POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Meccanica, Aerospaziale,
dell'Autoveicolo e della produzione

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea Magistrale

Analisi Biomeccanica nella pratica della scherma

Relatori
prof. Stefano Pastorelli
Prof. Laura Gastaldi
Ing. Valeria Rosso
Ing. Elisa Digo

Candidato
Francesco Pio del Gaudio
S233107

Sommario

Introduzione 6
Analisi Preliminari 12
Tempi e Fasi 19
Fase 1 19
Fase 2 20
Fase 3 22
Metodi 26
Strumentazione 27
Optitrack 27
Sensori IMU 29
Pannello elettronico 30
Struttura 31
Circuiti 34
Tester per la sincronizzazione 37
Software 38
Test pilota 40
Analisi del sistema di riferimento 46
Labeling 47
Risultati 51
Angolo di interesse 53
Accelerazioni 55
Protocollo test 58
Attrezzatura 58
Fase preliminare 58
Setting attrezzatura 59
Fase principale 61

Test 62
Analisi dei risultati 65
Analisi Marker 65
Analisi Imu 74
Osservazioni 77
Ringraziamenti 78
Bibliografia 80
Appendice 81
Elaborazione labeling markers 81
Import data markers 81
Definizione Sistema di riferimento globale 81
Definizione matrice dei punti del nuovo sistema di riferimento 82
Definizione degli angoli 82
Stick Diagram 83
Programma Arduino 84
Precisione affondi 89
Valutazione bersaglio acceso 90
Codice lettura dati sensoriali 92
Codice Subplot caratteristiche 96

Introduzione

La scherma è uno sport olimpico, composto da tre diverse armi, ognuna delle quali prevede specifiche regolamentazioni e diversi possibili bersagli. In Figura 1 vengono rappresentate le 3 armi che fanno parte della scherma: il fioretto, la spada e la sciabola.

Figura 1 – Armi scherma

La scherma è "una disciplina di combattimento a contesto aperto" che consiste nello scontro tra due contendenti attraverso le armi prima citate.
In questo studio si andrà ad analizzare una tecnica di combattimento specifica di una delle tre armi, ovvero la spada. La spada è l'arma che si avvicina maggiormente alla tradizione passata, oltre ad essere quella più rappresentativa del duello vero e proprio.

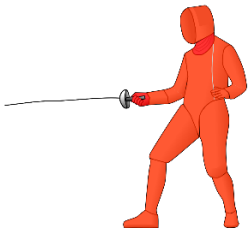

Figura 2 – bersaglio spada

Come si può valutare dalla Figura 2 , al contrario del fioretto e della sciabola dove i bersagli sono limitati, nella spada il bersaglio comprende tutto il corpo. Si può colpire solo ed esclusivamente con la punta della lama, dove è posizionato un bussolotto con un sensore di pressione sulla cima. Al contrario di una più complicata regolamentazione della stoccata dettata dalla regola della "convenzione" utilizzata nella sciabola e nel fioretto, nella spada nel caso in cui ci si colpisce contemporaneamente entro 1/25 di secondo, allora il colpo viene assegnato ad entrambi gli atleti e viene definito "colpo doppio".

La spada grazie anche alla sua semplicità e spettacolarità dovuta ad un bersaglio più ampio è l'arma più praticata soprattutto in Italia.
Per rendere gli assalti sicuri la divisa deve presentare una resistenza alla penetrazione di 800 N.
Andando nel dettaglio dell'arma, la spada è costituita da un'impugnatura anatomica, a forma di pistola e di ferro incastrata in una lama di acciaio maraging finemente lavorato attraverso una coccia di acciaio che serve per proteggere la mano da colpi avversari. La lama presenta una lunghezza di 85 cm per quanto riguarda gli U14 per poi diventare di 90 cm per la categoria dei "grandi". La punta è collegata attraverso una elettrificazione che percorre l'intera lama ad un attacco che si trova sotto la coccia della spada stessa. Ogni atleta è munito di un passante che serve a collegare l'attacco della spada ad un rullo che a sua volta viene collegato ad un apparecchio elettronico che serve per segnare i punti. Ogni apparecchio è formato da due luci, una verde e una rossa, da un cronometro che serve per segnare il tempo dell'assalto e da un segnapunti che serve per ricordare il punteggio tra i due atleti. In questo modo, ogni qual volta uno dei due atleti effettua una pressione minima di 750 grammi sulla punta della spada, si accende la luce dell'apparecchio elettronico corrispondente al suo lato.
Gli assalti si differenziano in base alla fase di gara che si sta disputando:

- La prima fase, ovvero quella dei gironi, prevede 5/6 assalti a 5 stoccate da disputarsi entro 3 minuti effettivi di incontro. Nel caso in cui uno dei due avversari non riesca ad arrivare a 5 stoccate allo scadere dei 3 minuti vince chi ha il punteggio più alto. Nel caso in cui al termine del tempo il punteggio tra i due contendenti fosse pari si ricorre alla regola della "priorità", ovvero, in base ad un calcolo randomico si stabilisce chi tra i due atleti possiede la priorità e, nel caso in cui, durante un minuto supplementare di incontro, nessuno dei due atleti segni un punto, vince l'atleta che possiede la prima citata "priorità".
- La seconda fase della gara prevede, invece, un tabellone ad eliminazione diretta: le eliminazioni dirette o cosiddette "dirette" sono assalti a 15 stoccate formate da 3 tempi da 3 minuti l'uno tra i quali viene dato 1 minuto di pausa per recuperare le forze. Le regole sono le stesse della prima fase anche nel caso di parità e di "priorità".

La tecnica di assalto prevede dunque una elevata coordinazione neuromuscolare legata a un'importante capacità di reagire il più velocemente possibile alle minacce

esterne. Uno dei metodi più efficaci, e più utilizzati, per ottenere un punto è l'affondo: questa tipologia di azione richiede un'esplosiva estensione della gamba anteriore legata ad un'estensione del braccio armato che consente un rapido avanzamento dell'arma in modo da poter toccare velocemente l'avversario.
In Figura 3 si può osservare un esempio di affondo durante una gara di Coppa del Mondo assoluta

Figura 3 – Affondo durante competizione

L'affondo si suddivide in tre parti fondamentali (Figura 4):

1. Nella prima fase, definita fase "*in guardia"* entrambi i piedi sono a contatto con il suolo e non vi sono GRF (ground reaction forces) in atto. La prima fase si conclude nel momento in cui la gamba posteriore inizia a scaricare una forza al suolo, quindi nel momento in cui l'angolo definito dal ginocchio posteriore inizia a modificarsi (Figura 4 - a).
2. L'inizio della seconda fase, definita "*fase di accelerazione"* avviene in coincidenza con la fine della prima fase e prosegue attraverso la continua estensione della gamba anteriore ed un contemporaneo spostamento in avanti del centro di gravità. La fase si conclude nel momento in cui il piede posteriore si stacca dal suolo (Figura 4 b-c).

3. La fase 3, definita *"fase di volo"* inizia quindi quando il piede posteriore si stacca da terra e finisce nel momento in cui il piede anteriore tocca di nuovo il suolo (Figura 4 d-e).

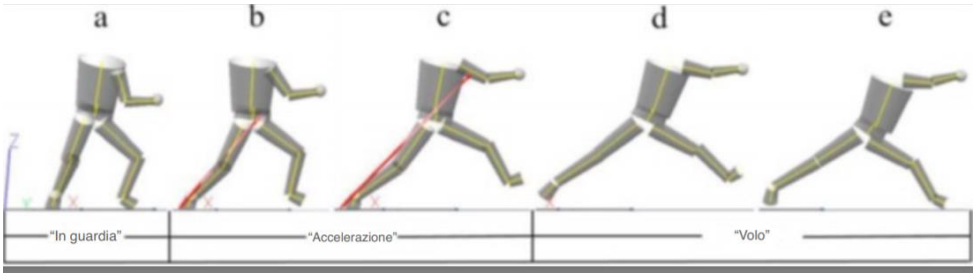

Figura 4 – Fasi affondo

In figura 4 vengono scandite da un punto di vista visivo tutte le fasi che definiscono l'affondo.

Analizzando il movimento, la gamba posteriore e la gamba anteriore giocano ruoli diversi. Infatti, mentre "l'esplosiva contrazione della gamba posteriore produce una forza la cui componente orizzontale tende a far muovere il centro di gravità in avanti, la gamba anteriore si occupa di coordinare il movimento e cercare di portare il centro di gravità il più avanti possibile" [2]. Teoricamente il punto di massima velocità si ottiene nella parte finale della fase di accelerazione nel momento in cui il piede posteriore si stacca dal suolo [2].

L'affondo è una tecnica di assalto adottata molto frequentemente durante competizioni nazionali ed internazionali. "Ad esempio, durante un torneo internazionale di sciabola si effettuano affondi ogni 20 secondi per quanto riguarda l'ambito femminile mentre sono 23 i secondi che dividono un affondo dall'altro in campo maschile" [5]. Diventa quindi necessario valutare e studiare tutte le possibili variabili di questa tecnica, perché essa diventi il più efficace possibile durante l'assalto. Durante tale movimento, lo schermidore si troverà a dover adottare alcune modifiche in funzione della reazione del proprio avversario.

La velocità del movimento, la distanza percorsa, la precisione del colpo e la pressione dello stesso sono sicuramente gli elementi fondamentali che distinguono un affondo efficace da un affondo non adeguato.

Gli elementi fondamentali di un movimento sportivo vengono profondamente descritti e studiati dai ricercatori. Quando la validità di tali elementi viene valutata, vengono definiti specifici criteri in base al movimento e alla tecnica stessa. L'affondo

schermistico è dunque un movimento offensivo che può essere descritto attraverso studi e metodi biomeccanici.

Nella maggior parte degli studi passati, la massima velocità orizzontale del corpo (Horizontal Peak Velocity) valutata sul centro di gravità (CG) è stata scelta per rappresentare la velocita dell'affondo [1].

La distanza percorsa durante l'affondo naturalmente varia da schermidore a schermidore; per questo motivo, in tutti gli studi riguardanti affondi schermistici, si è preferito utilizzare sempre la velocità massima e non la velocità media come riferimento della velocità dell'affondo. Gli studi riguardanti la velocità hanno dimostrato come gli atleti agonisti avessero una velocità massima più elevata rispetto agli atleti dilettanti [8].

Quando si esaminano le cause che determinano la velocità di affondo, ci si scontra con teorie leggermente contrastanti. Alcuni studiosi hanno definito la forza della gamba anteriore come principale artefice della velocità dell'affondo [9]. Quando si valuta un movimento così complesso che comprende gran parte della muscolatura del corpo sarebbe, però, troppo riduttivo legare un unico parametro alla velocità dell'affondo. Per tale motivo negli anni sono stati valutati altri fattori:

- l'angolo definito dal ginocchio anteriore (blu)
- la massima estensione dell'anca posteriore (rosso)
- la massima estensione dell'anca anteriore (verde)

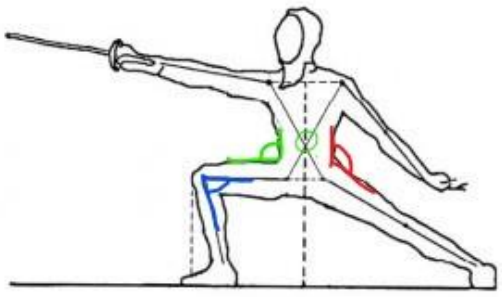

Figura 5 - Angoli fondamentali

Questi parametri hanno identificato una relazione importante con la massima velocità raggiunta dallo schermidore [10]. Da questi studi si è quindi valutato come tutta la parte inferiore del busto e le gambe siano fattori fondamentali per determinare la velocità dell'affondo e quindi un metro per identificarne l'efficacia.

Un altro fattore da tenere in forte considerazione è la relazione tra la posizione di guardia schermistica e la velocità dell'affondo." E' presente un'inversa proporzionalità tra la velocità dell'affondo e la componente verticale della forza scaricata sul suolo

mentre vige una diretta proporzionalità tra la stessa velocità dell'affondo e la componente orizzontale della forza scaricata al suolo dall'atleta " [12].

Anche la posizione dei piedi nella partenza dell'affondo incide sulla velocità ed efficacia dello stesso. Grashman-Fiegel esaminò tale relazione assumendo che la posizione del piede potesse influire positivamente sull'uso efficiente dei muscoli della gamba e quindi determinare la potenza prodotta. Egli concluse che la posizione perpendicolare dei piedi (il piede anteriore punta in avanti) fosse la posizione ideale per raggiungere la più alta velocità possibile del corpo durante l'affondo [12].

Un ulteriore elemento fondamentale nello studio dell'affondo è sicuramente la valutazione dell'incertezza, ovvero della possibilità di un contrattacco o comunque di una risposta da parte dell'avversario.

"Le regolazioni durante il movimento tendono ad apparire a diversi livelli descrittivi del controllo motorio, specialmente al livello muscolare"[10].

In primo luogo, l'elemento di incertezza si è valutato modificando la posizione del bersaglio durante il movimento dell'affondo e verificando le variazioni di tutti i parametri definiti poc'anzi valutandone quindi la stretta relazione [10]. In secondo luogo, si è scelto di adottare un metodo più approfondito valutando le sinergie muscolari di tutto il corpo durante l'affondo. In questo modo i piccoli adattamenti dipendenti dal bersaglio mobile sono stati individuati attraverso l'attivazione sinergica di alcuni gruppi muscolari [11].

Come analizzato, la maggior parte degli studi valuta un singolo parametro dell'affondo e, in maniera abbastanza generica, ne valuta l'approccio e la relazione che esso ha fondamentalmente con la velocità e l'accelerazione dell'affondo stesso.

A differenza dei lavori trovati in letteratura, lo scopo di questo studio sarà invece quello di analizzare nel dettaglio tutti i parametri che intervengono nella valutazione di un affondo efficace. Si andranno quindi a valutare tutte le componenti che caratterizzano la parte bassa del busto: l'angolo di ginocchio, le posizioni dei punti ritenuti fondamentali nello spazio, le velocità angolari e le accelerazioni.

Si valuterà inoltre la precisione dell'affondo attraverso l'utilizzo di un pannello con più bersagli che simulerà quindi l'avversario. Infine, la ricerca potrà essere implementata attraverso l'incertezza del colpo derivata dal cambiamento randomico del bersaglio da colpire.

Analisi Preliminari

In primo luogo, sono state effettuate alcune analisi preliminari. Sono stati esaminati una serie di affondi effettuati da un'atleta professionista di interesse federale, in corsa per la qualifica delle olimpiadi di Tokyo 2020.
Gli affondi sono stati valutati con il braccio armato e, per assicurare la veridicità del colpo, è stato scelto un bersaglio umano protetto da un piastrone professionale di marca Carmimari utilizzato comunemente dai maestri di scherma. Tali test sono serviti per comprendere in maniera più esaustiva le dinamiche dell'affondo e per iniziare a valutarne le traiettorie e le velocità.
Le analisi sono state effettuate attraverso una telecamera GoPro Hero 5 (risoluzione 1080x720, 60 fps).
Durante il test preliminare non sono stati utilizzati marker o accelerometri, ma sono stati posti sul corpo dell'atleta 11 elettrodi Ambu Whitesensor atti ad identificare i punti ritenuti fondamentali per un corretto studio del movimento: caviglia anteriore, ginocchio anteriore, creste iliache, spalla anteriore, gomito armato e polso armato.
In figura 6 è rappresentato il soggetto vestito degli elettrodi in fase di guardia.

Figura 6 – dettaglio elettrodi

Come definito in precedenza, il braccio dell'atleta è stato armato ma non è stato posto alcun bersaglio elettrico, quindi tali esami sono stati effettuati solo ed esclusivamente per comprendere meglio il movimento dell'atleta.
Inoltre, per assicurare il paragone delle velocità prese in considerazione durante tali analisi e le velocità valutate durante una competizione, l'atleta ha indossato una maschera professionale da gara.
Per poter analizzare al meglio il movimento dell'atleta le analisi sono state effettuate attraverso Kinovea, un programma di video analisi dedicato esclusivamente allo sport.
Grazie al confronto con il maestro federale Maurizio Mencarelli della società ISEF Eugenio Meda di Torino, si sono stabiliti alcuni parametri che potessero identificare un'iniziale validità da un punto di vista tecnico dell'affondo:

1. Piede anteriore sempre avanti al ginocchio anteriore durante la fase 3 (Angolo formato dal ginocchio anteriore durante la fase 3 dell'affondo > 60°) [figura 7]
2. Angolo formato dalla spalla anteriore con il braccio armato < 180° [figura 7]

Figura 7 – angoli durante fase di accelerazione

Come si può vedere dalla Figura 7, i primi due valori sono stati ampiamente rispettati e quindi è stato possibile continuare a valutare i punti ritenuti fondamentali per identificare un affondo tecnicamente valido.

3. Angolo definito dal ginocchio posteriore durante la fase 3 pari a 180°
4. Angolo definito dal gomito del braccio armato durante la fase 1 < 180° (fase “en garde”) [figura 5]
5. Angolo definito dal ginocchio anteriore durante la fase 1 > 125° (fase “en garde”) [figura 5]

Figura 8 – angoli fase di guardia

Il rispetto di tali direttive definisce la validità del movimento sia da un punto di vista di stabilità strutturale che da un punto di vista tecnico schermistico.
Lo studio si è dunque incentrato sulla valutazione della traiettoria del centro di massa durante l’affondo.
Come riportato in alcuni studi passati sulla tecnica dell’affondo [12], l’atleta è stato posto ad una distanza dal bersaglio non elettrico pari all’incirca ad una volta e mezzo la sua altezza:
essendo l’atleta alto all’incirca 1,60 metri si è potuta stabilire una distanza di 2,40 metri dal bersaglio.

Come già specificato nell'introduzione, si è scelto di definire il punto su cui valutare la traiettoria proprio nel centro di massa, poiché esso è in grado di fornirci il più alto numero di informazioni rilevanti sia riguardanti la parte inferiore del busto che la parte superiore.
Il punto viene preso sulla colonna vertebrale nell'intorno di L5, che, come da protocollo, garantisce un errore trascurabile durante le analisi preliminari.
Grazie a Kinovea è stato possibile definire la traiettoria di tale punto.
Dalla figura 9 possiamo notare che tale traiettoria, come ci aspettavamo, non è altro che una parabola discendente che trova il suo punto di minimo nel concludersi della fase 3.

Figura 9 – traiettoria CdM (Centro di Massa)

Si è potuta quindi valutare la velocità del corpo, proprio lungo tale traiettoria.
Si è effettuata la valutazione di una misura prestabilita, cioè di un cono Kipsta dell'altezza di 25 cm posto alla sinistra dell'atleta durante l'intera ripresa.
In questo modo è stato possibile valutare le velocità in m/s.
Lo studio si è incentrato sull'analisi e sulla ricerca del punto o dell'intervallo di massima velocità del centro di massa durante l'intero movimento dell'attacco.

Dalle analisi si è potuto verificare che la massima velocità che raggiunge il centro di massa si verifica durante la fase di volo dell'affondo, quindi durante la fase 3.
Durante tale intervallo si valuta una velocità che varia intorno ai 3,6 m/s e quindi intorno ai 13 km/h [figura 10]

Figura 10 – velocità CdM (Centro di Massa)

Un altro punto di notevole interesse valutato durante le analisi preliminari è rappresentato dal polso. Per il polso vengono fatte le stesse valutazioni che venivano fatte per il centro di massa: viene, quindi, prima valutata la traiettoria del polso stesso e successivamente ne vengono valutati la velocità e l'intervallo di massima velocità.
Come possiamo vedere dalla figura 11, la traiettoria del polso è chiaramente ben diversa dalla traiettoria compiuta dal centro di massa e tende ad essere una retta crescente che cambia la propria direzione nel momento in cui la punta incontra il bersaglio

Figura 11 – Traiettoria polso

Si può facilmente individuare il punto di massima velocità del polso nell'intervallo che precede immediatamente l'urto della punta con il bersaglio, il quale provocherà una brusca frenata.

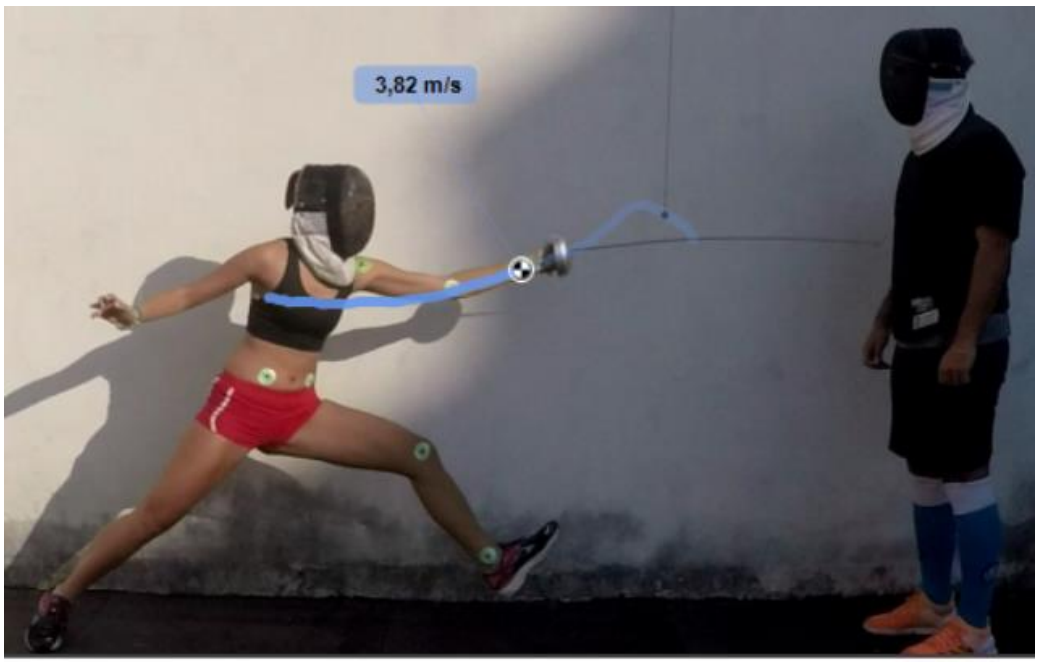

Figura 12 – Velocità polso

In figura 12 viene rappresentata la stessa traiettoria prima descritta con la valutazione della velocità del colpo. È stato deciso di rappresentare unicamente il picco di velocità durante tutta la traiettoria perché considerato maggiormente rappresentativo del colpo.

I picchi di velocità tra il centro di massa ed il polso sono leggermente diversi: infatti, mentre prima avevamo un picco di velocità che si aggirava attorno ai 3.6 m/s, in questo caso si superano i 3.81 m/s.

Questo elemento risulta particolarmente importante perché caratterizza la dimostrazione di quanto definito durante la fase di introduzione, ovvero che la parte superiore del corpo tende a muoversi più rapidamente della parte inferiore.

Tempi e Fasi

Una volta definite le velocità e le traiettorie verificatesi durante le analisi preliminari, si è fatta una valutazione complessiva del movimento. In figura 13 vengono scandite le fasi che compongono un affondo.

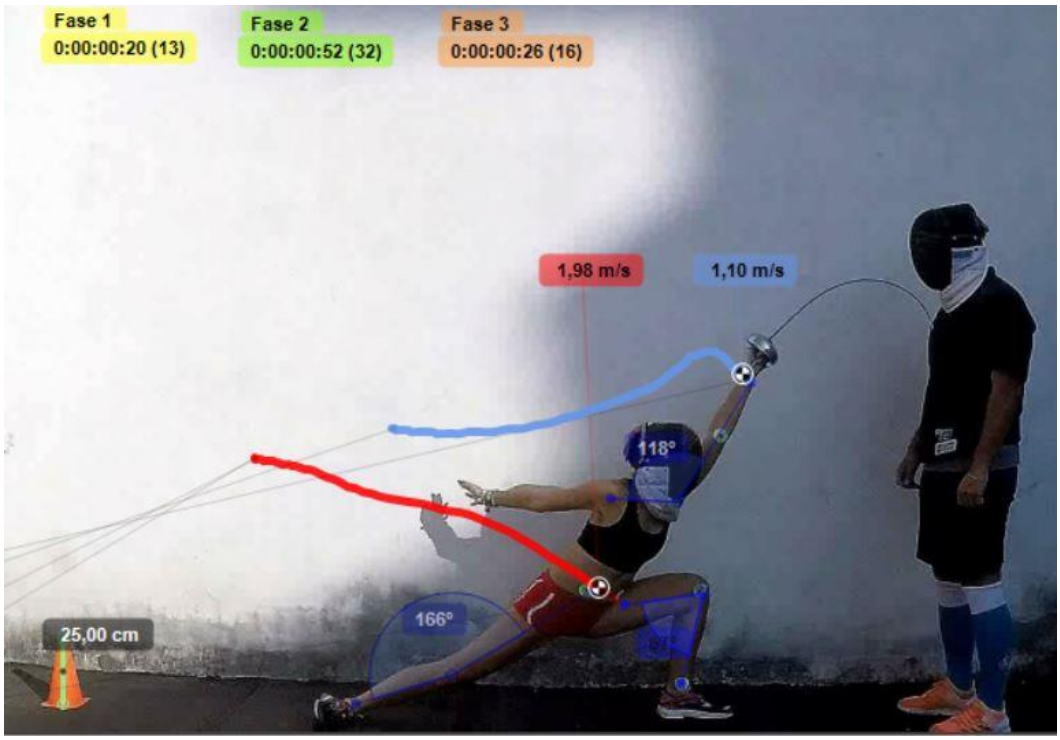

Figura 13 – Scansione Fasi

Come si può evincere facilmente dalla figura 13, oltre alle analisi effettuate sulle traiettorie del polso e del baricentro con corrispettive velocità, sono stati valutati i tempi che intercorrono tra le varie fasi.

