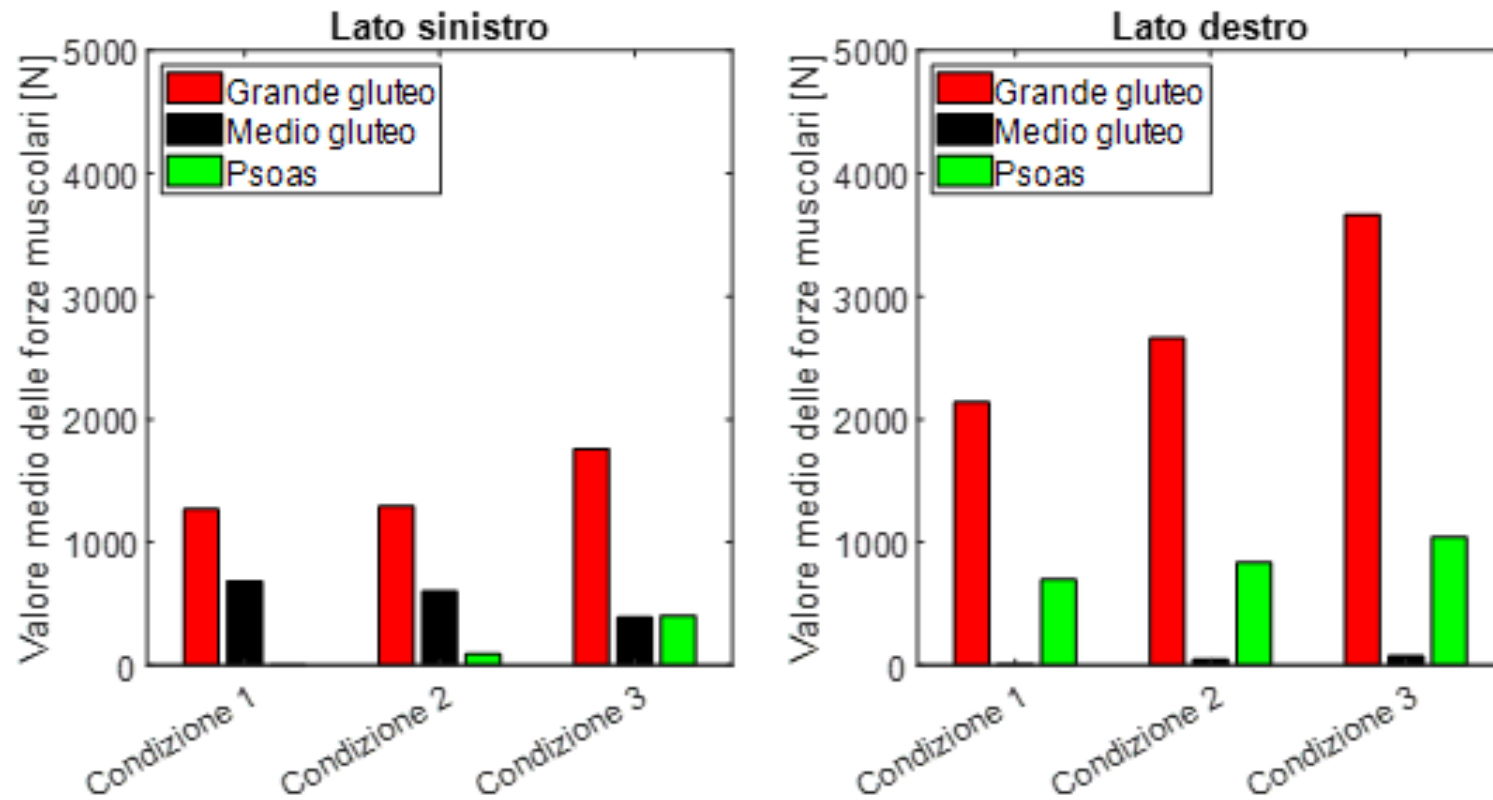
Risultati

- Grado di simmetria tra le forze muscolari medie per ciascuna walking



Risultati

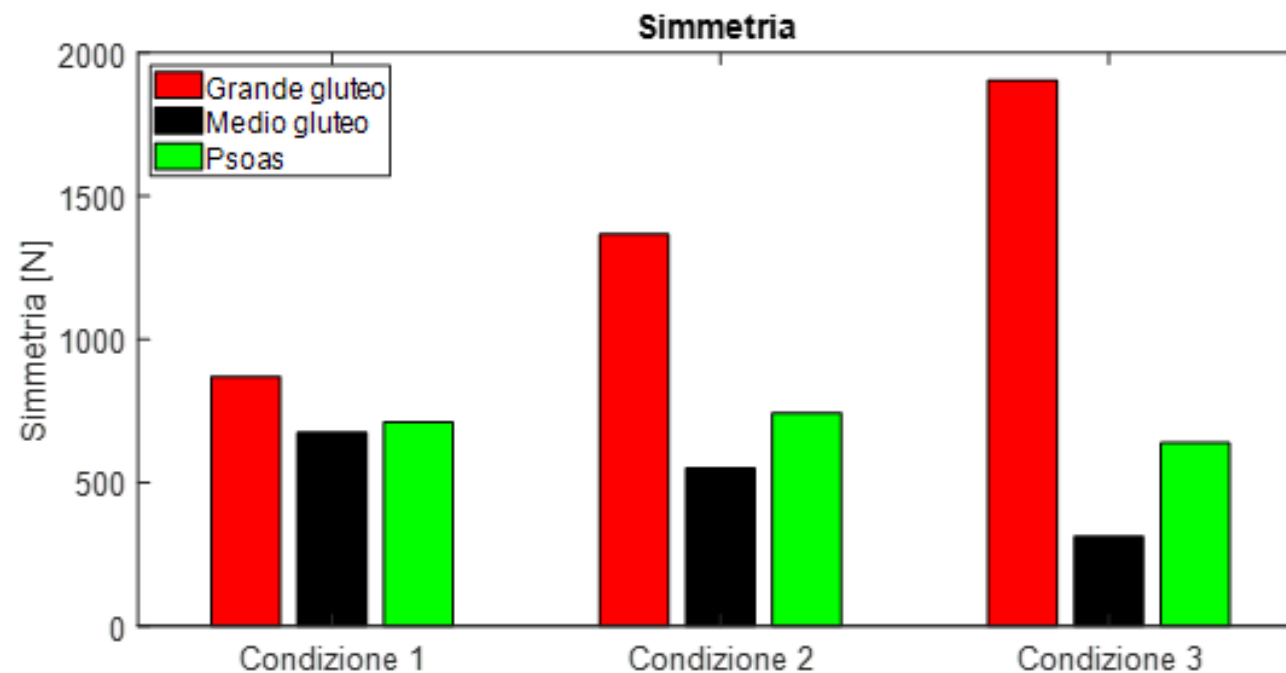
- Media delle forze muscolari medie per ciascuna condizione



