

DIPARTIMENTO DI MEDICINA

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

*Corso di Laurea Magistrale in
Scienze e Tecniche dell'Attività Motoria Preventiva e Adattata*

TESI DI LAUREA

**Valutazione biomeccanica "on-field" di una
squadra di pallavolo per lo sviluppo di un
protocollo personalizzato di allenamento**

Relatore: Prof.ssa Sawacha Zimi

Correlatore: Prof.ssa Spolaor Fabiola, Giulio Rigoni PhD student

Laureando: Cosentino Laura

Anno Accademico 2022/2023

INDICE

INDICE	I
RIASSUNTO	III
ABSTRACT	IV
INTRODUZIONE	1
CAPITOLO 1 – LA PALLAVOLO	3
1.1. LE CARATTERISTICHE DEL CAMPO DA GIOCO	3
1.2. I FONDAMENTALI DI GIOCO	4
1.2.1. Il palleggio	4
1.2.2. Il bagher	4
1.2.3. Il servizio	5
1.2.4. La schiacciata	7
1.2.5. Il muro	7
1.3. NUMERO, RUOLI E POSIZIONI DEI GIOCATORI	8
1.3.1. Il palleggiatore	9
1.3.2. Il libero	9
1.3.3. Il centrale	10
1.3.4. La banda	11
1.3.5. L'opposto	11
1.4. INFORTUNI NELLA PALLAVOLO	12
1.5. BIOMECCANICA APPLICATA ALLA PALLAVOLO	13
CAPITOLO 2 – ANALISI DEL MOVIMENTO	17
2.1. STEREOFOTOGRAMMETRIA	17
2.2. PROTOCOLLI PER L'ANALISI DEL MOVIMENTO	18

2.2.1.	Protocollo Davis	19
2.2.2.	Protocollo Cast	20
2.2.3.	Protocollo IOR Gate	21
2.3.	ELETTROMIOGRAFIA	22
CAPITOLO 3 – MATERIALI E METODI		25
3.1.	SOGGETTI	25
3.2.	SET-UP SPERIMENTALE	26
3.2.1.	Marker set	26
3.2.2.	Fotocamere	26
3.2.3.	sEMG	27
3.2.4.	TrackOnField	28
3.2.5.	MatLab	29
3.2.5.1.	<i>Angoli</i>	29
3.2.5.2.	<i>sEMG</i>	29
3.3.	VARIABILI ANALIZZATE	30
CAPITOLO 4 – RISULTATI E DISCUSSIONE		32
4.1.	REPORT PERSONALIZZATI	33
4.1.1.	Soggetto 2	39
4.1.2.	Soggetto 3	41
4.1.3.	Soggetto 5	44
4.1.4.	Soggetto 7	46
CONCLUSIONI		49
BIBLIOGRAFIA		50
APPENDICE		54

RIASSUNTO

Il presente lavoro di tesi è stato svolto grazie alla collaborazione tra il BioMovLab del Dipartimento di Ingegneria dell'informazione dell'università degli studi di Padova e la squadra di pallavolo CUS Padova (Serie C), e si è occupato dell'analisi biomeccanica approfondita dei gesti tecnici del muro e della schiacciata, due componenti essenziali nel gioco del pallavolo. Nel corso dello studio, sono state analizzate diverse variabili biomeccaniche, come gli angoli di flessione ed estensione delle articolazioni di anca, ginocchio e caviglia tramite analisi cinematica e l'attività muscolare attraverso l'elettromiografia di superficie (EMG). I gesti del muro e della schiacciata sono stati scelti poiché presentano un alto rischio di infortuni alle ginocchia e alle caviglie, dovuto all'elevata frequenza dei salti e degli atterraggi. Lo scopo della tesi è stato quello di identificare le variabili biomeccaniche caratterizzanti di questi due task e sulla base di queste creare un protocollo di allenamento personalizzato per ogni giocatore. Le variabili analizzate sono state nel dettaglio gli angoli di flessione ed estensione di anca, ginocchio e caviglia e l'attività muscolare degli arti inferiori. Le acquisizioni "on field", effettuate direttamente in campo, hanno garantito la naturalità dei movimenti studiati. Gli strumenti utilizzati per raccogliere i dati includono fotocamere GoPro per l'analisi cinematica, sonde EMG wireless per rilevare l'attività muscolare e software specializzati come TrackOnField e MatLab per elaborare e analizzare i dati raccolti. Il focus era rivolto verso l'analisi degli angoli di flessione ed estensione delle articolazioni dell'anca, ginocchio e caviglia durante i gesti tecnici, insieme all'attività muscolare di muscoli specifici degli arti inferiori. I risultati, focalizzandosi su quattro giocatori selezionati, hanno evidenziato differenze notevoli tra l'articolazione destro e sinistro in alcuni atleti. Queste asimmetrie indicavano potenziali aree di rischio o inefficienza nei movimenti. In conclusione, lo studio vuole ribadire l'importanza di una valutazione biomeccanica "on-field" per ottenere dati autentici. L'approfondita analisi ha lo scopo di sviluppare protocolli di allenamento personalizzati con l'obiettivo di migliorare le prestazioni degli atleti e ridurre il rischio di infortuni, enfatizzando l'importanza di una collaborazione stretta tra allenatori, atleti e specialisti biomeccanici.

ABSTRACT

This thesis, conducted in collaboration with BioMovLab and the CUS Padova volleyball team (Series C), is dedicated to a comprehensive biomechanical analysis of the technical actions of blocking and spiking, both fundamental components in the game of volleyball. Throughout the study, various biomechanical variables, such as flexion and extension angles of the joints, were analyzed through kinematic analysis and muscular activity using surface electromyography (EMG). The actions of blocking and spiking were chosen due to their high risk of injuries to the knees and ankles, attributed to the frequency of jumps and landings.

Using techniques such as kinematic analysis and surface electromyography (EMG), the research aimed to identify the primary biomechanical variables involved in these movements. These variables encompassed aspects like the flexion and extension angles of key joints and the muscular activity of the lower limbs. "On-field" acquisitions, conducted directly on the court, ensured the authenticity of the movements studied.

The tools utilized for data collection included GoPro cameras for kinematic analysis, wireless EMG probes to detect muscular activity, and specialized software such as TrackOnField and MatLab for processing and analyzing the gathered data. The focus was directed towards the analysis of flexion and extension angles of the hip, knee, and ankle joints during technical actions, combined with the muscular activity of specific muscles of the lower limbs.

The results, centering on four selected players, revealed significant disparities between the right and left joint articulations in some athletes. These asymmetries indicated potential areas of risk or inefficiency in movements.

In conclusion, the study underscores the importance of an "on-field" biomechanical assessment to acquire genuine data. The detailed analysis aims to develop personalized training protocols with the objective of enhancing athletes' performance and minimizing injury risks, emphasizing the importance of close collaboration among coaches, athletes, and biomechanical specialists

INTRODUZIONE

La pallavolo è uno sport di squadra in cui due squadre, ognuna composta da sei giocatori in campo con ruoli ben definiti, sono separate da una rete. Ogni squadra ha l'obiettivo di segnare punti mettendo a terra una palla nel campo avversario, secondo regole organizzate [1].

Al fine di realizzare un punto, ogni squadra ha la possibilità di inviare il pallone nel campo avversario effettuando un massimo di tre tocchi ad azione, ad esclusione del muro – un giocatore non può toccare la palla due volte consecutivamente, atto che comporta la segnalazione di un fallo di gioco e che conferisce automaticamente un punto agli avversari –, usufruendo di gesti tecnici sport specifici.

Il presente progetto di tesi si inserisce all'interno di una collaborazione sviluppata ad hoc per il suddetto lavoro tra il BioMovLab (Laboratorio di Bioingegneria del Movimento, DEI-UNIPD) e la squadra di Pallavolo maschile del CUS Padova (Serie C), e si è occupato di analizzare la biomeccanica dei task del muro e della schiacciata, dalla fase di stacco fino alla fase di atterraggio, da dati rilevati direttamente sul campo presso gli impianti sportivi del CUS. In tale studio ci si è posti lo scopo di identificare le variabili biomeccaniche caratterizzanti di questi due task e sulla base di queste creare un protocollo di allenamento personalizzato per ogni giocatore. Il rationale alla base dello studio ha previsto innanzitutto l'identificazione di eventuali criticità nell'esecuzione dei task riconducibili ad un potenziale rischio di infortunio per l'atleta e alla luce di questo sviluppare un protocollo di esercizio che mirasse a migliorare la funzionalità del gesto.

A tal fine, si sono analizzate le seguenti variabili biomeccaniche:

- Angoli di flesso-estensione (piano sagittale) delle articolazioni di anca, ginocchio e caviglia stimati tramite all'analisi cinematica effettuata con software di video-tracking sviluppati presso il BioMovLab;
- Attività muscolare tramite l'analisi del segnale registrato con un Elettromiografo di superficie (*EMG*).

I task di muro e schiacciata sono stati scelti in quanto sono, tra i cinque fondamentali della pallavolo – servizio (*serve*), palleggio (*set*), bagher (*dig*), muro (*block*), schiacciata (*spike*) –

i gesti tecnici con maggiore rischio di infortunio al ginocchio e alla caviglia, poiché presentano un'alta frequenza di salti e, di conseguenza, di atterraggi [2].

L'utilizzo dell'EMG nello sport richiede un approccio tecnologico e metodologico specifico, adattabile sia al campo che alle circostanze sportive.

Le tecniche e le abilità di movimento sportivo, gli approcci e i metodi di allenamento hanno in comune un'attività muscolare altamente specializzata. La conoscenza di tale azione muscolare in tutti i suoi aspetti, la sua valutazione e il suo feedback dovrebbero consentire l'ottimizzazione del movimento, dei materiali sportivi, delle possibilità di allenamento e, in definitiva, delle prestazioni sportive [3].

La parte iniziale della tesi presenta nozioni sullo sport della pallavolo, soffermandosi sui ruoli dei giocatori e sui fondamentali di gioco, in particolar modo su quelli di interesse allo studio.

Successivamente, viene trattata la disciplina dell'Analisi del Movimento, illustrandone possibili studi effettuabili e strumentazioni che possono essere utilizzate ai fini di una valutazione biomeccanica e funzionale di un task motorio.

La parte centrale della tesi illustra materiali e metodi di cui si è fatto utilizzo. Nello specifico, vengono presentati: la popolazione reclutata e le relative variabili prese in considerazione; la strumentazione di cui si è usufruito durante la rilevazione e la ripresa dei task attuati "on-field"; i software per video-tracking, ricostruzione tridimensionale, calcolo di parametri prestabiliti e analisi degli stessi, eseguiti in laboratorio.

Seguiranno i risultati dello studio condotto e le conclusioni contenenti un confronto tra quanto riscontrato nella siffatta indagine e quanto presente in letteratura sull'argomento preso in analisi.

CAPITOLO 1 – LA PALLAVOLO

Il presente capitolo tratta lo sport della pallavolo. Nello specifico, si illustrano lo scopo del gioco, le caratteristiche del campo, il numero e i ruoli dei giocatori e i fondamentali di gioco, ponendo particolare attenzione agli elementi considerati nello studio.

La pallavolo è uno sport di squadra, che si svolge tra due squadre con in campo sei giocatori e altri sei, fino a un massimo di otto, in panchina per ognuna delle squadre. Lo scopo del gioco è realizzare punti, facendo in modo che la palla tocchi terra nel campo avversario (fase di attacco), e impedire che la squadra avversaria possa fare altrettanto (fase di difesa) [1].

Una squadra conquista un punto quando fa cadere la palla nel campo avversario, quando la squadra avversaria commette un fallo, fa cadere la palla al di fuori del campo o quando subisce una penalizzazione.

Quando una squadra consegue un punteggio di 25 con almeno due punti di scarto rispetto all'altra, si aggiudica un set. Se le squadre arrivano al 24 pari si continua a giocare finché una delle due ottiene il distacco di due punti. La competizione viene vinta dalla squadra che per prima conquista tre set su cinque. Nel caso in cui siano stati vinti due set da ogni squadra, ne viene disputato, allora, un quinto e ultimo. Questo, a differenza degli altri quattro, ha come target un punteggio di 15 con sempre uno scarto di almeno due punti. Se le squadre arrivano al 14 pari, si segue analogo ragionamento effettuato per gli altri set [4].

1.1. LE CARATTERISTICHE DEL CAMPO DA GIOCO

L'area di gioco è un rettangolo di $18m \times 9m$, circondato da una zona libera di almeno $3m$ da ogni lato. La superficie deve essere uniforme, piana e orizzontale, in modo da non presentare alcun pericolo di infortunio per gli atleti.

Tutte le linee hanno una larghezza di $5cm$ e sono di colore differente da quello del pavimento. La linea centrale suddivide il campo in due quadrati delle dimensioni di $9m \times 9m$, è situata al di sotto della rete andando da una linea laterale all'altra.

La linea di attacco è situata in ogni campo a $3m$ dalla linea centrale, delimitando così la zona d'attacco. Questa è considerata estesa oltre le linee laterali fino al limite della zona libera [4].

1.2. I FONDAMENTALI DI GIOCO

I giocatori si servono di gesti tecnici per costruire l'azione con l'obiettivo di segnare un punto. Lo sport della pallavolo comprende cinque fondamentali di gioco: battuta (*serve*), bagher (*dig*), palleggio (*set*), schiacciata (*spike*), muro (*block*).

1.2.1. *Il palleggio*

Il palleggio è il primo fondamentale che viene insegnato, in quanto propedeutico agli altri gesti. Si esegue posizionando le mani davanti la fronte a formare un triangolo attorno alla palla con pollici e indici, con i primi vicini tra loro che hanno funzione di ammortizzazione nella fase di entrata del pallone tra le mani e di spinta in quella di uscita. I gomiti sono leggermente piegati, al di sopra e a una larghezza superiore a quella delle spalle.

Il palleggio viene utilizzato principalmente per effettuare un'alzata; solitamente è il secondo tocco su tre disponibili, affinché un terzo giocatore possa attaccare la palla per inviarla dall'altra parte della rete nel tentativo di segnare un punto.

Le articolazioni di dita, polso, gomito, spalla, busto, anca, ginocchio e caviglia lavorano in sinergia alla realizzazione della spinta della palla; non sempre si fa uso di tutte le leve, in quanto dipende dal tipo di palleggio effettuato – in avanti, indietro, in salto per permettere all'attrezzo di percorrere distanze maggiori, in sospensione per ridurre il tempo di volo del pallone ed effettuare attacchi più rapidi – e dalla situazione di gioco [5] [6].

1.2.2. *Il bagher*

Il bagher, spesso il primo tocco di un'azione, è il fondamentale solitamente utilizzato per la ricezione di una battuta, per la difesa di un attacco avversario e per la copertura d'attacco da parte della propria squadra, nell'eventualità in cui il muro dell'altra squadra rimandi la palla nello stesso campo [7].

Tale gesto tecnico prevede il coinvolgimento di varie articolazioni quali l'anca, il ginocchio, la caviglia e le spalle, i cui angoli si ampliano durante la fase di spinta [6].

Di seguito vi è la descrizione della posizione ideale alla realizzazione di un bagher corretto:

- Arti inferiori piegati con il peso del corpo gravante sugli avampiedi, con l'intera pianta a contatto con il pavimento, divaricati ad una larghezza lievemente superiore a quella delle spalle e con un piede leggermente in avanti rispetto all'altro a seconda della direzione da cui arriva il pallone e verso cui lo si vuole indirizzare;
- Busto inclinato in avanti e spalle proiettate in avanti e rivolte nella direzione verso cui si vuole indirizzare il pallone, con le braccia a formare all'incirca un angolo retto con il tronco;
- Mani l'una all'interno dell'altra con i pollici adiacenti per dare stabilità alla posizione degli arti superiori, polsi dorsi-flessi e avambracci supinati a favorire un piano ottimale per il rimbalzo della palla;
- Contatto con il pallone circa all'altezza dell'ombelico. Il rinvio deve essere effettuato con la spinta delle braccia e delle gambe contemporaneamente, con la distensione di queste ultime che si completa in seguito all'impatto della palla sugli avambracci, nella direzione desiderata [8].

1.2.3. *Il servizio*

Il servizio, chiamato anche “battuta”, è il fondamentale che rimette la palla in gioco a ogni azione. Viene eseguita dietro rispetto alla linea di fondo campo, con la possibilità di posizionarsi lungo tutti i 9m ed è l'eccezione in cui un giocatore può trattenere la palla – dal fischio dell'arbitro si hanno otto secondi per inviare l'attrezzo nell'altro campo. Tale fondamentale lo si può considerare come il primo tocco di attacco della squadra, in quanto risulta essere l'unico momento in cui vi è un intervento individuale, di uno contro sei, a differenza del resto delle dinamiche di gioco in cui i giocatori in campo collaborano alla costruzione di un'azione [8] [9].