Fase 1

Ricordando quanto detto nell'introduzione, si valuta ora la fase 1 definita fase "en garde".

Come evidenziato dalla figura 14, la fase 1 inizia a corpo fermo e termina nel momento in cui si registra un cambiamento nelle forze scaricate al suolo da parte della gamba posteriore.

Non essendo in possesso di piastre DynamoForce (utilizzate in ambito sportivo per valutare le forze scaricate sul suolo), la fine della fase 1 si è individuata visivamente.

La fase 1 ha quindi una durata stimata che si aggira intorno ai 20 centesimi di secondo (12 frames) [Figura 14].

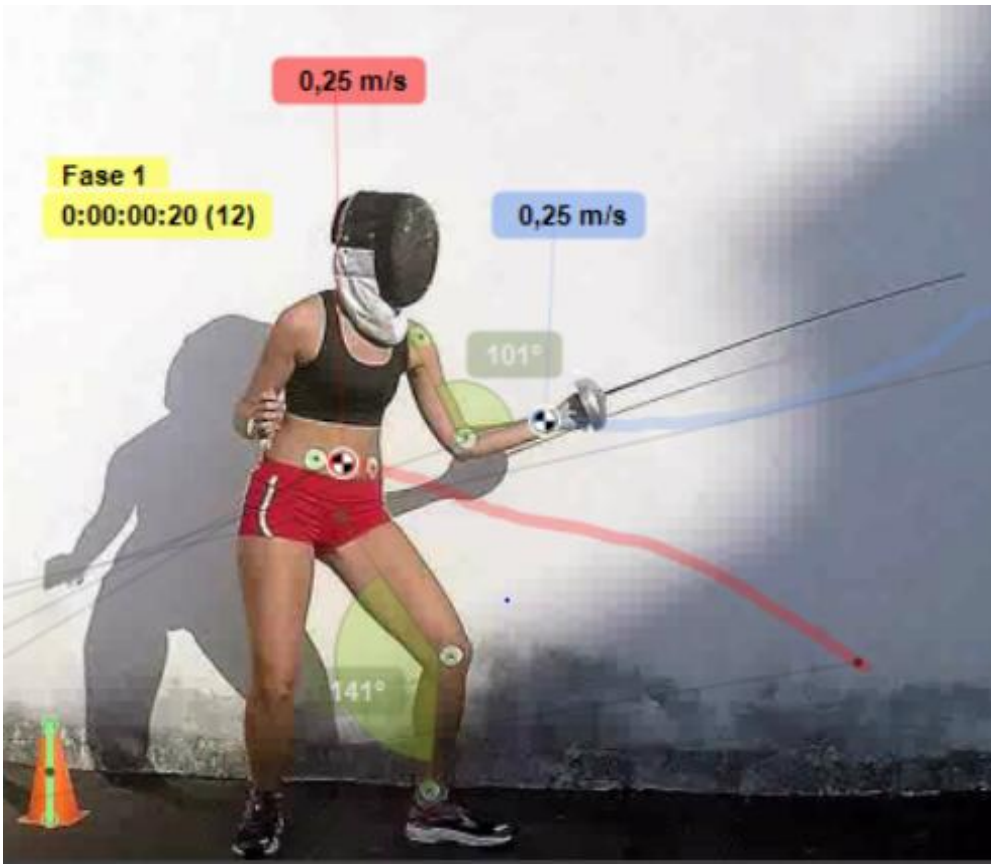

Figura 14 – Fase 1

Fase 2

È stata quindi valutata in dettaglio la seconda fase definita come "fase di accelerazione".

Si può evincere dalla Figura 15 che l'inizio della seconda fase è stato individuato in corrispondenza del frame successivo alla fine della prima fase, mentre, come definito nell'introduzione, essa si conclude nel momento in cui il piede posteriore tende a staccarsi dal suolo.

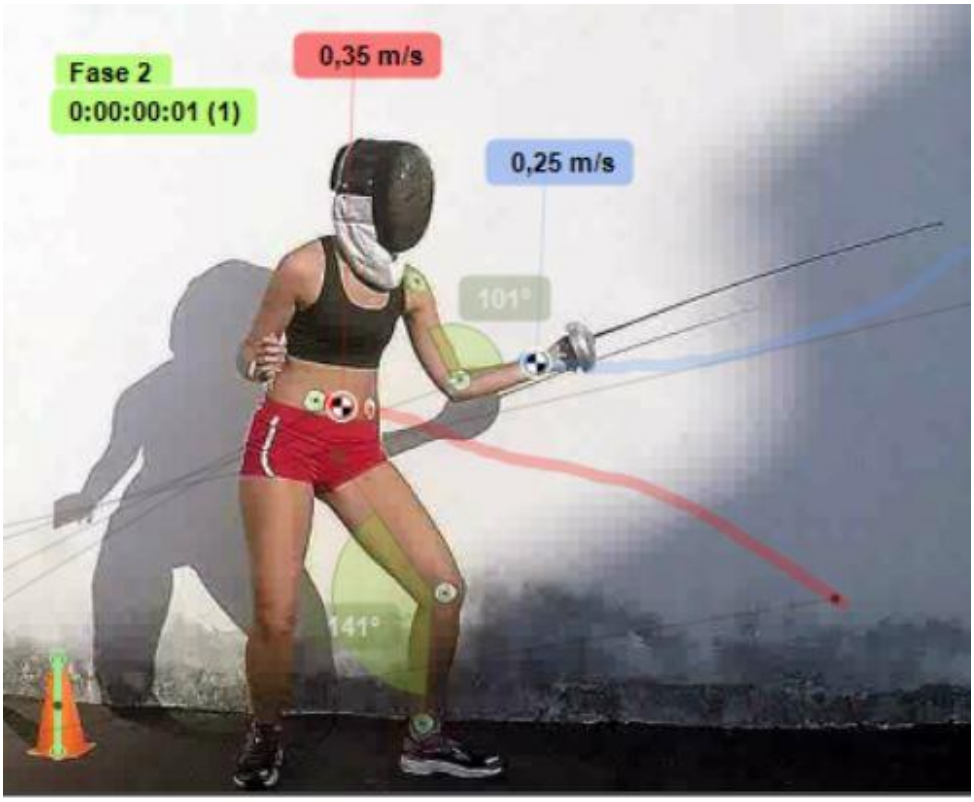

Figura 15 – Inizio Fase 2

Come si può valutare dalla figura 16 la fase 2 dura 51 centesimi di secondo.

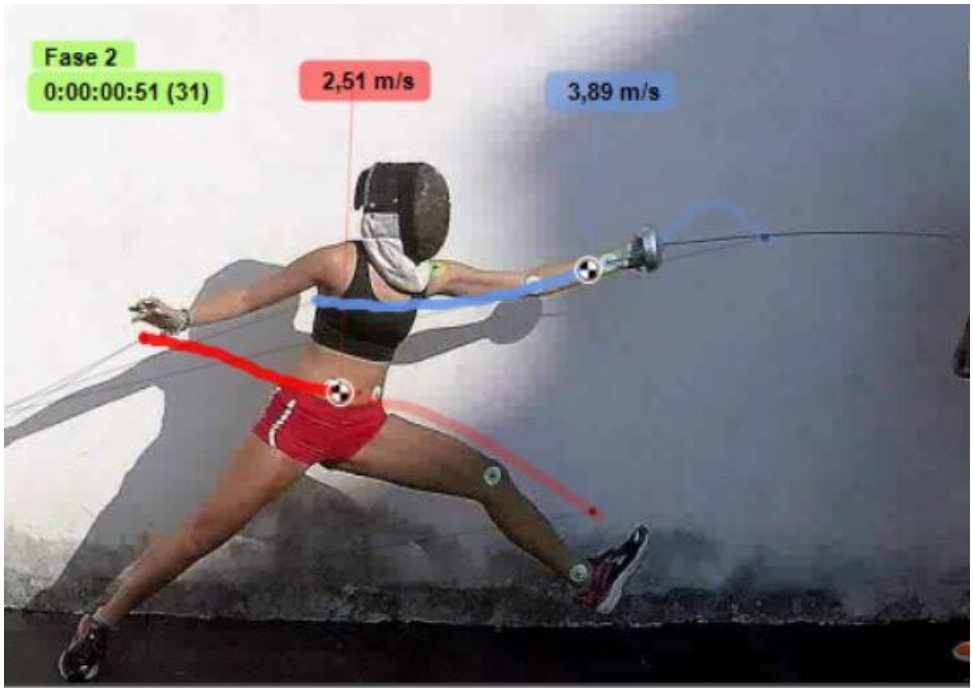

Figura 16 – Termine Fase 2

Come ci si poteva aspettare, questa è la fase più lunga dell'affondo nella quale sono coinvolte le massime velocità.
Infatti, mentre la massima velocità del polso si verifica nell'intervallo che precede l'impatto della lama contro il bersaglio, la massima velocità del centro di massa si verifica leggermente più tardi sul concludersi della fase stessa e all'inizio della fase di volo.

Fase 3

L'affondo si conclude dunque con la fase 3, definita come la "fase di volo":
La fase di volo quindi inizia nel frame successivo alla fase di accelerazione e finisce nel momento in cui il piede anteriore si posa nuovamente al suolo.

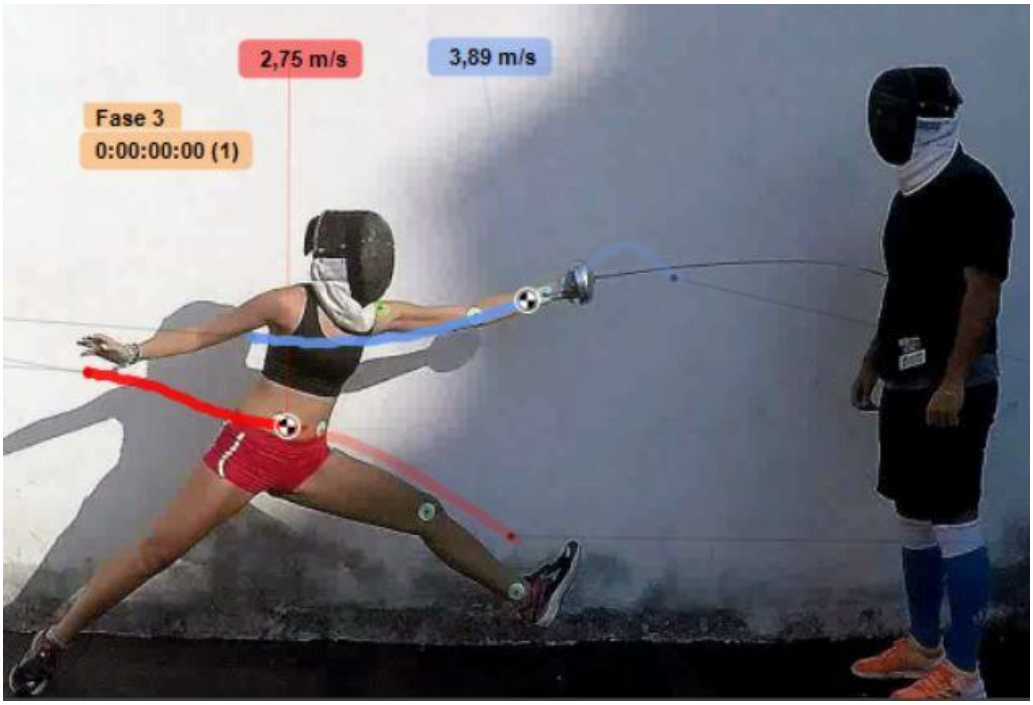

Figura 17 – Inizio Fase 3

Sia l'inizio che la fine di tale fase vengono valutati visivamente, per una durata complessiva di circa 25 centesimi di secondo.

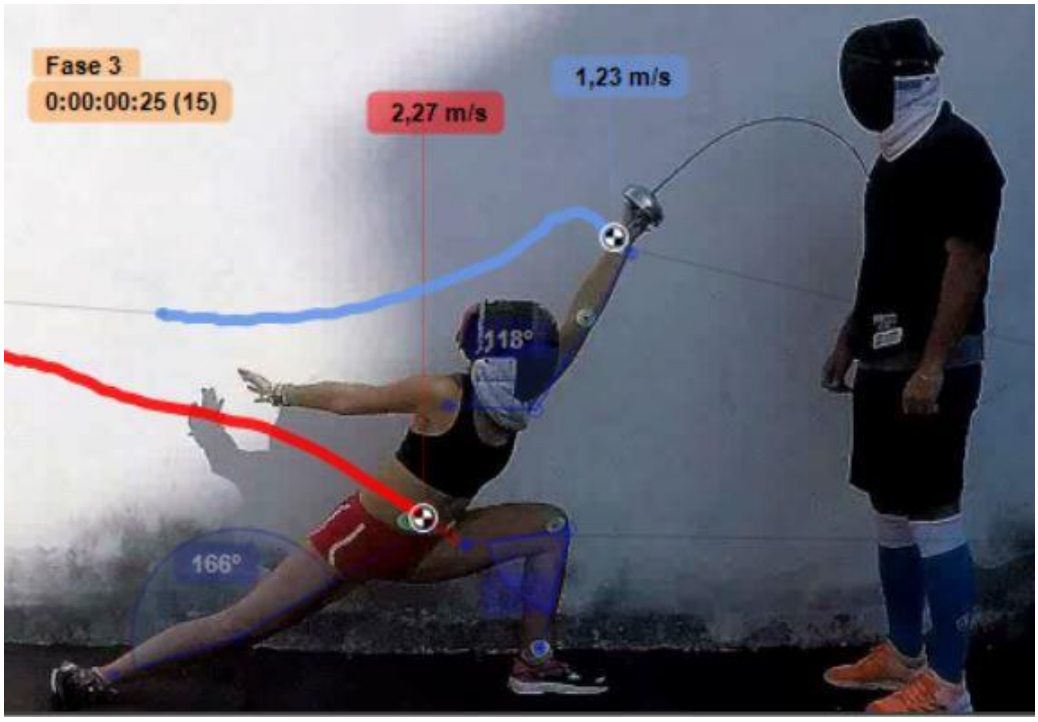

Figura 18 – Termine Fase 3

Nella fase finale si prevede un rallentamento brusco del movimento dovuto all'impatto della lama con il bersaglio ed al contatto del piede con il suolo successivamente al balzo.

Si può dunque constatare che l'intero movimento dell'affondo duri meno di un secondo (la somma delle 3 fasi risulta essere pari a 96 centesimi di secondo). Questo giustifica le elevate velocità del movimento e la prontezza dell'atleta nel prendere una decisione in pochi centesimi di secondo.

Sono stati quindi realizzati i grafici che riflettono gli andamenti di velocità orizzontale, spostamento verticale e posizione orizzontale rispettivamente del polso e del centro di massa.

Dalla figura 19, come ci si aspettava dopo aver fatto le valutazione nelle analisi preliminari, si vede come il picco di velocità del polso, che si aggira intorno ai 3,82 m/s, si verifichi in un istante di tempo precedente al picco di velocità del centro di massa, che si aggira intorno ai 3,50 m/s e si verifica nella parte conclusiva della fase di accelerazione.

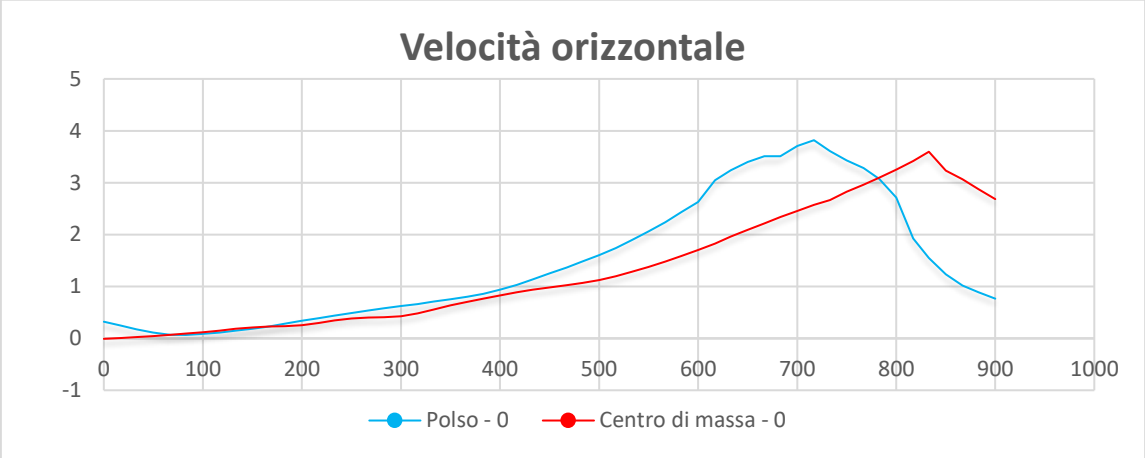

Figura 19 – Velocità orizzontale

Successivamente, sono state valutate le traiettorie degli spostamenti verticali del polso e del centro di massa. Come si può vedere dalla figura 20 , dopo un primo tratto orizzontale il polso tende ad avere una traiettoria crescente mentre per il centro di massa la traiettoria decresce.

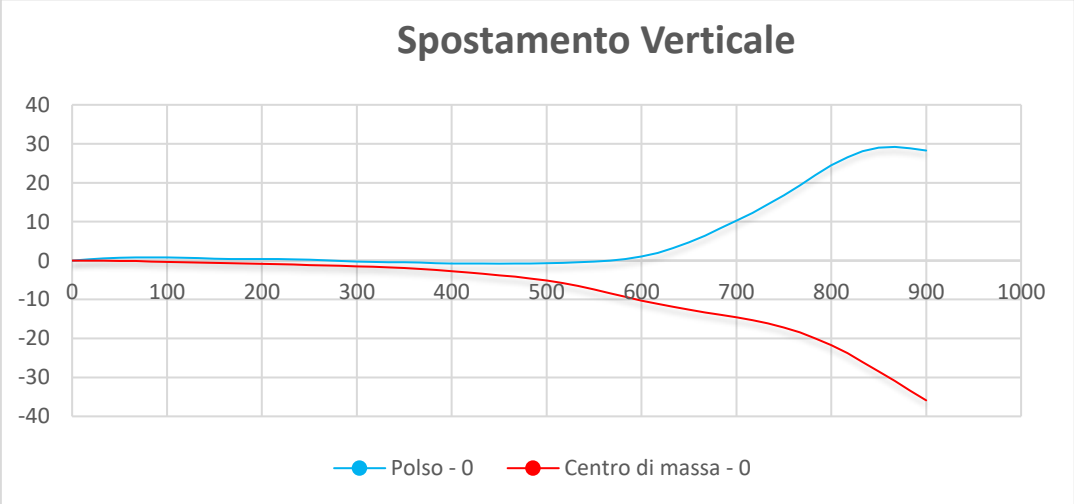

Figura 20 – Spostamento verticale

Infine, attraverso un sistema di riferimento posto all'altezza del suolo alla sinistra del tallone, sono stati illustrati gli andamenti dello spostamento orizzontale del piede e del centro di massa (Figura 21).

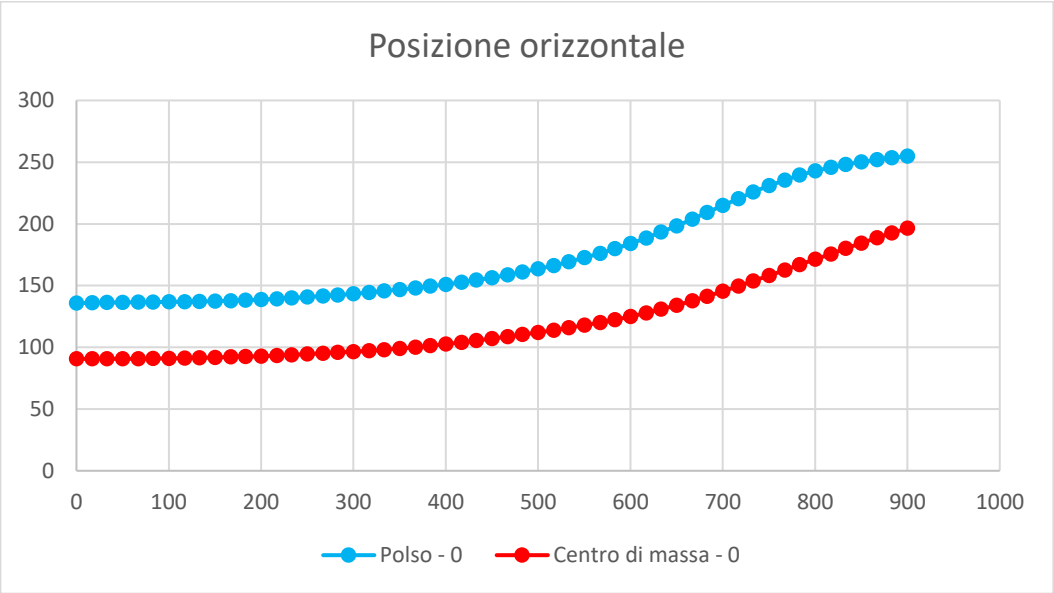

Figura 21 – Posizione orizzontale

Metodi

Una prima analisi pilota è stata effettuata in un laboratorio presso il politecnico di Torino. Il test prevedeva l'utilizzo di un sistema di analisi video (videocamera Optitrack, set di marker) e di un sistema di sensori inerziali per l'acquisizione della cinematica dell'affondo. Il test prevedeva l'esecuzione di alcuni affondi effettuati prima a media e successivamente ad alta intensità per poter identificate il set up ottimale della strumentazione e per valutare le accelerazioni, le traiettorie dei marker, e i range articolari durante gli affondi stessi.

Dopo il test pilota di è ripetuto il test su un atleta presso la palestra ISEF Eugenio Meda utilizzando un sistema di video analisi (Optitrack e marker), un sistema di sensori inerziali, un bersaglio appositamente progettato, un sistema di sincronizzazione.

Nel seguito verranno descritti nel dettaglio le strumentazioni e le acquisizioni effettuate.

Strumentazione

La strumentazione utilizzata consisteva in una videocamera (Optitrack) con marker passivi, un set di sensori inerziali, un pannello progettato e realizzato per questo studio e un sistema di sincronizzazione.

Optitrack

In primo luogo, è stata utilizzata una barra Optitrack V120-Trio, che è in grado di tracciare posizione e orientamento dei corpi rigidi in tutti e 6 i gradi di libertà.
Essa è dotata di 3 telecamere grandangolari con una risoluzione in pixel pari a 40x480 ognuna delle quali pre-calibrata. Le telecamere della barra lavorano attraverso segnalazioni ad infrarossi e quindi necessitano dell'utilizzo di marcatori o marker applicati sui corpi di cui si studia il movimento. In figura 22 è rappresentata la barra Optitrack V120 Trio

Figura 22 – Optitrack V120 Trio

La barra lavora fino a una velocità di 120 frames al secondo supportata dal software Motive, una piattaforma progettata per controllare diversi sistemi Optitrack di Motion Capture per varie applicazioni di tracking. .
Motive non solo consente all'utente calibratura e configurazione del sistema, ma garantisce la possibilità di ottenere anche interfacce per l'acquisizione e l'elaborazione di dati 3D.
Per ottenere informazioni dai dati ricavati in 3 dimensioni Motive lavora tramite la cosiddetta Ricostruzione, che è il processo di compilazione di più immagini bidimensionali ottenute dai marker per poi definire coordinate 3D.

Utilizzando le coordinate 3D dei marker tracciati, Motive riesce quindi a definire il movimento di un corpo rigido a 6 gradi di libertà, riuscendo ad analizzare il dettaglio con precisione millimetrica.

