

Tesina Bioingegneria T

GRUPPO 3

SAMUEL POLTOCK; SILVIA GAROFALO; STEFANO NUZZO; GIANPAOLO CURRÀ

Contents

Introduzione	2
Apparato e relativa calibrazione	2
Test	3
• <i>Calibrazione anatomica</i> :.....	3
Codice Matlab:	3
• <i>Esercizio stand-to-sit-to-stand</i> :.....	5
Codice Matlab:	5
• <i>Cammino</i> :.....	6
Codice Matlab:	6
ESERCITAZIONE MANUBRIO	8
Primo punto dell'esercitazione :.....	9
Codice Matlab:	9
Secondo punto dell'esercitazione :	10
Codice Matlab:	10
Terzo punto dell'esercitazione :	11
TERZA ESERCITAZIONE: stand to sit to stand con rilevazione stereofotogrammetrica e IMU	13
Rilevazione stereofotogrammetrica	13
IMU	13
Analisi dei risultati numerici ottenuti :	14
Algoritmo di determinazione del sit-down sit-off	15
Codice matlab punto 2:	15
Stima dell'angolo di flessione estensione all'anca e confronto con quello ottenuto mediante la stereofotogrammetria	16
Codice matlab :.....	17

STEREO-FOTOGRAMMETRIA

Introduzione

Il termine stereofotogrammetria è composto da “stereo” e “fotogrammetria”.

La “FOTOGRAMMETRIA” è la scienza che si occupa di ottenere informazioni attendibili di oggetti fisici e dell’ambiente, attraverso la lettura e l’interpretazione di immagini fotografiche. Per individuare la posizione spaziale di un punto attraverso le sue coordinate, è necessario osservare il punto da almeno due punti di vista distinti, da qui il prefisso “STEREO”.

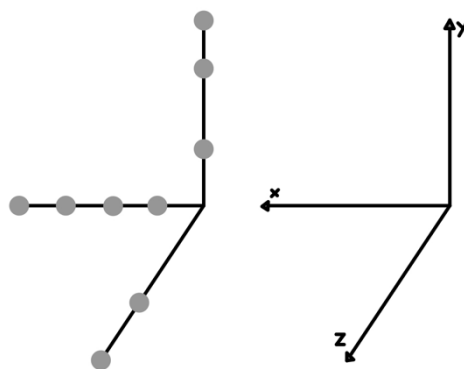
L’acquisizione e l’analisi del movimento umano sono oggi impiegate in diversi campi, da applicazioni grafiche e animazioni a applicazioni sportive e riabilitative. In particolare, per applicazioni biomeccaniche e cliniche. I metodi attualmente più comuni prevedono un ambiente di laboratorio controllato e l’utilizzo di marker applicati sulla pelle del paziente. Negli ultimi anni l’attenzione si è rivolta verso sistemi non invasivi basati sull’acquisizione di sequenze video sincronizzate ottenute con comuni telecamere.

Apparato e relativa calibrazione

Per i test svolti in laboratorio abbiamo utilizzato 10 telecamere a 250 Hz (in modo tale da avere 2500 frame in 10 secondi).

La prima procedura eseguita è la calibrazione e, quindi, la definizione del sistema di riferimento.

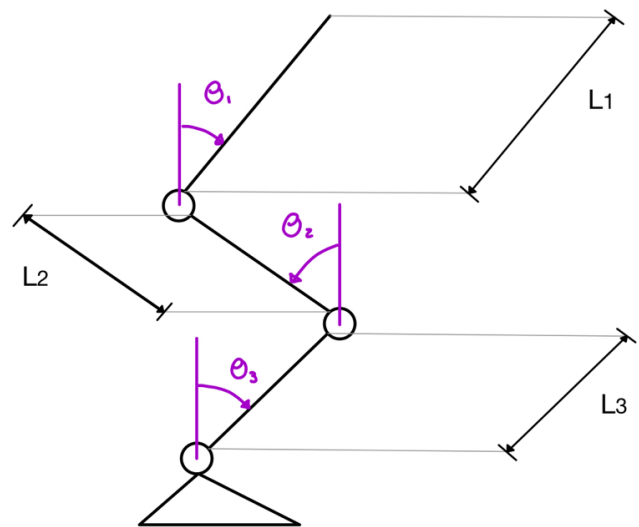
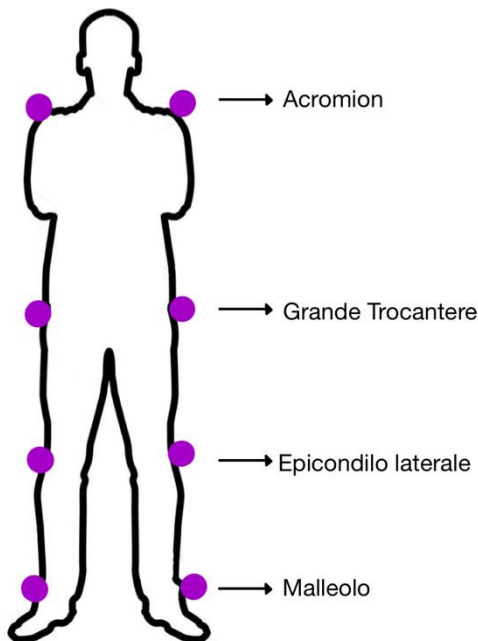
Questo è stato scelto in modo da avere una terna destrorsa con l’asse Y orientato normale al pavimento, l’asse X orientato (all’interno del laboratorio) parallelo al lato corto della pedana, che coincide con una superficie del volume di campionamento.



Per farlo, abbiamo utilizzato 3 aste in fibre di carbonio con 9 marker disposti come segue: 4 per l’asse X, 3 per l’asse Y, 2 per l’asse Z.

Test

In seguito, è stato chiesto di stimare gli **ANGOLI ARTICOLARI** sul piano sagittale.



Il soggetto viene posto all'interno del volume di campionamento, vengono applicati 4 marker in corrispondenza di malleolo laterale, epicondilo laterale, grande trocantere e acromion, e vengono effettuate tre acquisizioni:

- Calibrazione anatomica:

l'individuo assume la posizione eretta con il piano sagittale del corpo parallelo al piano XY, cercando di rimanere il più fermo possibile, in modo tale da ottenere i valori antropometrici. Le stime finali sono ottenute facendo una media aritmetica delle lunghezze dei segmenti individuati nella figura precedente.