In base all'effetto di rotazione impresso al pallone, troviamo due tipi di servizio:

- Spin (con rotazione): la traiettoria ottenuta da questo tipo di battuta, impressa grazie alla “frustata” del polso dell'arto che colpisce l'attrezzo [10], ha una considerevole accentuazione della curva verso il basso comportando una

riduzione al minimo del tempo di volo. Tuttavia, maggior è la rotazione data al pallone, maggiormente sarà prevedibile, stabile e, di conseguenza, intercettabile la sua traiettoria. Si ha, quindi, un'elevata velocità a scapito della prevedibilità della direzione [9].

- Float o flottante (senza rotazione): una volta colpita, la palla assume una traiettoria priva di rotazioni sul proprio asse; ciò comporta una situazione molto instabile in cui la velocità è disomogenea e il percorso tracciato appare ondeggiante. Difatti, grazie a tale tecnica il pallone tende a cadere spostandosi lateralmente e verticalmente in maniera tale che risulti difficilmente prevedibile dai giocatori in fase di ricezione. Si ha una correlazione diretta tra la velocità dell'attrezzo e la prevedibilità della traiettoria, ovvero all'aumentare del primo parametro si ha un incremento anche del secondo [9].

Oltre al fattore della rotazione della palla attorno al proprio asse, le battute vengono classificate anche secondo tecnica di lancio e di punto d'impatto dell'arto superiore sul pallone. Generalmente, le si suddivide in cinque tipologie, di seguito riportate: dal basso, dall'alto, in salto, a bilanciere e a laterale. Le ultime due casistiche sono sempre maggiormente in disuso, privilegiando l'utilizzo delle altre tre tecniche [9].

- La battuta dal basso è la prima che viene insegnata ai giocatori, soprattutto nelle categorie giovanili. Si effettua oscillando il braccio con la posizione della mano a pugno o a "cucchiaio" con l'obiettivo di inviare la palla nell'altra metà campo colpendola dal basso [10].
- Il servizio dall'alto, detto anche a tennis, consiste nel colpire il pallone dall'alto, invero, mantenendo i piedi in appoggio sul pavimento [10].
- Viene ampiamente utilizzata la battuta in salto soprattutto nelle categorie di gioco d'élite. In particolare, nelle squadre maschili sono diffuse sia quella salto spin che quella salto float, con predominanza della prima, la quale consiste in una sorta di schiacciata da fondo campo, ricercando maggiori velocità e, quindi, ridotto tempo di volo e di reazione da parte della squadra avversaria; nelle squadre femminili si riscontra frequentemente l'uso del servizio in salto flottante, anche se negli ultimi anni si sta diffondendo il salto spin anche in questa categoria [10] [11].

1.2.4. *La schiacciata*

Tale fondamentale è frequentemente caratteristico del terzo e ultimo tocco di un'azione offensiva, con l'obiettivo di guadagnare un punto facendo cadere la palla nel campo avversario [8]. Il salto utilizzato durante la schiacciata è un movimento molto specifico e complesso. La sua esecuzione non è determinata solo dalla forza e dalla potenza del giocatore, ma è influenzata anche dalla tecnica e dalla coordinazione [12]. Si compone di tre fasi, ovvero la rincorsa, la fase di volo e il colpo della mano sul pallone. Durante la fase di rincorsa, caratterizzata da un'alternanza di tre passi – per i giocatori destri sarà sinistro-destro-sinistro; viceversa, per quelli mancini – viene sviluppata la velocità orizzontale e successivamente decelerata appoggiando un piede davanti al corpo; il tutto è accompagnato da un'oscillazione delle braccia indietro. [12].

Successivamente allo stacco da terra vi è la fase di volo durante la quale le braccia salgono entrambe parallelamente al corpo. Il braccio dominante si flette ed extraruota al di sopra e posteriormente al capo, con la mano rivolta verso l'esterno, per poi estendersi e intraruotare rapidamente con lo scopo di colpire la palla nel punto più alto. La flessione del polso, la cosiddetta “frustata” è elemento determinante nello stabilire la traiettoria e la rotazione del pallone.

Il braccio non dominante è proiettato nella direzione della palla e scende nel momento in cui l'altro arto viene portato in avanti per eseguire il colpo d'attacco.

La ricaduta avviene quasi sempre prima sulla gamba sinistra e poi sulla destra [8].

1.2.5. *Il muro*

Il muro è il gesto tecnico che consente di intercettare, bloccare o influenzare la traiettoria d'attacco di un giocatore avversario. In base alla sua esecuzione, può essere utilizzato per realizzare un punto direttamente respingendo l'attacco e facendo cadere la palla nell'altro campo, per smorzare l'attacco e consentire la rigiocata e il contrattacco a favore della propria squadra o, ancora, per predisporre la difesa al di fuori del cono d'ombra proiettato dal muro sul proprio campo o in zone con maggior probabilità di caduta del pallone.

Tale fondamentale si costituisce di due componenti, ossia una che riguarda gli arti superiori e una che riguarda quelli inferiori.

Ci si posiziona di fronte alla rete con le braccia parallele ad essa, con le mani ad altezza delle spalle o del capo e a una distanza tale da non rischiare di toccare la rete o di invadere il campo avversario con gli arti inferiori andando oltre la linea di metà campo, azione che comporterebbe la segnalazione da parte dell'arbitro di un fallo di invasione e, di conseguenza, l'assegnazione di un punto e del possesso palla agli avversari.

Gli arti inferiori sono divaricati ad una larghezza di poco superiore a quella delle spalle, leggermente piegati e con tutta la pianta del piede a contatto con il suolo così da poter effettuare spostamenti lungo la rete, in base alla zona verso cui avviene l'alzata del palleggiatore e, quindi, l'attacco da parte dell'altro team; è importante l'aderenza al terreno anche per un fattore di spinta, la quale deve essere tale da raggiungere le massime altezze nel minor tempo possibile, al fine di realizzare un muro solido ed efficace.

Inerentemente alla posizione degli arti superiori, è corretto mantenerli vicini a rete, che si iper-estendano al di sopra della testa, che vengano protratte le spalle e che il capo sia in linea con il busto, in modo da non perdere di vista la situazione di gioco e la posizione del pallone. Inoltre, è importante che il muro sia invadente, ovvero che le braccia vadano oltre la rete, nel campo avversario, con un movimento dall'alto al basso.

Gli spostamenti lungo la rete vengono effettuati principalmente tramite due modalità, ovvero il "passo accostato" – viene mantenuta una posizione frontale alla rete e il baricentro basso durante la traslocazione – e il passo incrociato – si esegue posizionando il piede opposto alla direzione verso cui ci si dirige trasversalmente alla rete, passando davanti all'altro, e ciò viene seguito da un passo accostato per ristabilire la frontalità [8].

I fondamentali della schiacciata e del muro saranno approfonditi nel paragrafo 1.5. del corrente scritto, con un focus sulla biomeccanica del gesto tecnico nelle sue varie componenti.

1.3. NUMERO, RUOLI E POSIZIONI DEI GIOCATORI

Una squadra di pallavolo si costituisce di un massimo di quattordici giocatori, due dei quali come "libero" [13], con ruoli designati, dovuti principalmente a caratteristiche tecniche e antropometriche.

Nelle categorie giovanili si tende ad allenare tutti i fondamentali con lo scopo di dare completezza tecnica agli atleti. Successivamente, ci si specializza in un determinato ruolo in base a fattori quali altezza, somatotipo, potenza degli arti inferiori e superiori, rapidità, *etc.* alcuni dei quali sono modificabili dall'esperienza e dall'allenamento [14]. I ruoli esistenti nella pallavolo sono palleggiatore, banda, centrale, opposto e libero, di seguito trattati nel dettaglio:

1.3.1. *Il palleggiatore*

Il palleggiatore, o alzatore, è il giocatore che tocca la palla più volte durante l'azione. All'interno del campo è situato in "zona 2", quando è in prima linea, e in "zona 1", quando è in seconda.

Ha la priorità del secondo tocco, in quanto gli sono rivolti tutti i palloni provenienti dalla ricezione e dalla difesa (primo tocco) per poterli, quindi, smistare agli altri giocatori e permettere loro di attaccare e far punto (terzo tocco).

Viene definito il "regista" del gioco, poiché decide a chi alzare la palla, chiamando gli schemi di attacco ed effettuando, in pochi istanti, valutazioni sulla situazione, quali posizione muro avversario, disposizione della difesa e individuazione del compagno di squadra maggiormente prestante e con più probabilità di conquistare il punto.

Qualora il pallone ricevuto non fosse preciso, il palleggiatore deve velocemente cambiare schema, cercando di realizzare un'alzata più precisa possibile per poter concludere l'azione con efficacia [15].

1.3.2. *Il libero*

Il libero, essendo sottoposto a regole particolari, indossa la divisa di un altro colore, in modo tale che gli arbitri possano facilmente riconoscerlo.

Il libero gioca esclusivamente in seconda linea, solitamente in "posto 5", subentrando, solitamente, al centrale a partire dalla rotazione immediatamente successiva alla sua battuta di quest'ultimo, una volta che la squadra successiva effettua un'azione vincente. È specializzato nei fondamentali della ricezione e della difesa, non attacca, non mura e non effettua il servizio. Inoltre, se palleggia all'interno dell'area dei tre metri, l'attaccante che riceve il pallone, non può colpirlo al di sopra del nastro della rete. Rivestire il ruolo di libero può essere

psicologicamente stressante per l'atleta, in quanto non realizza punti "personali", essendo solitamente responsabile del primo tocco o, eccezionalmente, del secondo, nel caso in cui il palleggiatore sia impossibilitato ad alzare la palla. Tuttavia, è spesso artefice di difese, ricezioni e recuperi di estrema difficoltà, che difficilmente riuscirebbero ad essere effettuate da giocatori con ruoli differenti, sia per una questione tecnica che antropometrica. Infatti, spesso non raggiungono altezze elevate, poiché una statura bassa consente di avere un baricentro più basso e ciò gli permette di muoversi con maggiore reattività. Il suo ingresso in campo non è considerato "cambio"; infatti, può sostituire qualsiasi giocatore, purché in seconda linea [16].

1.3.3. *Il centrale*

Il nome del ruolo è attribuibile alla postazione in cui attacca, ovvero dal centro del campo, la "zona 3". La vicinanza alla posizione del palleggiatore permette di effettuare attacchi molto veloci, grazie ad alzate dalla traiettoria breve e rapida.

Oltre all'attacco, il centrale ha il compito di:

- Aiutare i giocatori laterali a muro effettuando il raddoppio;
- Effettuare rincorse credibili in modo da attirare l'attenzione del centrale avversario su di sé e dare la possibilità al proprio palleggiatore di realizzare un'alzata per un altro giocatore, che attaccherà contro muro a uno (un solo giocatore opposto in prima linea sarà in condizioni di murare, manca il raddoppio) e, di conseguenza, avrà maggior probabilità di chiudere un'azione vincente;
- Attaccare una palla molto rapida tale da impossibilitare muro e difesa avversaria ad una corretta disposizione in campo.

Inoltre, il centrale si caratterizza per giocare solo in prima linea, mentre in seconda gioca solo nella rotazione della sua battuta. Una volta terminato il turno di battuta, causa punto per la squadra avversaria, il libero subentra al suo posto.

I principali attacchi del centrale sono la "1", un primo tempo, ovvero una palla rapidissima accanto all'alzatore; la "7", cioè una palla lontana circa 2m dal palleggiatore; la "2", che è un primo tempo dietro al palleggiatore; specialmente nella pallavolo femminile è frequentemente utilizzata la "fast", molto simile ad una 7 ma indietro verso la "zona 2".

Considerata la rapidità che lo contraddistingue in attacco, il centrale deve effettuare la rincorsa anche di uno o due passi (anziché 3) e saltare sia in mono che bipodalico, in quanto, subito dopo un muro o una copertura, il centrale deve rendersi nuovamente disponibile ad attaccare, ragione per cui potrebbe non esserci il tempo materiale per fare una rincorsa da tre i passi. In particolare, il salto monopodalico è maggiormente utilizzato nella pallavolo femminile in occasione di una *fast* [17].

1.3.4. *La banda*

Il giocatore che riveste tale ruolo è l'attaccante a cui il palleggiatore alza la palla frontalmente. Difatti, le zone del campo adibitegli sono il "posto 4", in prima linea, e il "posto 6", in seconda linea. Pertanto, è colui che, se in seconda linea, può attaccare la "*pipe*" o "10".

L'atleta con il ruolo di banda è chiamato ad attaccare, a ricevere, difendere e ad aiutare il centrale nel muro ai lati del campo; talvolta affianca il centrale in zona 3 per effettuare un raddoppio o, se la situazione lo richiede, un "muro a tre", in cui tutta la prima linea è coinvolta nella realizzazione dello stesso.

Lo schiacciatore si occupa di gestire il terzo tocco anche dei palloni più difficili. Invero, spesso gli è affidato il compito di mettere a terra le palle "sporche" che non possono essere giocate con schemi predefiniti.

Affinché la banda possa performare efficacemente da entrambe le linee, necessita di forza e resistenza, sicché possa offrire un livello più o meno standard sia in attacco che in difesa.

Caratteristica molto importante di un giocatore laterale è l'elevazione. Difatti, l'altezza non è una discriminante per l'atleta, purché venga compensata con una buona capacità di salto; ciò gli consente di attaccare in maniera efficace, gestendo il colpo in maniera ottimale, e di posizionarsi correttamente a muro [18].

1.3.5. *L'opposto*

Il nome del ruolo è dato dal fatto che la sua posizione nella formazione iniziale è opposta a quella dell'alzatore. Di conseguenza, occupa le stesse posizioni di quest'ultimo – posto 1 in seconda linea e posto 2 in prima – una volta effettuato lo spostamento nelle proprie zone di competenza.

È chiamato più volte ad attaccare sia da prima che da seconda linea; difatti, è colui che effettua più attacchi all'interno di una partita. Differentemente dalla banda, non si occupa della ricezione, bensì esclusivamente della difesa.

Si tratta di un ruolo relativamente nuovo in quanto fino agli anni Ottanta venivano disposti in campo due alzatori, in modo da avere sempre tre attaccanti in prima linea – solo il palleggiatore in seconda linea eseguiva la penetrazione in prima linea per alzare il pallone. Dall'inizio degli anni Novanta, invece, vennero introdotti schemi di gioco con un singolo alzatore e ciò comportò la specializzazione dell'opposto [19].

1.4. INFORTUNI NELLA PALLAVOLO

Sebbene la pallavolo sia comunemente considerata uno sport sicuro e senza contatto, non è esente da frequenti infortuni sul campo che, spesso, comportano un breve arresto della pratica di attività sportiva.

Il tempo complessivo di assenza dal gioco per infortunio nella pallavolo è inferiore rispetto ad altre discipline di squadra, nonostante il tasso di eventi di distorsioni alla caviglia sia paragonabile a quello riscontrato negli sport ad alto contatto, quali calcio e pallacanestro. Di contro, gli infortuni gravi sono estremamente rari.

Secondo l'indagine di Migliorini F. et al. del 2019, una *systematic review* di vari studi inerenti agli infortuni nello sport della pallavolo, l'arto inferiore risulta essere l'area maggiormente offesa, seguito dall'arto superiore, dal tronco e dalla testa [20].

Gli infortuni più comuni nella pallavolo includono distorsioni della caviglia, tendinopatia rotulea, distorsioni delle dita e del pollice, lesioni da *overuse* della spalla e commozioni cerebrali [20] [21].

Le lesioni articolari, infortunio predominante, sono soprattutto distorsioni e danni ai legamenti, con preponderanza degli infortuni in acuto rispetto a quelli dovuti a *overuse*.

L'area del corpo più interessata da infortuni è la caviglia, caratterizzata da distorsioni articolari acute. Il ginocchio, seconda articolazione maggiormente colpita, è spesso associato a lesioni da *overuse* dei tendini nei maschi, mentre le femmine sono più inclini a rotture acute dei legamenti. Il tasso di distorsioni alla caviglia è paragonabile a quello riscontrato in sport di contatto, quali calcio e pallacanestro.

L'articolazione della spalla è soggetta a lesioni da *overuse*, mentre le dita sono per lo più soggette a fratture [20].

Le circostanze più frequenti correlate a tali lesioni sono la schiacciata e il muro, fondamentali caratterizzati da ripetuti salti ed atterraggi, sia su uno che su entrambi gli arti inferiori [20].