Figura 23 – Dimensioni Optitrack 120 Trio

In figura 23 vengono illustrate le dimensioni della barra Optitrack-120 Trio.
La barra lavora ad una risoluzione di 640x480 pixel con una latenza di 8,3 ms, i dati raccolti vengono valutati secondo il sistema di riferimento della Barra Ottica costruito in modo tale che l'asse delle $\vec{z}$ sia uscente dalla camera.
La barra ha la possibilità di registrare, attraverso la telecamera centrale, dei video nel visibile che possono essere quindi valutati attraverso il software Motive da remoto contemporaneamente alla registrazione del video stesso.
Inoltre, Motive, consente di visualizzare i marker sia con una vista 2D sia con una 3D.
Un altro step importante nel motion tracking è l'assegnazione di etichette o labeling dei marker. Il labeling viene fatto manualmente o automaticamente cliccando sui marker presenti in un file Take registrato. Catturando le traiettorie dei marker attraverso Motive è dunque possibile tracciare il movimento dell'atleta valutandone di conseguenza i parametri di interesse.

Figura 24 – Marker

Si può valutare dalla figura 24 come in questo studio siano stati adottati marker aventi diametro di 16 millimetri.

Sensori IMU

Affiancato alla strumentazione che riguarda la barra ottica, si è stabilito di utilizzare i sensori IMU: " l'unità di misura inerziale o base inerziale nota anche come IMU è definito da una apparecchiatura elettrica basato su sensori inerziali, come accelerometri e giroscopi, che permettono di monitorare con un certo grado di precisione la dinamica di un mezzo in movimento, il quale può essere utilizzato sia da computer che da un sistema di bordo per effettuare eventuali correttivi".

Il sensore IMU è caratterizzato fondamentalmente da sensori giroscopici, accelerometri e magnetometri.

Una unità IMU è, quindi, un sensore che consente di misurare velocità angolare, campo magnetico e accelerazione. Ogni misura viene fatta su un sistema a 3 assi. Avremo così 3 dati per la velocità angolare (x,y,z), 3 dati per il campo magnetico (x,y,z) e 3 dati per l'accelerazione (x,y,z). In tutto avremo 9 variabili che esprimono la posizione nello spazio della nostra scheda. Grazie a queste variabili possiamo stabilire se un oggetto è in movimento, se sta traslando, ruotando o se è inclinato rispetto al pavimento. In questo preciso caso è stato definito un sistema di riferimento globale secondo il quale sono state calcolate accelerazioni e velocità angolari.

L'accelerazione è definita come la variazione della velocità in un determinato lasso di tempo. Per esempio, potrebbe essere valutata come una vibrazione. Se si fissa il sensore IMU ad un oggetto, si può valutare esattamente se ci siano vibrazioni, con quale frequenza e in che direzione. Avendo valutato il sistema di riferimento a 3 assi e valutando l'intensità dell'accelerazione su ciascun asse, si può capire sia la direzione e l'origine della perturbazione.

I valori di accelerazione possono essere utilizzati per individuare l'inclinazione di un oggetto, per valutarne invece la rotazione è necessario calcolare la velocità angolare: la velocità angolare misura il numero dei gradi che al secondo vengono percorsi attorno ad un asse.
Analogamente all'accelerazione, conoscendo le velocità sui 3 assi, possiamo ricavare la velocità angolare reale del sistema

Pannello elettronico

Il pannello elettronico è inspirato al tipico pannello utilizzato durante i comuni esercizi di scherma prodotto dall'azienda Favero (www.favero.com).
Come si può facilmente vedere dalla figura 25 il pannello è rettangolare e presenta 5 bersagli.

Figura 25 – Bersaglio elettronico Favero

I led dei centri sono rossi e verdi, quando infatti il centro viene colpito dalla punta della spada diventa verde segnando in maniera corretta il colpo appena avvenuto.
Per questo studio è stato progettato e realizzato un pannello un po' diverso da quello appena descritto. Il pannello progettato prevedeva l'accensione di un LED ad indicare il bersaglio tra i 5 da colpire senza feedback diretti tramite cambi di colore per l'utente. Per far sì che questo fosse possibile è stato deciso di strutturare la costruzione del pannello in due macrosezioni: struttura e circuiti.

Struttura

L'idea è quella di ricreare il pannello attraverso la combinazione di vari strati che ne definissero la struttura

1. un primo strato di compensato di grandezza 50x70 cm
2. uno strato di 3 cm di gommapiuma 50x70 cm
3. un foglio di compensato 50 x70 cm
4. una cornice formata dall'intreccio di tre listelli 2x2 cm
5. un foglio di compensato 50x70 cm
6. 3 strisce di Plexiglas 3x50 cm

Figura 26 - Esploso Bersaglio in SolidWorks

In Figura 26 è rappresentato il particolare dell'esploso del pannello elettronico nelle sue parti fondamentali.

In primo luogo, sono stati disegnati 5 bersagli sul pannello (1) Il bersaglio centrale è stato disegnato prendendo come centro il centro del foglio di compensato. Per quanto riguarda gli altri 4 bersagli, invece, sono stati individuati i 4 centri caratterizzati dall'intersezione delle diagonali dei 4 rettangoli formati dalle mediane del pannello.
Ogni bersaglio è stato poi suddiviso in 3 parti distinte:

1. Un anello esterno di colore verde con diametro esterno pari a 10 cm e diametro interno pari a 6 cm
2. Un anello centrale di colore giallo con diametro esterno pari a 6 cm e diametro interno pari a 2 cm
3. Una circonferenza rossa interna con diametro pari a 2 cm

Tutti i bersagli sono stati colorati utilizzando pennarelli (GIOTTO) specifici per compensati e legni.
Al contrario del pannello commerciale è stato deciso di posizionare i LED identificativi del bersaglio non al centro del bersaglio stesso, ma superiormente.
Sono stati effettuati 5 fori del diametro di 2 cm ad una distanza verso l'alto di 7 cm dal centro di ogni singolo bersaglio.
La parte posteriore del foglio di compensato, quindi la parte sulla quale non vi sono disegnati i bersagli, è stata incollata attraverso una colla per legni ad un rettangolo di gomma piuma (2) sempre di grandezza 50x70 cm e avente uno spessore di 3 cm. Lo scopo di tale strato è quello di attutire e smorzare gli affondi sul bersaglio ed evitare sia che la struttura si potesse danneggiare sia che la lama della spada, vista l'elevata rigidità della struttura del pannello, potesse rompersi. Lo strato di gommapiuma è stato precedentemente forato anch'esso nei punti corrispondenti ai fori del foglio di compensato (1).
Su di un secondo foglio di compensato (3) sempre di grandezza 50x70 cm sono stati montati dei porta LED in corrispondenza sia dei fori dello strato di gomma (2) piuma sia del primo foglio di compensato (1). Sono stati dunque inseriti i LED all'interno dei porta LED ed il foglio di compensato è stato incollato all'altra estremità dello strato di gomma piuma.

Figura 27 – Vista frontale pannello

È stata costruita una canalina nella parte posteriore del foglio di compensato (3) sul quale sono stati montati i porta LED appunto per convogliare tutti i Jumper che sarebbero serviti al collegamento elettrico dei LED stessi.

Al fine di proteggere il circuito elettrico è stata montata una cornice di supporto (4) sulla parte posteriore del foglio di compensato (3) dove sono stati montati i porta LED composta dall'unione di 3 listelli di grandezza 2x2 cm ed infine è stato applicato un ultimo foglio di compensato per chiudere la struttura (5). La cornice (4) ha lo scopo di evitare che i porta LED ed i rispettivi jumpers (i cavi che collegano i LED al circuito elettrico) potessero danneggiarsi successivamente ad un urto troppo violento causato da un affondo durante il test.

Al fine di proteggere i LED inoltre sono stati applicate 3 strisce di plexiglas dello spessore di 3 mm (6) in corrispondenza dei fori in modo da non rischiare che la lama della spada potesse accidentalmente rompere il LED entrando nel foro.

Circuiti

Per quanto riguarda la parte dei circuiti la scelta è ricaduta sull'uso dell'hardware Arduino, una piattaforma hardware composta da una serie di schede elettroniche dotate di un microcontrollore.

Ogni led è stato collegato con opportuna saldatura ad un PIN di Arduino e successivamente collegato con il pin Ground di Arduino stesso.

È stata dunque calcolata la resistenza adatta per i led utilizzati:

Innanzitutto, occorre conoscere la tensione di alimentazione e il consumo di corrente del LED che dobbiamo far illuminare. Grazie alla scheda tecnica fornita dal produttore i dati dovrebbero essere valutati. Considerando però che, se si possiede un LED di cui non si conosce la provenienza, è praticamente impossibile risalire al produttore. Ci si può quindi affidare ai valori descritti in Figura 28 valutati in base alla differenza del colore del diodo

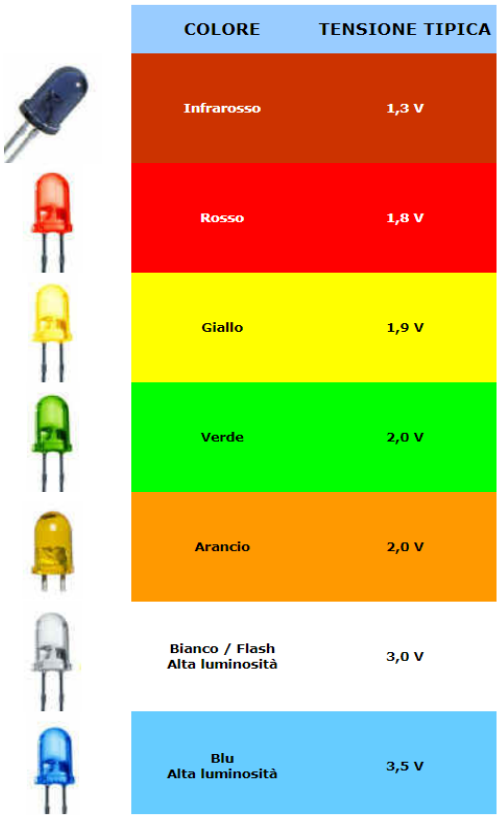

Figura 28 - Voltaggio LED

Una volta ottenuto i dati del LED e conoscendo la tensione che abbiamo a disposizione, è possibile calcolare il valore e la potenza necessaria della resistenza da applicare al circuito.

$$R = V/A$$

- R = resistenza (Ohm)
- V = Tensione (Volt)
- A = corrente (Ampere)

In questo caso sono state applicate delle resistenze da 220 Ohm

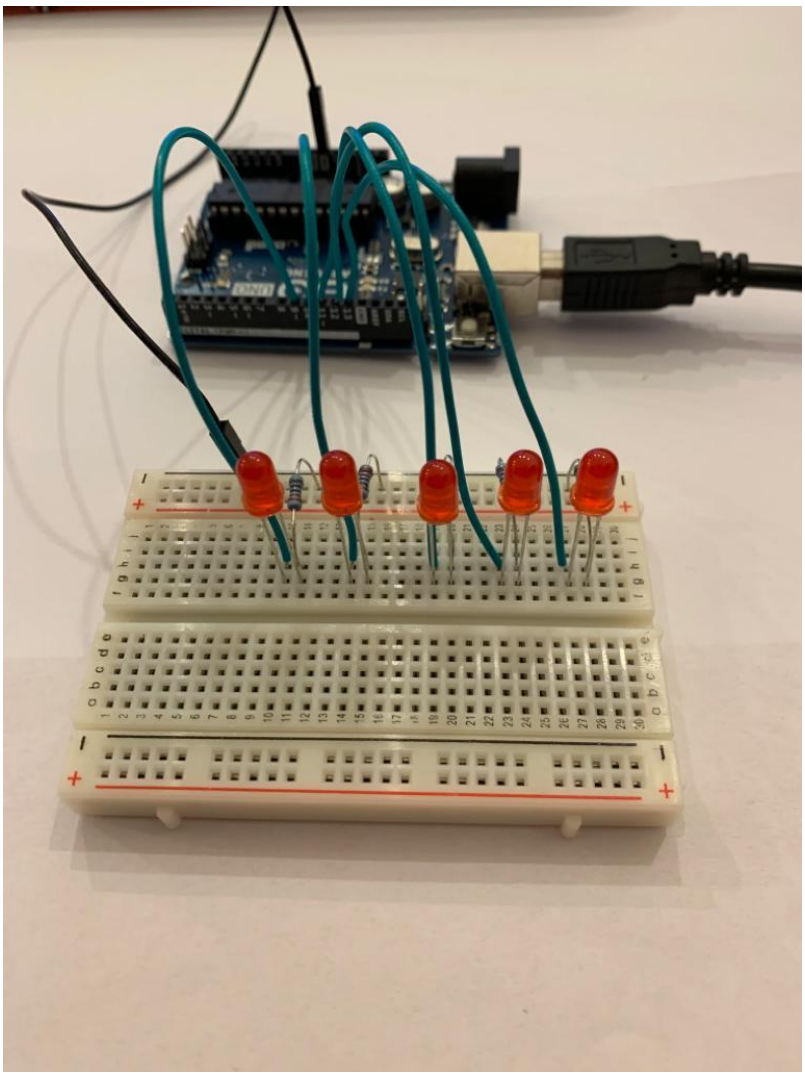

Figura 29 – Circuito elettrico

Si può osservare dalla figura 29 come ogni led sia collegato rispettivamente ad una resistenza che a sua volta viene collegata al PIN di ingresso di Arduino.

Inoltre, ogni LED viene ulteriormente collegata attraverso un diverso jumper all'uscita GnD (terra) di Arduino.
Tale circuito è stato adottato quindi per la struttura del pannello prima descritta.
È stata costruita una canalina che convogliasse tutti i jumper che collegano i Led ai PIN ed infine la scheda Arduino è stata chiusa in una scatola nera incollata attraverso uno stratch biadesivo sul fondo della struttura del bersaglio.

Figura 30 – Pannello elettrico

Tester per la sincronizzazione

Il pannello è stato sincronizzato con la barra Optitrack.
Al fine di ottenere una sincronizzazione adeguata tra il pannello elettronico e la barra V-120 Trio di Optitrack è stato scelto l'utilizzo di un Tester (riportato in Figura 31).

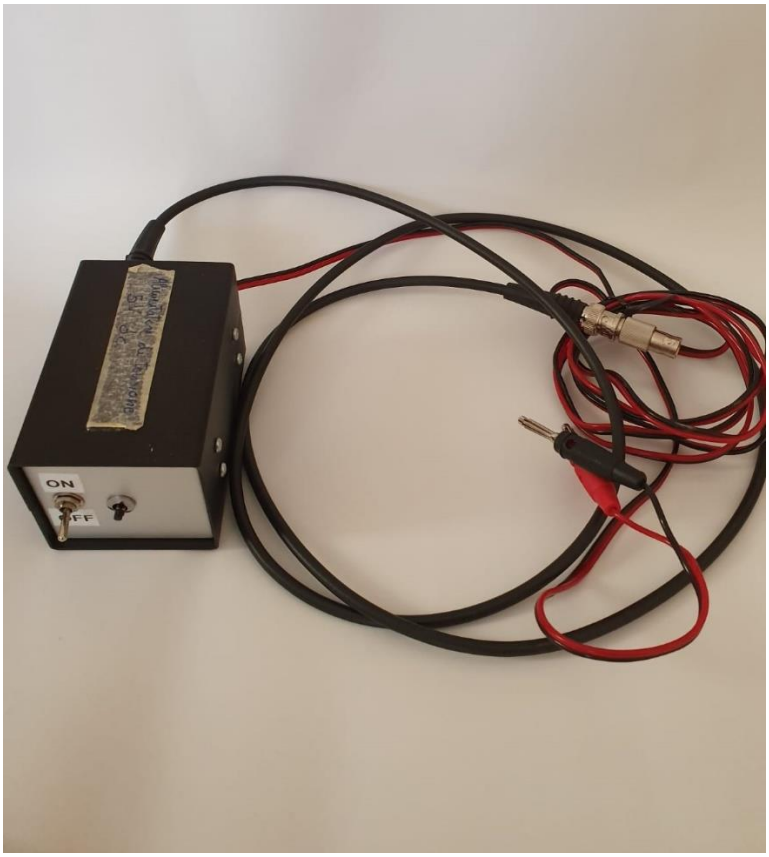

Figura 31 - Tester

Il tester è formato principalmente da 4 elementi:

1. Un interruttore On/Off
2. Un led infrarosso collegato all'interruttore On/Off
3. Una coppia di cavi rosso nero collegabili ad un alimentatore
4. Un cavo BNC in grado di inviare in uscita una tensione di 5V

Il tester è stato collegato ad Arduino nello stesso modo in cui sono stati collegati i LED: il primo jumper è stato collegato a terra ed il secondo, attraverso una resistenza sempre di 220 Ohm, è stato collegato con un pin di Input su Arduino.

Il tester è stato dunque collegato ad un alimentatore attraverso un doppio cavo classico rosso e nero.
Il funzionamento della strumentazione quindi prevede che nel momento in cui si va ad accendere l'interruttore del tester una tensione di 5V verrà inviata ad Arduino che sarà programmato in modo da far partire il programma solo in quel momento. Contemporaneamente sul tester si accende il led infrarosso che verrà letto dalla barra Optitrack come fosse un marker.
In questo modo adattando il programma di Arduino al nuovo Input dato dal tester si riuscirà a sapere quanto tempo intercorre tra l'istante di accensione del led corrispondente al bersaglio e l'istante di inizio di movimento dell'atleta per colpirlo.

Software

Il pannello elettronico lavora con 5 led posti al centro dei fori sviluppati sul foglio di compensato. Attraverso Arduino è stato possibile coordinare l'accensione dei LED. Tale accensione è stata programmata per avvenire con una sequenza casuale.
In primo luogo, è stato definito una variabile di accensione dei LED dovuta alla sincronizzazione del pannello elettronico ed il Tester. Per sincronizzare i due sistemi è stata scelta una soglia pari a 3V sotto la quale il pannello non attiva l'accensione della sequenza di LED, in questo modo nel momento in cui l'interruttore del tester viene acceso e la luce infrarossa si accende, una tensione da 5 V viene inviata nella scheda madre di Arduino che quindi fa partire l'accensione della sequenza dei LED.
Prima che il test cominci l'atleta ha a sua disposizione 20 secondi nei quali può sistemarsi in posizione di guardia. Trascorso questo tempo, si accenderanno 6 led con sequenza casuale. Ogni led rimane acceso per 2 secondi in modo da permettere all'atleta di seguire il bersaglio con l'occhio durante l'intero movimento di affondo. Tra l'accensione di un led e quello successivo viene concesso all'atleta un tempo variabile tra i 5 ed i 10 secondi in modo da consentire all'atleta un pieno recupero della posizione di guardia prima di effettuare l'affondo successivo.
Per introdurre una variabilità continua nella sequenza di accensione dei LED è stato deciso di adottare un sistema If/Else correlato alla generazione di un numero intero randomico variabile appunto tra 1 e 5.

Infine, nella parte finale del programma sono state impostate le funzioni di stampaggio in modo da poter ottenere come Output la sequenza dei led ed i tempi di recupero di ogni singolo test.
L'introduzione del bersaglio con accensione di LED randomica (sia come tempi che come sequenza) ha permesso di effettuare uno studio più realistico grazie alla generazione di un parametro di incertezza. In questo modo infatti, è stato possibile ricreare una simulazione di assalto, dove il pannello costituisce l'avversario mentre le posizioni dei vari led definiscono la riproduzione dell'imprevedibilità di ogni singolo assalto in cui la zona da colpire non sarà mai sempre la stessa.
Per tale motivo il bersaglio si troverà ad un'altezza di 1,7 metri da terra in modo da riprodurre l'altezza media maschile di un atleta in gara.
Secondo uno studio spagnolo [6] l'introduzione di un parametro di incertezza come quello definito dal bersaglio dovrebbe generare un ritardo nei tempi di reazione dell'atleta durante i test. In figura 32 una veloce analisi dei tempi di reazione

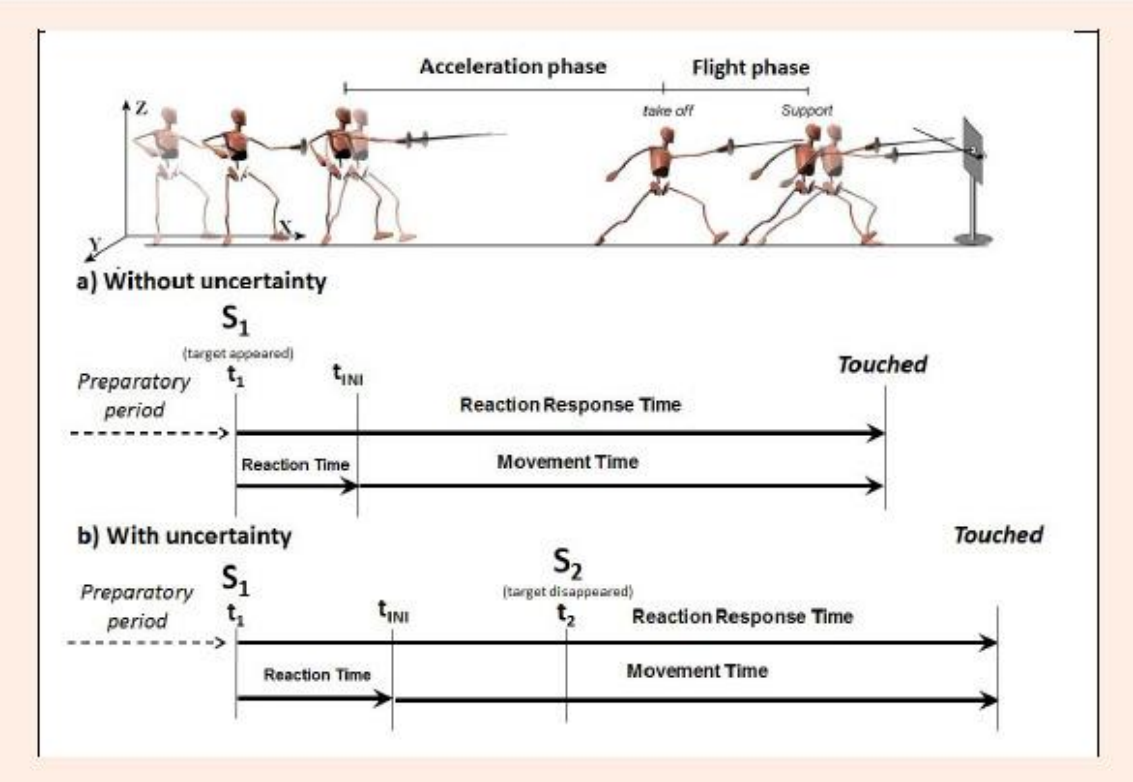

Figura 32 – Tempo di reazione (se è presa dall'articolo citato, riportare la citazione qui nella descrizione).

Test pilota

Per effettuare il primo test di prova della strumentazione è stato scelto un atleta di 25 anni, altezza 180 centimetri e peso 85 Kg.

Dopo un riscaldamento di 10 minuti che prevedeva:

1. 5 minuti di corsa
2. Skip ginocchia al petto
3. Skip basso
4. Corsa calciata ad alta intensità
5. Doppio impulso a bassa e ad alta intensità
6. Corsa incrociata
7. Corsa laterale

È stato deciso di armare l'atleta con una spada maraging di 90 centimetri utilizzata dallo stesso durante le competizioni in modo da garantire la massima veridicità del movimento.

Non è stato utilizzato alcun bersaglio ne manichino durante gli affondi.

In primo luogo, sono stati posizionati 15 markers sul corpo dell'atleta:

- 3 sul piede anteriore (malleolo, laterale e punta) [figura 33]

Figura 33 – Markers piede anteriore

- 2 sul piede posteriore (laterale e punta)
- Epicondilo mediale ginocchio anteriore
- Epicondilo mediale ginocchio posteriore
- Creste iliache
- Centro di massa (posizionato in corrispondenza della vertebra L5)
- Spalla armata (acromion)
- Spalla disarmata (acromion)
- Polso disarmato
- Polso armato
- Coccia
- Punta spada

In figura 34 viene rappresentato l'atleta nella configurazione finale prima di effettuare le analisi.