Sono già stati prelevati i dati ottenuti dal test e utilizzati per formare dodici vettori, ciascuno dei quali contiene tutti i valori di una coordinata di uno dei marker (Mk0 per l'acromion, Mk1 per il grande trocantere, Mk2 per l'epicondilo laterale e Mk3 per il malleolo laterale)

Codice Matlab:

```
S0x=sum(Mk0x);  
S0y=sum(Mk0y);  
S0z=sum(Mk0z);
```

```
S1x=sum(Mk1x);  
S1y=sum(Mk1y);  
S1z=sum(Mk1z);
```

```
S2x=sum(Mk2x);
```

```
S2y=sum(Mk2y);  
S2z=sum(Mk2z);
```

```
S3x=sum(Mk3x);  
S3y=sum(Mk3y);  
S3z=sum(Mk3z);
```

```
%segmento L1= acromion - grande trocantere  
L1x=(S0x-S1x)/1847;  
L1y=(S0y-S1y)/1847;  
L1z=(S0z-S1z)/1847;  
%L1=L1y perché trascuriamo le oscillazioni lungo l'asse x e z
```

```
%segmento L2= grande trocantere - epicondilo laterale  
L2x=(S1x-S2x)/1847;  
L2y=(S1y-S2y)/1847;  
L2z=(S1z-S2z)/1847;  
%L2=L2y perché trascuriamo le oscillazioni lungo l'asse x e z
```

```
%segmento L3=epicondilo laterale- malleolo laterale  
L3x=(S2x-S3x)/1847;  
L3y=(S2y-S3y)/1847;  
L3z=(S2z-S3z)/1847;  
%L3=L3y perché trascuriamo le oscillazioni lungo l'asse x e z
```

```
%Supponendo le distanze tra i marker (L1, L2 e L3) costanti, andiamo a  
%trovare gli angoli articolari durante la calibrazione anatomica a riposo.  
%Ciascun angolo è misurato rispetto al piano frontale.
```

```
Teta1=(180/pi)*atan2(L1x,L1y); %angolo al grande trocantere  
Teta2=(180/pi)*atan2(L2x,L2y); %angolo all'epicondilo laterale  
Teta3=(180/pi)*atan2(L3x,L3y); %angolo al malleolo laterale
```

Abbiamo potuto constatare che la catena cinematica equivalente creata dal sistema non presenta un allineamento perfetto. Ipotizziamo che ciò sia dovuto al fatto che i punti selezionati per il posizionamento dei marker siano scelti non allineati, ma in base alla caratteristica di vicinanza e minor variazione dal centro di istantanea rotazione relativo ai segmenti adiacenti della catena.

TRONCO	Teta1= -3.387331625599781
GINOCCHIO	Teta2= 6.111050676186848
CAVIGLIA	Teta3= 4.635755447485574

- Esercizio stand-to-sit-to-stand:

l'individuo, con il piano sagittale del corpo parallelo al piano ZY, effettua cinque ripetizioni del movimento di seduta e alzata.

Analogamente all'acquisizione precedente, sono già stati prelevati i dati ottenuti dal test e utilizzati per formare dodici vettori, ciascuno dei quali contenente tutti i valori di una coordinata di uno dei marker (Mk0 per l'acromion, Mk1 per il grande trocantere, Mk2 per l'epicondilo laterale e Mk3 per il malleolo laterale), e un vettore degli istanti di tempo.

Codice Matlab:

```
%Consideriamo costante lo spostamento lungo l'asse x
```

```
L1y= Mk0y-Mk1y;
```

```
L1z= Mk0z-Mk1z;
```

```
Teta1=(180/pi)*(atan2(-L1z,L1y));
```

```
L2y= Mk1y-Mk2y;
```

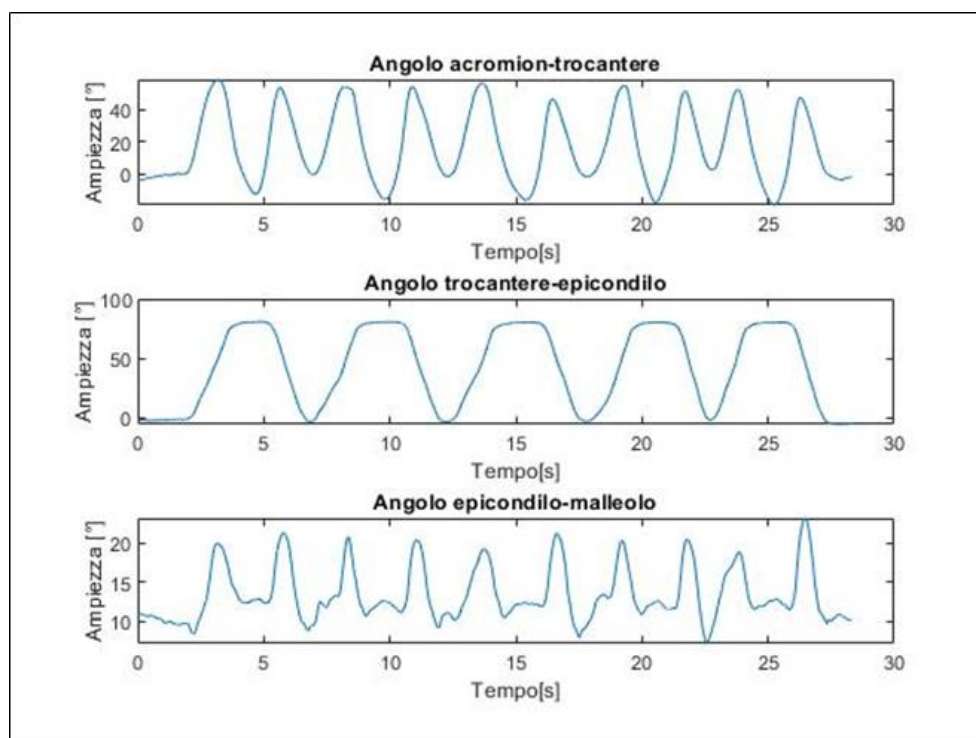
```
L2z= Mk1z-Mk2z;
```

```
Teta2=(180/pi)*(atan2(L2z,L2y));
```

```
L3y= Mk2y-Mk3y;
```

```
L3z= Mk2z-Mk3z;
```

```
Teta3=(180/pi)*(atan2(-L3z,L3y));
```