- Andamento crescente
- Variazione percentuale del Grande Gluteo:
Lato dx = 71.2%
Lato sx = 38.7%

Risultati

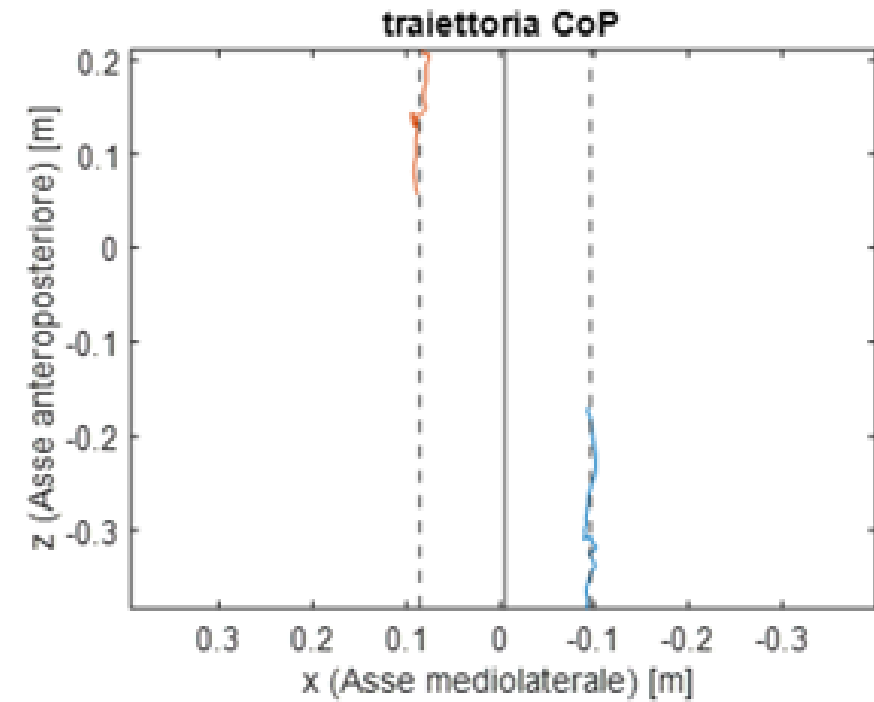
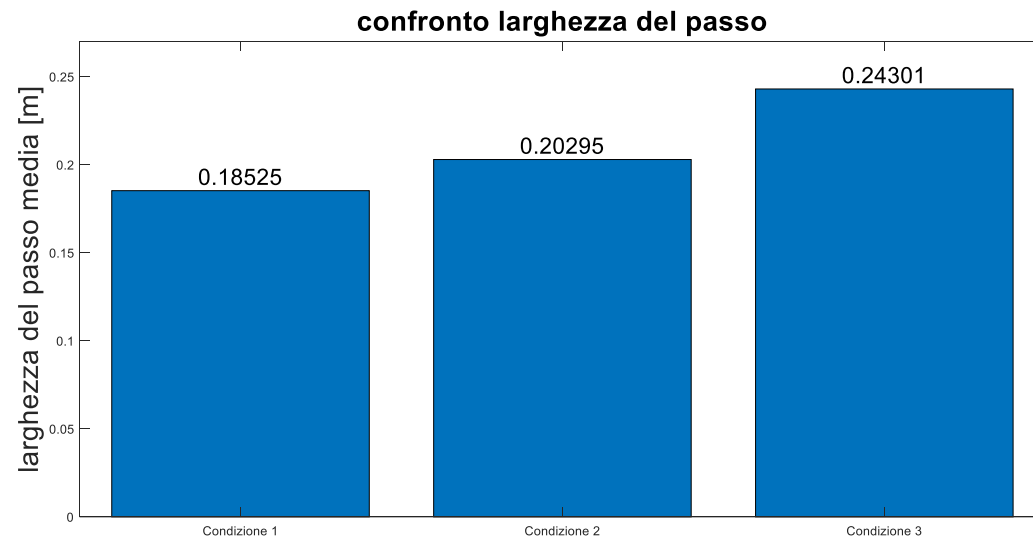
- Grado di simmetria tra le forze muscolari medie per ciascuna condizione



- Andamento crescente
- Maggior grado di simmetria nel Medio Gluteo

Risultati

- Andamento del Centro di Pressione sul piano trasversale



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