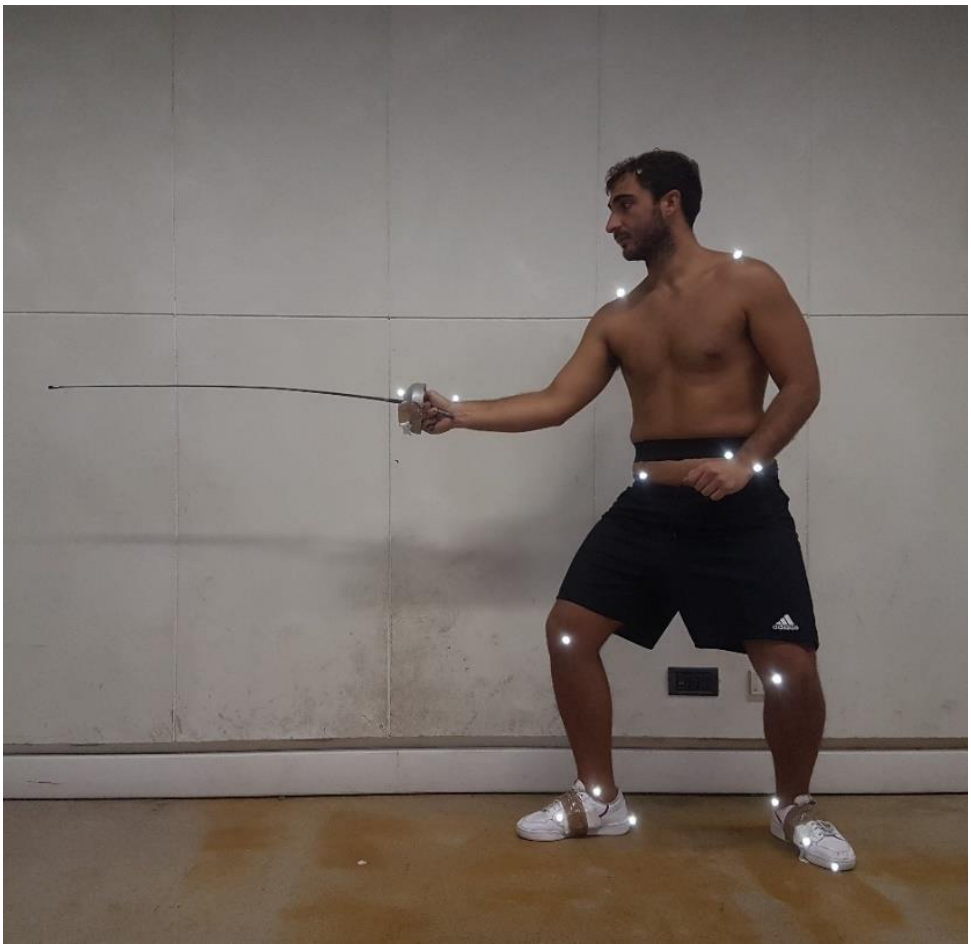

Figura 34 – Atleta in fase pre-test

In secondo luogo, per poter identificare in maniera corretta il sistema di riferimento sono stati posizionati altri 3 markers per terra definiti successivamente come A, B e C. [figura 35]
A e B sono stati posizionati seguendo l'asse sul quale si sposta l'atleta durante l'affondo.
È stato scelto di posizionare C alla destra dei due punti precedentemente definiti in modo da ottenere un vettore di supporto che garantisse la possibilità di valutare gli altri due assi.

Figura 35 – Sistema di riferimento globale

Tale sistema è stato coadiuvato da una valutazione delle accelerazioni attraverso l'utilizzo di 5 sensori IMU (ATR – Promotions, TSND121) posizionati su:

1. Coccia
2. Piede anteriore
3. Piede posteriore
4. Vertebra L5 (centro di massa)
5. Terra

Il sensore a terra è stato posizionato all'interno del triangolo formato dai tre marker utilizzati per costruire il sistema di riferimento globale [figura 35], è stato posto l'asse delle x concorde con l'asse di movimento dell'atleta quindi corrispondente anche all'asse sul quale sono stati posizionati i marker denominati A e B.

In questo modo oltre ad avere un sistema di riferimento globale è stato possibile anche definire un sistema di riferimento su cui sono state valutate le accelerazioni e le velocità angolari.

Per quanto riguarda il sensore posizionato sul centro di massa è stato scelto di posizionare il sensore inerziale la colonna vertebrale in corrispondenza della vertebra L5.
Come già detto durante l'introduzione, infatti, è stato definito trascurabile l'errore dovuto alla valutazione del centro di massa in corrispondenza della vertebra L5.
È stata utilizzata una fascia elastica per mantenerlo fermo in posizione (in figura vediamo l'IMU senza fascia per permettere la visione completa del sensore e del suo posizionamento). L'orientamento del sensore inerziale su L5 corrisponde a: x positivo verso l'alto, y positivo verso sinistra, z prodotto vettoriale dei primi due.

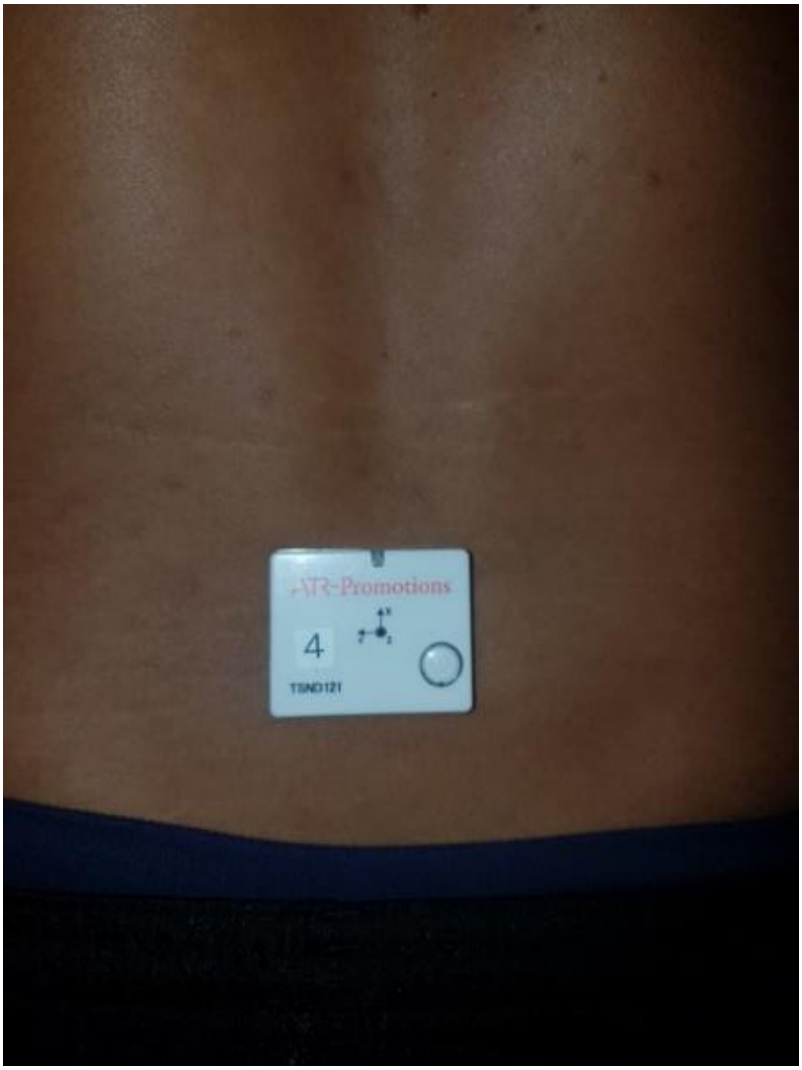

Figura 36 – Sensore IMU vertebra L5

Per quanto riguarda i piedi è stata scelta la parte laterale delle scarpe in quanto l'unica zona della scarpa a non essere coperta di plastica ma di tessuto. In questo caso l'asse delle $\vec{y}$ è stato scelto discorde lungo il movimento dell'atleta, l'asse $\vec{x}$ positivo verso l'alto e quello delle $\vec{z}$ quindi, uscente dalla scarpa.

In questo modo è stata garantita un'aderenza costante dei sensori sia sul piede anteriore che su quello posteriore [figura 33]

Per quanto riguarda il posizionamento del sensore sulla coccia della spada è stata valutata come parte ideale per il posizionamento dello stesso la superfice sottostante all'attacco della lama sulla coccia.

Figura 37 – Sensore IMU coccia della spada

In figura 37 il sensore IMU appartenente alla valutazione delle accelerazioni e delle velocità angolari sulla coccia della spada.
Come si può notare dalla figura prima citata è stato considerato l'asse $\vec{x}$ positivo verso l'alto, l'asse $\vec{y}$ positivo verso sinistra ed infine l'asse $\vec{z}$ uscente dalla coccia.
Durante il test pilota sono state effettuate acquisizioni con differenti combinazioni di parametri per i sensori inerziali e differenti posizionamenti della videocamera Optitrack. Tali prove sono servite per identificare la posizione migliore dell'atleta in modo che la barra Optitrack riuscisse a leggere tutti markers compreso quello della punta che durante il movimento dell'affondo tendeva ad uscire spesso dal campo di acquisizione. Inoltre, tali prove hanno permesso di indentificare il corretto range di accelerazioni, velocità angolari, e frequenza di campionamento da impostare per i sensori inerziali. Nella figura 38 viene illustrata la sistemazione della barra e la distribuzione dei markers e dei sensori inerziali sul corpo dell'atleta.

Figura 38 – Set prova

Il test pilota ha permesso di stabilire i range dei parametri da utilizzare durante i test. In particolare, per sensori inerziali:

- Accelerazione: 16 g
- Velocità angolare: 2000 dps
- Frequenza campionamento: 1000 Hz

Analisi del sistema di riferimento

È stato possibile effettuare l'analisi della posizione dei marker attraverso il software Motive.

In primo luogo, si è costruito un sistema di riferimento globale identificando con A, B e C i tre marker posizionati per terra durante le prove (figura 25)

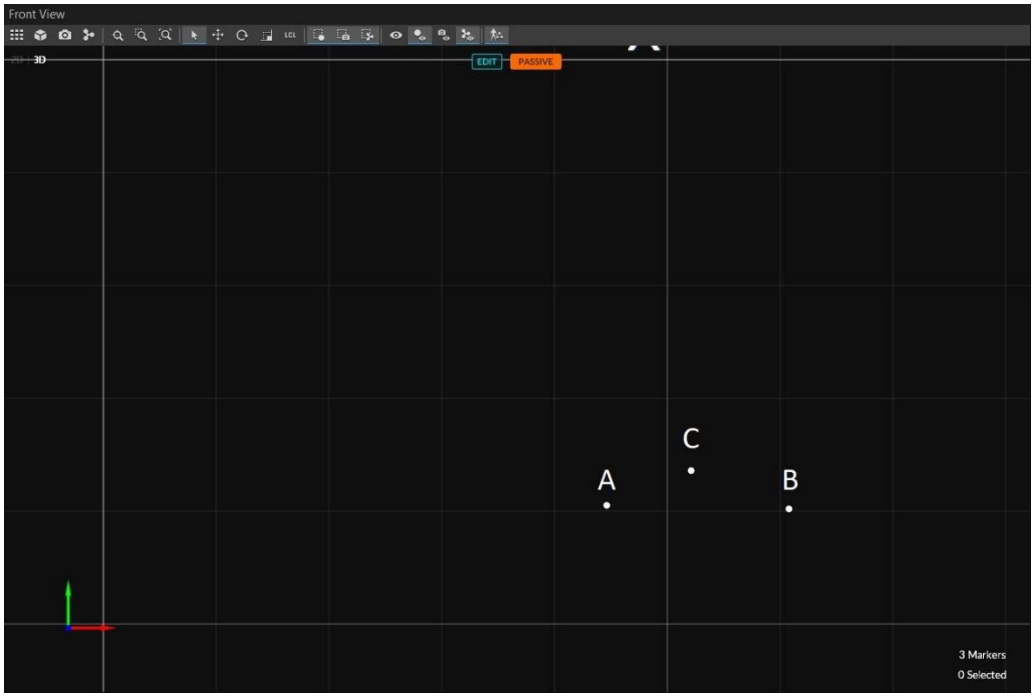

Figura 39 – Sistema di riferimento Motive

Attraverso l'esportazione delle coordinate di tali punti, è stato possibile definire i vettori che compongono il sistema di riferimento:

- La differenza tra A e B definisce la $\vec{x}$ del sistema; la differenza tra A e C definisce un vettore di supporto di conseguenza, $\vec{z}$ è il risutato del prodotto vettoriale tra i due vettori sopracitati.
- Lo stesso discorso è stato adottato per la valutazione del vettore $\vec{y}$ che è stato costruito facendo il prodotto vettoriale di $\vec{x}$ e di $\vec{z}$

Labeling

Per potere effettuare un corretto labeling dei marker in primo luogo bisogna identificare un punto di inizio valutazione della traiettoria.

Valutando il piano $\overrightarrow{xy}$ del sistema di riferimento, si identifica il minimo della coordinata di un marker e lo si labelizza come start.

In questo specifico test, è stato chiesto all'atleta di effettuare un piccolo urto contro il suolo con il piede anteriore in modo da poter identificare lo start.

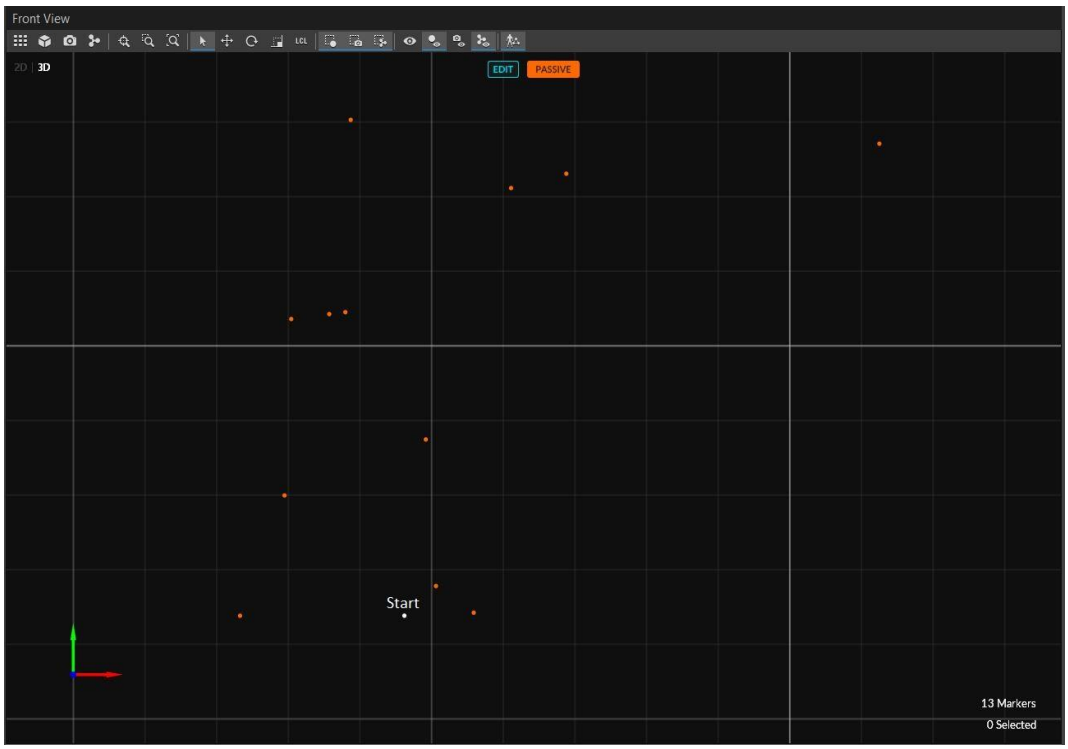

Figura 40 – Labeling Start Motive

Come si può vedere dalla figura 27 è stato scelto come start il marker posizionato sul tallone del piede destro.

Una volta definito lo start si è passati al labeling vero e proprio: Per una migliore definizione di ogni parte del corpo si è scelto di adottare sfumature di uno stesso colore per tutti i markers posizionati nella stessa zona del corpo (piede destro, piede sinistro, ginocchia, busto, spalle, mani).

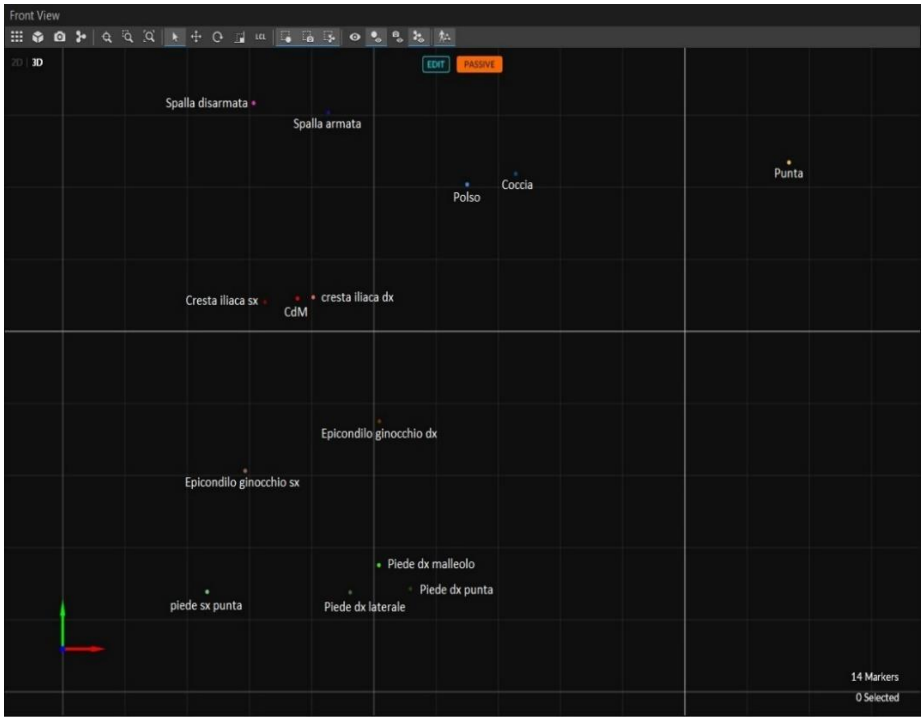

Figura 41 – Labeling markers Motive

In figura 41 viene rappresentato il labeling legato alla descrizione per ogni marker. Durante la fase di volo, come si può vedere dalla figura 42, fatta eccezione per il marker posto sulla zona laterale del piede posteriore, i markers sono tutti ben visibili.

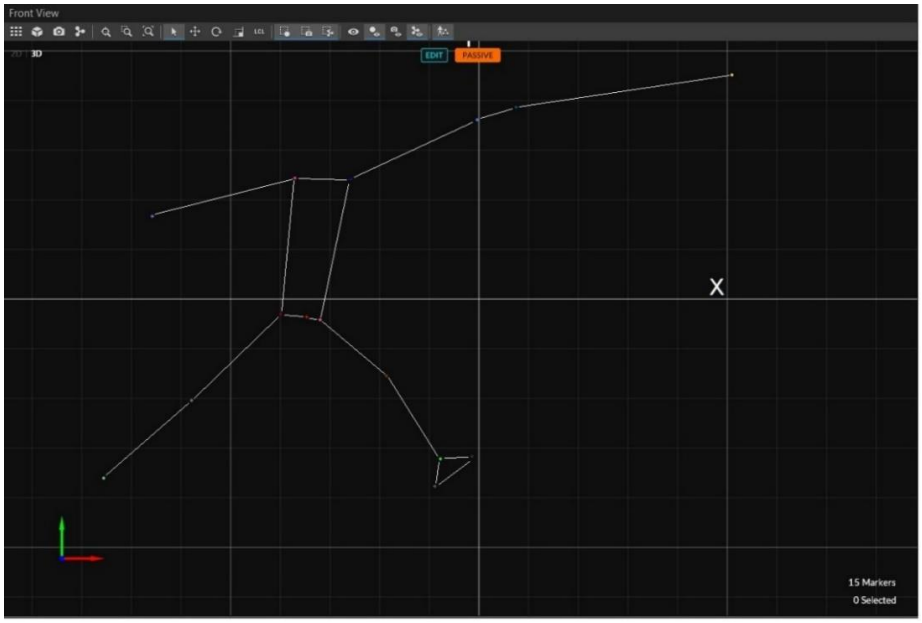

Figura 42 – Labeling fase di volo

Durante la fase finale dell'affondo insorgono i primi problemi:
Il marker posizionato sulla cresta iliaca destra tende a scomparire dalla vista della barra ottica poiché offuscato dal marker posto sul Centro di Massa.
Si trascurerà quindi l'errore quando si andrà a valutare l'angolo definito dal ginocchio anteriore considerando il centro di massa al posto della cresta iliaca.
Inoltre, spesso durante la prova, alcuni marker tendono a staccarsi più facilmente di altri facendo quindi perdere il tracciamento della barra.
Questo avviene poiché alcune parti del corpo come l'epicondilo tendono ad avere una superficie non adatta ai markers. È stato quindi deciso di adattare il marker nella posizione più vicina possibile alla zona di interesse ma in una zona che permettesse al marker stesso di non staccarsi eventualmente durante la prova.

Risultati

Le prime analisi sono state effettuate sulla veridicità dei dati forniti dalla barra.
Per far sì che ciò fosse possibile è stato scelto di creare lo stick diagram, ovvero il diagramma del corpo, ottenuto collegando i vari punti definiti dai markers nei vari frames di tempo.
Per fare ciò è stato utilizzato Matlab, considerato il mezzo ideale per una sperimentazione biomeccanica di questo tipo.
Come campione per analizzare i vari dati è stato deciso di utilizzare uno degli affondi registrati poiché risultato il migliore per visibilità di marker e pulizia tecnica del gesto.
Il movimento comprende un'unica spinta in avanti da parte dell'atleta e si conclude nel momento in cui il piede anteriore tocca il suolo

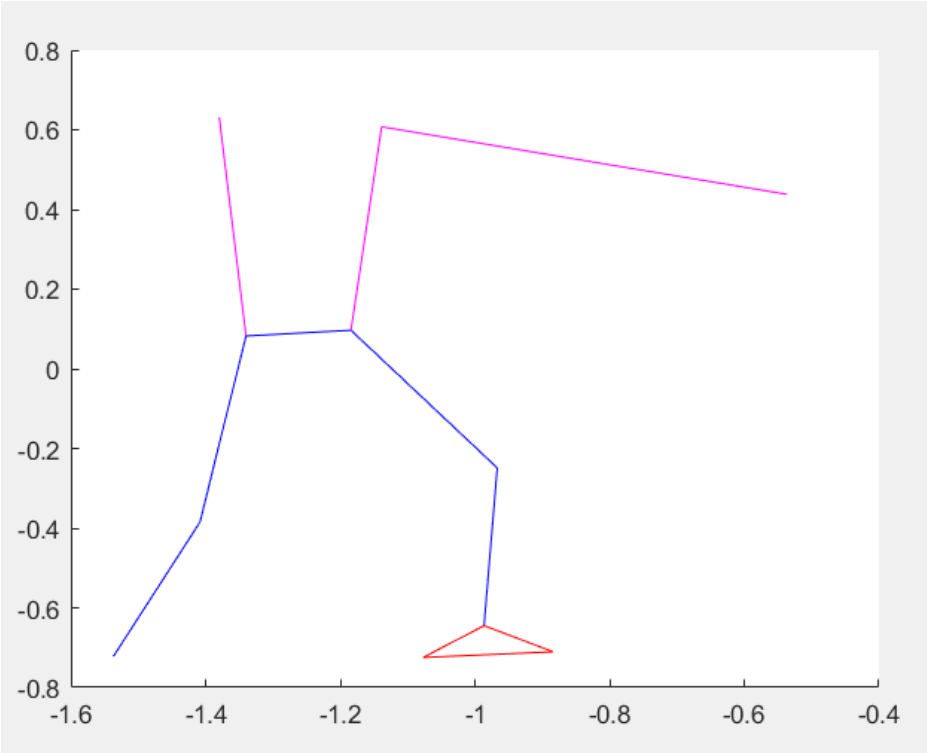

Figura 43 – Stick Diagram Matlab in guardia

In figura 43 viene raffigurato lo stick diagram in posizione di guardia da parte dell'atleta.
Si può notare come i collegamenti tra punta, malleolo e parte laterale del piede sinistro siano stati raffigurati con il colore rosso.

Per quanto riguarda la parte inferiore del corpo (i collegamenti tra il malleolo del piede destro con l'epicondilo e la cresta iliaca destra) sono stati rappresentati con il colore blu.

Stesso tipo di scelta è stato effettuato sulla parte simmetrica inferiore sinistra del corpo, quindi i collegamenti tra cresta iliaca sinistra, epicondilo sinistro e malleolo del piede posteriore.

Infine, è stato adottato il colore magenta per la parte superiore che prevede i collegamenti tra le creste iliache e le due spalle e tra la spalla armata e il polso armato dell'atleta.