Il primo grafico riporta **Teta1** (angolo di **flesso-estensione all'anca**) in funzione di t. Questo parte da un valore prossimale allo 0 (leggermente negativo e quindi in estensione) corrispondente alla posizione eretta, raggiunge un'ampiezza tra i 50° e i 60°, nel momento in cui il soggetto si piega per sedersi, per poi diminuire nuovamente. La seduta, a differenza della posizione eretta, presenta valori in un range tra i -10° e i -20°, angolo (in estensione) dovuto all'inclinazione dello schienale della sedia. Infine, durante il movimento compiuto per rialzarsi, gli angoli raggiunti variano tra i 45° e i 55°.

Il secondo grafico riporta **Teta2** (angolo di **flesso-estensione al ginocchio**) in funzione di t. Questo parte da un valore prossimale allo 0 (leggermente negativo e quindi in estensione) corrispondente alla posizione eretta e raggiunge un'ampiezza tra gli 80° e 85° durante la posizione da seduto.

Il terzo grafico riporta **Teta3** (angolo di **flesso-estensione alla caviglia**) in funzione di t. Questo parte da un valore di circa 10° (leggermente in flessione) in posizione eretta e raggiunge un'ampiezza tra i 20° e i 25°, nel momento in cui il soggetto si piega per sedersi, per poi diminuire nuovamente fino ai 12°-13°, durante la posizione da seduto. Infine, durante il movimento compiuto per rialzarsi, gli angoli tornano ad avere un'ampiezza tra i 20° e i 25°.

- Cammino:

l'individuo, con il piano sagittale del corpo parallelo al piano ZY, effettua una serie di passi all'interno del volume di calibrazione.

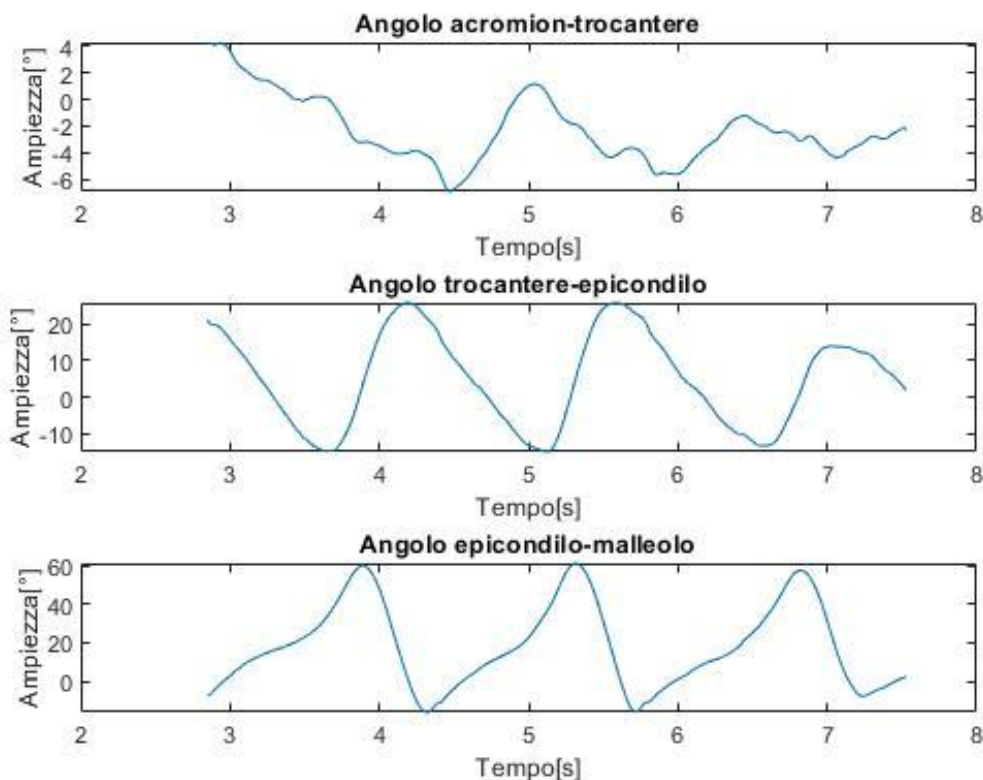
In alcuni tratti, i marker sono usciti dal volume di calibrazione, per tale motivo, sono stati presi solo i valori dal frame 713 al 1883. Una volta, prelevati i dati ottenuti dal test, il codice utilizzato per trovare gli angoli articolari corrisponde a quello scritto per l'esercizio stand to sit to stand.

Codice Matlab:

```
%Consideriamo costante lo spostamento lungo l'asse x  
L1y= Mk0y-Mk1y;%distanza acromiom-trocantere y  
L1z= Mk0z-Mk1z;%distanza acromiom-trocantere Z  
Teta1=(180/pi)*(atan2(-L1z,L1y));%angolo acromiom-trocantere
```

```
L2y= Mk1y-Mk2y;%distanza trocantere-epicondilo y  
L2z= Mk1z-Mk2z;%distanza trocantere-epicondilo z  
Teta2=(180/pi)*(atan2(L2z,L2y));%angolo trocantere-epicondilo
```

```
L3y= Mk2y-Mk3y;%distanza epicondilo-malleolo y  
L3z= Mk2z-Mk3z;%distanza epicondilo-malleolo z  
Teta3=(180/pi)*(atan2(-L3z,L3y));%angolo epicondilo-malleolo
```



Il primo grafico riporta **Teta1** (angolo di **flesso-estensione all'anca**) in funzione di t. Quest'angolo ha delle variazioni minime tra -7° e 5°.