La distorsione della caviglia è un tipo di infortunio che si verifica soprattutto durante l'atterraggio sul piede di un giocatore avversario o compagno nella zona limitrofa alla rete, comportando una torsione dell'articolazione. In seguito il primo episodio di distorsione, l'articolazione subisce alcune modificazioni patologiche, le quali predispongono a recidive aumentando notevolmente l'incidenza complessiva di tale problematica. Uno studio radiologico ha riportato l'evidenza di formazioni di speroni della caviglia e sclerosi subcondrale in atleti di pallavolo d'élite [20] [22].

1.5. BIOMECCANICA APPLICATA ALLA PALLAVOLO

La biomeccanica è definita come lo studio delle leggi meccaniche relative al movimento o alla struttura degli organismi viventi. In quanto tale, consente agli specialisti dello sport di comprendere le forze che derivano o influenzano il movimento.

Un'analisi biomeccanica dei gesti che vengono eseguiti dagli atleti di pallavolo consente di ottenere prestazioni sportive ottimali riducendo al minimo il rischio d'infortuni.

L'abilità nel salto è una componente chiave del successo agonistico nell'indoor e nel beach volley. La qualità del salto influenza in modo importante tutti i fondamentali che ne richiedono l'effettuazione:

- Una maggiore elevazione concede di effettuare il servizio con un angolo di proiezione iniziale più piatto;
- Permette al palleggiatore di diminuire il tempo di volo del pallone per permettere un attacco rapido;
- Consente all'attaccante di superare il muro e al giocatore che sta murando di penetrare con le braccia ben oltre la rete, aumentando in tal modo l'efficacia del gesto.

Le proprietà muscolari individuali, le condizioni di movimento e la tecnica di salto contribuiscono a determinarne l'altezza. Un salto è inevitabilmente seguito da un atterraggio e il modo in cui gli atleti atterrano influenza il carico trasmesso alle loro articolazioni; pertanto, le tecniche di atterraggio sono una componente cruciale della prevenzione degli infortuni nella pallavolo [2].

Esiste una relazione tra la velocità del centro di massa (CoM) al momento dello stacco e l'altezza raggiunta durante un salto.

Durante un salto, le forze che agiscono sul corpo comprendono il peso dovuto alla massa dell'atleta e le forze trasferite dai muscoli attivati al suolo (forze reattive al suolo). Mentre il peso corporeo che agisce sull'atleta è costantemente diretto verso il basso, l'atleta estende le articolazioni di anca, ginocchio e caviglia per produrre una forza che accelera il CoM verso l'alto. Maggiore è la forza che l'atleta è in grado di applicare al suolo prima dello stacco (ovvero, maggiore è l'impulso applicato), più l'atleta accelera il proprio centro di massa, con conseguente aumento della velocità di stacco e dell'altezza del salto.

Oltre allo sviluppo intrinseco della forza da parte dei muscoli, dovuto al reclutamento delle singole unità motorie e all'aumento del tasso di attivazione delle stesse, la quantità di forza che agisce sul CoM dipende dalle condizioni del movimento, ossia dalla dinamica della contrazione o dal trasferimento della forza al suolo.

Secondo la relazione forza-velocità, la forza che un muscolo è in grado di sviluppare è inversamente correlata alla sua velocità di contrazione.

- Forze più elevate possono essere sviluppate da velocità di contrazione concentriche più lente;
- Forze contrattili ancora maggiori sono generate da contrazioni isometriche (velocità di contrazione=zero) o da contrazioni eccentriche (in cui la velocità di contrazione è negativa, riflettendo il fatto che la fibra muscolare si allunga in questo tipo di contrazione).

La relazione forza-lunghezza descrive la forza che un muscolo può sviluppare in funzione della sua lunghezza. Le proprietà intrinseche del muscolo, come la capacità di attivazione, la relazione forza-velocità e la relazione forza-lunghezza, possono essere modificate (entro limiti individuali) dall'allenamento [2].

Per aumentare l'altezza del salto, gli individui dovrebbero concentrarsi sugli aspetti fisiologici specifici del loro sistema neuromuscolare in cui potrebbero essere carenti. Ciò sottolinea l'importanza di un allenamento personalizzato. Mentre alcuni atleti potrebbero dover aumentare lo sviluppo della forza massima, altri potrebbero dover migliorare un deficit nella velocità di contrazione muscolare massima o nella capacità di potenza massima lavorando, quindi, sull'esplosività.

In generale, la capacità di sviluppare un'elevata potenza meccanica durante fase di spinta è strettamente correlata all'altezza del salto [2].

È stato riportato in letteratura come l'allenamento pliometrico esplosivo sia in grado di aumentare l'altezza del salto nei giocatori di pallavolo [23]. Diversi aspetti della tecnica di salto, come il contromovimento o l'oscillazione del braccio, possono avere effetti sostanziali sulle prestazioni di salto in altezza. Un contromovimento, cioè un abbassamento del CoM subito prima dell'inizio della fase di spinta, può potenzialmente accrescere l'altezza del salto di circa il 7% [24].

Tale aumento è dovuto all'incremento dell'attività mioelettrica nel ciclo di allungamento-accorciamento della contrazione, l'immagazzinamento e il riutilizzo dell'energia elastica, nonché una maggiore attività dei motoneuroni antecedentemente all'inizio della spinta [25].

Difatti, l'elevazione delle braccia al momento dello stacco determinano l'innalzamento del CoM (dovuto all'elevazione del braccio al momento dello stacco) e la riduzione della velocità di contrazione dei muscoli degli arti inferiori, con conseguente aumento della generazione della forza muscolare attraverso la relazione forza-velocità [2].

È stato riscontrato come l'oscillazione dinamica delle braccia durante la rincorsa d'attacco consenta di generare slancio e maggiori forze di reazione al suolo, con incrementi del 19-23% dell'altezza del salto [2] [12].

I muscoli degli arti inferiori sono pre-attivati, in seguito al posizionamento del piede con cui si effettua lo stacco, attraverso un ciclo di allungamento-accorciamento; nella fase di preparazione al salto gli angoli articolari diminuiscono e il CoM si abbassa. Successivamente l'elevazione delle braccia al momento dello stacco determinano l'innalzamento del CoM e la riduzione della velocità di contrazione dei muscoli degli arti inferiori, con conseguente aumento della generazione della forza muscolare attraverso la relazione forza-velocità [2].

Nel fondamentale del muro, il giocatore cerca di ridurre al minimo le possibili direzioni di attacco dell'avversario allungando le braccia oltre la rete. Meccanicamente, ciò produce un momento angolare intorno all'asse trasversale. Il momento generato dalle braccia deve essere controbilanciato da un momento angolare uguale e contrario di un'altra parte del corpo. Nel caso in cui tale movimento di compensazione non viene eseguito attivamente dalle gambe, potrebbe avvenire attraverso un'estensione del tronco e ciò non sarebbe ottimale, poiché diminuirebbe la capacità del giocatore di raggiungere con le braccia sia il compagno (per un eventuale muro a due o a tre) che la posizione per ostacolare l'attacco avversario; inoltre, potrebbe aprire un varco tra le braccia e la rete, rischiando che la palla si "insacchi" e sia complicata da tenere in gioco, comportando il punto avversario.

Si può anche osservare che la compensazione al momento angolare delle braccia da parte degli arti inferiori avviene intorno all'asse antero-posteriore. Per evitare un errore tecnico di penetrazione, o una discesa incontrollata, i momenti angolari devono essere compensati durante l'atterraggio [2].

Il corretto timing di attivazione dei muscoli degli arti inferiori è fondamentale per un modello di coordinazione che massimizzi le forze di reazione al suolo e, quindi, l'altezza del salto [12].

CAPITOLO 2 – ANALISI DEL MOVIMENTO

La prevenzione degli infortuni è una delle aree principali in cui la biomeccanica può essere applicata. I professionisti della medicina dello sport hanno studiato dati sugli infortuni per cercare di determinare le potenziali cause. Gli studi biomeccanici aiutano a prevenire tali infortuni fornendo informazioni sulle proprietà meccaniche dei tessuti, sui carichi meccanici durante il movimento e sulle terapie preventive o riabilitative. Inoltre, forniscono dati importanti per confermare i potenziali meccanismi di lesione ipotizzati dai medici sportivi e dagli studi epidemiologici.

Le prestazioni del movimento umano possono essere migliorate in molti modi. Un movimento efficace coinvolge fattori anatomici, abilità neuromuscolari, capacità fisiologiche e abilità psicologiche/cognitive. La biomeccanica ha una grande utilità nel migliorare le prestazioni negli sport o nelle attività in cui la tecnica è il fattore dominante piuttosto che la struttura fisica o la capacità fisiologica; essa è il principale elemento che contribuisce all'analisi qualitativa del movimento umano [26].

L'analisi del movimento si serve di una vasta gamma di strumenti e tecniche per indagare modelli di movimento, forze, angoli articolari, modalità di attivazione muscolare, *etc.*

Tali strumenti vengono utilizzati al fine di effettuare misurazioni oggettive del movimento umano, quali la stereofotogrammetria o i sensori inerziali (IMU), e delle forze interne ed esterne generate durante il movimento, attraverso pedane e solette di forza e di pressione e sistemi elettromiografici di superficie (EMG); consentono di ottenere un'accurata analisi della cinematica e della dinamica dei segmenti del corpo e delle relative articolazioni coinvolte nel compito motorio che si sta valutando [27].

Di seguito, vengono trattate nel dettaglio due tipologie di strumentazione: la stereofotogrammetria e l'elettromiografia.

2.1. STEREOFOTOGRAMMETRIA

L'analisi cinematica si occupa di descrivere in forma quantitativa il moto di un corpo senza tenere conto delle cause che danno luogo a tale moto. I parametri presi in considerazione sono lo spazio, il tempo e il loro relativo rapporto; descrive, quindi, i parametri del movimento in termini di posizione, velocità e accelerazioni, sia lineari che angolari.

L'analisi dei descrittori cinematici del movimento può essere svolta tramite metodiche che utilizzano sensori con la funzione di rilevazione delle posizioni nello spazio del corpo in moto, oppure metodiche che video-riprendono il soggetto mostrandone il movimento. Tutte le tecniche che offrono la possibilità di visualizzare il movimento del soggetto e seguirlo nella sua evoluzione vengono definite "fotogrammetria su piccola scala" [28].

Per fotogrammetria si intende la misurazione del movimento per mezzo dell'analisi dei fotogrammi acquisiti.

La stereofotogrammetria è parte della fotogrammetria, ma possiede la peculiarità di acquisire sequenze di fotogrammi da diverse angolazioni. È una tipologia di strumentazioni e metodi di lavoro utilizzabili nello studio del movimento dal punto di vista cinematico [29].

Il sistema stereofotogrammetrico sfrutta la disposizione di almeno due telecamere posizionate in modo da poter acquisire immagini di corpi in movimento da angolazioni differenti. Tali immagini sono associate a marker, che possono essere di due tipi: attivi e passivi. I marker attivi emettono luce infrarossa in sequenza, che viene catturata dalle telecamere per determinare la loro precisa posizione nello spazio. Diversamente, i marker passivi riflettono la luce infrarossa emessa dalle telecamere. Pur essendo di maggiore visibilità, i marker attivi richiedono l'uso di cavi e batterie per emettere la luce infrarossa, mentre i marker passivi non presentano tale necessità [30].

2.2. PROTOCOLLI PER L'ANALISI DEL MOVIMENTO

Nel contesto della stereofotogrammetria, viene definito un "marker set" finalizzato a monitorare con precisione il movimento corporeo. Questo deve soddisfare requisiti quali tridimensionalità, la presenza di almeno tre marker per ciascun segmento, visibilità adeguata, affidabilità nella definizione dei piani anatomici e la presenza di punti di repere anatomici facilmente rilevabili e identificabili.

I protocolli maggiormente utilizzati per la definizione del marker set ai fini delle rilevazioni sono il Davis, il C.A.S.T. (*Calibrated Anatomical System Technique*,) e il protocollo IOR Gate, di seguito descritti:

2.2.1. Protocollo Davis

Il Protocollo Davis o Helen Hayes prevede l'applicazione di 22 marker, dei quali 15 sugli arti inferiori, e coinvolge una fase di acquisizione statica, durante la quale il soggetto viene invitato a mantenere la propria posizione eretta per la registrazione delle coordinate iniziali dei marker. Prevede inoltre una procedura meticolosa che coinvolge il posizionamento preciso di bacchette dotate di marker alle loro estremità a livello della coscia e della gamba (vedi Figura 2.1.).

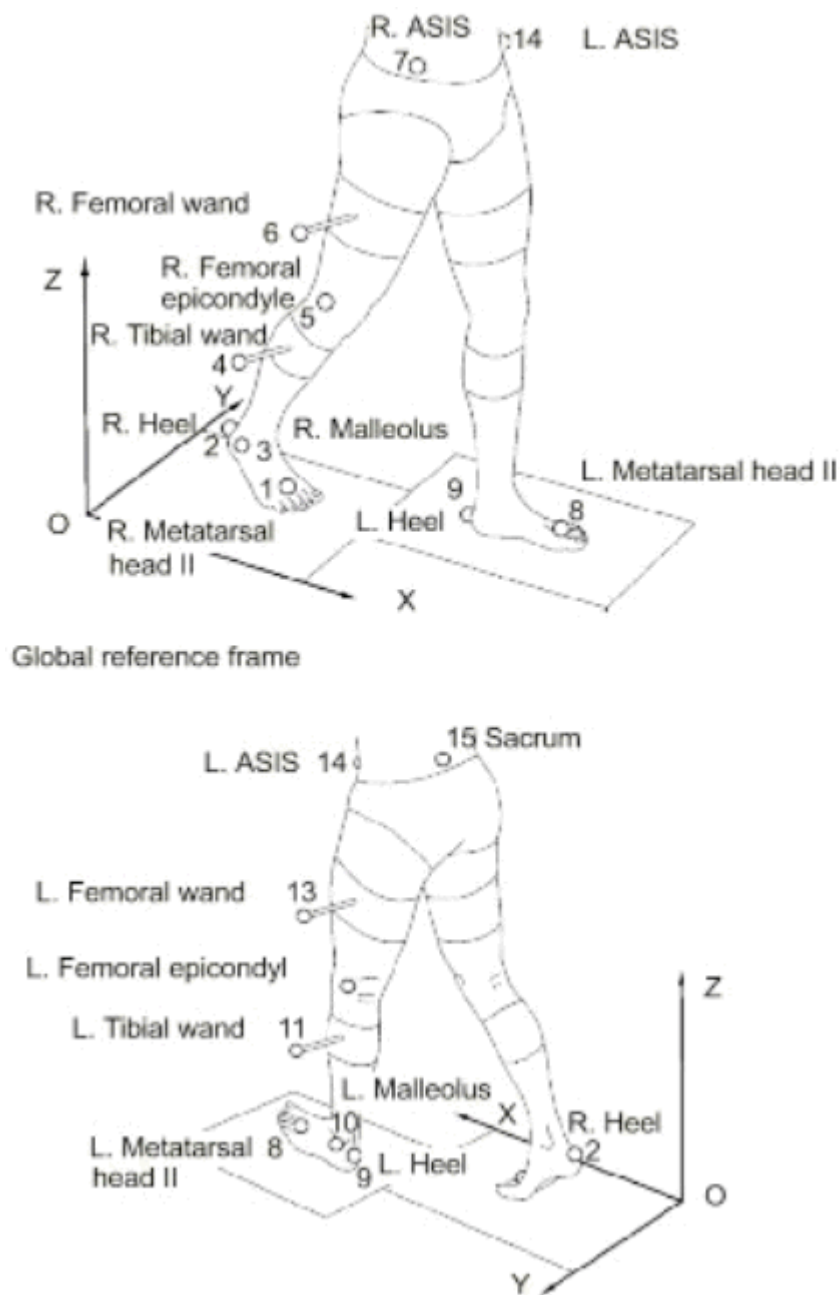


Figura 2.1. – Helen Hayes Markerset (Slides Corso Biomechanics, Prof. Sawacha)

Tale protocollo richiede una prolungata fase di preparazione, accompagnata dalla necessità di acquisire misure antropometriche [31].