Tali scelte sono state adottate in modo da consentire una maggiore comprensione nello studio della biomeccanica del movimento suddividendo quindi il corpo in tre grosse sezioni:

1. Piedi
2. Parte inferiore del corpo
3. Parte superiore del corpo

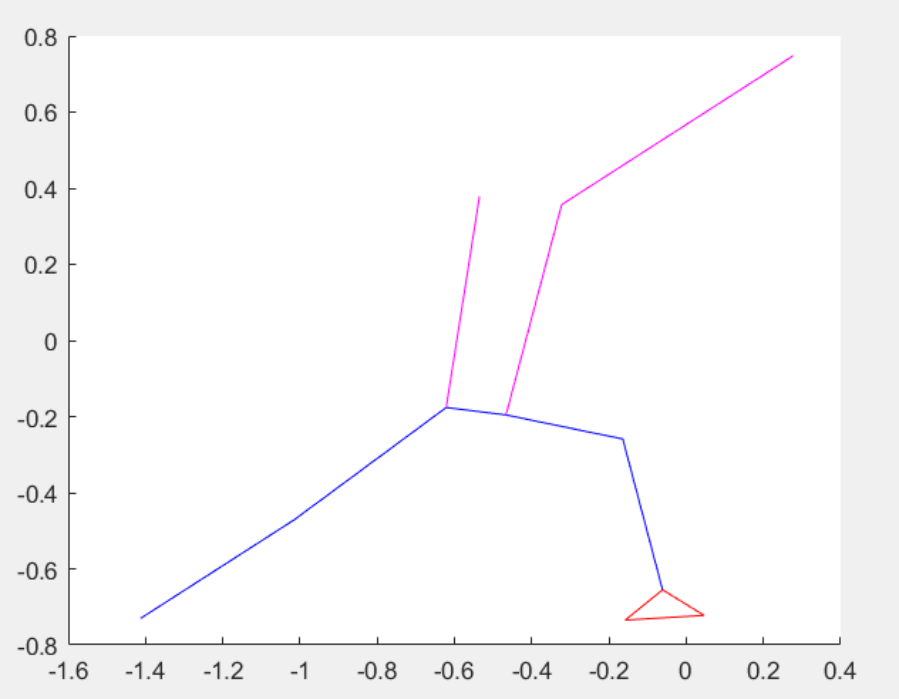

Figura 44 - Stick Diagram Matlab al termine della fase 3

Come si vede in figura 44, i risultati ottenuti dalla barra riguardanti il tracciamento dei marker durante il movimento dell'atleta coincidono con i risultati ottenuti dal codice scritto attraverso Matlab.

Angolo di interesse

Dopo aver valutato la correttezza dei dati si è analizzato l'andamento dell'angolo definito dall'articolazione del ginocchio anteriore.
È stato scelto tale angolo poiché da un punto di vista sia tecnico che biomeccanico rappresenta l'angolo di maggiore interesse in questo studio.
In figura 43 la rappresentazione dell'angolo del ginocchio anteriore in funzione del tempo

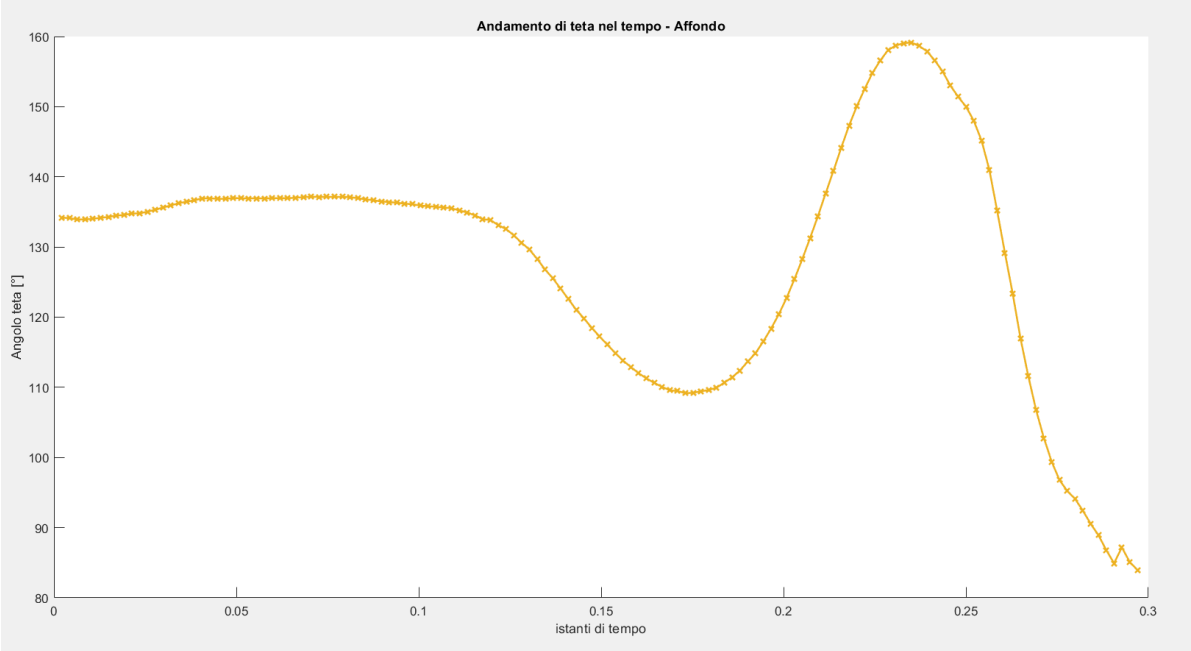

Figura 45 – Andamento teta

L'angolo parte da un valore iniziale compreso tra i 130° e i 140° e rimane costante per più di un decimo di secondo.
Questo evento è dovuto alla preparazione dell'atleta che rimane in guardia per qualche istante prima di iniziare il movimento.
Si osserva poi una leggera discesa che trova il suo picco intorno ai 110°: questa leggera oscillazione è dovuta al fatto che l'atleta, in procinto di tirare l'affondo, carica leggermente il movimento con la gamba anteriore, il che porta ad una leggera decrescita dell'angolo del ginocchio destro.

Una volta caricato il colpo è possibile notare una veloce crescita dell'angolo che corrisponde quindi alla fase di volo dell'affondo: durante questo lasso di tempo viene effettuato un rapido salto in avanti della gamba destra.
Tale crescita raggiunge il suo picco massimo a 160° che corrisponde alla massima apertura in spaccata dell'atleta durante il movimento di affondo.
Infine, vediamo una veloce decrescita che inizia nel momento in cui il piede anteriore, posandosi sul suolo, farà flettere sempre di più il ginocchio destro fino ad arrivare ad un minimo compreso tra gli 80° e 90°.
Da questa analisi nascono alcune osservazioni molto rilevanti nello studio della biomeccanica dell'affondo.
Si può notare che vi è un errore tecnico da parte dell'atleta poiché, arrivando ad un picco inferiore ai 90° durante la fase di caduta, l'atleta sta portando il ginocchio destro più avanti del piede anteriore e questo renderà il ritorno in guardia molto più lento e difficoltoso.
Altro elemento importante lo si può notare dall'estensione del ginocchio in fase di volo: durante questa fase infatti, l'angolo del ginocchio tenderà a variare da un punto di partenza all'incirca valutato intorno ai 100° fino ad arrivare ad un massimo che dipenderà dall'estensione del ginocchio dell'atleta (intervallo compreso tra i 130° e i 150°).
Sarà infatti interessante notare durante la valutazione sui test del campione di atleti quanto tale apertura influisca nell'accelerazione del movimento e nella precisione dello stesso.
In tale modo si potrebbe dunque identificare una correlazione tra l'elasticità dell'atleta e la sua velocità nell'eseguire il movimento.
Infine, altro parametro molto interessante si verifica durante la prima oscillazione verso il basso dell'angolo caratteristico del ginocchio.
Sarà importante valutare quanto tale elemento influisca nella dinamicità del movimento e verificare se aumentando o diminuendo la preparazione del ginocchio destro cambino in maniera rilevante i risultati.

Accelerazioni

Aspetto fondamentale nelle valutazioni dei set di prova sono state le analisi sulle accelerazioni: attraverso i sensori IMU già citati in precedenza sono state calcolate le accelerazioni dei punti ritenuti fondamentali ai fini delle valutazioni dello studio

1. Piede anteriore
2. Piede posteriore
3. Coccia
4. Vertebra L5 (valutata come centro di massa della struttura corporea)

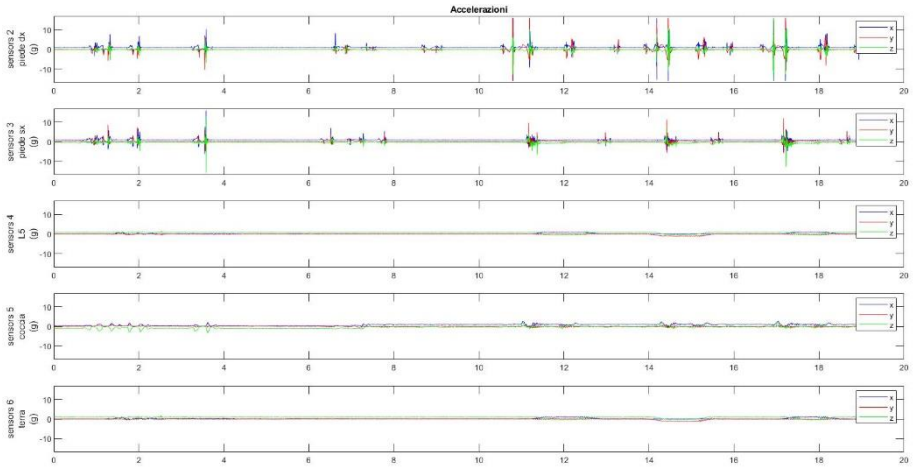

Figura 46 – accelerazioni

Nella figura 47 sono rappresentati i valori delle accelerazioni in tutti i punti prima citati valutati in tutta la lunghezza della prova quindi sui 5 affondi di cui la prova stessa era composta.

Si può notare come i dati di maggiore interesse sono rappresentati dalle accelerazioni sviluppatesi sul piede anteriore:

In figura 48 il dettaglio delle accelerazioni valutate esclusivamente sul piede anteriore che in questo caso corrisponde al piede destro

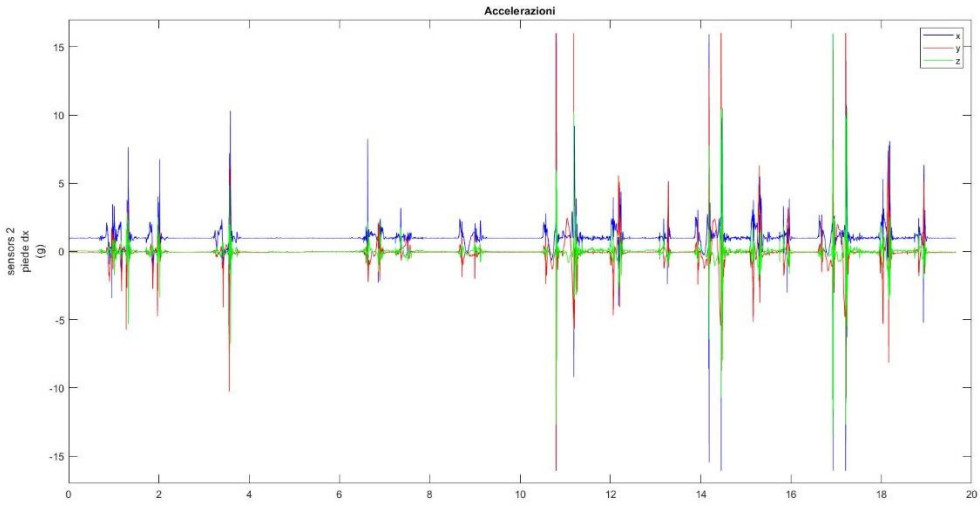

Figura 47 – Accelerazione piede anteriore

Prima di ogni singolo affondo l'atleta aveva il compito di effettuare un colpo sul suolo con il piede anteriore che spiega il perché dell'esistenza di un picco che si aggira tra i 10g ed i 15g prima di ogni affondo.

In questo caso ci si soffermerà sul primo affondo che è l'elemento su cui sono state fatte le analisi sugli angoli di interesse e sullo stick diagram.

IN figura 49 il dettaglio del singolo affondo valutato sul piede anteriore

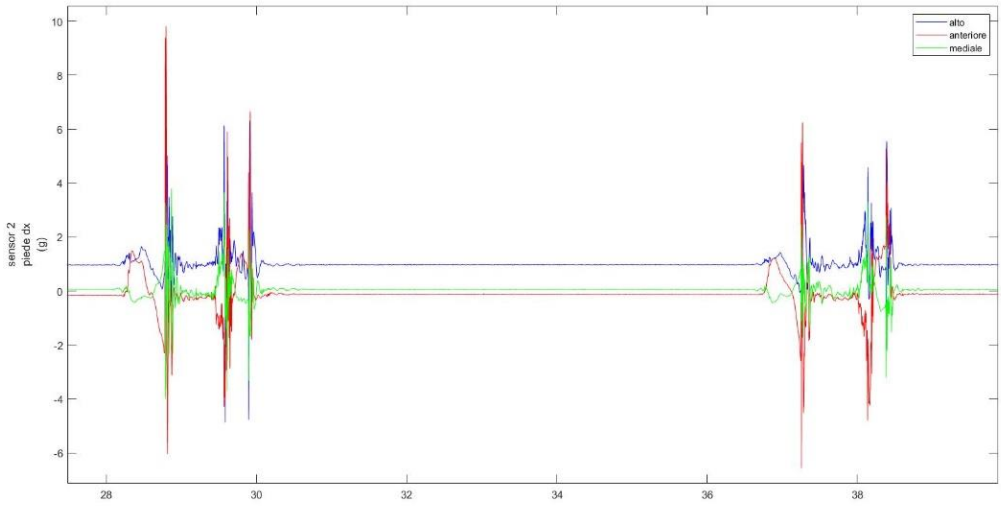

Figura 48 – Dettaglio accelerazione piede anteriore

Andando nel dettaglio si può valutare un primo picco che è stato dunque valutato come il colpo al suolo effettuato dall'atleta prima dell'affondo; successivamente è stato valutato il secondo picco come il ritorno in guardia del soggetto che riposando il piede al suolo definisce il picco mostrato in Figura 49

Protocollo test

Attrezzatura

- Barra Optitrack con cavalletto
- Markers
- Pc per Optitrack e Arduino
- Sensori IMU
- Pellicola trasparente per avvolgere IMU
- PC per IMU
- Fascia sensore L5
- Pannello dei bersagli
- Nastro adesivo
- Nastro biadesivo
- Forbici
- Prese Tedesche per computer e pannello
- Prolunga per alimentare la strumentazione
- Go Pro hero 7 con cavalletto
- Alcool e cotone
- Consensi informati (ricordarsi di stamparli)

Fase preliminare

1. Spiegare all'atleta il protocollo e fargli firmare il consenso informato
2. Fare indossare all'atleta pantaloncini corti, calzini corti e scarpe da scherma (i test verranno effettuati a torso nudo per gli uomini e con top sportivo per le donne)
3. Misurare l'altezza dell'atleta (h)
4. Effettuare un riscaldamento di 15 minuti con 2 minuti di stretching immediatamente dopo il riscaldamento.
5. Calcolare la distanza del pannello rispetto all'atleta attraverso la formula 1,5 * h dell'atleta
6. Fare provare qualche affondo per adattare la distanza prima calcolata alla distanza ideale dell'atleta
7. Segnare con un pezzo di nastro adesivo la distanza dalla quale dovrà partire l'atleta

Setting attrezzatura

- Appendere il pannello dei bersagli ad una altezza di 1,7 metri sulla spalliera e segnare col nastro i punti di attacco del pannello sulla spalliera
- Il pannello è formato da 5 bersagli colorati ognuno dei quali è definito da 3 cerchi concentrici: il più esterno di colore verde (diametro 10 cm), il centrale di colore giallo (diametro 6 cm) ed il più interno rosso (diametro 1 cm)
- Disporre la barra ad una distanza pari a 5 m dal bersaglio e segnare col nastro la posizione esatta
- Disporre 3 markers sul suolo per definire un sistema di riferimento globale:
  i marker devono essere posizionati sull'asse lungo cui si muove l'atleta in particolar modo frontalmente al movimento dell'atleta distanziati tra loro di un metro ed un terzo marker posizionato sulla parte destra per costruire il vettore di supporto
- Apporre del nastro in corrispondenza dei markers e contornare con un pennarello la posizione

Figura 49 – sistema di riferimento

- Disporre tra i 3 markers sul suolo un sensore IMU di riferimento orientato in modo tale che l'asse x coincida con la direzione lungo la quale avviene l'affondo (vedi la foto sopra)
- Fotografare i marker ed il sensore IMU che definiscono il sistema di riferimento globale a terra
- Disporre 5 markers al centro dei 5 bersagli del pannello

- Fare acquisizione statica dei markers sul pannello
- Fare foto del pannello con i markers
- Togliere i markers dal bersaglio
- Disporre i markers sull'atleta secondo il seguente protocollo:
    1. Piede anteriore punta
    2. Piede anteriore laterale
    3. Piede anteriore malleolo
    4. Piede posteriore laterale
    5. Piede posteriore punta
    6. Epicondilo anteriore
    7. Epicondilo posteriore
    8. Cresta iliaca destra
    9. Cresta iliaca sinistra
    10. Centro di massa
    11. Spalla armata
    12. Spalla disarmata
    13. Polso armato
    14. Coccia della spada
    15. Punta della spada

Figura 50 – Soggetto in fase di test

- Disporre i sensori IMU sull'atleta secondo il seguente protocollo:
    1. Coccia della spada
    2. Parte laterale del piede anteriore
    3. Parte laterale del piede posteriore
    4. In corrispondenza della vertebra L5
- Fotografare ogni atleta dopo aver disposto i markers e i sensori IMU

Fase principale

- I test vengono registrati, oltre che dalla barra e dai sensori IMU, anche da una GoPro Hero 7 montata su di un cavalletto
- Il test consiste nel colpire per 6 volte, attraverso la tecnica schermistica dell'affondo, il bersaglio sottostante ad uno dei 5 led che in quel momento si accende. È compito dell'atleta quello di cercare di colpire sempre l'interno del cerchio rosso durante gli affondi.
- Ogni led rimane acceso per 2 secondi e tra ogni accensione c'è un intervallo randomico che varia tra i 5 ed i 10 secondi di pausa in modo da permettere il ritorno in guardia e il riassetto da parte dell'atleta.
- La sequenza con la quale i LED si accendono è totalmente randomica e varia a ogni singola prova
- Il test viene ripetuto da ogni atleta per 3 volte con riposo di 2 minuti tra una ripetizione e l'altra, per un totale di 18 affondi. Al termine di ogni ripetizione, fare foto alla schermata di Arduino con i dati di output e salvare questi dati su un file note.

Test

I test sono stati eseguiti su di un soggetto di 21 anni, di altezza 191 cm e peso 85 kg. L'atleta scelto per il test è uno schermidore professionista che pratica tale sport da più di 10 anni.
Sono state acquisite le seguenti lunghezze anatomiche del soggetto:

misure anatomiche	distanza [cm]
Spalla – Gomito	35
Gomito – Polso	29
Polso – Punta medio	18
Altezza	190
Spalla dx – Spalla sx	36
Sterno – Pube	49
Pube – Terra	99
Sterno – L5	41

Anca – Ginocchio	49
Ginocchio – Malleolo	40
Malleolo – Scarpa	12

Il soggetto si è riscaldato, dopo di che sono stati posizionati i marker e i sensori inerziali come descritto nel protocollo (Figura 52). Quindi, si sono impostate le attrezzatture di acquisizione secondo quanto definito tramite il test pilota. A questo punto il soggetto ha eseguito il test. Il test consisteva in 4 prove costituite da 6 affondi l'una.

Per queste prove non è stato utilizzato un sistema di riferimento globale poiché le pedane di acciaio montate all'interno della palestra nella quale sono stati svolti i test hanno creato dei riflessi che hanno impedito l'identificazione accurata di un sistema di riferimento globale a terra. Di conseguenza per le successive analisi il sistema video ha come riferimento quello della videocamera Optitrack e i sensori inerziali quello dei singoli sensori.

Figura 51 – Rappresentazione Test

In questo caso le prove sono state eseguite utilizzando come bersaglio il pannello elettronico descritto nei capitoli precedenti.

Il soggetto ha dovuto quindi cercare di colpire il bersaglio che si accendeva nel minore tempo possibile e con la massima precisione possibile.

Analisi dei risultati

L'analisi dei risultati del test eseguito sul soggetto serve quindi a definire un modello di strumentazione e di metodologia da applicare nei successivi test per uno studio del movimento più efficace.
Per poter definire un modello coerente con gli sudi effettuati, l'analisi dei risultati è stata divisa valutando da una parte le interpretazioni relative ai sensori di posizione valutati attraverso la barra ottica, e dall'altra i dati forniti dai sensori inerziali.

Analisi Marker

Per quanto riguarda la valutazione dei marker avvenuta attraverso la rielaborazione dei dati utilizzando il software Motive, sono stati valutati, come anche accennato in precedenza:

1. La precisione in maniera percentuale dei singoli colpi rispetto al centro del bersaglio che il soggetto avrebbe dovuto colpire

2. Gli andamenti nel tempo dei marker posizionati sui punti ritenuti fondamentali nello studio, ovvero la punta della spada, il piede anteriore e la coccia della spada

3. L'angolo interno del ginocchio destro valutato in tutto l'arco di tempo dell'affondo (compreso il ritorno in guardia)

4. RoM (Range of Motion), ovvero, la differenza tra il massimo ed il minimo angolo descritti durante l'affondo

Precisione

Per riuscire a definire il grado di precisione di ciascun affondo è stato scelto di eseguire una scansione statica di 5 marker posizionati in corrispondenza dei 5 centri dei bersagli sul pannello (Figura 53).

Figura 52 – Pannello elettronico con marker

Successivamente è stato applicato durante la prova un ulteriore marker sulla punta della spada in modo da tracciarne il movimento in fase dinamica.
In questo modo, calcolando la distanza della punta rispetto ad ogni bersaglio, è stato possibile sia capire a quale bersaglio corrispondesse ogni singolo colpo sia definire in maniera percentuale il grado di precisione di ogni singolo colpo.
È importante ricordare che nella scherma, la precisione rappresenta un aspetto fondamentale e riesce ad affinarsi sempre di più all'aumentare del livello del soggetto preso in esame.
È facile prevedere dai vari soggetti una alta precisione che si avvicini ai centri dei singoli bersagli di pochissimi centimetri se non di millimetri.
Per questo motivo è stato scelto di adottare una valutazione percentuale della precisione che prevedesse come valore minimo, ovvero lo 0 %, quel valore

corrispondente ad un colpo lontano dalla zona del centro del bersaglio per più di 5 cm (raggio che corrisponde esattamente all'anello verde disegnato sul bersaglio) e come valore massimo, ovvero il 100 %, quel valore corrispondente ad una distanza inferiore ai 5 millimetri rispetto al centro.
Prendendo in esempio la seconda prova del soggetto si ottiene il seguente grafico:

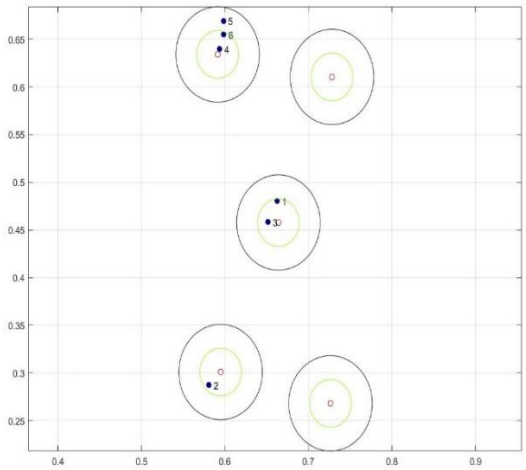

Figura 53 – Diagramma pannello

Tabella precisione degli affondi:

Affondo 1	Affondo 2	Affondo 3	Affondo 4	Affondo 5	Affondo 6
66,67%	83,33%	83,33%	100%	50%	66,67%

Figura 54 – Tabella precisione affondi

Quindi, seguendo la tabella ed andando a confrontare i dati ottenuti dalla precisione con la modellazione del pannello e dei vari colpi si può velocemente intuire che l'affondo 4 ha registrato il punteggio più elevato poiché si è posizionato rispetto al centro del bersaglio in alto a sinistra a meno di 5 mm di distanza.
Contrariamente a questo, il quinto affondo è quello che ha registrato il valore più basso allontanandosi dal centro di più di 2,5 cm e quindi registrando un valore percentuale del 50 %. Si può notare come gli affondi a percentuale maggiore siano definiti dagli affondi della parte centrale della prova(affondo 2, affondo 3, affondo 4) mentre negli affondi della parte finale (affondo 5 ed affondo 6) le percentuali tendono ad essere più basse. Questo perché la stanchezza derivata dalla ripetizione

di una sequenza di affondi in un breve lasso di tempo ha portato al soggetto ad un errore più marcato.