Il secondo grafico riporta **Teta2** (angolo di **flesso-estensione al ginocchio**) in funzione di t. Questo parte da una flessione di circa 20° che corrisponde alla fase di appoggio della gamba destra (sulla quale sono applicati i marker), passa per 0° quando la coscia è perfettamente perpendicolare alla pedana e il piede destro è dietro, fino ad arrivare a -15° durante lo stacco del piede da terra. Nella fase di appoggio della gamba sinistra, e quindi, nel riportare la gamba destra avanti, l'ampiezza passa per 0° fino a ritornare tra i 20° e i 25° e ricominciare il ciclo.

Il terzo grafico riporta **Teta3** (angolo di **flesso-estensione alla caviglia**) in funzione di t. Si parte da un'estensione di circa 10° (negativa) che corrisponde alla fase di appoggio della gamba destra sulla quale sono applicati i marker. Dall'estensione si passa ad una flessione di circa 60°, che corrisponde allo stacco del piede da terra, per poi avere una successiva estensione nel riportare la gamba destra avanti.

PEDANA DINAMOMETRICA

Introduzione

La pedana dinamometrica (o pedana di forza), è uno strumento basato sul principio di azione e reazione.

Le pedane di forza misurano le forze di reazione piede-suolo.

Test con il MANUBRIO

La seconda giornata in laboratorio è stato effettuato uno studio sul sistema “Cavia-Manubrio”, è stato eseguito l’esercizio del “Curl” (esercizio che mira ad allenare il muscolo bicipite e composto da una semplice flessione del braccio per avvicinare il manubrio alla spalla).

Questa trattazione comprende le seguenti misurazioni:

- L’angolo di flesso-estensione al gomito
- Le reazioni vincolari al gomito
- La variazione della misurazione⁽¹⁾ del peso dovuta all’inerzia del manubrio

(1) Si parla di variazione nella misurazione e non nel peso; il peso, infatti, rimane lo stesso ma l’esperimento avviene in un sistema di riferimento inerziale e l’inerzia del manubrio funge da elemento di disturbo sulla misurazione del peso

Modalità di esecuzione dell’esercizio

L’esercizio del “Curl” è stato realizzato tenendo il gomito attaccato al fianco con l’obiettivo di muoverlo il meno possibile.

È inevitabile che, durante l’esecuzione, il gomito si sia mosso, ma, ai fini del calcolo, questa variazione, in quanto minima, è stata considerata trascurabile.

Partendo da una configurazione estesa, il “tester” ha poi sollevato il manubrio da 5 kg (manubrio assialsimmetrico) flettendo il braccio e compiendo due serie da 5 cicli completi a due diverse velocità, con il piano sagittale del corpo parallelo al piano XY.

Rilevazioni

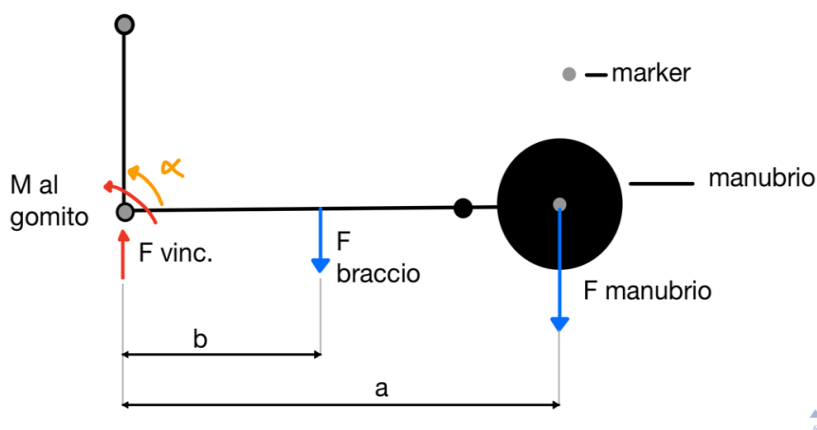
I marker, per la rilevazione stereofotogrammetrica, sono stati posizionati sulla spalla (acromion), in prossimità del gomito e sul disco del manubrio in corrispondenza dell’asse di simmetria orizzontale.

Durante l'esecuzione di questo esercizio al tester è stato richiesto di posizionarsi sulla pedana dinamometrica in maniera tale da verificare in quale modo le forze d'inerzia generate dal sollevamento del manubrio siano trasmesse al suolo.

Ipotesi di studio

Per questo esperimento sono state fatte una serie di ipotesi semplificative a partire dalla catena cinematica equivalente.

Innanzitutto, come detto precedentemente, si è definito il gomito come cerniera fissa e si è semplificata l'azione muscolare come momento netto, e non come forze muscolari distribuite lungo parte dell'avambraccio.



Ciò influenza le reali reazioni vincolari sentite a livello del gomito che, nell'ipotesi semplificativa, è sollecitato da trazione, mentre, si suppone, che nella realtà, sia sollecitato da compressione, per garantire stabilità articolare ed eseguire il movimento.

Primo punto dell'esercitazione:

- ❖ angolo di flesso-estensione al gomito

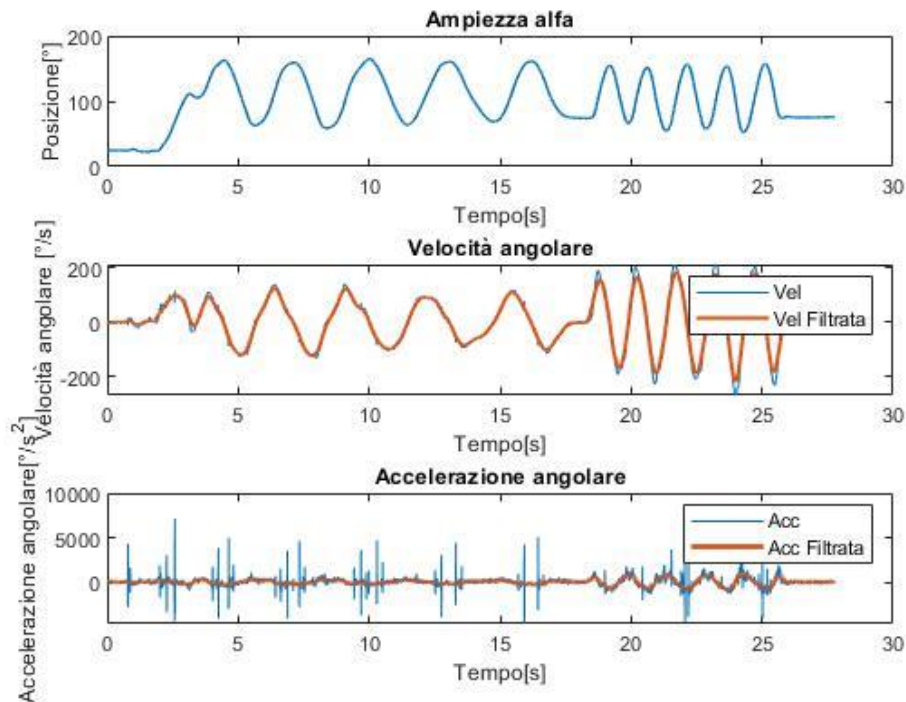
Sono già stati prelevati i dati ottenuti dal test e utilizzati per formare nove vettori, ciascuno dei quali contenente tutti i valori di una coordinata di uno dei marker (Mk0 per l'acromion, Mk1 per il gomito, Mk2 per il punto sul disco del manubrio, da cui passa l'asse geometrico di simmetria), e un vettore degli istanti di tempo.

Codice Matlab:

```
ps= sqrt(((mk2x-mk0x).^2)+(mk2y-mk0y).^2); %distanza manubrio-spalla
pg= sqrt(((mk2x-mk1x).^2)+(mk2y-mk1y).^2); %distanza manubrio-gomito
gs= sqrt(((mk1x-mk0x).^2)+(mk1y-mk0y).^2); %distanza gomito-spalla

beta= acos(((-ps).^2)+((pg.^2)+gs.^2))./(2*(pg.*gs))); %angolo supplementare
all'angolo di flesso-estensione
betag= beta*180/pi; %angolo in gradi
alfa= 180- betag; %angolo di flesso-estensione (in gradi)
```

Per calcolare l'angolo di flesso estensione al gomito è stato utilizzato il teorema di Carnot (da cui si è ricavato, in realtà, il complementare).



Secondo punto dell'esercitazione:

❖ reazioni vincolari al gomito

Utilizzando i vettori delle posizioni precedentemente sviluppati, abbiamo calcolato le relative velocità e accelerazioni (compresa anche quelle dell'angolo alfa) attraverso la formula del rapporto incrementale. Questo perché le accelerazioni verranno poi utilizzate per il calcolo delle forze e momento articolare.

Codice Matlab:

% Ipotesi semplificative: Fmuscolare in direzione x trascurabile. Si trascura inerzia del braccio. Si prende la massa della cavia pari a 57kg;

a=sum(pg,'all')/length(pg); %distanza media Centro di massa del manubrio-Gomito
b=0.57*a; %distanza Centro di Massa del braccio-Gomito

g=9.81;

Mman=5; %Massa manubrio

Mbraccio=1.144; %Massa braccio

Fb=Mbraccio*g; %peso del braccio

Fp=Mman*g; %peso del manubrio

Jtot=(Mman*a^2+Mbraccio*b^2)/10^6; %dividiamo per 10^6 per avere Jtot in metri

%calcolo delle forze e momenti con accelerazioni non filtrate

Fart_x = ((-Mman*a_mk2x))/10^3; %forza articolare lungo x

Fart_y= ((Fb+Fp)*ones(6947,1)+Mman*a_mk2y)/10^3; %forza articolare lungo y

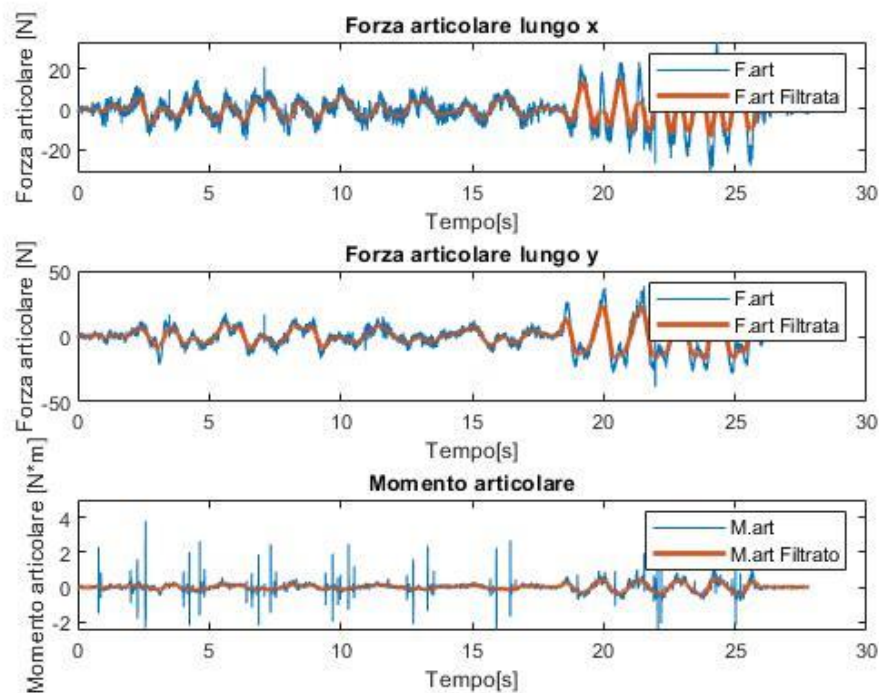
Mart= Jtot*a_alfa/10^3; %momento non filtrato