2.2.2. *Protocollo Cast*

Il Protocollo CAST (*Calibrated Anatomical System Technique*) propone l'utilizzo di cluster, ovvero placchette di plastica rigida a forma di rombo, applicate su specifici segmenti anatomici del corpo e su cui è possibile stabilire un sistema di riferimento tecnico. Questa metodologia garantisce la stabilità degli assi di riferimento tecnici nonché migliora l'affidabilità nella definizione dei piani anatomici di conseguenza. I cluster vengono fissati ai segmenti anatomici mediante fasce elastiche. La rilevazione del sistema di riferimento sui cluster avviene in condizioni statiche, senza alcun movimento. In pratica, si passa dal sistema di riferimento creato in laboratorio (sistema di riferimento assoluto), sul corpo del soggetto (sistema di riferimento relativo). Il protocollo prevede una fase di calibrazione anatomica (da cui il nome) durante la quale con una bacchetta con 2 marker a distanza nota si calibrano i diversi punti anatomici (33) nel sistema di riferimento locale del cluster posizionato sul corrispondente segmento anatomico. Si procede poi al calcolo delle coordinate locali del sistema di riferimento del marker rispetto a quello creato dai marker presenti sui cluster. Qualora i cluster fossero costruiti in modo tale da garantire l'ortogonalità degli assi tramite il prodotto vettoriale, si può stabilire una terna di riferimento sui cluster stessi. Questo approccio consente di definire un centro e gli assi sui cluster, permettendo, in ultima analisi, il calcolo della distanza tra il sistema di riferimento locale del marker e il sistema di riferimento assoluto. Le coordinate locali dei punti di reperi anatomico così definite serviranno al termine delle acquisizioni di gait analysis, per ricostruire la posizione dei punti di reperi anatomico al “netto degli artefatti” generati dallo scorrimento della cute durante i task dinamici. L'obiettivo predominante è quello di considerare il corpo umano come un oggetto rigido, ovvero un corpo i cui punti mantengono le loro mutue distanze costanti nel tempo, indipendentemente da eventuali sollecitazioni a cui è soggetto [31].

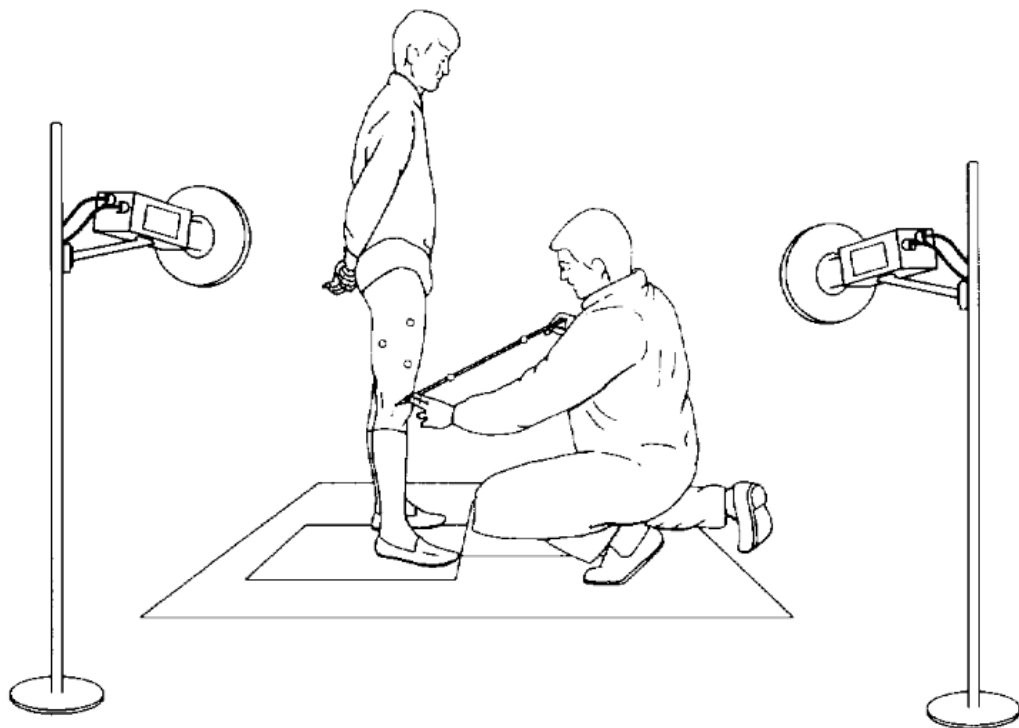


Figure 5. Femur anatomical landmark calibration using a pointer. Circles indicate possible markers.

Figura 2.3. protocollo Cast (Cappozzo et al. 1995)

2.2.3. Protocollo IOR Gate

Il Protocollo IOR è tra i protocolli quello di più recente sviluppo, caratterizzato da una maggiore semplicità d'uso. Esso mira a ridurre il tempo di preparazione del paziente e a migliorare la definizione dei piani di movimento, unendo i benefici dei due protocolli precedenti tramite l'applicazione di 30 marker cutanei sul paziente [31].

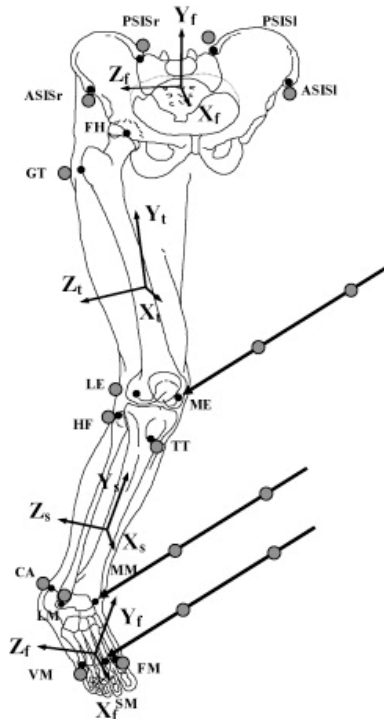


Figura 2.3. Protocollo IORgait (Leardini, Sawacha et al. 2007)

2.3. ELETTROMIOGRAFIA

L'Elettromiografia (EMG) è la registrazione del potenziale extracellulare delle fibre muscolari. Ha una banda che va da 5Hz a 10kHz ed un'ampiezza che va da 100 μ V a qualche mV. Tale segnale origina dalle miofibrille che compongono le singole fibre muscolari di un muscolo. Una singola miofibrilla è costituita da sarcomeri lunghi circa 2 μ m e costituiti da filamenti di actina e miosina. Il segnale elettrico origina nei motoneuroni e viaggia attraverso i nervi fino al rilascio, da parte dei bottoni sinaptici, di acetilcolina che permette la creazione di un potenziale d'azione nelle cellule muscolari. Il potenziale d'azione provoca un rilascio di ioni Calcio che permettono il legame tra actina e miosina: tale fenomeno porta dunque alla contrazione di un muscolo.

Il segnale viene misurato attraverso uno strumento, noto come elettromiografo, e degli elettrodi posti sopra la cute. L'elettromiografia è in grado di tradurre e visualizzare quanto registrato tramite gli elettrodi. L'esame diagnostico eseguito attraverso l'utilizzo di un elettromiografo e di elettrodi posti sopra la cute è noto come "elettromiografia di superficie" (SEMG). Tale esame viene spesso eseguito nel caso di patologie muscolari, malattie dei nervi periferici o malattie dei motoneuroni, al fine di:

- Verificare le funzionalità di muscoli relativi ad una determinata area del corpo: l'ampiezza del segnale sEMG fornisce informazioni circa il numero di fibre nervose attivate durante una contrazione.
- Valutare lo stato di salute delle nervature attraverso la misurazione della velocità di conduzione: tale velocità viene misurata in metri al secondo e rappresenta la velocità con cui l'impulso generato dai motoneuroni viaggia lungo le nervature dell'area interessata. Solitamente, la velocità di conduzione può dare indicazioni circa la mielinizzazione dei nervi [32].



Figura 2.1. – sEMG

L'elettromiografia può anche essere utilizzata per scopi di ricerca durante l'analisi di task motori, quali il cammino, un gesto tecnico sportivo, uno squat, un drop jump, etc.

L'sEMG può rappresentare, se integrato ai dati ricavati grazie alla motion analysis, un elemento di valutazione degli istanti di attivazione muscolare durante il task motorio [33] [34].

Nel campo della ricerca, si osserva un crescente interesse per la conduzione di studi e test direttamente sul terreno di gioco, piuttosto che nell'ambiente controllato del laboratorio. Difatti, l'effettuazione di test sul campo fornisce un quadro più autentico delle condizioni reali in cui gli atleti svolgono le proprie performance, permettendo così di acquisire dati più rappresentativi e applicabili. In aggiunta, questa metodologia offre l'opportunità di valutare in maniera più accurata l'interazione tra l'atleta e l'ambiente circostante, un aspetto di fondamentale rilevanza per il miglioramento delle prestazioni e la prevenzione degli infortuni. Questo approccio riveste una notevole importanza nell'ambito dell'analisi

biomeccanica del movimento sportivo e nella progettazione di attrezzature ottimizzate per le specifiche esigenze dell'atleta. In sintesi, il ricorso ai test sul campo da gioco si configura come un approccio di ricerca che contribuisce in maniera significativa all'avanzamento delle conoscenze biomeccaniche applicate allo sport.

CAPITOLO 3 – MATERIALI E METODI

In questo capitolo si illustra il lavoro effettuato svolto durante il presente lavoro di tesi. Nello specifico, viene presentato il campione esaminato, la descrizione del set-up sperimentale, i task richiesti di schiacciata e muro e, infine, l'elaborazione dei dati svoltasi presso il Laboratorio di Bioingegneria del Movimento dell'Università degli Studi di Padova, tramite software sviluppati *ad hoc*.

Si è optato di effettuare le rilevazioni “*on field*”, piuttosto che presso il laboratorio, per garantire una maggior naturalezza del task, in quanto svolto in condizioni familiari ai soggetti e più vicine alla realtà di gioco.

3.1. SOGGETTI

I soggetti acquisiti sono giocatori della squadra del CUS Padova Volley (PD) che nella stagione 2022/2023 ha partecipato nel campionato di serie C maschile. Nella tabella 3.1. sono mostrati i dati anagrafici, antropometrici e il ruolo di gioco rivestito dai vari atleti.

	Età	Peso (kg)	Altezza (cm)	Numero scarpe (IT)	Ruolo
Soggetto 1	21	97	195	46	Banda
Soggetto 2	21	77	189	46	Centrale
Soggetto 3	23	92	201	49	Centrale
Soggetto 4	21	70	181	43	Palleggiatore
Soggetto 5	20	85	196	44,5	Banda
Soggetto 6	23	95	194	46,5	Opposto
Soggetto 7	21	83	196	46,5	Banda
Soggetto 8	22	81	192	45,5	Opposto

Tabella 3.1. – dati relativi al campione.

3.2. SET-UP SPERIMENTALE

3.2.1. *Marker set*

Per permettere lo svolgimento delle acquisizioni “on field”, quindi fuori dall’ambiente del laboratorio sono stati preparati dei tape di forma quadrangolare come in Figura 3.1. realizzati con uno specifico tape bianco con lati di lunghezza 3cm ×3cm ca., e con tapes nero, anch’esso di forma quadrata, dalle dimensioni di 2cm ca. per lato, applicato sopra al primo in modo da creare contrasto ed essere facilmente identificabile durante il successivo lavoro di video-tracking svolto in laboratorio. Il vantaggio dei tapes adesivi lo si

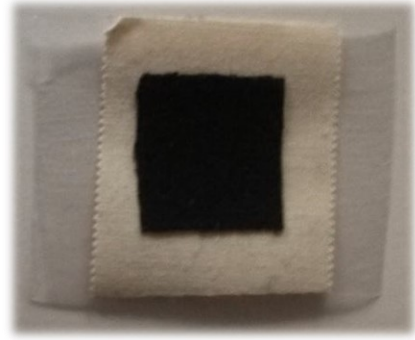


Figura 3.1. – Tape adesivo adoperato nelle rilevazioni on-field.

trova nel minor ingombro e discomfort recato agli atleti e, di conseguenza, in una maggior naturalità nell’esecuzione del task. Ad ogni soggetto è stato applicato un set di tapes in punti di repere anatomici basato sul protocollo IOR Gait; nello specifico, non si è fatto uso di tutti i 30 punti, ma di 22, definendo così un set ridotto di markers riportato nella tabella 3.2.

3.2.2. *Fotocamere*

L'acquisizione video dei task è stata eseguita mediante l'utilizzo di otto videocamere, più specificamente quattro unità GoPro HERO 3 che operano con un tasso di campionamento a 30Hz, e quattro unità GoPro HERO 7, le quali adottano una frequenza di campionamento variabile da 30Hz a 240Hz.

Quattro fotocamere sono state posizionate ai vertici del campo da gioco, mentre le restanti quattro sono state posizionate esternamente al campo, ad un metro dalla linea di centro campo e a due metri dal palo più vicino, come mostrato in figura 3.2.

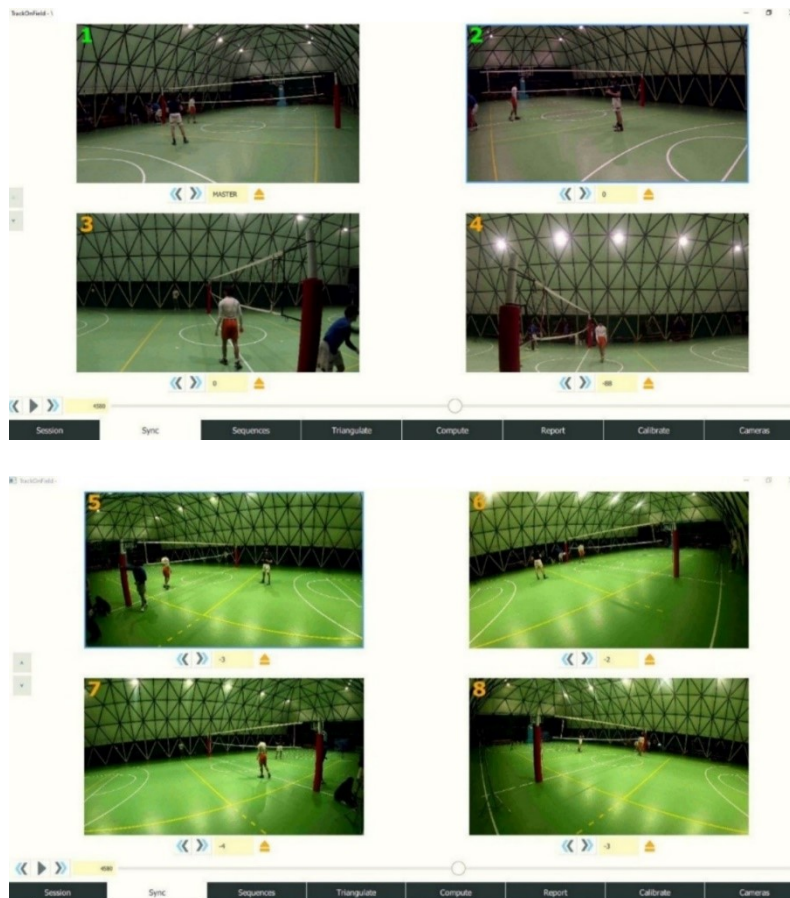


Figura 3.2. – Schermata *Sync* del software Track On Field con la visuale delle otto telecamere.

3.2.3. *sEMG*

L'acquisizione dei segnali *sEMG* si effettua mediante l'utilizzo di sonde wireless che vengono applicate sulla pelle; tali sonde trasmettono il segnale a un'unità ricevente.



Figura 3.3. – Esempio di sonda wireless utilizzata durante l'acquisizione di un'*sEMG*

L'applicazione delle sonde sulla

pelle segue scrupolosamente le linee guida fornite dal SENIAM [35] e avviene in seguito ad un adeguato processo di preparazione dell'area cutanea. Successivamente, le sonde vengono collegate all'unità ricevente, la quale è a sua volta collegata a un computer adibito all'acquisizione dei dati [31].

Grazie a questa strumentazione è possibile ottenere dati sulle modalità di attivazione della muscolatura reclutata per l'effettuazione del task motorio; in particolare, sono stati presi in analisi, per entrambi gli arti inferiori, i seguenti

muscoli: tibiale anteriore (TA) – flessore dorsale della caviglia [36]; gastrocnemio mediale (MG) – biarticolare, flessore plantare ed intrarotatore di caviglia, flessore della gamba [37]; semitendinoso (ST) – estensore e adduttore della coscia; flessore ed intrarotatore della gamba (a ginocchio flesso) [38]; vasto laterale (VL) – estensore della gamba [39].