Andamento dei marker nel tempo

Un altro elemento di fondamentale importanza è stato seguire gli andamenti di ogni singolo marker appartenenti ai punti ritenuti fondamentali per lo studio.

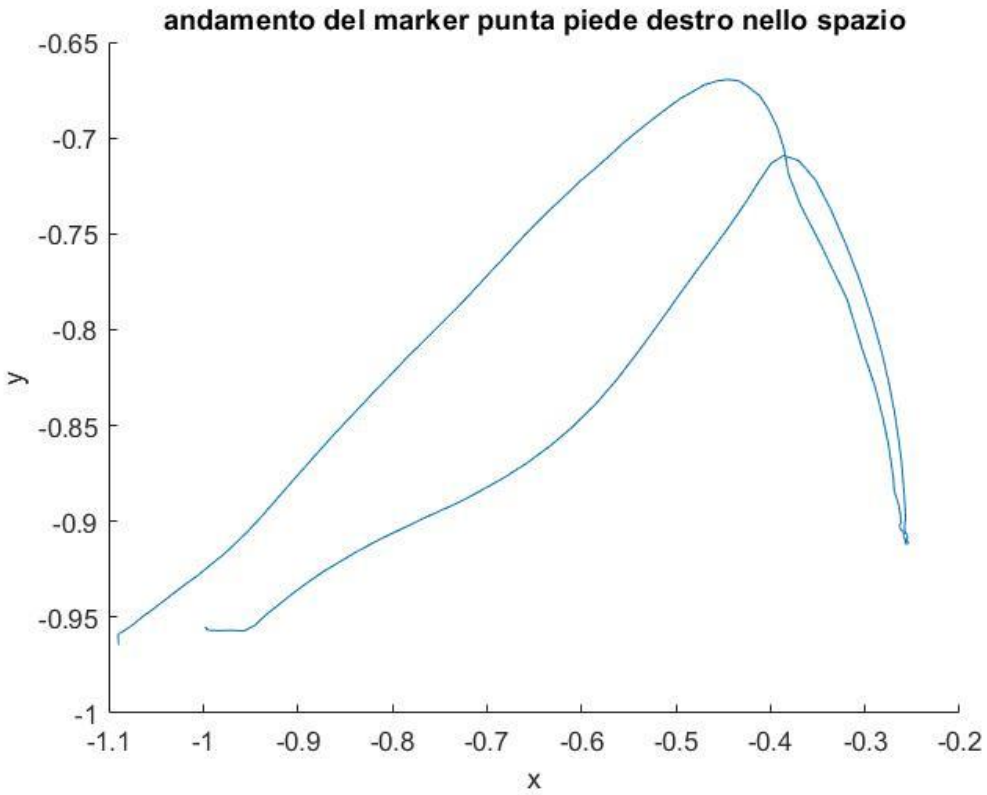

Figura 55 – andamento piede destro [m]

Andando, per esempio, a valutare l'andamento del piede destro durante il sesto affondo della seconda prova notiamo un elemento molto interessante.
Si può facilmente notare un errore commesso dal soggetto durante l'affondo: mentre, infatti, la prima parte della curva è esattamente come si poteva prevedere, (parte ad una coordinata y di -0,90, sale fino ad arrivare ad un picco di -0,65 attuando quindi uno spostamento intorno ai 30 centimetri, che rimangono nella norma degli affondi, e riscende fino a ritornare più o meno alla coordinata di partenza), al contrario nella

seconda parte l'atleta effettua un errore evidente, andando a formare un nuovo arco con il piede e quindi rallentando notevolmente la fase di risalita.
Per questo motivo potrà essere detto al soggetto di limitare lo spostamento del piede nella fase di ritorno utilizzando maggiormente la flessione della gamba posteriore producendo inoltre un minore sforzo sulle anche.
Di notevole interesse anche l'andamento del marker posizionato sulla coccia della spada del soggetto.
Dalla figura 56 si può infatti valutare come nel momento in cui la punta incontra il pannello (ovvero nel punto in cui l'ascissa assume un valore negativo di 0,1 e l'ordinata viene valutata pari a 0,6) vi è un leggero sbalzo dovuto dall'alzarsi del pugno.

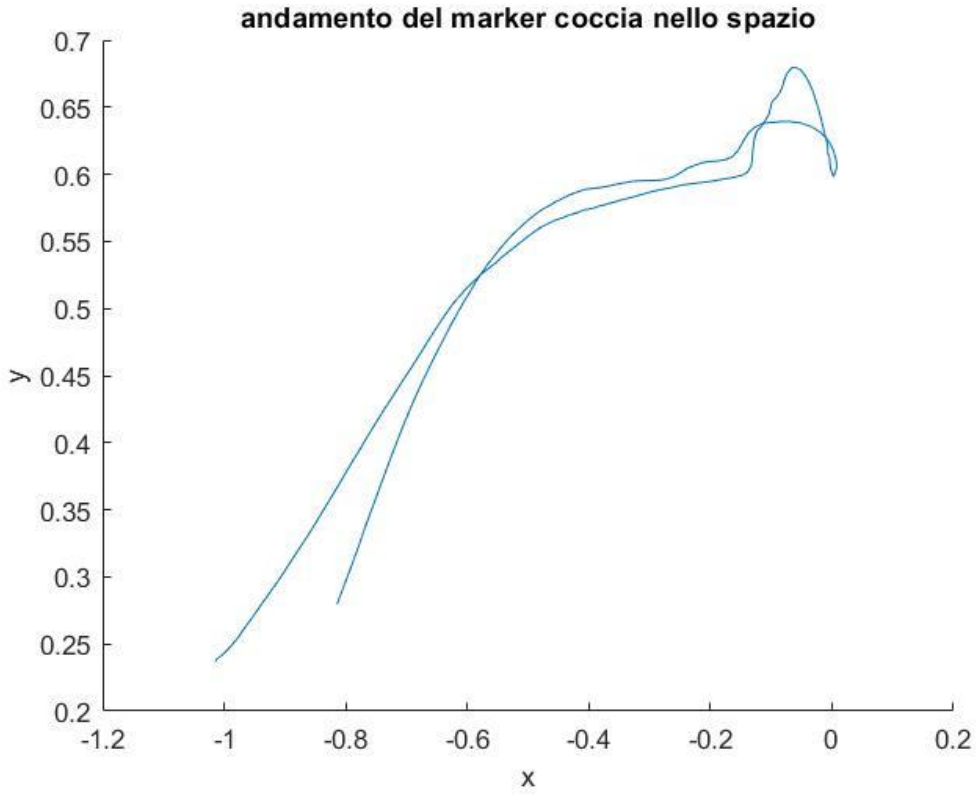

Figura 56 – andamento coccia nel tempo

Questo tipo di movimento permette alla lama di effettuare un tipo di flessione che rende un'eventuale parata dell'avversario molto meno efficace

Angolo di ginocchio

Per effettuare un'analisi esaustiva, è stato scelto di sovrapporre gli andamenti dell'angolo del ginocchio di tutti gli affondi costituenti la seconda prova effettuata dal soggetto in un unico grafico [Figura 57].

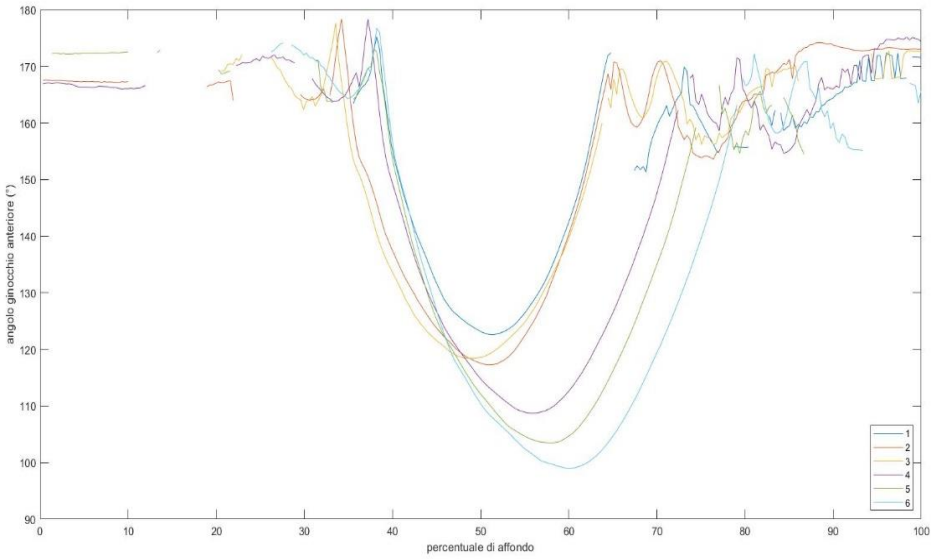

Figura 57 – angoli ginocchio prova 2

Per rendere possibile la sovrapposizione delle curve, gli angoli di ogni singolo affondo sono stati discretizzati su di un asse percentuale in cui il momento iniziale, ovvero lo 0, corrisponde all'accensione del led del bersaglio sul pannello, mentre il momento finale corrisponde al momento in cui il led si spegne.
La durata quindi della curva in termini di tempo si aggira intorno ai 2,5 secondi.
Dall'analisi delle curve si può valutare come alcuni affondi presentino un minimo negli angoli notevolmente più basso rispetto ad altri.
Andando, infatti, ad esaminare l'affondo n. 6 si può notare come l'angolo scenda al di sotto dei 100 ° mentre per esempio l'affondo n.1 si ferma intorno ai 125°.
È bene ricordare, come già detto in precedenza, che l'angolo del ginocchio in fase di affondo non deve scendere al di sotto dei 90°, ovvero il ginocchio non deve mai superare la punta del piede poiché rende difficoltoso il ritorno in guardia. Allo stesso tempo però l'angolo deve essere inferiore ai 125° poiché deve garantire una certa flessione in modo da poter permettere all'atleta di riuscire a colpire l'avversario ad una certa misura di distanza.

In questo caso possiamo notare che tutti gli affondi si trovano nel range appena descritto e che i minimi scendono in maniera progressiva, questo avviene poiché il soggetto tende a riscaldarsi anche durante i singoli affondi e flette sempre di più le gambe.

Per ogni affondo, sono stati quindi valutati su Matlab sia i tempi di reazione, definiti dall'intervallo corrispondente tra il momento in cui si accende il led del bersaglio al momento in cui si muove la prima parte del corpo (epicondilo anteriore), sia i RoM (range of motion), ovvero gli intervalli corrispondenti alla differenza tra il massimo ed il minimo valore di angolo raggiunto.

Affondi	tempo di reazione (s)	RoM (°)
1	0,27	53
2	0,21	61
3	0,21	59
4	0,29	70
5	0,33	69
6	0,28	78

Figura 58 – tabella tempi di reazione e RoM

Analizzando i tempi di reazione si può notare una notevole differenza tra il secondo ed il terzo affondo e gli altri 4. Escludendo il primo affondo che è servito al soggetto anche per prendere le misure dal pannello, la stanchezza è stato sicuramente il fattore che ha determinato l'alzarsi dei tempi di reazione fino ad arrivare a 0,33 secondi nel quinto affondo.

Lo stesso tipo di analisi è stato effettuato per quanto riguarda la terza prova eseguita dal soggetto durante i test.

In figura 59 viene dunque descritto l'andamento dell'angolo del ginocchio nei 6 affondi costituenti la terza prova in maniera analoga a quanto descritto nella precedente prova

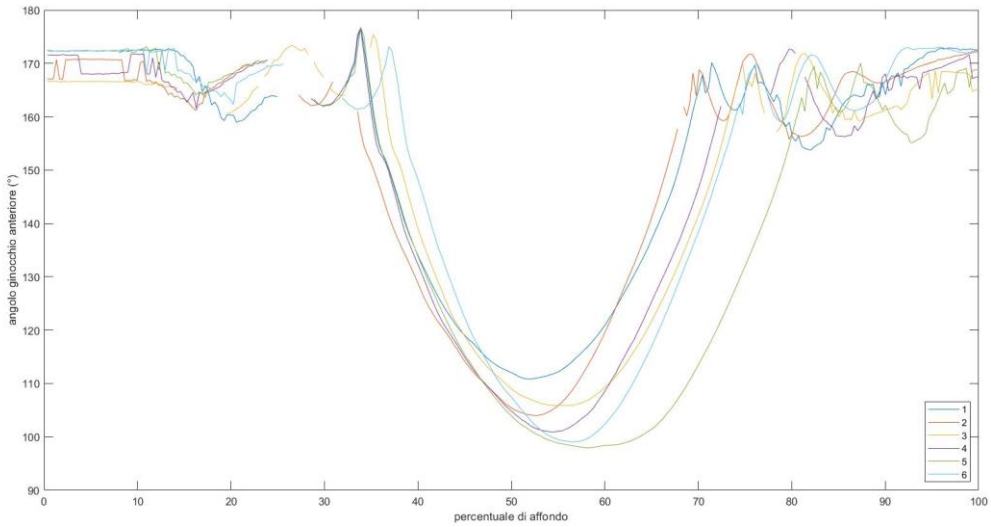

Figura 59 – angoli ginocchio prova 3

Come valutato durante l'analisi della seconda prova anche per quanto riguarda la prova 3 si può notare un progressivo abbassamento dei minimi fino ad arrivare sotto i 100° nella valutazione del 5 affondo.

Questo dato rafforza quanto definito in precedenza in quanto il soggetto tende ad abbassare progressivamente il minimo definito dall'angolo del ginocchio andando quindi a piegarsi maggiormente sulla gamba anteriore ed eseguendo quindi un affondo tecnicamente più corretto.

In figura 60 sono rappresentate le valutazioni dei RoM (range of motion) e dei tempi di reazione degli affondi appena descritti

Affondi	tempo di reazione	RoM (°)
1	0,81	65
2	0,41	68
3	0,35	68
4	0,36	76
5	0,44	79
6	0,46	74

Figura 60 – Tabella tempi di razione e RoM

Valutando i dati espressi nella tabella in Figura 60 si può notare un generale aumento dei tempi di reazione dovuto probabilmente ad un affaticamento del soggetto in fase di test. Da una media valutata intorno ai 0.25 s della prima prova valutata si è passati

ad una media ben superiore ai 0.4 s per una differenza tra le due prove di quasi 2 decimi di secondo.

L'andamento della seconda prova valutata assomiglia molto a quello analizzato nella prima: trascurando il primo affondo che è notevolmente fuori misura rispetto agli altri valutati infatti, si può notare una maggiore precisione per quanto riguarda gli affondi centrali della prova ed un successivo peggioramento che trova il suo massimo nell'ultimo affondo raggiungendo un ritardo rispetto all'accensione del LED di quasi 5 decimi di secondo.

Analisi Imu

L'analisi dei sensori inerziali è stata impostata con la stessa procedura con cui sono stati analizzati i marker:
sono state suddivise tutte le prove nei sei affondi che a loro volta sono stati discretizzati su di un asse percentuale dove 0 corrisponde alla percentuale corrispondente al momento in cui si accende il led del bersaglio ed il 100 quando lo stesso led si spegne.
In figura 61 l'accelerazione valutata sulla coccia della spada mentre in Figura 62 viene rappresentata l'accelerazione del piede destro nello stesso affondo

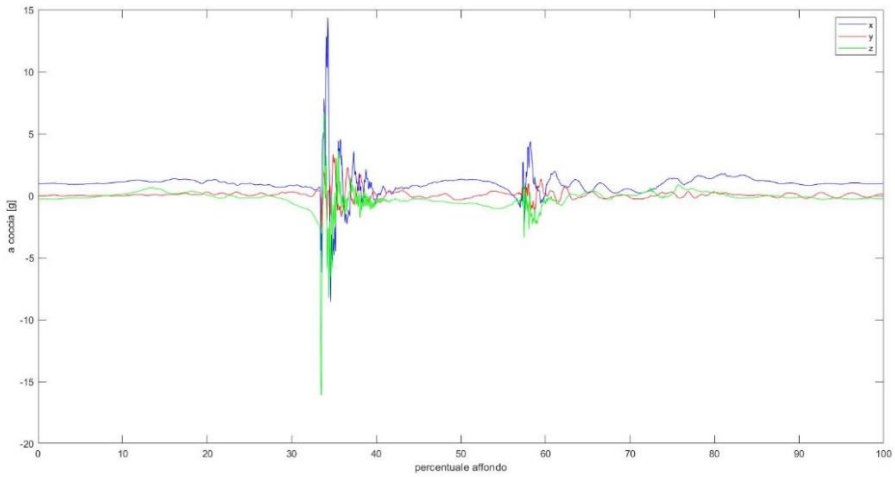

Figura 61 – accelerazione coccia

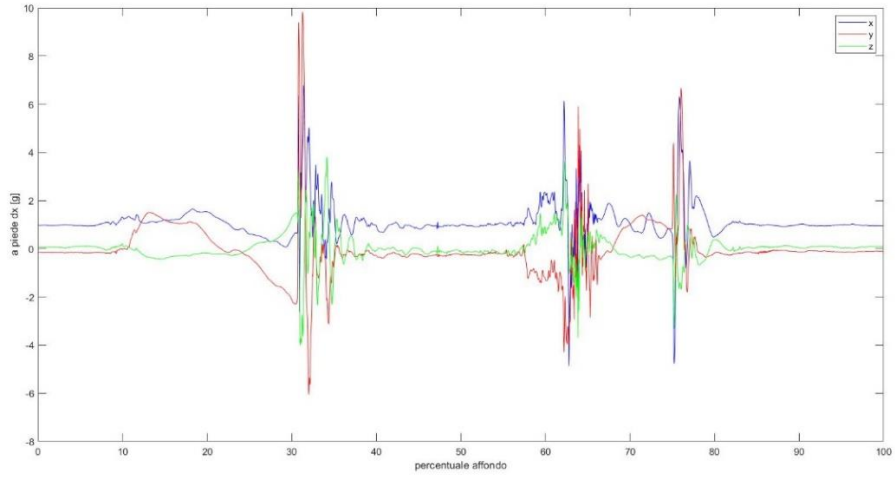

Figura 62 – accelerazione piede destro

Dai grafici delle accelerazioni sul piede e sulla coccia si può intuire come il piede acceleri molto prima della coccia, infatti possiamo notare una variazione di 1g lungo l'asse delle $\vec{y}$ intorno al 10% del movimento.
Per riuscire ad analizzare in maniera più adeguata i dati fornitici dai sensori inerziali è stato scelto di normalizzare le curve rappresentanti le accelerazioni

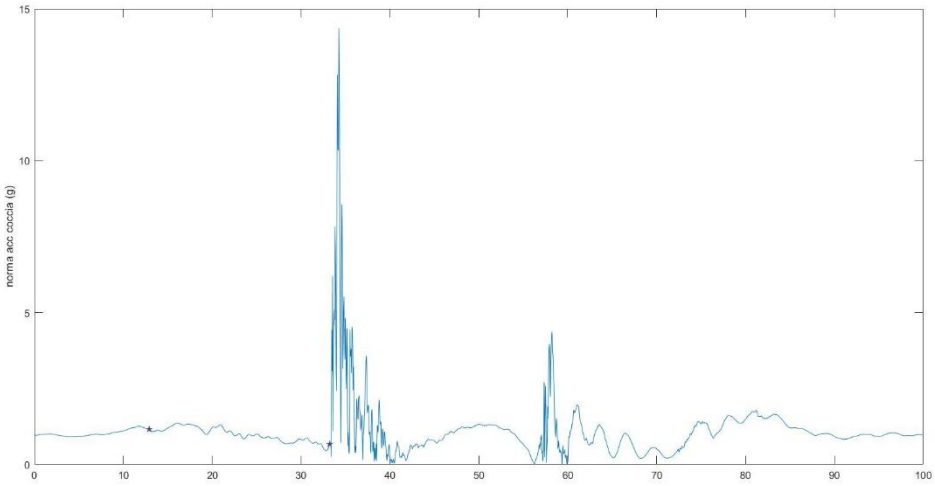

Figura 63 – norma accelerazione coccia

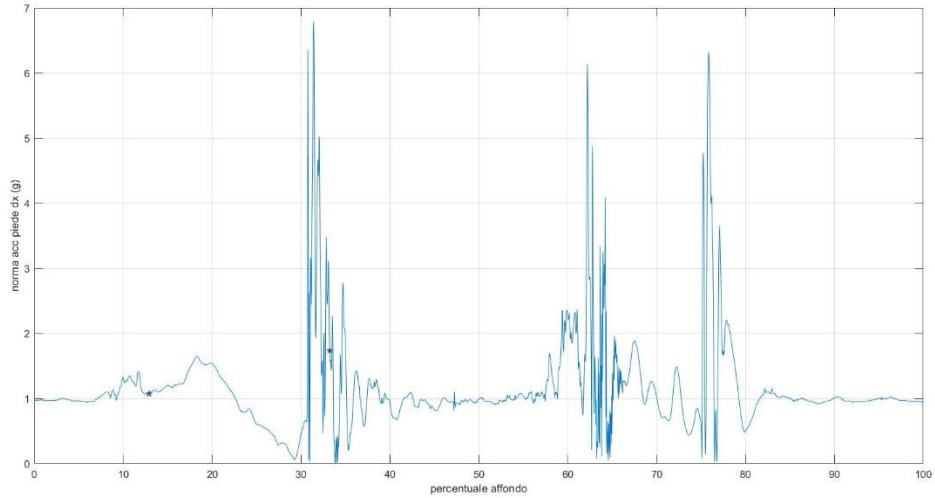

Figura 64 – norma accelerazione piede destro

In Figura 63 viene evidenziata la normalizzazione dell'accelerazione lungo la coccia della spada mentre in Figura 64 quella definita lungo il piede destro.
Dal confronto delle due figure si evince come già definito in precedenza che il piede tende ad accelerare sicuramente molto prima rispetto alla coccia e che, ancora più importante, il picco dell'accelerazione anche se di intensità minore (10g) avviene prima per quanto riguarda il piede dx rispetto alla coccia.
Naturalmente i due picchi corrispondono a due impatti differenti:
il picco riferito al piede destro corrisponde al momento in cui il piede impatta il suolo in fase di discesa mentre il picco della coccia corrisponde al momento dell'impatto della punta contro il pannello elettronico.
Questo significa che il soggetto ha colpito il pannello solo dopo aver concluso la fase di accelerazione dell'affondo.
Questo si può valutare come un errore da parte dell'atleta, infatti come già espresso durante l'introduzione, da vari studi pregressi si è valutato come per quanto riguarda gli atleti professionisti la parte superiore del corpo tende a muoversi molto più velocemente della parte inferiore e che la punta deve arrivare necessariamente prima sul bersaglio rispetto a quando l'atleta conclude l'affondo.
Analizzando inoltre i dati fornitici dalle accelerazioni e dai marker è stato possibile individuare il punto in cui il piede si stacca dal suolo nella fase iniziale di accelerazione dell'affondo ed il punto in cui la punta colpisce il pannello e valutarli all'interno dei grafici corrispondenti alle norme.
Come possiamo vedere dalle figure 63 e 64 i punti appena definiti sono stati contrassegnati con una stella.
Per quanto riguarda il punto in cui il piede si solleva da terra come ci si poteva aspettare coincide con il punto in cui comincia ad accelerare il piede in senso positivo mentre il punto in cui la punta impatta con il bersaglio coincide con il momento immediatamente precedente al picco dovuto all'impatto che satura il sensore inerziale.

Osservazioni

Questo progetto ha quindi il compito di descrivere un modello di studio di uno dei movimenti più importante nell'ambito della scherma.
In questo modo sono state definite le modalità e le procedure con cui analizzare tutte le parti fondamentali dell'affondo stesso ed i parametri fondamentali che lo caratterizzano.
Lo scopo della tesi è stato quello di cercare di impostare una tipologia di modello in modo da poterlo replicare all'interno di uno studio su di un campione di atleti più ampio per un arco di tempo più lungo.
Andando infatti ad esaminare un campione di atleti maggiore sarà possibile constatare delle importanti differenze a seconda della statura e del livello dell'atleta stesso e sarà quindi possibile paragonare soggetti di stature e livelli differenti.
Riuscire a valutarlo, inoltre, in un arco di tempo allungato nel quale vengono dettati allenamenti "ad hoc" per ogni singolo atleta potrebbe risultare fondamentale per analizzare la crescita di ogni singolo aspetto dell'affondo monitorizzato durante lo studio.
In questo modo, andando ad analizzare i movimenti utilizzando la procedura definita durante la tesi, sarà possibile impostare degli allenamenti personalizzati per ogni singolo soggetto mirati a perfezionare uno o più aspetti del movimento nel quale il soggetto stesso aveva mostrato delle imperfezioni.
Andando per esempio ad analizzare l'angolo del ginocchio, vedendo che il soggetto tende a raggiungere minimi non inferiori a 110°, l'allenamento sarà indirizzato verso la mobilità muscolare in modo da andare a lavorare sulla flessibilità dell'atleta.
Nel caso in cui, invece, per esempio, l'atleta mostrasse delle imperfezioni per quanto riguarda la precisione nel colpire il bersaglio, l'allenamento sarà mirato a migliorare questo aspetto attraverso esercizi specifici di scherma valutati in collaborazione con il maestro di scherma dell'atleta.
L'auspicio è quello di riuscire ad analizzare, in collaborazione con vari enti quali la Federazione Italiana di Scherma, atleti professionisti e determinare allenamenti che possano affinare in maniera concreta la loro tecnica in modo da riuscire a determinare un passo importante nello sviluppo della scherma italiana nel mondo.