%calcolo delle forze e momenti con accelerazioni filtrate

Fart_x_f = ((-Mman*a_mk2x_f))/10^3; %forza articolare lungo x

Fart_y_f=((Fb+Fp)*ones(6947,1)+Mman*a_mk2y_f)/10^3; %forza articolare lungo y

Mart_f= Jtot*a_alfa_f/10^3; %momento filtrato



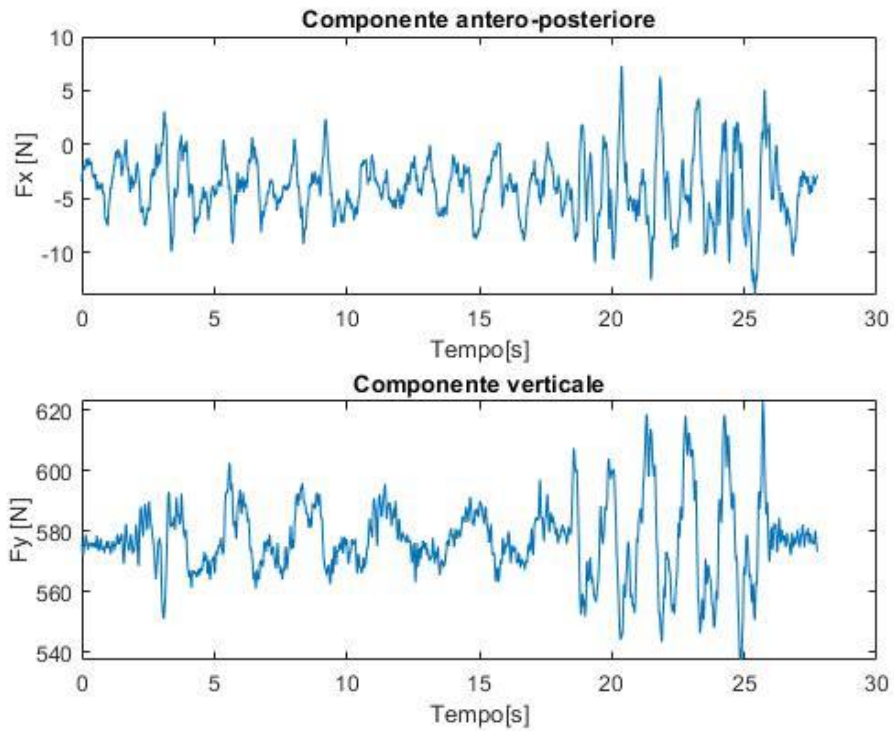
Abbiamo calcolato la forza articolare lungo x, moltiplicando la massa del manubrio per l'accelerazione lungo x del punto. Quella lungo y, invece, è stata ricavata sommando le forze peso del braccio e del manubrio e la forza dovuta all'accelerazione del manubrio. In quanto minore, si è ritenuta trascurabile la massa del braccio per il calcolo dell'inerzia totale del sistema.

Terzo punto dell'esercitazione:

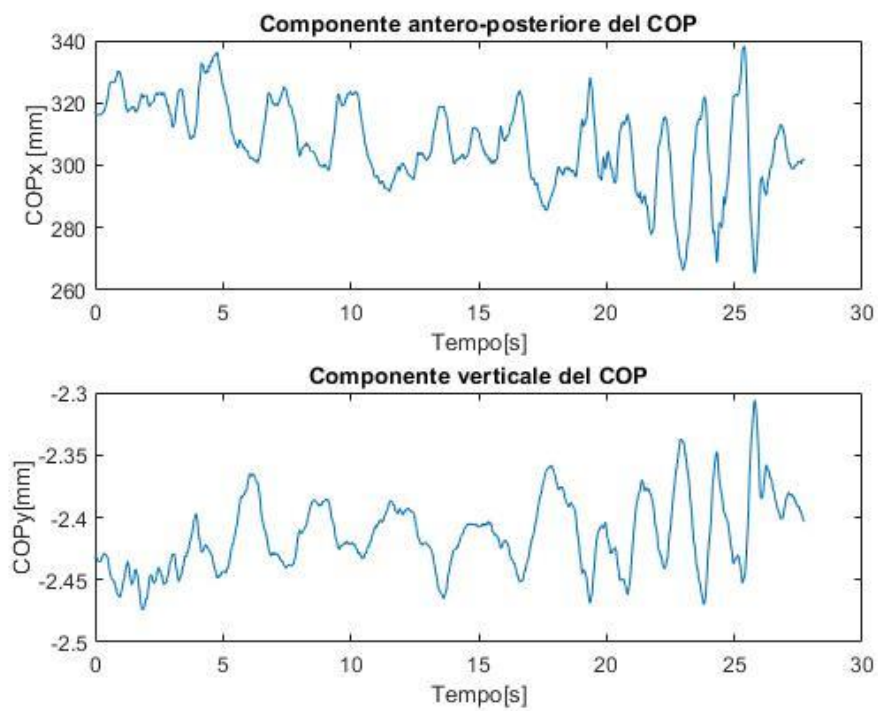
- ❖ variazione della misurazione del peso, dovuta all'inerzia del manubrio

Abbiamo estratto i dati dai files e li abbiamo graficati con t come ascissa per mettere in evidenza il loro andamento (variazione) nel tempo delle forze e della posizione del COP.

In questo grafico possiamo notare la variazione delle componenti verticale e antero-posteriore. Dalla prima si evince come la forza di reazione piede-suolo rimanga sempre in un intorno di 575N che corrisponde al peso della cavia sommato a quello del manubrio.



Nel grafico seguente invece, sono sottolineate le componenti del COP. In particolare, si può notare che la componente antero-posteriore varia in funzione del moto del manubrio.



SENSORISTICA INDOSSABILE

Introduzione

I sensori indossabili (wearable systems) negli ultimi anni hanno subito un rapido sviluppo.

Il vantaggio di tali dispositivi è, infatti, quello di riuscire a monitorare non solo l'attività fisiologica, ma anche i movimenti dell'uomo, facilitando le cure domiciliari dei pazienti.

Esercitazione stand to sit to stand con rilevazione stereofotogrammetrica e IMU

Rispetto al test eseguito la volta precedente è stato cambiato il "tester". I due tester presentano parametri antropometrici molto diversi e, di conseguenza, i valori ottenuti variano.

Modalità di esecuzione

Lo svolgimento dell'esercizio è identico a quello della trattazione precedente, ad eccezione del fatto che viene svolto in due serie da 5 ripetizioni ciascuna, una a velocità lenta e l'altra rapidamente.

È stato chiesto al candidato di appoggiarsi ad ogni ripetizione allo schienale della sedia per aumentare il più possibile la ripetibilità dell'esercizio.