3.2.4. *TrackOnField*

Il software TrackOnField, sviluppato *ad hoc* in collaborazione tra BBSof S.r.l. e il BioMovLab (Università degli Studi di Padova), permette di acquisire con precisione le coordinate spaziali dei ventidue punti anatomici, definiti dal protocollo, di un soggetto rispetto a un sistema di riferimento assoluto definito durante la calibrazione. L'uso del software implica una serie di fasi:

- *Session*: si inseriscono i dettagli anagrafici e le misure antropometriche del soggetto, specificando un nome per il file di archiviazione dei dati e selezionando il protocollo di acquisizione da applicare.
- *Sync*: successivamente, i video relativi al soggetto vengono caricati e sincronizzati. Tale processo richiede un'operazione manuale per sincronizzare correttamente i video in tutte le telecamere; si utilizza la “camera 1” come master, ovvero come riferimento per le altre sette.
- *Sequences*: all'interno di questo modulo si procede all'individuazione dei momenti di *start* e *stop* dei task. Sono state selezionate quattro telecamere su otto su cui l'operatore ha eseguito il procedimento manuale di *tracking*, durante il quale si controlla ed, eventualmente, corregge la posizione del pointer relativo al singolo marker, in modo da ricreare la corretta traiettoria tracciata dal punto di reperi corrispondente. Quindi, per ogni telecamera selezionata, l'operatore identifica i ventidue punti di riferimento anatomici definiti dal protocollo.
- *Calibration*: questa fase mira a migliorare la precisione dell'analisi video e comprende la calibrazione dei parametri intrinseci e estrinseci delle telecamere. La calibrazione intrinseca implica l'uso di una scacchiera di dimensioni note davanti a ciascuna telecamera, mentre la calibrazione estrinseca coinvolge la definizione di una zona con segni sul pavimento.

- *Triangulation*: una volta completata la calibrazione, il software calcola le coordinate spaziali (3D) dei punti anatomici rispetto al sistema di riferimento assoluto. Questo processo consente la ricostruzione delle traiettorie bidimensionali dei punti durante l'intero task. È fondamentale che almeno due telecamere traccino lo stesso punto per effettuare la ricostruzione. In output si ottiene un file .c3d; questo, letto tramite il software Mokka consente di verificare la correttezza e la coerenza della disposizione dei punti anatomici rispetto al task analizzato.

Tale processo complesso consente di acquisire dati accurati relativi ai movimenti del soggetto, rendendolo uno strumento prezioso per l'analisi biomeccanica e la ricerca nel campo della bioingegneria del movimento.

3.2.5. *MatLab*

MatLab è un software utilizzato per il calcolo numerico e l'analisi statistica.

Nella presente tesi sono stati sviluppati ad hoc, presso il BioMovLab dell'Università degli Studi di Padova, due codici MatLab per l'elaborazione e la rappresentazione grafica sia degli angoli che dei segnali sEMG.

3.2.5.1. *Angoli*

Per la realizzazione del primo gruppo di grafici, si è dato in input il file .c3d degli angoli prodotto come output dal software TrackOnField. Il codice utilizzato è stato sviluppato appositamente per estrapolare gli angoli di flessione-estensioni di anca, ginocchio e caviglia durante l'esecuzione dei task.

3.2.5.2. *sEMG*

Per la realizzazione del secondo gruppo di grafici, invece, sono stati dati in input: un file .c3d proveniente dal sistema di rilevazione degli sEMG, contenente il segnale grezzo; gli istanti delle finestre temporali dei task, ovvero frame di start e di stop. Di conseguenza, le *Heatmap* sono l'output risultante dal secondo codice MatLab, le quali sono la rappresentazione grafica delle modalità di attivazione dei muscoli presi in analisi durante l'esecuzione dei task.

Riassumendo, abbiamo due fonti di informazione:

1. Le telecamere video, che hanno registrato il gesto: con TrackOnField, ad avvenuta sincronizzazione delle telecamere (necessaria affinché tutte abbiano lo stesso frame iniziale) e triangolazione delle telecamere (necessaria affinché tutte siano impostate con gli stessi parametri intrinseci ed estrinseci), sono state definite le finestre in cui è stato eseguito il task, il quale è stato trackato secondo protocollo (inserire tabella marker). Da TrackOnField si è ottenuto in output un file .c3d, utilizzato, in seguito, come input ad un codice MatLab, sviluppato *ad hoc* per ottenere gli angoli di flessione-estensione di anca, ginocchio e caviglia.
2. sEMG: registrata con un BTS FREE 1000Hz su 8 muscoli secondo la linea guida del SENIAM. Dall'elettromiografia sono state definite tramite video, sincronizzato con una telecamera attaccata ad un computer, le stesse finestre temporali del gesto e con un codice MatLab a cui sono stati dati in input i file .c3d con il segnale grezzo e gli istanti di tempo; le Heatmap delle attivazioni muscolari sono l'output risultante dal processo.

3.3. VARIABILI ANALIZZATE

Si è posta l'attenzione dello studio sui task di muro e di schiacciata nello sport della pallavolo. Nello specifico, per entrambi i task ci si è focalizzati sugli angoli di flessione-estensione delle articolazioni di anca, ginocchio e caviglia e sulle modalità di attivazione muscolare dei muscoli semitendinoso, vasto laterale, tibiale anteriore e gastrocnemio mediale, sia dell'arto inferiore destro che del sinistro.

Al fine di effettuare un confronto sia tra i due arti che rispetto a quanto riportato in letteratura sull'argomento, si è standardizzato il task in ogni soggetto considerandone specifici intervalli, uniformando istanti di start e di stop sulla base non del tempo, ma di una fase del task.

Per il muro sono stati definiti gli istanti di start e stop, rispettivamente all'inizio della flessione delle tre articolazioni, nella fase di caricamento del salto, e alla fine dell'ammortizzazione del peso corporeo, dato dall'atterraggio, corrispondente anche all'inizio dell'estensione articolare.

Per la schiacciata sono stati definiti gli istanti di start e di stop, rispettivamente all'appoggio del tallone del terzo passo di rincorsa e, come per il muro, nel momento di fine ammortizzazione del carico, causa atterraggio dal salto.

In tal modo, ogni task si sviluppa su un intervallo 0-100%, con uno start e uno stop analogo per ogni soggetto.

CAPITOLO 4 – RISULTATI E DISCUSSIONE

Nel presente capitolo sono riportati i risultati delle elaborazioni sopra descritte.

Secondo quanto riportato in letteratura, nell'intervallo dallo 0% al 100% del task – per la schiacciata va dall'appoggio del tallone del terzo passo di rincorsa fino all'inizio dell'estensione di anca, ginocchio e caviglia dopo l'atterraggio; per il muro va dall'inizio di flessione delle articolazioni all'inizio dell'estensione delle stesse post atterraggio – i muscoli si comportano come segue:

- 0-20%:
 - Tibiale anteriore: il tibiale anteriore inizia ad attivarsi (circa 0-10%) per controllare la flessione plantare dell'articolazione della caviglia durante l'appoggio del tallone.
 - Gastrocnemio mediale: il gastrocnemio mediale è attivo (circa 0-10%) per contribuire alla flessione plantare dell'articolazione della caviglia durante l'appoggio del tallone.
- 20-40%:
 - Tibiale anteriore: l'attività del tibiale anteriore diminuisce durante questa fase, poiché il suo ruolo principale è nella fase iniziale dell'appoggio.
 - Gastrocnemio mediale: il gastrocnemio mediale continua ad essere attivo per stabilizzare la caviglia e prepararsi all'atterraggio.
- 40-100%:
 - Vasto laterale: durante questa fase, il vasto laterale inizia ad attivarsi per estendere l'articolazione del ginocchio e prepararsi per il salto.
 - Gastrocnemio mediale: l'attività del gastrocnemio mediale raggiunge il picco durante la fase di spinta e durante l'atterraggio per controllare la flessione plantare dell'articolazione della caviglia e assorbire l'impatto.
 - Semitendinoso: il semitendinoso potrebbe essere coinvolto nella stabilizzazione dell'anca durante il movimento; quindi, l'attivazione può variare durante questa fase, ma potrebbe essere presente soprattutto nella fase di spinta e nell'atterraggio.

Gli intervalli di attivazione possono variare in base al livello di allenamento e alla tecnica individuale. Durante l'atterraggio, l'attenzione principale è sul controllo e sulla

stabilizzazione, preparandosi per l'estensione delle articolazioni dell'anca, del ginocchio e della caviglia che avviene subito dopo [40] [41].

Per quanto riguarda la flessione-estensione delle articolazioni di anca, ginocchio e caviglia, si ha un picco di flessione nella fase di caricamento, appena prima della spinta propulsiva per il salto, e un secondo picco nella fase di ammortizzazione dell'atterraggio; si ha l'estensione delle stesse durante la fase di volo (con eccezione del ginocchio, che può flettersi, a seconda della tecnica di salto acquisita dal soggetto, senza però comportare un carico articolare). In particolare, si è visto come per il ginocchio flessioni inferiori ai 30° comportano un maggior rischio di lesione al Legamento Crociato Anteriore (ACL) [41]; analogamente, anche angoli di flessione al ginocchio superiori ai 90° inducono un incremento di rischio di infortunio [42].

4.1. REPORT PERSONALIZZATI

Di seguito vengono riportati, per ogni soggetto, i report contenenti i risultati personali di ogni atleta sulla base dei quali poi stilare un protocollo di esercizio dedicato.

I dati vengono presentati tutti con, a sinistra gli angoli articolari e, a destra, le attivazioni muscolari. In particolare, a sinistra sono riportate dall'alto verso il basso rispettivamente le traiettorie delle escursioni angolari dalle articolazioni di anca, ginocchio e caviglia durante i task di muro (muro 1; muro 2) e di schiacciata (schiacciata 1; schiacciata 2) realizzati dagli otto soggetti presi in analisi. Le linee in blu fanno riferimento alle traiettorie destre, mentre le linee in rosso a quelle sinistre. Sull'asse delle ascisse vi sono le percentuali del task (0-100%); sull'asse delle ordinate vi sono gli angoli in gradi.

Sulla destra, invece, sono riportate le modalità di attivazione muscolare, sempre con confronto tra arto destro e arto sinistro. Dall'alto verso il basso sono riportate le attivazioni rispettivamente di: vasto laterale destro (R-VL) e sinistro (L-VL); semitendinoso destro (R-ST) e sinistro (L-ST); tibiale anteriore destro (R-TA) e sinistro (L-TA); gastrocnemio mediale destro (R-MG) e sinistro (L-MG). Le bande gialle indicano l'attivazione di un muscolo in entrambi i task analizzati (muro 1 e muro 2; schiacciata 1 e schiacciata 2) all'interno dello stesso intervallo del ciclo del task. Le bande verde chiaro indicano l'attivazione muscolare di un muscolo in solo uno dei due task (i.e. nel muro 1 c'è attivazione, ma nel muro 2 no). Infine, le bande verde scuro

indicano una mancanza di attivazione del muscolo in entrambi i task (i.e. sia nel muro 1 che nel muro 2 non c'è attività) in un determinato intervallo del ciclo.

Grazie a questa modalità di visualizzazione, è possibile confrontare il comportamento dei due arti inferiori. Tra gli otto soggetti, sono stati selezionati i casi che presentavano le asimmetrie più evidenti, mentre gli altri report sono riportati in appendice. Nello specifico, si andranno ad analizzare i soggetti 2, 3, 5, 7. Di seguito, sono mostrati i report degli otto soggetti:

Soggetto 2

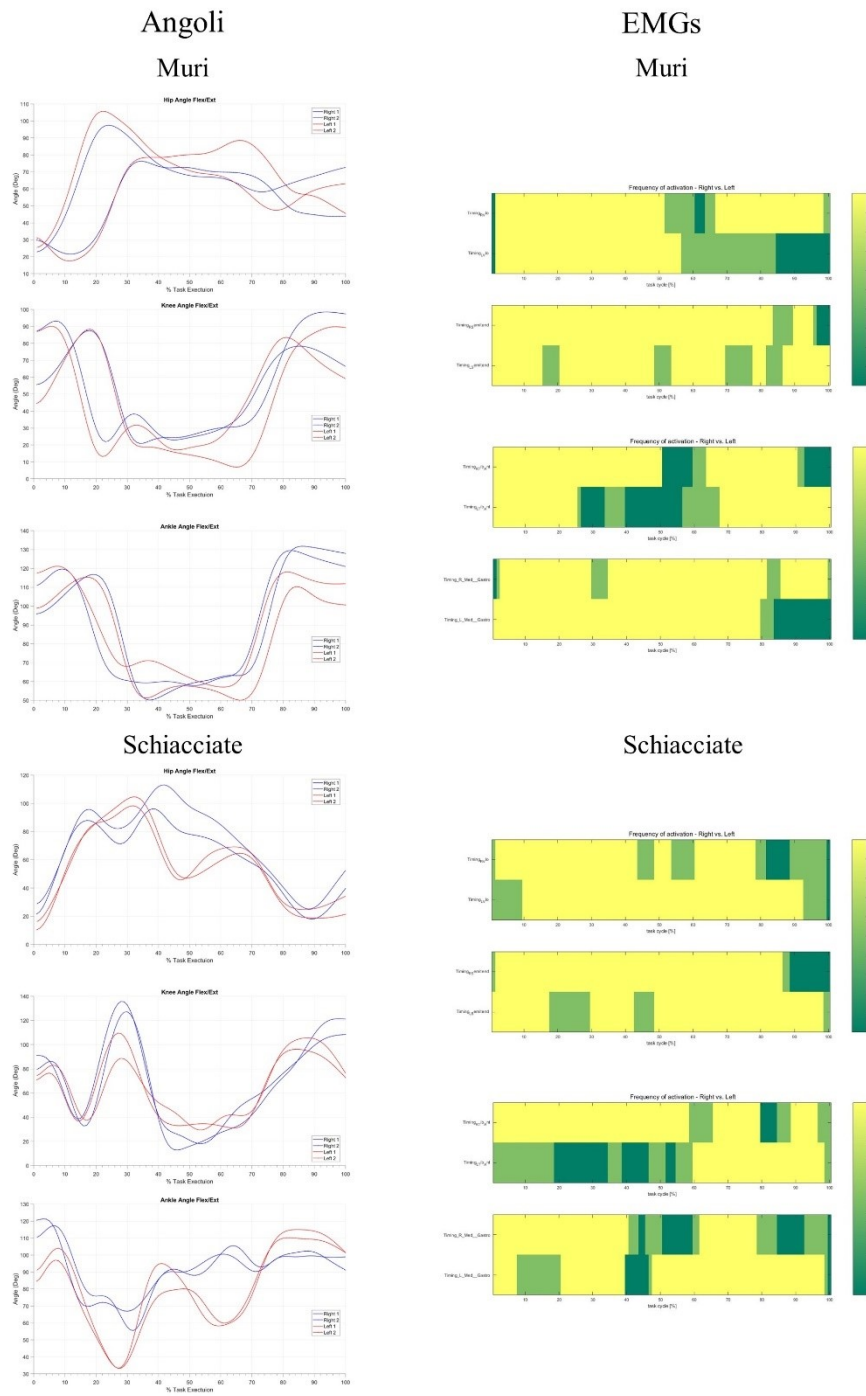


Figura 4.1. – traiettorie articolari e attivazioni muscolari del Soggetto 2 nei task di muro e schiacciata