Ringraziamenti

In primo luogo, vorrei ringraziare la professoressa Laura Gastaldi, il professore Stefano Pastorelli e le ingegnere Elisa Digo e Valeria Rosso che, nonostante il periodo molto complesso, mi hanno seguito lungo tutto il percorso di Tesi. Vorrei inoltre ringraziare il Politecnico di Torino per aver garantito nonostante tutto quello che stia succedendo di poter finire questo percorso per me così importante.

Voglio inoltre ringraziare il club schermistico "ISEF Eugenio Meda", il Maestro Maurizio Mencarelli, il presidente Sonia Mencarelli, che hanno sempre offerto la massima disponibilità nel fornire la struttura e le attrezzature necessarie per lo studio, e Davide Canzoneri che si è sottoposto al test da grande amico.

Non è semplice spiegare in poche parole quanto sia importante questo passo nella mia vita ma soprattutto quanto siano state importanti le persone che ho avuto accanto durante questo lunghissimo viaggio. È noto a tutti come nella stramaggioranza dei casi nelle tesi, le dediche ed i ringraziamenti si facciano per prassi e per convenzione ma nel mio caso ho realmente bisogno di ringraziare tutte le persone che mi sono state vicino, perché, in qualche modo, piccolo o grande che sia, hanno tutti contribuito alla realizzazione di questo progetto.

Sicuramente non sono poche le volte in cui la mia famiglia, mia madre, mio padre, mio fratello, Flo e, da poco, anche il piccolo Giovannino (è incredibile quanto un bambino così piccolo possa cambiarti le giornate e la vita) mi hanno aiutato nei momenti difficili (non sono stati pochi) e hanno sempre cercato di farmi vedere il lato positivo delle cose (soprattutto mia madre), per questo motivo non smetterò mai di ringraziarvi.

Anche se non si direbbe visto tutto quello che sta succedendo proprio in uno dei momenti più importanti, nella vita mi sono sempre ritenuto una persona molto fortunata e questo perché ho avuto la possibilità di conoscere delle persone stupende. Tra queste sicuramente ci sono quel gruppo di pazzi che ha deciso di salire insieme a me a Torino. Lucio, Peppe (Giusellino), Alberto (Arbero) e Riccardo (Spazzolino) a cui si sono poi aggiunti Marco e Gianfri, hanno condiviso con me praticamente ogni

singolo momento negli ultimi 6 anni e mi hanno continuamente supportato e sopportato.
Insieme abbiamo condiviso qualsiasi cosa e siamo riusciti a rendere questo percorso molto più dolce e leggero. Grazie.

Poi ci sono quegli amici che durano da una vita, quelli di cui ti potrai sempre fidare, quelli che, insomma, conosco grazie a quella meravigliosa isola a forma di balena che porterò sempre nel mio cuore e sul mio costato.
Con Lucio (è già la seconda volta che viene nominato ma forse non ne basterebbero neanche dieci), Vivi, Eddy, Robertino, Tondo, Buglione (detto bullone), Gabola, Giulietta, e tante altre persone che adesso sicuramente starò dimenticando, ho passato praticamente tutte le estati della mia vita.

Voglio ringraziare Leonardo, compagno di banco per tutta la vita, Massi e Toto perchè quando si è veramente amici la distanza è nulla.

Vorrei ringraziare la mia famiglia allargata, mio zio e mia zia, mia cugina Giorgia e mio cugino Lorenzo ma soprattutto Dario che più che un cugino considero come un secondo fratello. Anche se da poco posso considerare la mia famiglia allargata anche la famiglia della mia ragazza, Rocco, Marzia e Ele grazie per essermi stato sempre vicino e per non avermi mai fatto pesare neanche un secondo la mia presenza in casa.

Come avevo già preannunciato l'elenco è molto lungo e soprattutto non è ancora finito perché manca forse la persona più speciale per me, quella che ha reso migliore ogni singolo giorno di quest'ultimo anno e mezzo.
Grazie Ale, hai colorato la mia vita con sfumature che non credevo potessero esistere. Mi hai sostenuto sempre e mi sei stata vicino quando tanti altri sarebbero scappati, MTYLTT, Ti Amo

Bibliografia

1. Tadeusz Bober, Alicja Rutkovska-Kucharska, Sebastian Jaroszczuk, Maciej Barabsz, Woyciech Woznica, *Kinematic characterisation of the lunge and the fleche in epee fencing: Two case studies*, Pol. J. Sport Tourism 2016
2. Yanfei Guan, Li Guo, Nana Wu, Lingli Zhang & Darren E.R. Warburton, *Biomechanical insights into the determinants of speed in the fencing lunge*, European journal of sport science 2018
3. Anthony Sorel, Pierre Plantard, Nicolas Bideau, Charles Pontonnier, *Studying fencing lunge accuracy and response time in uncertain condition with an innovative simulator,* HAL 2019
4. Garbero G., Gollini M. , *Repeatability of the lunge test for competitive epee fencers,* SISMES 2016
5. P. Plantard, A. Sorel, N. Bideau & C. Pontonnier, *Motion adaptation in fencing lunges: a pilot study,* Informa UK limited 2017
6. Marcos Gutierrez-Davila, Carlos Zingsem, Carmen Gutierrez-Cruz, F. Javier Giles, F. Javier Rojas, *Effect of uncertainty during the lunge in fencing,* journal of sports science and medicine, 2014
7. Kevin C Moore, Frances M. E. Chow, John Y. H. Chow, *novel lunge biomechanics in modern sabre fencing,* 7th Asia-Pacific congress on sports technology, 2015
8. Gutiérrez-Dávila M., Rojas F.J., Antonio R., Navarro E. ,*Response timing in the lunge and target change in elite versus medium-level fencers*, *European Journal of Sports Sciences*
9. Guan, Guo, Wu, Zheng, & Liu, 2015; Morris N., Farnsworth M., Robertson D.G.E. , *Kinetic analyses of two fencing attacks – lunge and fleche*, *Portuguese Journal of Sport Sciences* 11, 344-346. (2013)
10. Mulloy F., Mullineaux D.R., Irwin G. , *Use of the kinematic chain in the fencing attacking lunge*, (2012)
11. P. Plantard, A. Sorel, N. Bideau & C. Pontonnier, *Motion adaptation in fencing lunges: a pilot study, Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering,* 2017
12. Adrian M., Klinger A. (1976), *A biomechanical analysis of the fencing lunge*, *Medicine and Science in Sports* 8, 56

Appendice

Elaborazione labeling markers

Import data markers

```
%in primo luogo caricare i data ottenuti dalla prova Optitrack
%attraverso una matrice definita A dalla quale estrapoleremo tutte le
%matrici dei singoli punti del corpo
filename='Affondo_2_matlab.xlsx';
% xlRange = 'C2159:BA2611';
A=xlsread(filename);
X=A(:,1);
Ax=0.89273;
Ay=-0.7896;
Az=3.000448;
Bx=1.215846;
By=-0.79609;
Bz=3.000448;
Cx=1.042351;
Cy=-0.7287;
Cz=3.00044;
```

Definizione Sistema di riferimento globale

```
% def punti
pA = [Ax Ay Az];
pB = [Bx By Bz];
pC = [Cx Cy Cz];

%andiamo a definire i vettori x e il vettore supporto che ci serviranno per
%la costruzione del nostro sistema d1 riferimento
x=(pB-pA);%vettore x
s=(pC-pA); %vettore supporto

%facendo il prodotto vettoriale tra x ed s valutiamo il vettore y e facendo
%lo stesso procedimento con il vettore x ed y possiamo valutare il vettore
%z
z=cross(x,s); %vettore z
y=cross(x,z); %vettore z


%costruiamo i versori de1 vettori appena definiti
x=x/norm(x);%versore x
y=y/norm(y);%versore y
z=z/norm(z);%versore z

%definiamo la matrice di trasformazione
zeri=[0,0,0,1];
cam_M_zero=[x;y;z;pA]';
cam_M_zero=[cam_M_zero; zeri];
zero_M_cam(1:3,1:3)=cam_M_zero(1:3,1:3)';
zero_M_cam(1:3,4)=(-cam_M_zero(1:3,1:3)')*pA';
zero_M_cam(4,1:4)=zeri;
```

Definizione matrice dei punti del nuovo sistema di riferimento

```
% attraverso i vettori importati dal f1le excel andiamo a costruire le
% matrici per ogni s1ngolo punto
a= ones (size(A,1),1);
%creaz1one matr1c1
CdM=[A(:,1:3) a];
coccia=[A(:,4:6) a];
cresta_eliaca_dx=[A(:,7:9) a];
cresta_eliaca_sx=[A(:,10:12) a];
epicondilo_dx=[A(:,13:15) a];
epicondilo_sx=[A(:,16:18) a];
piede_dx_lat=[A(:,19:21) a];
piede_dx_malleolo=[A(:,22:24) a];
piede_dx_punta=[A(:,25:27) a];
piede_sx_lat=[A(:,28:30) a];
piede_sx_punta=[A(:,31:33) a];
polso_arm=[A(:,34:36) a];
polso_disarm=[A(:,37:39) a];
punta=[A(:,40:42) a];
spalla_arm=[A(:,43:45) a];
spalla_disarm=[A(:,46:48) a];



%utilizzo matrice d1 trasformazione in modo da ottenere le matrici d1 tutti
%i punti nel nuovo sistema di riferimento

CdM_zero_M_cam = [zero_M_cam]*CdM';
coccia_zero_M_cam = [zero_M_cam]*coccia';
cresta_eliaca_dx_zero_M_cam= [zero_M_cam]*cresta_eliaca_dx';
cresta_eliaca_sx_zero_M_cam= [zero_M_cam]*cresta_eliaca_sx';
epicondilo_dx_zero_M_cam= [zero_M_cam]*epicondilo_dx';
epicondilo_sx_zero_M_cam= [zero_M_cam]*epicondilo_sx';
piede_dx_lat_zero_M_cam= [zero_M_cam]*piede_dx_lat';
piede_dx_malleolo_zero_M_cam= [zero_M_cam]*piede_dx_malleolo';
piede_dx_punta_zero_M_cam= [zero_M_cam]*piede_dx_punta';
piede_sx_lat_zero_M_cam= [zero_M_cam]*piede_sx_lat';
piede_sx_punta_zero_M_cam= [zero_M_cam]*piede_sx_punta';
polso_arm_zero_M_cam= [zero_M_cam]*polso_arm';
polso_disarm_zero_M_cam= [zero_M_cam]*polso_disarm';
punta_zero_M_cam= [zero_M_cam]*punta';
spalla_arm_zero_M_cam=[zero_M_cam]*spalla_arm';
spalla_disarm_zero_M_cam=[zero_M_cam]*spalla_disarm';
```

Definizione degli angoli

```
n=size(piede_dx_lat_zero_M_cam,2);


for i1=1:n
    p1=piede_dx_lat_zero_M_cam(1:3,i1);
    p0=epicondilo_dx_zero_M_cam(1:3,i1);
    p2=cresta_eliaca_dx_zero_M_cam(1:3,i1);
    u1=(p2-p0);
    u1=u1/norm(u1);
    v1=(p1-p0);
    v1=v1/norm(v1);
    ThetainDegrees(i1) = atan2d(norm(cross(u1,v1)),dot(u1,v1));
end
```

```
n_frames=length(a);
x_frames=(1:n_frames)./n_frames;
plot(x_frames,ThetainDegrees,'-x', 'LineWidth', 1.5)
xlabel('istanti di tempo')
ylabel('Angolo teta [°]')
title('Andamento di teta nel tempo - Affondo')
hold on
```

Stick Diagram

```
i=1;

for i=1:length(A(:,1))

hp(1)=plot3([piede_dx_lat(i,1) piede_dx_punta(i,1)]...
    ,[piede_dx_lat(i,2) piede_dx_punta(i,2)]...
    ,[piede_dx_lat(i,3) piede_dx_punta(i,3)],'r' );
hold on
hp(2)=plot3([piede_dx_lat(i,1) piede_dx_malleolo(i,1)]...
    ,[piede_dx_lat(i,2) piede_dx_malleolo(i,2)]...
    ,[piede_dx_lat(i,3) piede_dx_malleolo(i,3)],'r' );
hold on
hp(3)=plot3([piede_dx_punta(i,1) piede_dx_malleolo(i,1)]...
    ,[piede_dx_punta(i,2) piede_dx_malleolo(i,2)]...
    ,[piede_dx_punta(i,3) piede_dx_malleolo(i,3)],'r' );
hold on
hp(4)=plot3([epicondilo_dx(i,1) piede_dx_malleolo(i,1)]...
    ,[epicondilo_dx(i,2) piede_dx_malleolo(i,2)]...
    ,[epicondilo_dx(i,3) piede_dx_malleolo(i,3)],'b' );
hold on
hp(5)=plot3([epicondilo_dx(i,1) cresta_eliaca_dx(i,1)]...
    ,[epicondilo_dx(i,2) cresta_eliaca_dx(i,2)]...
    ,[epicondilo_dx(i,3) cresta_eliaca_dx(i,3)],'b' );
hold on
hp(6)=plot3([cresta_eliaca_sx(i,1) cresta_eliaca_dx(i,1)]...
    ,[cresta_eliaca_sx(i,2) cresta_eliaca_dx(i,2)]...
    ,[cresta_eliaca_sx(i,3) cresta_eliaca_dx(i,3)],'b' );
hold on
hp(7)=plot3([cresta_eliaca_sx(i,1) epicondilo_sx(i,1)]...
    ,[cresta_eliaca_sx(i,2) epicondilo_sx(i,2)]...
    ,[cresta_eliaca_sx(i,3) epicondilo_sx(i,3)],'b' );
hold on
hp(8)=plot3([piede_sx_punta(i,1) epicondilo_sx(i,1)]...
    ,[piede_sx_punta(i,2) epicondilo_sx(i,2)]...
    ,[piede_sx_punta(i,3) epicondilo_sx(i,3)],'b' );
hold on
hp(9)=plot3([cresta_eliaca_dx(i,1) spalla_arm(i,1)]...
    ,[cresta_eliaca_dx(i,2) spalla_arm(i,2)]...
    ,[cresta_eliaca_dx(i,3) spalla_arm(i,3)],'m' );
hold on
hp(10)=plot3([coccia(i,1) spalla_arm(i,1)]...
    ,[coccia(i,2) spalla_arm(i,2)]...
    ,[coccia(i,3) spalla_arm(i,3)],'m' );
hold on
hp(11)=plot3([cresta_eliaca_sx(i,1) spalla_disarm(i,1)]...
    ,[cresta_eliaca_sx(i,2) spalla_disarm(i,2)]...
    ,[cresta_eliaca_sx(i,3) spalla_disarm(i,3)],'m' );
pause(0.1)
delete (hp(:))
end
```

Programma Arduino

```
int LED1 = 13;
int LED2 = 12;
int LED3 = 11;
int LED4 = 10;
int LED5 = 9;
int TESTER = A5;
int DELAY1;
int DELAY2;
int DELAY3;
int DELAY4;
int DELAY5;
int VOLT;
int TENSIONE;
int RANDLED1;
int RANDLED2;
int RANDLED3;
int RANDLED4;
int RANDLED5;
int RANDLED6;


void setup() {
   pinMode(LED1, OUTPUT);
   pinMode(LED2, OUTPUT);
   pinMode(LED3, OUTPUT);
   pinMode (LED4,OUTPUT);
   pinMode (LED5,OUTPUT);
   pinMode(TESTER,INPUT);
  Serial.begin(9600);
  randomSeed(analogRead(0));  //la sezione cosi non cambia mai

}

void loop() {
  VOLT= analogRead(TESTER);
  TENSIONE= map (VOLT, 0, 1023, 0, 5000 );  //tensione in milliVolt

  if (TENSIONE > 1000) {
  Serial.print("tensione vale :");
  Serial.println(TENSIONE);
```

```
RANDLED1=random(1,5);
if (RANDLED1 == 1) digitalWrite(LED1, HIGH);
else digitalWrite(LED1, LOW);

if (RANDLED1 == 2) digitalWrite(LED2, HIGH);
else digitalWrite(LED2, LOW);

if (RANDLED1 == 3) digitalWrite(LED3, HIGH);
else digitalWrite(LED3, LOW);

if (RANDLED1 == 4) digitalWrite(LED4, HIGH);
else digitalWrite(LED4, LOW);

if (RANDLED1 == 5) digitalWrite(LED5, HIGH);
else digitalWrite(LED5, LOW);

delay(2000);

digitalWrite(LED1, LOW);
digitalWrite(LED2, LOW);
digitalWrite(LED3, LOW);
digitalWrite(LED4, LOW);
digitalWrite(LED5, LOW);

DELAY1=random(5000,10000);
delay(DELAY1);

RANDLED2=random(1,5);
if (RANDLED2 == 1) digitalWrite(LED1, HIGH);
else digitalWrite(LED1, LOW);

if (RANDLED2 == 2) digitalWrite(LED2, HIGH);
else digitalWrite(LED2, LOW);

if (RANDLED2 == 3) digitalWrite(LED3, HIGH);
else digitalWrite(LED3, LOW);

if (RANDLED2 == 4) digitalWrite(LED4, HIGH);
else digitalWrite(LED4, LOW);

if (RANDLED2 == 5) digitalWrite(LED5, HIGH);
else digitalWrite(LED5, LOW);
```

```
delay(2000);

digitalWrite(LED1, LOW);
digitalWrite(LED2, LOW);
digitalWrite(LED3, LOW);
digitalWrite(LED4, LOW);
digitalWrite(LED5, LOW);

DELAY2=random(5000,10000);
delay(DELAY2);

 RANDLED3=random(1,5);
if (RANDLED3 == 1) digitalWrite(LED1, HIGH);
else digitalWrite(LED1, LOW);

if (RANDLED3 == 2) digitalWrite(LED2, HIGH);
else digitalWrite(LED2, LOW);

if (RANDLED3 == 3) digitalWrite(LED3, HIGH);
else digitalWrite(LED3, LOW);

if (RANDLED3 == 4) digitalWrite(LED4, HIGH);
else digitalWrite(LED4, LOW);

if (RANDLED3 == 5) digitalWrite(LED5, HIGH);
else digitalWrite(LED5, LOW);

delay(2000);

digitalWrite(LED1, LOW);
digitalWrite(LED2, LOW);
digitalWrite(LED3, LOW);
digitalWrite(LED4, LOW);
digitalWrite(LED5, LOW);

DELAY3=random(5000,10000);
delay(DELAY3);

 RANDLED4=random(1,5);
if (RANDLED4 == 1) digitalWrite(LED1, HIGH);
else digitalWrite(LED1, LOW);

if (RANDLED4 == 2) digitalWrite(LED2, HIGH);
else digitalWrite(LED2, LOW);
```

```
if (RANDLED4 == 3) digitalWrite(LED3, HIGH);
else digitalWrite(LED3, LOW);

if (RANDLED4 == 4) digitalWrite(LED4, HIGH);
else digitalWrite(LED4, LOW);

if (RANDLED4 == 5) digitalWrite(LED5, HIGH);
else digitalWrite(LED5, LOW);

delay(2000);

digitalWrite(LED1, LOW);
digitalWrite(LED2, LOW);
digitalWrite(LED3, LOW);
digitalWrite(LED4, LOW);
digitalWrite(LED5, LOW);

DELAY4=random(5000,10000);
delay(DELAY4);

 RANDLED5=random(1,5);
if (RANDLED5 == 1) digitalWrite(LED1, HIGH);
else digitalWrite(LED1, LOW);

if (RANDLED5 == 2) digitalWrite(LED2, HIGH);
else digitalWrite(LED2, LOW);

if (RANDLED5 == 3) digitalWrite(LED3, HIGH);
else digitalWrite(LED3, LOW);

if (RANDLED5 == 4) digitalWrite(LED4, HIGH);
else digitalWrite(LED4, LOW);

if (RANDLED5 == 5) digitalWrite(LED5, HIGH);
else digitalWrite(LED5, LOW);

delay(2000);

digitalWrite(LED1, LOW);
digitalWrite(LED2, LOW);
digitalWrite(LED3, LOW);
digitalWrite(LED4, LOW);
digitalWrite(LED5, LOW);
```

```
DELAY5=random(5000,10000);
delay(DELAY5);


 RANDLED6=random(1,5);
if (RANDLED6 == 1) digitalWrite(LED1, HIGH);
else digitalWrite(LED1, LOW);

if (RANDLED6 == 2) digitalWrite(LED2, HIGH);
else digitalWrite(LED2, LOW);

if (RANDLED6 == 3) digitalWrite(LED3, HIGH);
else digitalWrite(LED3, LOW);

if (RANDLED6 == 4) digitalWrite(LED4, HIGH);
else digitalWrite(LED4, LOW);

if (RANDLED6 == 5) digitalWrite(LED5, HIGH);
else digitalWrite(LED5, LOW);

delay(2000);

digitalWrite(LED1, LOW);
digitalWrite(LED2, LOW);
digitalWrite(LED3, LOW);
digitalWrite(LED4, LOW);
digitalWrite(LED5, LOW);


Serial.print("1 intervallo:");   // print all the delays
Serial.println (DELAY1);
Serial.print("2 intervallo:");
Serial.println (DELAY2);
Serial.print("3 intervallo:");
Serial.println (DELAY3);
Serial.print("4 intervallo:");
Serial.println (DELAY4);
Serial.print("5 intervallo:");
Serial.println (DELAY5);

 Serial.print("primo led:");   // print all the delays
Serial.println (RANDLED1);
Serial.print("secondo led:");
```

```
  Serial.println (RANDLED2);
  Serial.print("terzo led:");
  Serial.println (RANDLED3);
  Serial.print("quarto led:");
  Serial.println (RANDLED4);
  Serial.print("quinto led:");
  Serial.println (RANDLED5);
   Serial.print("sesto led:");
  Serial.println (RANDLED6);


  }


}
```

Precisione affondi

```
%in primo luogo caricare i data ottenuti dalla prova Optitrack
%attraverso una matrice definita A dalla quale estrapoleremo tutte le
%matrici dei centri del bersaglio
Bersaglio1 = [0.728089 0.610429 3.842592];
Bersaglio2 = [0.591134 0.634041 3.964152];
Bersaglio3 = [0.663885 0.457689 3.973897];
Bersaglio4 = [0.726177 0.268061 3.898166];
Bersaglio5 = [0.594641 0.300943 4.108295];

punta = [0.659975 0.452186 3.882517...
    ; 0.726219 0.585335 3.759803 ...
    ; 0.584113 0.592406 3.989145...
    ; 0.581070 0.632120 3.975430...
    ; 0.713536 0.635639 3.771548...
    ; 0.712445 0.618425 3.792045];
```

```
%calcolo la distanza dalla punta al centro di ogni singolo bersaglio

distanza = rand(5,6);

for i=1:6
distanza(1,i)= sqrt((Bersaglio1(1,1)-punta(i,1))*(Bersaglio1(1,1)-
punta(i,1))...
    +(Bersaglio1(1,2)-punta(i,2))*(Bersaglio1(1,2)-punta(i,2)));%...
    %+(Bersaglio1(1,3)-punta(i,3))*(Bersaglio1(1,3)-punta(i,3)));


distanza(2,i)= sqrt((Bersaglio2(1,1)-punta(i,1))*(Bersaglio2(1,1)-
punta(i,1))...
    +(Bersaglio2(1,2)-punta(i,2))*(Bersaglio2(1,2)-punta(i,2)));%...
    %+(Bersaglio2(1,3)-punta(i,3))*(Bersaglio2(1,3)-punta(i,3)));
```

```
distanza(3,i)= sqrt((Bersaglio3(1,1)-punta(i,1))*(Bersaglio3(1,1)-
punta(i,1))...
    +(Bersaglio3(1,2)-punta(i,2))*(Bersaglio3(1,2)-punta(i,2)));%...
    %+(Bersaglio3(1,3)-punta(i,3))*(Bersaglio3(1,3)-punta(i,3)));


distanza(4,i)= sqrt((Bersaglio4(1,1)-punta(i,1))*(Bersaglio4(1,1)-
punta(i,1))...
    +(Bersaglio4(1,2)-punta(i,2))*(Bersaglio4(1,2)-punta(i,2)));%...
    %+(Bersaglio4(1,3)-punta(i,3))*(Bersaglio4(1,3)-punta(i,3)));

distanza(5,i)= sqrt((Bersaglio5(1,1)-punta(i,1))*(Bersaglio5(1,1)-
punta(i,1))...
    +(Bersaglio5(1,2)-punta(i,2))*(Bersaglio5(1,2)-punta(i,2)));%...
    %+(Bersaglio5(1,3)-punta(i,3))*(Bersaglio5(1,3)-punta(i,3)));
end
```