In quanto i dati sono più precisi nelle ripetizioni lente e, il tester ne ha svolto una serie da 6 e non da 5, al fine di calcolo, si considera solamente la prima (serie lenta) con l'assunzione che, modificando in maniera adeguata i parametri, i calcoli eseguiti sono applicabili anche alla seconda.

Rilevazione stereofotogrammetrica

Esattamente come nel primo argomento che ha trattato questa tesina vengono posti 4 marker sul corpo del tester a livello dell'acromion, grande trocantere, epicondilo laterale e malleolo.

Frequenza: 250Hz

IMU

Le IMU (Inertial Measurement Unit) sono sensori dotati di un set completo di sensori MEMS:

- accelerometro triassiale
- giroscopio triassiale
- magnetometro triassiale

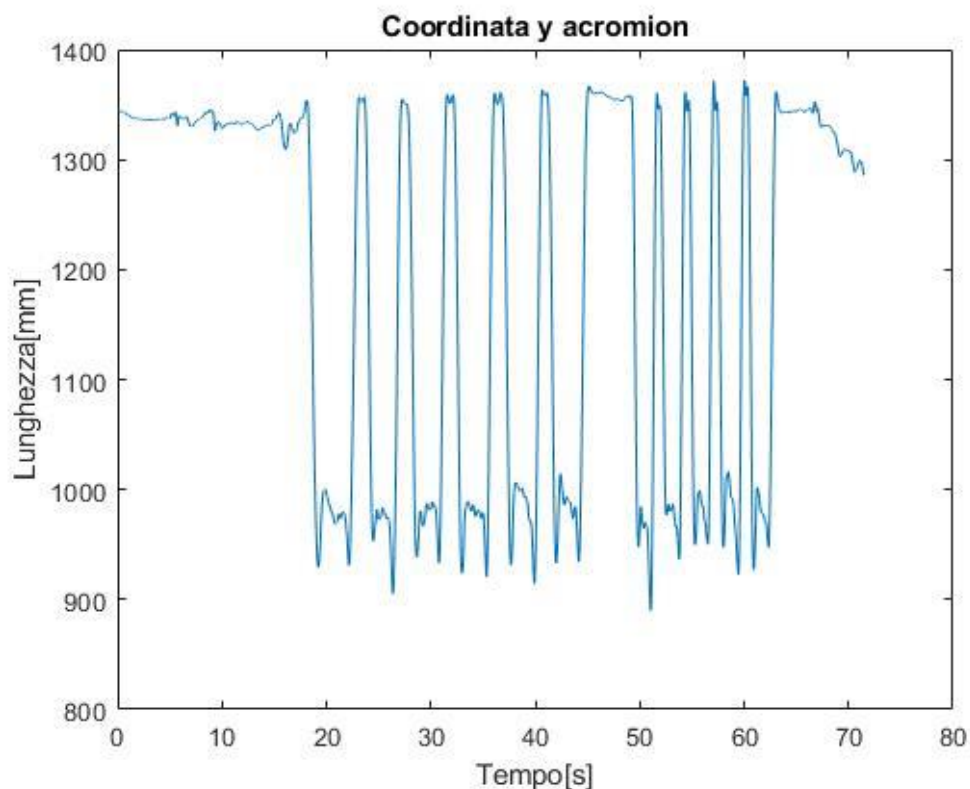
Vengono applicati due IMU in zona lombare e sulla coscia del candidato, in modo da misurare le accelerazioni subite dai due sistemi relativi. La raccolta di questi dati avviene in maniera del tutto indipendente dal sistema stereofotogrammetrico, che,

a causa della sua elevata precisione nell'individuare le posizioni dei marker, è considerato il “gold-standard”.

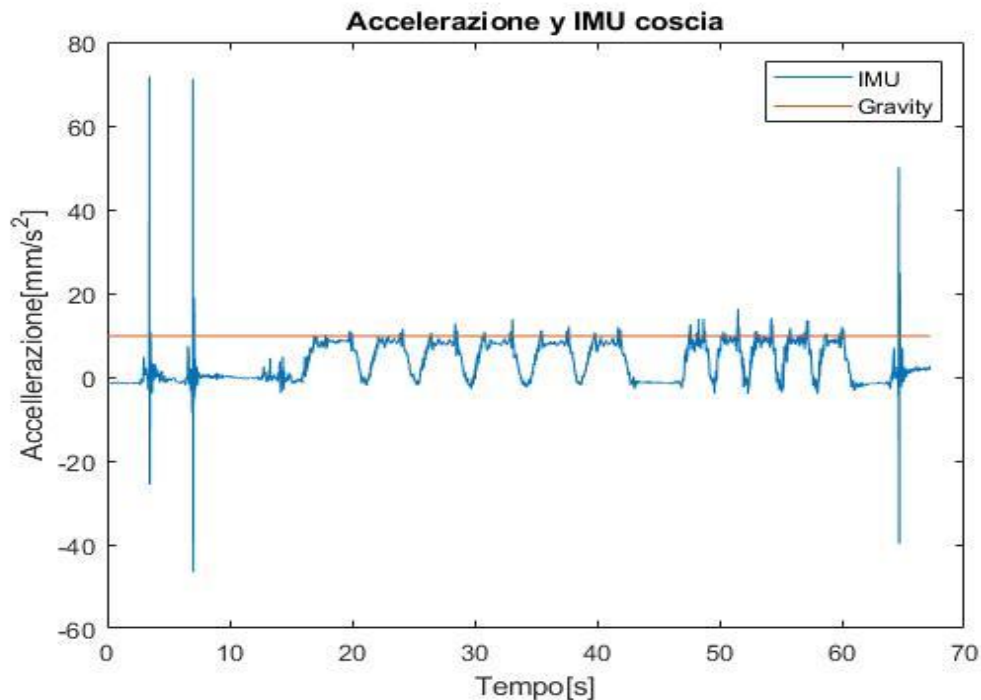
Frequenza: 128Hz

Analisi dei risultati numerici ottenuti:

Dai grafici riportati di seguito, si vedono l'andamento della posizione del marker applicato all'acromion, che presenta i massimi in corrispondenza degli istanti di stand-up e i minimi in corrispondenza degli istanti di sit-down.