Soggetto 3

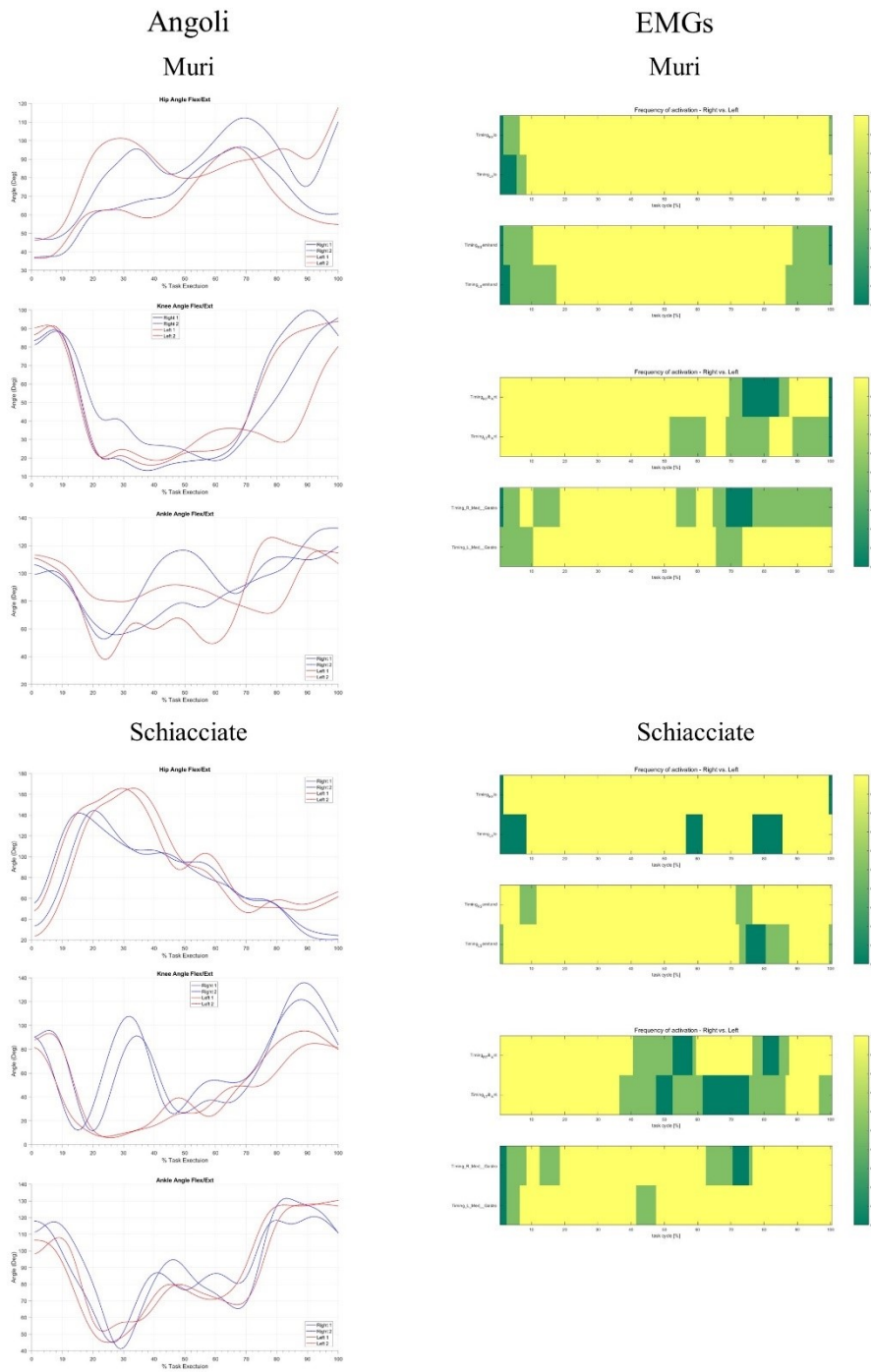


Figura 4.2. – traiettorie articolari e attivazioni muscolari del Soggetto 3 nei task di muro e schiacciata

Soggetto 5

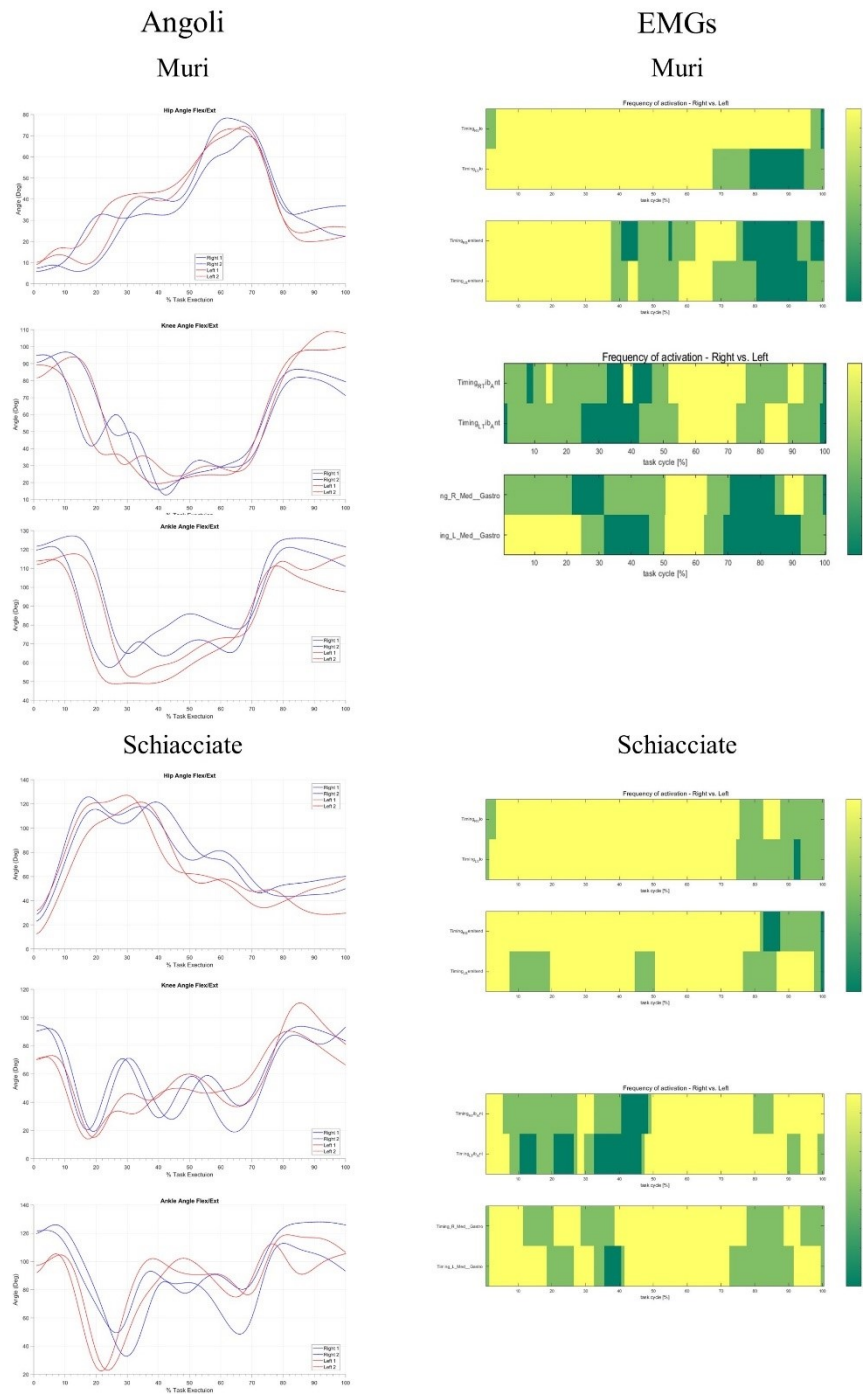


Figura 4.3. – traiettorie articolari e attivazioni muscolari del Soggetto 5 nei task di muro e schiacciata

Soggetto 7

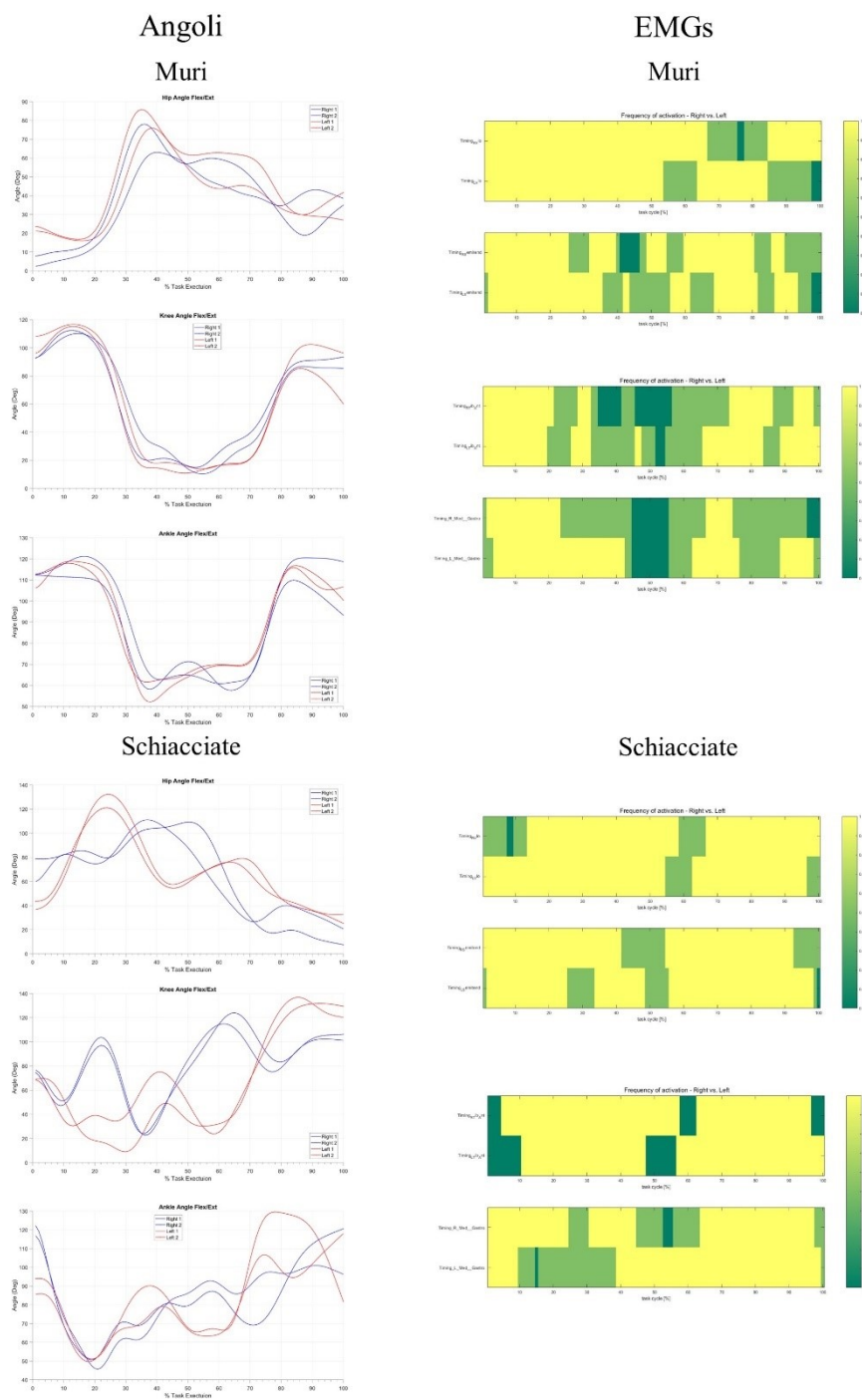


Figura 4.4. – traiettorie articolari e attivazioni muscolari del Soggetto 7 nei task di muro e schiacciata

Tra gli otto soggetti, sono stati selezionati i casi che presentavano le criticità più interessanti (asimmetrie più evidenti), mentre gli altri report sono riportati in appendice. Nello specifico, si andranno ad analizzare i soggetti 2, 3, 5, 7.

4.1.1. Soggetto 2

Si è scelto di analizzare il soggetto 2 in quanto si è notato, tramite visualizzazione ed elaborazione dei video ed interpretazione dei grafici, che è solito atterrare solo sull'arto sinistro, che compie il maggior lavoro di ammortizzazione.

Il soggetto 2 è caratterizzato dall'atterrare in appoggio monopodalico in entrambi i task, osservando il grafico n° 4.3 si osserva quanto segue:

- Angoli muro - anca:
 - Destro: picco minimo a 20° ca. intorno al 10% del *task cycle*; un picco massimo di 95° ca. approssimativamente al 25% del “Muro 1”, in corrispondenza dello stacco, un picco massimo di circa 75° intorno al 35% del “Muro 2”
 - Sinistro: picco minimo intorno ai 20° al 12% del ciclo; picco massimo intorno ai 105° approssimativamente al 22% del “Muro 1”, in corrispondenza dello stacco, un picco massimo di circa 90° intorno al 65% del “Muro 2”.
- Angoli muri – ginocchio:
 - Destro: picco minimo a 20° ca. intorno al 45% del *task cycle*; un picco di 125° ca. approssimativamente al 20% del task, in corrispondenza dello stacco, e uno di 90° all' 88%, in corrispondenza della fase di atterraggio.
 - Sinistro: picco minimo inferiore ai 10° al 68% del *task cycle*; primo picco massimo intorno ai 90° al 20%, secondo; secondo picco massimo a 95° in corrispondenza dell'80% del task.
- Angoli muri – caviglia: entrambi sembrano avere un minimo intorno ai 50° al 35% della durata del task; due picchi massimi in corrispondenza di spinta e atterraggio. Il primo di 120° tra il 10% e il 20% del ciclo; il secondo di 120° intorno all'85% del task massimo per i sinistri, mentre di 130° per i destri.

Analogamente ai task di muro, nelle schiacciate le curve destre e sinistre hanno andamenti simili, ma il destro sembra raggiungere una minore flessione rispetto al sinistro.

- Angoli schiacciata – anca:

- Destro: raggiunge i 40° intorno al 90% del task. I due picchi massimi, sempre in corrispondenza di stacco e atterraggio, sono di circa 140°, rispettivamente al 20% e al 65% del task.
- Sinistro: raggiunge il valore minimo di 45° intorno al 55% della durata del task. I valori massimi sono rispettivamente di 140° a circa il 30% del ciclo e ai 90° intorno al 75%.
- Angoli schiacciata – ginocchio:
 - Destro: picco inferiore analogo al lato destro. I valori massimi sono rispettivamente di 140° a circa il 30% del ciclo e ai 120° intorno al 90% del ciclo.
 - Sinistro: sembra raggiungere il picco minimo di circa 20° intorno allo 0% e al 90% del task. I due picchi massimi, sempre in corrispondenza di stacco e atterraggio, sono di circa 110° al 30% e all'88% del task.
- Angoli schiacciata – caviglia:
 - Destro: sembra raggiungere il picco minimo di 55° intorno al 30% del task. Il picco in corrispondenza dello stacco è di circa 120° al 10%; il picco in corrispondenza dell'atterraggio è di circa 100° intorno al 90% del task.
 - Sinistro: sembra raggiungere il valore minimo di 35° ca. intorno al 28% della durata del task. I valori massimi sono rispettivamente di 100° a circa il 10% del ciclo e ai 110° intorno all'80%.

Per riassumere quanto sopra descritto, si osserva una variabilità nella flessione ed estensione dell'anca tra le due esecuzioni. In particolare, i punti di flessione ed estensione massima variano significativamente tra le due esecuzioni. Al contrario, durante le schiacciate, la coerenza biomeccanica è più evidente, specialmente nella flessione ed estensione del ginocchio.

Per entrambe le ripetizioni del task, l'angolo dell'anca gioca un ruolo cruciale. Durante il "Muro", l'angolo dell'anca raggiunge il suo picco massimo in due momenti diversi tra la prima e la seconda esecuzione, suggerendo una diversa strategia motoria o adattamento. Durante la "Schiacciata", i picchi si verificano in maniera coerente al 30% dell'esecuzione.

- L'angolo di flesso estensione della caviglia mostra un andamento sovrapponibile nelle due ripetizioni di muro a significare che l'atleta

possiede una buona padronanza del gesto tecnico che risulta ripetibile nelle diverse esecuzioni.

- Questo potrebbe suggerire che la caviglia svolge un ruolo stabilizzatore durante questi task. Durante la "Schiacciata", il lato destro e sinistro mostrano chiare differenze, in particolare nell'angolo dell'anca. Questo potrebbe essere dovuto a preferenze laterali, asimmetrie naturali, o adattamenti tecnici.
- Per quanto riguarda l'analisi sEMG, si può notare come nella fase di spinta e di volo si ha un'attivazione di quasi la totalità dei muscoli in entrambi i task "Muro 1" e "Muro 2", ad eccezione del L-TA, inattivo nella fase di volo. R-TA è, inattivo, oltre che in un intervallo della fase di volo, anche nella fase di recupero della posizione eretta (90-100% del task). si così è meglio, tienilo a mente durante tutta la stesura e usa le stesse parole
- Il L-VL durante la fase di atterraggio rimane inattivo (fascia verde chiaro tra il 57% e l'85%; fascia verde scuro dall'85% al 100%), al contrario del R-VL che si attiva nella fase di ammortizzazione per controbilanciare il movimento, in quanto il soggetto è atterrato sull'arto sinistro (secondo visualizzazione video).L'attività del ST è pressoché uniforme in entrambi i lati.
- R-TA è, inattivo, oltre che in un intervallo della fase di volo, anche nella fase di estensione delle articolazioni (90-100% del task).
- Il L-GM è attivo fino alla fine dell'atterraggio, ma smette di essere coinvolto nel movimento all'inizio del recupero della posizione eretta.

In generale, non si riscontrano asimmetrie significative nel Soggetto 2, se non per via dell'atterraggio monopodalico, che comporta essere un rischio di infortunio soprattutto a ginocchio e caviglia. Un possibile intervento può essere una rieducazione del gesto attraverso esercizi specifici di propriocettività e di equilibrio.

4.1.2. *Soggetto 3*

Si è preso in considerazione il Soggetto 3 poiché nell'atterraggio dalla schiacciata si osserva una maggiore flessione della caviglia rispetto al ginocchio; inoltre, il ginocchio si flette di meno nell'atterraggio piuttosto che nello stacco; stessa cosa si osserva per l'anca.