Valutazione bersaglio acceso

```
%il primo if serve ad identificare quale bersaglio si accende, nel caso in
%cui quel bersaglio sia acceso gli altri if servono per definire
%l'intervallo di precisione

precisione = zeros (1,6);
for i=1:6
if (distanza(1,i) < 0.10)
    if (distanza(1,i)< 0.06) && (distanza(1,i)> 0.05)
        precisione(i)=1*100/6;
    end
    if (distanza(1,i)< 0.05) && (distanza(1,i)> 0.04)
        precisione(i)=2*100/6;
    end
    if (distanza(1,i)< 0.04) && (distanza(1,i)> 0.03)
        precisione(i)=3*100/6;
    end
    if (distanza(1,i)< 0.03) && (distanza(1,i)> 0.02)
        precisione(i)=4*100/6;
    end
     if (distanza(1,i)< 0.02) && (distanza(1,i)> 0.01)
        precisione(i)=5*100/6;
     end
    if (distanza(1,i)< 0.01)
        precisione(i)=6*100/6;
    end


end

if (distanza(2,i) < 0.10)
    if (distanza(2,i)< 0.06) && (distanza(2,i)> 0.05)
        precisione(i)=1*100/6;
    end
    if (distanza(2,i)< 0.05) && (distanza(2,i)> 0.04)
        precisione(i)=2*100/6;
    end
    if (distanza(2,i)< 0.04) && (distanza(2,i)> 0.03)
        precisione(i)=3*100/6;
    end
    if (distanza(2,i)< 0.03) && (distanza(2,i)> 0.02)
        precisione(i)=4*100/6;
    end
```

```
     if (distanza(2,i)< 0.02) && (distanza(2,i)> 0.01)
        precisione(i)=5*100/6;
     end
    if (distanza(2,i)< 0.01)
        precisione(i)=6*100/6;
    end

end
if (distanza(3,i) < 0.10)
    if (distanza(3,i)< 0.06) && (distanza(3,i)> 0.05)
        precisione(i)=1*100/6;
    end
    if (distanza(3,i)< 0.05) && (distanza(3,i)> 0.04)
        precisione(i)=2*100/6;
    end
    if (distanza(3,i)< 0.04) && (distanza(3,i)> 0.03)
        precisione(i)=3*100/6;
    end
    if (distanza(3,i)< 0.03) && (distanza(3,i)> 0.02)
        precisione(i)=4*100/6;
    end
     if (distanza(3,i)< 0.02) && (distanza(3,i)> 0.01)
        precisione(i)=5*100/6;
     end
    if (distanza(3,i)< 0.01)
        precisione(i)=6*100/6;
    end

end
if (distanza(4,i) < 0.10)
    if (distanza(4,i)< 0.06) && (distanza(4,i)> 0.05)
        precisione(i)=1*100/6;
    end
    if (distanza(4,i)< 0.05) && (distanza(4,i)> 0.04)
        precisione(i)=2*100/6;
    end
    if (distanza(4,i)< 0.04) && (distanza(4,i)> 0.03)
        precisione(i)=3*100/6;
    end
    if (distanza(4,i)< 0.03) && (distanza(4,i)> 0.02)
        precisione(i)=4*100/6;
    end
     if (distanza(4,i)< 0.02) && (distanza(4,i)> 0.01)
        precisione(i)=5*100/6;
     end
    if (distanza(4,i)< 0.01)
        precisione(i)=6*100/6;
    end

end
if (distanza(5,i) < 0.10)
    if (distanza(5,i)< 0.06) && (distanza(5,i)> 0.05)
        precisione(i)=1*100/6;
    end
    if (distanza(5,i)< 0.05) && (distanza(5,i)> 0.04)
        precisione(i)=2*100/6;
    end
    if (distanza(5,i)< 0.04) && (distanza(5,i)> 0.03)
        precisione(i)=3*100/6;
    end
    if (distanza(5,i)< 0.03) && (distanza(5,i)> 0.02)
        precisione(i)=4*100/6;
    end
     if (distanza(5,i)< 0.02) && (distanza(5,i)> 0.01)
```

```
        precisione(i)=5*100/6;
     end
    if (distanza(5,i)< 0.01)
        precisione(i)=6*100/6;
    end

end

plot(Bersaglio1(1,1),Bersaglio1(1,2),'o','LineWidth',0.5,'Color',[.6 0 0])
hold on
plot(Bersaglio2(1,1),Bersaglio2(1,2),'o','LineWidth',0.5,'Color',[.6 0 0])
hold on
plot(Bersaglio3(1,1),Bersaglio3(1,2),'o','LineWidth',0.5,'Color',[.6 0 0])
hold on
plot(Bersaglio4(1,1),Bersaglio4(1,2),'o','LineWidth',0.5,'Color',[.6 0 0])
hold on
plot(Bersaglio5(1,1),Bersaglio5(1,2),'o','LineWidth',0.5,'Color',[.6 0 0])
hold on
plot(punta(1,1),punta(1,2),'*','LineWidth',2,'Color',[0 0 0.5])
hold on
text(punta(1,1),punta(1,2),'  1')
plot(punta(2,1),punta(2,2),'*','LineWidth',2,'Color',[0 0 0.5])
hold on
text(punta(2,1),punta(2,2),'  2')
plot(punta(3,1),punta(3,2),'*','LineWidth',2,'Color',[0 0 0.5])
hold on
text(punta(3,1),punta(3,2),'  3')
plot(punta(4,1),punta(4,2),'*','LineWidth',2,'Color',[0 0 0.5])
hold on
text(punta(4,1),punta(4,2),'  4')
plot(punta(5,1),punta(5,2),'*','LineWidth',2,'Color',[0 0 0.5])
hold on
text(punta(5,1),punta(5,2),'  5')
plot(punta(6,1),punta(6,2),'*','LineWidth',2,'Color',[0 0 0.5])
hold on
text(punta(6,1),punta(6,2),'  6')
```

Codice lettura dati sensoriali

```
clear all
close all
clc

% definizione frequenza campionamento
f_samp = 0.001; % 0.002 = 2 ms (500 Hz); 0.001 = 1 ms (1000 Hz)
range_acc = 16; % indicarlo in g
range_vel_ang = 1000; % indicarlo in dps

% definizione percorsi
elaborazione_Path = cd('.');          % Identify the script path
% cd ..                                % It moves one level up
% data_Path = [cd '\trials03112016\'];
% cd(data_Path)
data_Path = uigetdir(cd);
cd(data_Path)

%_/_/_/_/_/_/_/_/_/_/_/Data READING_/_/_/_/_/_/_/_/_/_/_/
%   vado nella directory CSV e faccio una lista, assegno un nome a ogni file
% 7 sensori --> 7 nomi
```

```
LIST=dir('*.csv');                          % leggo i file csv in un'unica
cartella

trial1name=char(LIST(1).name);   % assegno nome per trial(camminata)
trial2name=char(LIST(2).name);
trial3name=char(LIST(3).name);
trial4name=char(LIST(4).name);
% trial5name=char(LIST(5).name);
% trial6name=char(LIST(6).name);
% trial7name=char(LIST(7).name);

cd(elaborazione_Path)

%leggo i dati di trial con la function readsensor
%ho una matrice con [time acc_x acc_y acc_z omega_x omega_y omega_z mag_x
mag_y mag_z]
[trial01raw]=readsensor_new(fullfile(data_Path,trial1name));
[trial02raw]=readsensor_new(fullfile(data_Path,trial2name));
[trial03raw]=readsensor_new(fullfile(data_Path,trial3name));
[trial04raw]=readsensor_new(fullfile(data_Path,trial4name));
% [trial05raw]=readsensor_new(fullfile(data_Path,trial5name));
% [trial06raw]=readsensor_new(fullfile(data_Path,trial6name));
% [trial07raw]=readsensor_new(fullfile(data_Path,trial7name));

%   leggo la colonna dei tempi
trialtime01=trial01raw(:,1)*0.1; % moltiplico per 0.1 in modo da avere un
numero con la virgola
trialtime02=trial02raw(:,1)*0.1;
trialtime03=trial03raw(:,1)*0.1;
trialtime04=trial04raw(:,1)*0.1;
% trialtime05=trial05raw(:,1)*0.1;
% trialtime06=trial06raw(:,1)*0.1;
% trialtime07=trial07raw(:,1)*0.1;

trialtime01ini=trialtime01(1,1);
trialtime02ini=trialtime02(1,1);
trialtime03ini=trialtime03(1,1);
trialtime04ini=trialtime04(1,1);
% trialtime05ini=trialtime05(1,1);
% trialtime06ini=trialtime06(1,1);
% trialtime07ini=trialtime07(1,1);
trialtimeini01=round(trialtime01ini); % prendo l'intero più vicino così ho
la successione temporale
trialtimeini02=round(trialtime02ini);
trialtimeini03=round(trialtime03ini);
trialtimeini04=round(trialtime04ini);
% trialtimeini05=round(trialtime05ini);
% trialtimeini06=round(trialtime06ini);
% trialtimeini07=round(trialtime07ini);

trialtime01=round(trialtime01);
trialtime02=round(trialtime02);
trialtime03=round(trialtime03);
trialtime04=round(trialtime04);
% trialtime05=round(trialtime05);
% trialtime06=round(trialtime06);
% trialtime07=round(trialtime07);
trialini=cat(2,trialtimeini01,trialtimeini02,trialtimeini03,trialtimeini04);
%,trialtimeini05);%,trialtimeini06,trialtimeini07); %concatena tutti gli
istanti iniziali
trialtimeini=max(trialini); %trova il valore più grande e lo assegna come
valore iniziale
```

```
%ciclo while per fissare l'istante inizale e sincronizzare i sensori tra di
loro
flag=0;
while flag==0

    [trial01detx]=find(trialtime01==trialtimeini); %ottengo le coordinate
per fissare l' istante iniziale
    [trial02detx]=find(trialtime02==trialtimeini);
    [trial03detx]=find(trialtime03==trialtimeini);
    [trial04detx]=find(trialtime04==trialtimeini);
%     [trial05detx]=find(trialtime05==trialtimeini);
%     [trial06detx]=find(trialtime06==trialtimeini);
%     [trial07detx]=find(trialtime07==trialtimeini);

    if (isempty(trial01detx)==1 || isempty(trial02detx)==1 ||
isempty(trial03detx)==1 || isempty(trial04detx)==1) % ||
isempty(trial05detx)==1) % || isempty(trial06detx)==1 ||
isempty(trial07detx)==1)
        trialtimeini=trialtimeini+1;
    else
        flag=1;
    end
end
trial01rawl=trial01raw(trial01detx:end, 2:end);
trial02rawl=trial02raw(trial02detx:end, 2:end);
trial03rawl=trial03raw(trial03detx:end, 2:end);
trial04rawl=trial04raw(trial04detx:end, 2:end);
% trial05rawl=trial05raw(trial05detx:end, 2:end);
% trial06rawl=trial06raw(trial06detx:end, 2:end);
% trial07rawl=trial07raw(trial07detx:end, 2:end);

trial01_end=size(trial01rawl,1);
trial02_end=size(trial02rawl,1);
trial03_end=size(trial03rawl,1);
trial04_end=size(trial04rawl,1);
% trial05_end=size(trial05rawl,1);
% trial06_end=size(trial06rawl,1);
% trial07_end=size(trial07rawl,1);
trial_end=cat(2, trial01_end, trial02_end, trial03_end, trial04_end); %,
trial05_end);%, trial06_end, trial07_end);
trialend=min(trial_end);

%   salvo su trialraw tutti i dati a aprtire da uno stesso istante
iniziale[acc_x acc_y acc_z omega_x omega_y omega_z mag_x mag_y mag_z]
trial01raw=trial01rawl(1:trialend,:);
trial02raw=trial02rawl(1:trialend,:);
trial03raw=trial03rawl(1:trialend,:);
trial04raw=trial04rawl(1:trialend,:);
% trial05raw=trial05rawl(1:trialend,:);
% trial06raw=trial06rawl(1:trialend,:);
% trial07raw=trial07rawl(1:trialend,:);

% oriento correttamente assi accelerometro e converto accelerazione da m/s^2
a G
trial01raw(:,1:3) = trial01raw(:,1:3)/10;
trial02raw(:,1:3) = trial02raw(:,1:3)/10;
trial03raw(:,1:3) = trial03raw(:,1:3)/10;
trial04raw(:,1:3) = trial04raw(:,1:3)/10;
% trial05raw(:,1:3) = -trial05raw(:,1:3)/10;
% trial06raw(:,1:3) = -trial06raw(:,1:3)/10;
% trial07raw(:,1:3) = -trial07raw(:,1:3)/10;

% vettore tempo
% time = (1:length(trial01raw))/200;
```

```
time = linspace(0,length(trial01raw)*f_samp,length(trial01raw));

% plot accelerazioni
figure();
subplot(4,1,1);plot(time,trial01raw(:,1),'b',time,trial01raw(:,2),'r',time,t
rial01raw(:,3),'g');title('Accelerazioni'); ylabel({'sensor 1'; 'coccia';
'(g)'});legend('x','y','z'); ylim([-range_acc-1 range_acc+1])
subplot(4,1,2);
plot(time,trial02raw(:,1),'b',time,trial02raw(:,2),'r',time,trial02raw(:,3),
'g'); ylabel({'sensor 2'; 'piede dx'; '(g)'});legend('x','y','z'); ylim([-
range_acc-1 range_acc+1])
subplot(4,1,3);
plot(time,trial03raw(:,1),'b',time,trial03raw(:,2),'r',time,trial03raw(:,3),
'g'); ylabel({'sensor 3'; 'piede sx'; '(g)'});legend('x','y','z'); ylim([-
range_acc-1 range_acc+1])
subplot(4,1,4);
plot(time,trial04raw(:,1),'b',time,trial04raw(:,2),'r',time,trial04raw(:,3),
'g'); ylabel({'sensor 4'; 'COM'; '(g)'});legend('x','y','z'); ylim([-
range_acc-1 range_acc+1])
% subplot(5,1,5);
plot(time,trial05raw(:,1),'b',time,trial05raw(:,2),'r',time,trial05raw(:,3),
'g'); ylabel({'sensors 6'; 'terra'; '(g)'});legend('x','y','z'); ylim([-
range_acc-1 range_acc+1])
% figure();
plot(time,trial06raw(:,1),'b',time,trial06raw(:,2),'r',time,trial06raw(:,3),
'g');title('Accelerazioni'); ylabel({'sensors 6'; 'coscia dx';
'(G)'});legend('x','y','z'); ylim([-17 17])
% figure();
plot(time,trial07raw(:,1),'b',time,trial07raw(:,2),'r',time,trial07raw(:,3),
'g');title('Accelerazioni'); ylabel({'sensors 7'; 'sterno';
'(G)'});legend('x','y','z'); ylim([-17 17])

% plot velocità angolari
figure(); subplot(4,1,1);
plot(time,trial01raw(:,4),'b',time,trial01raw(:,5),'r',time,trial01raw(:,6),
'g');title('Velocità angolari'); ylabel({'sensor 1'; 'coccia';
'(dps)'});legend('x','y','z'); ylim([-range_vel_ang-100 range_vel_ang+100])
subplot(4,1,2);
plot(time,trial02raw(:,4),'b',time,trial02raw(:,5),'r',time,trial02raw(:,6),
'g'); ylabel({'sensor 2'; 'piede dx'; '(dps)'});legend('x','y','z'); ylim([-
range_vel_ang-100 range_vel_ang+100])
subplot(4,1,3);
plot(time,trial03raw(:,4),'b',time,trial03raw(:,5),'r',time,trial03raw(:,6),
'g'); ylabel({'sensor 3'; 'piede sx'; '(dps)'});legend('x','y','z'); ylim([-
range_vel_ang-100 range_vel_ang+100])
subplot(4,1,4);
plot(time,trial04raw(:,4),'b',time,trial04raw(:,5),'r',time,trial04raw(:,6),
'g'); ylabel({'sensor 4'; 'COM'; '(dps)'});legend('x','y','z'); ylim([-
range_vel_ang-100 range_vel_ang+100])
% subplot(5,1,5);
plot(time,trial05raw(:,4),'b',time,trial05raw(:,5),'r',time,trial05raw(:,6),
'g'); ylabel({'sensors 6'; 'terra'; '(dps)'});legend('x','y','z'); ylim([-
range_vel_ang-100 range_vel_ang+100])
% figure();
plot(time,trial06raw(:,4),'b',time,trial06raw(:,5),'r',time,trial06raw(:,6),
'g');title('Velocità angolari'); ylabel({'sensors 6'; 'coscia dx';
'(dps)'});legend('x','y','z'); ylim([-510 510])
% figure();
plot(time,trial07raw(:,4),'b',time,trial07raw(:,5),'r',time,trial07raw(:,6),
'g');title('Velocità angolari'); ylabel({'sensors 7'; 'sterno';
'(dps)'});legend('x','y','z'); ylim([-510 510])

% plot accelerazioni
```

```
figure();
subplot(4,1,1);plot(time,trial01raw(:,1),'b',time,trial01raw(:,2),'r',time,t
rial01raw(:,3),'g');title('Accelerazioni'); ylabel({'sensor 1'; 'coccia';
'(g)'});legend('alto','destra','anteriore'); ylim([-range_acc-1
range_acc+1])
subplot(4,1,2);
plot(time,trial02raw(:,1),'b',time,trial02raw(:,2),'r',time,trial02raw(:,3),
'g'); ylabel({'sensor 2'; 'piede dx';
'(g)'});legend('alto','anteriore','mediale'); ylim([-range_acc-1
range_acc+1])
subplot(4,1,3);
plot(time,trial03raw(:,1),'b',time,trial03raw(:,2),'r',time,trial03raw(:,3),
'g'); ylabel({'sensor 3'; 'piede sx';
'(g)'});legend('alto','posteriore','mediale'); ylim([-range_acc-1
range_acc+1])
subplot(4,1,4);
plot(time,trial04raw(:,1),'b',time,trial04raw(:,2),'r',time,trial04raw(:,3),
'g'); ylabel({'sensor 4'; 'COM';
'(g)'});legend('anteriore','sinistra','fuori'); ylim([-range_acc-1
range_acc+1])

% plot velocità angolari
figure(); subplot(4,1,1);
plot(time,trial01raw(:,4),'b',time,trial01raw(:,5),'r',time,trial01raw(:,6),
'g');title('Velocità angolari'); ylabel({'sensor 1'; 'coccia';
'(dps)'});legend('alto','destra','anteriore'); ylim([-range_vel_ang-100
range_vel_ang+100])
subplot(4,1,2);
plot(time,trial02raw(:,4),'b',time,trial02raw(:,5),'r',time,trial02raw(:,6),
'g'); ylabel({'sensor 2'; 'piede dx';
'(dps)'});legend('alto','anteriore','mediale'); ylim([-range_vel_ang-100
range_vel_ang+100])
subplot(4,1,3);
plot(time,trial03raw(:,4),'b',time,trial03raw(:,5),'r',time,trial03raw(:,6),
'g'); ylabel({'sensor 3'; 'piede sx';
'(dps)'});legend('alto','posteriore','mediale'); ylim([-range_vel_ang-100
range_vel_ang+100])
subplot(4,1,4);
plot(time,trial04raw(:,4),'b',time,trial04raw(:,5),'r',time,trial04raw(:,6),
'g'); ylabel({'sensor 4'; 'COM';
'(dps)'});legend('anteriore','sinistra','fuori'); ylim([-range_vel_ang-100
range_vel_ang+100])
```

Codice Subplot caratteristiche

```
%carichiamo i file mat per ottenere i dati sulle accelerazioni e sulla
%precisione dell'affondo

load('caratteristiche_accellerazioni_prova3.mat');
load('precisione_affondo_prova3.mat');

acc_coccia_A1=[trial01raw(32934:34934,1) trial01raw(32934:34934,2)
trial01raw(32934:34934,3)];
acc_piede_dx_A1=[trial02raw(32934:34934,1) trial02raw(32934:34934,2)
trial02raw(32934:34934,3)];
acc_CdM_A1=[trial04raw(32934:34934,1) trial04raw(32934:34934,2)
trial04raw(32934:34934,3)];

% calcoliamo la norma delle accelerazioni
```

```
n1=length(acc_coccia_A1);
for i=1:n1
    norma_acc_coccia_A1(i)=norm(acc_coccia_A1(i));
end
n2=length(acc_piede_dx_A1);
for i=1:n2
    norma_acc_piede_dx_A1(i)=norm(acc_piede_dx_A1(i));
end
n3=length(acc_CdM_A1);
for i=1:n3
    norma_acc_CdM_A1(i)=norm(acc_CdM_A1(i));
end
```

```
f_imu = 0.001; %(1000 Hz)
f_barra= 0.008333; %(120 Hz)
tempoBarra = linspace(0,length(punta)*f_barra,length(punta));
tempoImu=linspace(0,length(acc_coccia_A1)*f_imu,length(acc_coccia_A1));

n_frames_barra=length(tempoBarra);
x_barra=(1:n_frames_barra)./n_frames_barra.*100;
n_frames_imu=length(tempoImu);
x_imu=(1:n_frames_imu)./n_frames_imu.*100;

piede = find(x_barra == x_barra(1,55));
punta2 = find(x_barra == x_barra(1,109));
piedeimu = find(x_imu == x_imu(1,366));
puntaimu = find(x_imu == x_imu(1,725));
```

```
subplot(6,1,1), plot(x_barra,ThetainDegrees,'-p','MarkerIndices',[punta2
piede]);xlim([0 100])
xlabel('percentuale affondo')
ylabel('Angolo teta [°]')
title('Andamento di teta nel tempo - Affondo')
subplot(6,1,2), plot(x_barra,polso_arm(:,1),'b'...
    ,x_barra,polso_arm(:,2),'r',x_barra,polso_arm(:,3),'g')...
    ; ylabel({'polso dx';}); legend('x','y','z'); xlabel('percentuale
affondo');
grid on
subplot(6,1,3), plot(x_barra,punta(:,1),'b'...
    ,x_barra,punta(:,2),'r',x_barra,punta(:,3),'g')...
    ; ylabel({'punta';}); legend('x','y','z');xlabel('percentuale affondo');
grid on
subplot(6,1,4),plot(x_imu,acc_coccia_A1(:,1),'b'...
    ,x_imu,acc_coccia_A1(:,2),'r',x_imu,acc_coccia_A1(:,3),'g')...
    ; ylabel({'a coccia (g)';}); legend('x','y','z');xlabel('percentuale
affondo');
grid on
subplot(6,1,5),plot(x_imu,acc_piede_dx_A1(:,1),'b'...
    ,x_imu,acc_piede_dx_A1(:,2),'r',x_imu,acc_piede_dx_A1(:,3),'g')...
    ; ylabel({'a piede dx (g)';});legend('x','y','z');xlabel('percentuale
affondo');
grid on
subplot(6,1,6),plot(x_imu,acc_CdM_A1(:,1),'b'...
    ,x_imu,acc_CdM_A1(:,2),'r',x_imu,acc_CdM_A1(:,3),'g')...
    ; ylabel({'a CdM (g)';});legend('x','y','z');xlabel('percentuale
affondo');
grid on
```

```
figure(); subplot(3,1,1), plot(x_imu, norma_acc_coccia_A1,'-
p','MarkerIndices',[puntaimu piedeimu],'MarkerFaceColor','red'); xlim([0
100]), ylabel('norma acc coccia (g)')
subplot(3,1,2), plot(x_imu, norma_acc_piede_dx_A1,'-
p','MarkerIndices',[puntaimu piedeimu],'MarkerFaceColor','red'); xlim([0
100]), ylabel('norma acc piede dx (g)')
subplot(3,1,3), plot(x_imu, norma_acc_CdM_A1,'-p','MarkerIndices',[puntaimu
piedeimu],'MarkerFaceColor','red'); xlim([0 100]),ylabel('norma acc CdM
(g)')
xlabel('percentuale affondo')
grid on
```