Il grafico delle accelerazioni presenta un andamento periodico qualitativo trapezoidale. È facile intuire che la IMU (posizionata sulla coscia in modo da avere il piano x-y del sistema di riferimento parallelo al piano sagittale) misura un'accelerazione teorica pari a circa **g** quando le gambe del tester sono piegate a circa 90 gradi, ovvero parallele al terreno. In questo intervallo temporale specifico, si assume che il tester sia seduto e che stia ruotando solo il busto. L'accelerazione gravitazionale nel sistema di riferimento assoluto è mostrata con la **linea arancione**.



Algoritmo di determinazione del sit-down sit-off

L'algoritmo, inizialmente, carica tutti i valori dell'accelerazione lungo l'asse y della IMU applicata alla coscia, in una matrice. In seguito, per ognuno dei 6 periodi temporali T successivi, dopo il valore T_0 , seleziona gli indici della matrice dei valori **maggiori di g** e li carica in una matrice (con uguale dimensione di quella originaria) con valore 1; se gli elementi sono **minori di g** vengono associati a 0.

In seguito, per ciascun periodo, quindi per ogni intorno di indici, si determinano il primo valore e l'ultimo valore pari a 1, tramite la matrice creata precedentemente. Gli indici di tali valori sono quelli di sit-down e di sit-off e sono caricati nelle rispettive matrici e convertiti tramite la divisione per la frequenza di campionamento (128Hz), ricavando, così, gli istanti temporali richiesti.

Codice matlab:

```
Mat_ist=zeros(8605,1);
sit_down=zeros(6,1);
sit_off=zeros(6,1);
Mind=zeros(6,2);

ind_in=15*128;
ind_fin=20*128;
periodo=(ind_fin-ind_in);

for K=1:1:6
    Mind(K,1)=ind_in+(K-1)*periodo;
    Mind(K,2)=ind_fin+(K-1)*periodo;
```



```

end

for k=1:1:6
    in=Mind(k,1);
    fin=Mind(k,2);
    for K=in:1:(fin-1)
        if A2y(K,1)> g;
            Mat_ist(K,1)=1;
        else
            Mat_ist(K,1)=0;
        end
    end
    sit_down(k,1)
    down =find(Mat_ist(in:fin), 1, 'first');
    sit_down(k,1)= in+down;
    off =find(Mat_ist(in:fin), 1, 'last');
    sit_off(k,1)= in+off;
end

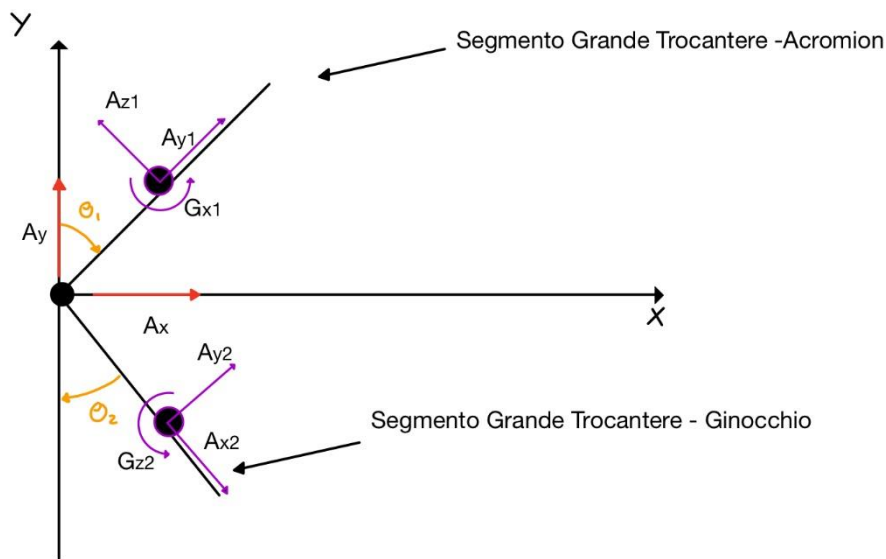
s_off=sit_off
s_down=sit_down

t_s_off=s_off/128
t_s_down=s_down/128

```

Stima dell'angolo di flessione estensione all'anca e confronto con quello ottenuto mediante la stereofotogrammetria.

Per eseguire questo esercizio non è possibile fare una semplificazione di angoli piccoli, in quanto, come già evidenziato nel primo argomento del test, i risultati dell'angolo prodotto tra la verticale passante per il grande trocantere e il segmento grande trocantere – acromion (Teta 1), varia in un intervallo notevole. Non è quindi possibile linearizzare il modello matematico per oscillazioni di piccole entità. Ciò complica notevolmente i calcoli.



Calcolare Teta 1 tramite le accelerazioni non risulta semplice.

Innanzitutto, si riduce il modello tridimensionale alla catena cinematica utilizzata precedentemente. In seguito, si definiscono le incognite:

- A_x , A_y , (rispettivamente, la componente orizzontale e verticale delle accelerazioni del corpo);
- Teta1 (angolo formato dal segmento grande trocantere - acromion e la verticale passante per il grande trocantere);
- Teta 2 (angolo formato dal segmento grande trocantere - epicondilo laterale e la verticale passante per il grande trocantere).

Si possono quindi stabilire due sistemi di equazioni differenziali non risolvibili analiticamente.

A fronte dell'elevata difficoltà di calcolo, si prevede di risolvere il problema ponendo ulteriori ipotesi semplificative, annullando le componenti dell'accelerazione del corpo. In questo modo, il problema risulta risolto tramite delle semplici equazioni analitiche. È necessario, però, constatare che i risultati ottenuti sono discordanti anche se seguono lo stesso andamento qualitativo.

Codice matlab:

```
teta1_imu=(180/pi)*asin(-A1z/g);
teta1_imu=movmean(teta1_imu,50)
figure(4)
plot(t,Teta1,t_imu,teta1_imu)
title('Angolo acromion-trocantere');
xlabel('Tempo[s]');
ylabel('Ampiezza[°]');
legend('Teta','Teta Filtrato');
```