Una plausibile spiegazione potrebbe ricondursi al fatto che abbia buona mobilità di caviglia e, di conseguenza, riduca il coinvolgimento delle altre due articolazioni. Nei grafici degli angoli articolari durante il task del muro si può notare un pattern pressoché analogo tra destra e sinistra.

- Angoli muro - anca:
 - Destro: picco minimo a 40° ca. intorno al 10% del task cycle; due picchi di 100° ca. approssimativamente al 30% del task, in corrispondenza dello stacco, e al 70%, in corrispondenza della fase di atterraggio
 - Sinistro: picco minimo intorno ai 40° al 10% del ciclo; picco massimo intorno agli 100° al 25% per una valutazione, che si sposta a 90° al 60% nella seconda.
- Angoli muro – ginocchio: il grafico si presenta molto uniforme su entrambe le esecuzioni per entrambi i lati per la fase di stacco, deviando un po' dalla simmetria durante l'esecuzione.
 - Destro: picco minimo a 20° ca. intorno al 20% del task cycle; un picco di 90° ca. approssimativamente al 5% del task, in corrispondenza dello stacco, e uno di 90° all' 88%, in corrispondenza della fase di atterraggio.
 - Sinistro: picco minimo inferiore, oltre allo stesso iniziale del lato destro, ai 20° al 60% del task cycle; picco massimo intorno ai 95° al 90%.
- Angoli muro – caviglia: entrambi sembrano avere un minimo intorno ai 45° al 20% della durata del task; due picchi massimi in corrispondenza di spinta e atterraggio. Il primo di 120° al 50% ca. e il secondo di 120° intorno all'80% del task massimo. Analogamente, le curve destre e sinistre hanno andamenti simili, ma il destro sembra raggiungere una minore flessione rispetto al sinistro.
- Angoli schiacciata – anca:
 - Destro: Non presenta un chiaro minimo assoluto. Dopo il massimo presente a 140° al 15% del task, l'angolazione gradualmente discende durante tutta la durata del task.
 - Sinistro: sembra raggiungere i 40° intorno al 90% del task. I due picchi massimi di entrambe le valutazioni sono di circa 160° al 30% del task.
- Angoli schiacciata – ginocchio:

- Destro: sembra raggiungere i 15° intorno al 15% del task. I due picchi massimi, sempre in corrispondenza di stacco e atterraggio, sono di circa 120°, rispettivamente al 30% e al 90% del task.
- Sinistro: sembra raggiungere il valore minimo di 10° intorno al 25% della durata del task. I valori massimi sono rispettivamente di 30° a circa il 50% del ciclo e ai 80° intorno al 90%
- Angoli schiacciata – caviglia:
 - Destro: sembra raggiungere i 40° intorno al 30% del task. I due picchi massimi, sempre in corrispondenza di stacco e atterraggio, sono di circa 90° al 45% e di 110° al 80% del task.
 - Sinistro: sembra seguire in modo fedele le misurazione effettuate sul destro.

Nei grafici sEMG dei muri si nota un'attivazione di entrambi i VL da circa il 10% (fase di caricamento) fino al 100% del ciclo.

Entrambi i ST presentano un'attivazione in entrambi i muri da circa il 15% (fase di caricamento) fino a circa il 90% (fase di recupero della stazione eretta). La co-contrazione dei due muscoli suggerisce una buona stabilità dell'anca.

Il TA rimane attivo per dalla fase di caricamento fino all'inizio dell'atterraggio; si ha una fascia verde fino alla fine della fase di atterraggio e ammortizzazione, per poi averne una gialla nella fase finale di recupero dell'ortostatismo.

Il L-GM rimane attivo dall'inizio della spinta fino alla fine, a differenza del R-GM in cui durante l'atterraggio è rappresentato in verde. Ciò indica che soprattutto il L-GM contribuisce ad ammortizzare il carico coadiuvando l'azione (non sempre presente) di L-TA.

Si riscontra un andamento simile anche nella schiacciata.

Il soggetto atterra su un solo arto, gravando maggiormente sull'avampiede in quanto, secondo quanto visualizzato nei video, ha la tendenza a protrarre l'avanzamento orizzontale del baricentro che, di conseguenza, è spostato in avanti. Ciò non comporta un rischio per il soggetto, anzi. Permette di dissipare l'energia in modo più sicuro, senza grande impatto sulle articolazioni.

Il fattore di atterraggio in avanti del soggetto, “quasi come una caduta”, non permette una precisa indicazione su quale possa essere un gruppo muscolare con maggiore necessità di rinforzo, in quanto egli ha sviluppato un pattern motorio

differente dall'usuale. Per permettere una maggiore flessione di anca e ginocchio, che potrebbero comportare anche un miglioramento delle capacità di salto e, quindi, raggiungere elevazioni maggiori, si potrebbe proporre un lavoro sulla flessibilità dell'anca. Alla luce di ciò, un salto in lungo piuttosto che in alto non è vantaggioso nello sport della pallavolo. Al fine di migliorare la performance e prevenire infortuni, sarebbe opportuno impartire un'educazione del gesto in modo da sfruttare al meglio l'energia orizzontale, convertendola in verticale. Si potrebbero proporre esercizi pliometrici per ovviare a tali accorgimenti.

4.1.3. *Soggetto 5*

Si è scelto di riportare il caso del Soggetto 5 poiché presenta un'attività muscolare di gastrocnemio e tibiale anteriore differente rispetto ai compagni di squadra; inoltre, la flessione di anca ha un solo picco, presente nella fase di atterraggio del muro e non in quella di spinta.

Nei grafici degli angoli articolari durante il task del muro si può notare un pattern pressoché analogo tra destra e sinistra.

- Angoli muro - anca:
 - Destro: picco minimo a 30° ca. intorno al 40% del task cycle, segue un secondo minimo a 30° intorno al 80%; un singolo picco di 70° presente al 60% dell'esecuzione.
 - Sinistro: segue fedelmente la valutazione del lato destro.
- Angoli muro – ginocchio: Il grafico si presenta molto uniforme su entrambe le esecuzioni per entrambi i lati per la fase di stacco, deviando un po' dalla simmetria durante l'esecuzione.
 - Destro: picco minimo a 15° ca. intorno al 40% del task cycle; un picco di 60° ca. approssimativamente al 30% del task e uno di 80° all' 88%, in corrispondenza della fase di atterraggio.
 - Sinistro: picco minimo inferiore, oltre allo stesso iniziale del lato destro, ai 20° al 40% ed al 60% del task cycle; picco massimo intorno ai 100° al 90%.
- Angoli muro – caviglia: Entrambi sembrano avere un minimo intorno ai 50° al 20-30% della durata del task; due picchi massimi in corrispondenza di spinta e atterraggio. Il primo di 120° al 10% ca. e il secondo di 120° intorno all'80% del

task massimo. Le curve destre e sinistre hanno andamenti simili, ma il destro sembra raggiungere una minore flessione rispetto al sinistro.

- Angoli schiacciata – anca:
 - Destro: Non presenta un chiaro minimo assoluto. Dopo il massimo presente a 120° al 15% del task, l'angolazione gradualmente discende durante tutta la durata del task.
 - Sinistro: presenta un' traiettoria globalmente più bassa rispetto al lato destro, ma senza evidenti picchi minimi. I due massimi di entrambe le valutazioni, sono di circa 120° al 15% ed al 40% del task.
- Angoli schiacciata – ginocchio:
 - Destro: Tre i minimi significativi: a 20° al 15%, 25° al 40% e 20° al 65% del task. I due picchi massimi, sempre in corrispondenza di stacco e atterraggio, sono di circa 100°, rispettivamente al 10% e al 85% del task.
 - Sinistro: sembra raggiungere il valore minimo di 10° intorno al 15% della durata del task. Il valore massimo notevole è di 100° a circa l' 80% del ciclo.
- Angoli schiacciata – caviglia:
 - Destro: presenta due minimi significativi, uno a 30° al 30% del task, ed uno fino anche a 40° in una valutazione al 68%. Massimi significativi nei momenti di stacco e atterraggio, 120° entrambi.
 - Sinistro: sembra raggiungere i 20° intorno al 30% del task. I due picchi massimi, sempre in corrispondenza di stacco e atterraggio, di circa 100° al 10% e di 110° al 80% del task, sono accompagnati da un terzo picco a metà esecuzione, di circa 100°.

I grafici degli sEMG riportano una ridotta attività dei muscoli della gamba durante i muri.

VL rimane attivo in quasi tutto il task in co-contrazione con ST dallo 0% al 40% circa.

ST della fase di volo non risulta sempre attivo. I report delle schiacciate mostrano un'attivazione tutti i muscoli in tutte le fasi del task, con eccezione per il TA, in cui la fase di volo che va dal 10% al 50% circa del task mostra attività in solo uno o in nessuno dei due task.

4.1.4. Soggetto 7

Si è scelto di riportare il caso del Soggetto 7 poiché la traiettoria della caviglia dell'arto sinistro in uno dei task ha mostrato una prolungata estensione della stessa e prolungata contrazione del gastrocnemio. Probabilmente, ciò è dovuto all'aver continuato il passo dopo l'atterraggio, passando sotto rete.

Nei grafici degli angoli articolari durante il task del muro si può notare un pattern pressoché analogo tra destra e sinistra.

- Angoli Muri - anca:
 - Destro: picco minimo a 20° ca. intorno al 20% del task cycle, segue un secondo minimo di nuovo a 20° intorno al 88%; un singolo picco di 80° presente al 30% dell'esecuzione in un task, mentre si presenta un piccolo rialzamento all'88% dell'altro task, dove è presente un minimo nel primo.
 - Sinistro: Presenta il punto di massimo a 80° in entrambe le valutazioni al 30% del task. Unico minimo significativo quello a 15° al 20%.
- Angoli muri – ginocchio:

Il grafico si presenta uniforme per entrambi i lati per tutto il task, in entrambe le valutazioni. Presenti due punti di massimo e di minimo, rispettivamente al 110° al 10% ed a 90° al 90% del task i massimi, 20° al 35% e 15° nel range del 55-70% i minimi.
- Angoli muri – caviglia:

La valutazione segue fedelmente quella effettuata sul ginocchio. Maggiori di circa 40° gli angoli di minimo, ma di eguale ampiezza i massimi. I punti significativi si presentano anche negli stessi intervalli del task. Le curve destre e sinistre hanno andamenti simili, ma il destro sembra raggiungere una minore flessione rispetto al sinistro.
- Angoli schiacciate – anca:
 - Destro: Il minimo si presenta al 70% dell'esecuzione, ad un ampiezza di 30° circa. Dopo il massimo presente a 100° al 50% del task, l'angolazione gradualmente discende durante tutta la durata del task.
 - Sinistro: significativo picco massimo a 130° al 20% del task. Ne segue uno più basso a 70° al 70%; in mezzo ad essi si presenta il minimo ad un ampiezza di 50°.

- Angoli schiacciate – ginocchio:
 - Destro: tre i minimi significativi: a 50° al 10%, 20° al 35% e 70° al 80% del task. I due picchi massimi, sempre in corrispondenza di stacco e atterraggio, sono di circa 100° e 120°, rispettivamente al 20% e al 65% del task.
 - Sinistro: raggiunge il valore minimo di 10° intorno al 30% della durata del task in una singola valutazione. Presente in entrambe invece il minimo al 20° al 60%. I due valori massimi si presentano invece a circa 50° al 40% ed a 120° all'80% del task.
- Angoli schiacciate – caviglia: simmetrica la prima parte del grafico per ambo i lati, con il primo minimo a 45° al 20% dell'esecuzione di tutti i task.

Di seguito, si descrivono i grafici degli sEMG:

VL è attivo sia a destra che a sinistra in quasi tutto il task, con brevi intervalli di inattivazione in entrambi i muri, rispettivamente intorno al 78% in R-VL e 98-100% in L-VL.

ST è attivo in pressoché tutto il ciclo, ad esclusione dell'intervallo tra il 40% e il 45% in R-ST e tra il 98% e il 100% in L-ST. Inoltre, si ha un'alternanza tra fasce gialle e verde chiaro dall'inizio del caricamento alla fine del task, con co-contrazione di entrambi nella fase di atterraggio.

R-TA presenta due fasce di inattivazione in entrambi i muri sia nell'intervallo 35-40% che in quello 45-55%. Inoltre, L-TA non si attiva in entrambi i muri nell'intervallo 51-53%. Entrambi i TA sono attivi nella fase di caricamento, in quella d'atterraggio e in quella di recupero dell'ortostatismo.

Il GM è attivo in fase di caricamento e di atterraggio. L-GM rimane attivo anche nella fase di recupero della stazione eretta, mentre R-GM è inattivo nell'ultima intervallo della stessa. Inoltre, entrambi i GM risultano inattivi nell'intervallo tra il 45% e il 45% del ciclo.

Per quanto riguarda le schiacciate, i muscoli VL e ST risultano sempre attivi ad eccezione di una fase iniziale pre-caricamento in R-VL e nell'intervallo 99-100% di L-ST. In generale, i muscoli stabilizzatori dell'anca si possono definire attivi in quasi la totalità del task.

Il TA alterna fasce gialle a fasce verde scuro. In R-TA si nota attivazione nell'intervallo 4-57% e 62-97%. Nella restante parte non vi è attivazione in nessuna

delle due schiacciate. In L-TA le bande gialle ricoprono gli intervalli 10-48% e 56-100%; gli intervalli restanti non presentano attività alcuna. Nelle fasi di caricamento e atterraggio si ha una contrazione di entrambi i TA.

Il GM è attivo in quasi la totalità del task cycle, con alcune brevi fasce verde scuro: R-GM risulta inattivo in un intervallo ridotto durante la fase di volo, mentre L-GM risulta inattivo nella fase in un breve lasso di tempo durante la fase di caricamento, mentre risulta attivo in una sola delle schiacciate nel range 10-38% circa del task. Nella fase di spinta è maggiormente attivo il destro rispetto al sinistro, nonostante l'arto di stacco sia il secondo. Nella fase di atterraggio si ha contrazione di entrambi i gastrocnemi mediali.

Il quadro generale risulta in un buon bilanciamento tra destra e sinistra in entrambi i task dal punto di vista degli angoli dei muri. Va rivolta una considerazione alle traiettorie dell'articolazione dell'anca nei muri per via della presenza di un solo picco importante, corrispondente alla fase di caricamento. Nelle schiacciate si ha un grafico degli angoli di caviglia differente da quello dei compagni, similmente a quelli ginocchio. Si riporta una prolungata estensione di caviglia e contrazione del gastrocnemio fino alla fine del task. Ciò è, probabilmente, dovuto alla continuazione del passo dopo l'atterraggio, passando sotto rete, come visualizzato nelle riprese video.

Alla luce di ciò, un salto in lungo piuttosto che in alto non è vantaggioso nello sport della pallavolo. Al fine di migliorare la performance e prevenire infortuni, sarebbe opportuno impartire un'educazione del gesto in modo da sfruttare al meglio l'energia orizzontale, convertendola in verticale. Si potrebbero proporre esercizi pliometrici per ovviare a tali accorgimenti.

CONCLUSIONI

A seguito quindi dell'analisi condotta, è emerso con chiarezza quanto sia cruciale analizzare gli atleti nel loro ambiente naturale, il campo da gioco.

L'approfondita esplorazione dei fondamentali di gioco – dal palleggio al servizio, dalla schiacciata al muro – può, quindi rivelare un completo spettro di dettagli sui movimenti degli atleti. Per esempio, la biomeccanica della schiacciata, in particolare l'angolazione e le traiettorie delle articolazioni di anca, ginocchio e caviglia, ha mostrato differenze significative tra il lato destro e sinistro in alcuni atleti, indicando potenziali aree di rischio o inefficienza.

Le tecniche avanzate utilizzate, come la stereofotogrammetria e l'elettromiografia, hanno offerto *insights* unici sui movimenti tridimensionali e sull'attivazione muscolare. Grazie al protocollo I'OR Gate (ridotto da 30 a 22 marker), si è potuto creare un quadro dettagliato delle dinamiche di movimento, rivelando potenziali asimmetrie o incoerenze.

Oltre alla pura analisi del movimento, lo studio ha anche preso in considerazione la tipologia e la frequenza degli infortuni nel pallavolo. Il collegamento tra le asimmetrie rilevate e i potenziali rischi di infortunio ha evidenziato l'importanza di un intervento precoce e mirato. I dati raccolti hanno permesso di identificare schemi di movimento, carichi articolari e muscolari, nonché eventuali asimmetrie o disfunzioni che potrebbero non essere evidenti in un contesto di laboratorio. Ciò deve essere alla base della creazione di protocolli di allenamento personalizzati, mirato non solo a migliorare le performance atletiche, ma anche a prevenire infortuni, ottimizzando la longevità sportiva degli atleti.

In conclusione, questa ricerca ha sottolineato l'importanza di un approccio multidisciplinare e integrato all'allenamento, in cui allenatori, atleti e specialisti biomeccanici collaborano per garantire il meglio per gli atleti.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Wikipedia, «Volleyball,» [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Volleyball&oldid=1157684156>. [Consultato il giorno 11 08 2023].
- [2] M. Jonathan C. Reeser e M. Roald Bahr, Handbook of Sports Medicine and Science, Volleyball, II edizione a cura di, John Wiley & Sons, 2017, pp. 63-73.
- [3] J. Clarys e J. Cabri, «Electromyography and the study of sports movements: a review,» *Journal of sports sciences*, vol. 11, pp. 379-448, 1993.
- [4] Federazione Italiana Pallavolo FIPAV, «federvolley.it,» Febbraio 2021. [Online]. [Consultato il giorno 12 Settembre 2023].
- [5] L. Schiavon e M. Zanin, «Fondamentali individuali: tecniche di base e specialistiche. Il palleggio - Dispense del Corso di Pallavolo - C.d.L. Scienze Motorie - Università degli Studi di Padova,» Padova, a.a. 2020-2021.
- [6] FIPAV - Centro Qualificazione Nazionale, «Dalla didattica del palleggio all'identificazione delle attitudini per ruolo di alzatore».
- [7] L. Schiavon e M. Zanin, «Fondamentali individuali: tecniche di base e specialistiche. Il bagher - Dispense del Corso di Pallavolo - C.d.L. Scienze Motorie - Università degli Studi di Padova,» Padova, a.a. 2020-2021.
- [8] L. Melotti, «Dispense "I fondamentali nel gioco della pallavolo",» a.a. 2005-2006.
- [9] C. Maurizio, «La battuta - tecnica e tattica,» [Online]. Available: <https://www.fipavliguriaponente.it/pagine/allenatori/Materiale%20didattico/Servizio/battuta%20tec%20e%20tatt.pdf>. [Consultato il giorno 27 Settembre 2023].
- [1] L. Schiavon e M. Zanin, «Fondamentali individuali: tecniche di base e specialistiche. 0] La battuta - Dispense del Corso di Pallavolo - C.d.L. Scienze Motorie - Università degli Studi di Padova,» Padova, a.a. 2020-2021.
- [1] A. Kitsiou, K. Sotiropoulos, S. Drikos, K. Barzouka e G. Malousaris, «Tendencies of 1] the volleyball serving skill with respect to the serve type across genders,» *Journal of Physical Education and Sport*, vol. 20, pp. 564-570.

- [1 P. Fuchs, \H. Menzel, F. Guidotti, J. Bell, S. von Duvillard e H. Wagner, «Spike jump
2] biomechanics in male versus female elite volleyball players,» *Journal of Sports
Sciences*, vol. 37, pp. 2411-2419, 2019.
- [1 FIPAV - Comitato Territoriale Trieste-Gorizia, «www.fipavtsgo.it,» 10 08 2023.
3] [Online]. Available:
https://www.fipavtsgo.it/images/documenti/circolare_indizione.pdf. [Consultato il
giorno 03 10 2023].
- [1 M. Milić, Z. Grgantov, K. A. L. Chamari, A. Bianco e J. Padulo, «Anthropometric and
4] physical characteristics allow differentiation of young female volleyball players
according to playing position and level of expertise,» *Biology of Sport*, vol. 34, pp. 19 -
26, 2017.
- [1 volleyballsetter.it, «volleyballsetter.it - il ruolo più importante della pallavolo: IL
5] PALLEGGIATORE,» [Online]. Available: [https://www.volleyballsetter.it/il-
palleggiatore/](https://www.volleyballsetter.it/il-palleggiatore/). [Consultato il giorno 04 10 2023].
- [1 volleyballsetter.it, «volleyballsetter.it - il ruolo del Libero: chi è la gazzella della
6] squadra?,» [Online]. Available: <https://www.volleyballsetter.it/il-libero/>. [Consultato il
giorno 04 10 2023].
- [1 www.volleyballsetter.it, «www.volleyballsetter.it - il ruolo del Centrale nella
7] pallavolo,» [Online]. Available: <https://www.volleyballsetter.it/il-centrale/>. [Consultato
il giorno 04 10 2023].
- [1 volleyballsetter.it, «volleyballsetter.it - LA BANDA: IL TUTTOFARE DELLA
8] SQUADRA,» [Online]. Available: <https://www.volleyballsetter.it/la-banda/>.
[Consultato il giorno 04 10 2023].
- [1 volleyballsetter.it, «volleyballsetter.it - La macchina da guerra: L'OPPOSTO,»
9] [Online]. Available: <https://www.volleyballsetter.it/opposto/>. [Consultato il giorno 04
10 2023].
- [2 F. Migliorini, B. Rath, M. Tingart e al, «Injuries among volleyball players: a
0] comprehensive survey of the literature,» *Sport Sciences for Health*, vol. 15, pp. 281 -
293, 08 01 2019.

- [2 W. Young, W. Briner e D. Dines, «Epidemiology of Common Injuries in the Volleyball
1] Athlete,» *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, vol. 16, pp. 229 - 234, 06 01
2023.
- [2 P. Gross e B. Marti, «Risk of Degenerative Ankle Joint Disease in Volleyball Players:
2] Study of Former Elite Athletes,» *International Journal of Sports Medicine*, vol. 20, n.
01, pp. 58 - 63, 03 08 2007.
- [2 G. Ziv e R. Lidor, «Vertical jump in female and male volleyball players: a review of
3] observational and experimental studies,» *Scandinavian journal of medicine & science
in sports*, vol. 20, n. 4, pp. 556 - 567, 08 2010.
- [2 H. Wagner, M. Tilp, S. von Duvillard e E. Mueller, «Kinematic analysis of volleyball
4] spike jump,» *International journal of sports medicine*, vol. 30, n. 10, pp. 760 - 765,
2009.
- [2 M. Bobbert, K. Gerritsen, M. Litjens e A. Van Soest, «Why is countermovement jump
5] height greater than squat jump height?,» *Medicine & Science in Sports & Exercise*, vol.
28, pp. 1402 - 1412, 1996.
- [2 D. Knudson, *Fundamentals of Biomechanics*, 3 a cura di, Springer Cham, 2021, p. 8.
6]
- [2 Istituto Ortopedico Rizzoli, «Laboratorio di Analisi del movimento e valutazione
7] funzionale protesi,» 23 03 2022. [Online]. Available: <https://www.ior.it/laboratori/lab-analisi-movimento/laboratorio-di-analisi-del-movimento>. [Consultato il giorno 08 10
2023].
- [2 L. Russo, in *Biomeccanica® - Principi di Biomeccanica e applicazioni della video
8] analisi al movimento umano*, Giacomo Catalani Editore, 2019.
- [2 L. Russo, *Differenza tra VIDEO ANALISI e STEREOFOTOGRAMMETRIA*, 2021.
9]
- [3 A. Leardini, L. Chiari, U. Della Croce e A. Capozzo, «Human movement analysis using
0] stereophotogrammetry. Part 3. Soft tissue artifact assessment and compensation,» *Gait
Posture*, 2005.

- [3 F. Spolaor, «Appunti del corso "LABORATORIO DI BIOMECCANICA E
1] VALUTAZIONE FUNZIONALE DELL'ASSETTO MUSCOLO-SCHELETRICO" -
CdLM67 - Università degli Studi di Padova,» Padova, A.A. 2021-2022.
- [3 V. Ghitti, «Elettromiografia: a cosa serve e quando è utile farla,» 4 02 2022. [Online].
2] Available: <https://www.saperesalute.it/elettromiografia-quando-e-utile>. [Consultato il
giorno 10 10 2023].
- [3 A. Griguolo, «Elettromiografia,» 16 06 2020. [Online]. Available: [https://www.my-
3\] personaltrainer.it/salute-benessere/elettromiografia.html](https://www.my-personaltrainer.it/salute-benessere/elettromiografia.html). [Consultato il giorno 10 10
2023].
- [3 G. Toffolo, «Appunti di lezione del corso di "Elaborazione dei segnali biologici" -
4] CdLM in Bioingegneria - Università di Padova,» Padova, A.A. 2018-2019.
- [3 SENIAM, «Welcome to SENIAM,» 2023. [Online]. Available:
5] <http://www.seniam.org/>. [Consultato il giorno 12 10 2023].
- [3 T. Mypersonaltrainer, «Muscolo Tibiale Anteriore,» 22 02 2017. [Online]. Available:
6] <https://www.my-personaltrainer.it/anatomia/tibiale-anteriore.htm>. [Consultato il giorno
11 10 2023].
- [3 T. Mypersonaltrainer, «Muscolo Gastrocnemio,» 13 09 2018. [Online]. Available:
7] <https://www.my-personaltrainer.it/anatomia/gastrocnemio.htm>. [Consultato il giorno
11 10 2023].
- [3 A. Griguolo, «Muscolo Semitendinoso,» 6 12 2019. [Online]. Available:
8] <https://www.my-personaltrainer.it/anatomia/semitendinoso.htm>. [Consultato il giorno
11 10 2023].
- [3 Team Mypersonaltrainer, «Muscolo Vasto Laterale,» 9 10 2018. [Online]. Available:
9] <https://www.my-personaltrainer.it/anatomia/vasto-laterale.htm>. [Consultato il giorno
11 10 2023].

APPENDICE

Soggetto 1

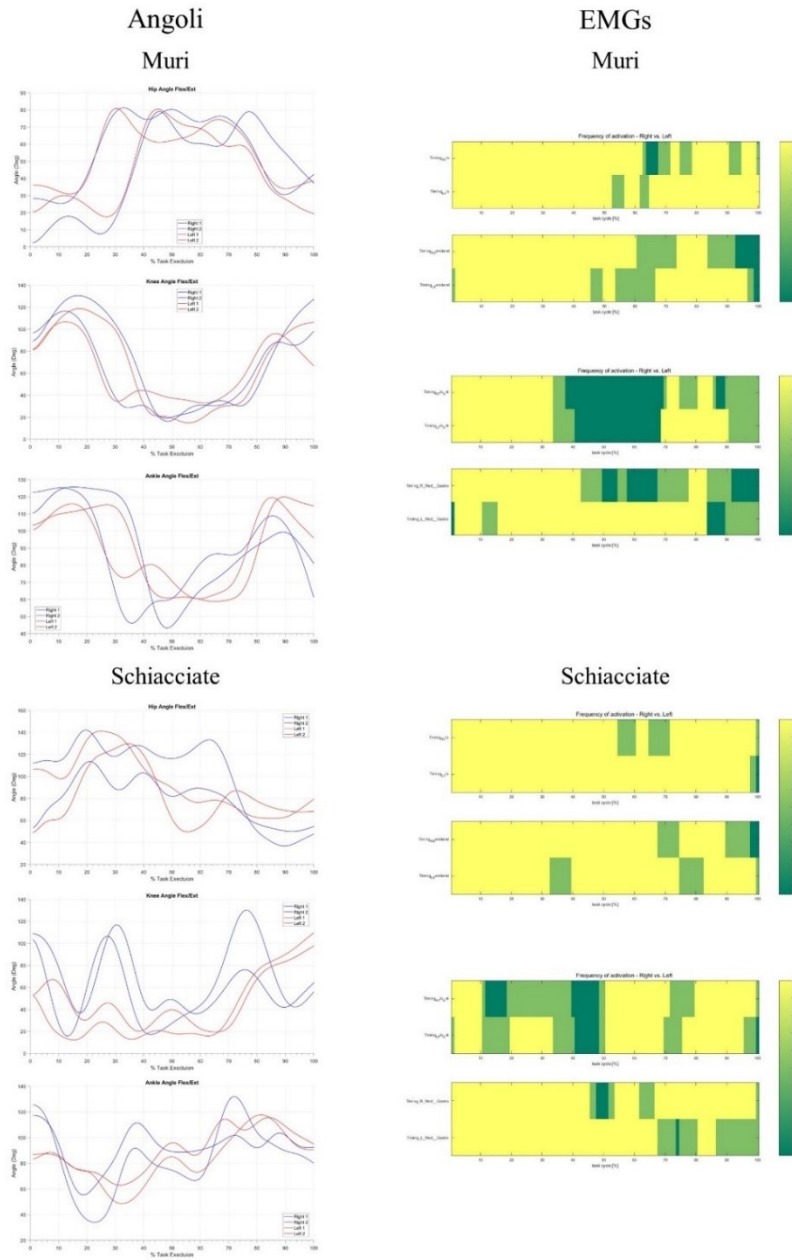


Figura A.1. – traiettorie articolari e attivazioni muscolari del Soggetto 1 nei task di muro e schiacciata

Soggetto 4

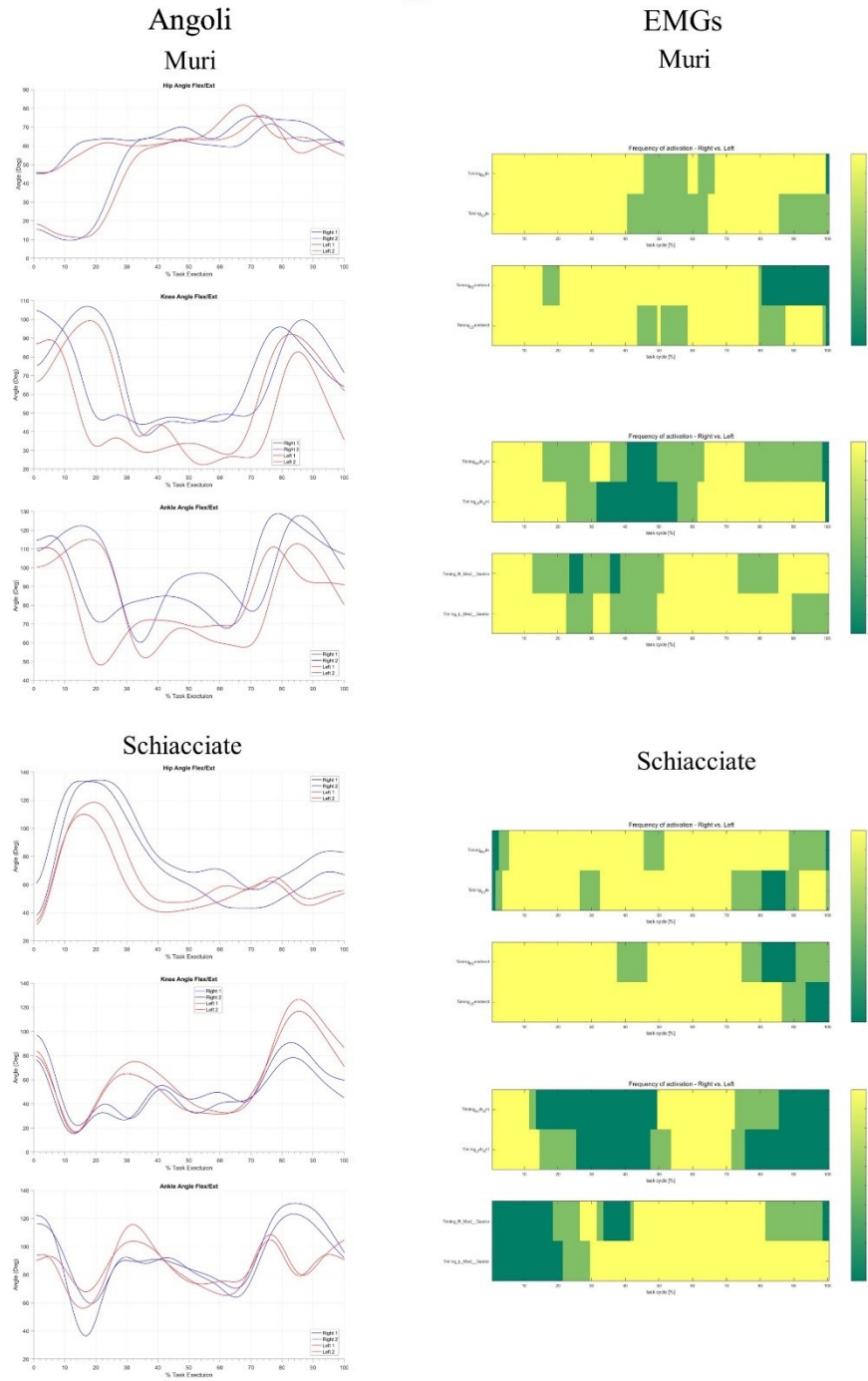


Figura A.2. – traiettorie articolari e attivazioni muscolari del Soggetto 4 nei task di muro e schiacciata

Soggetto 6

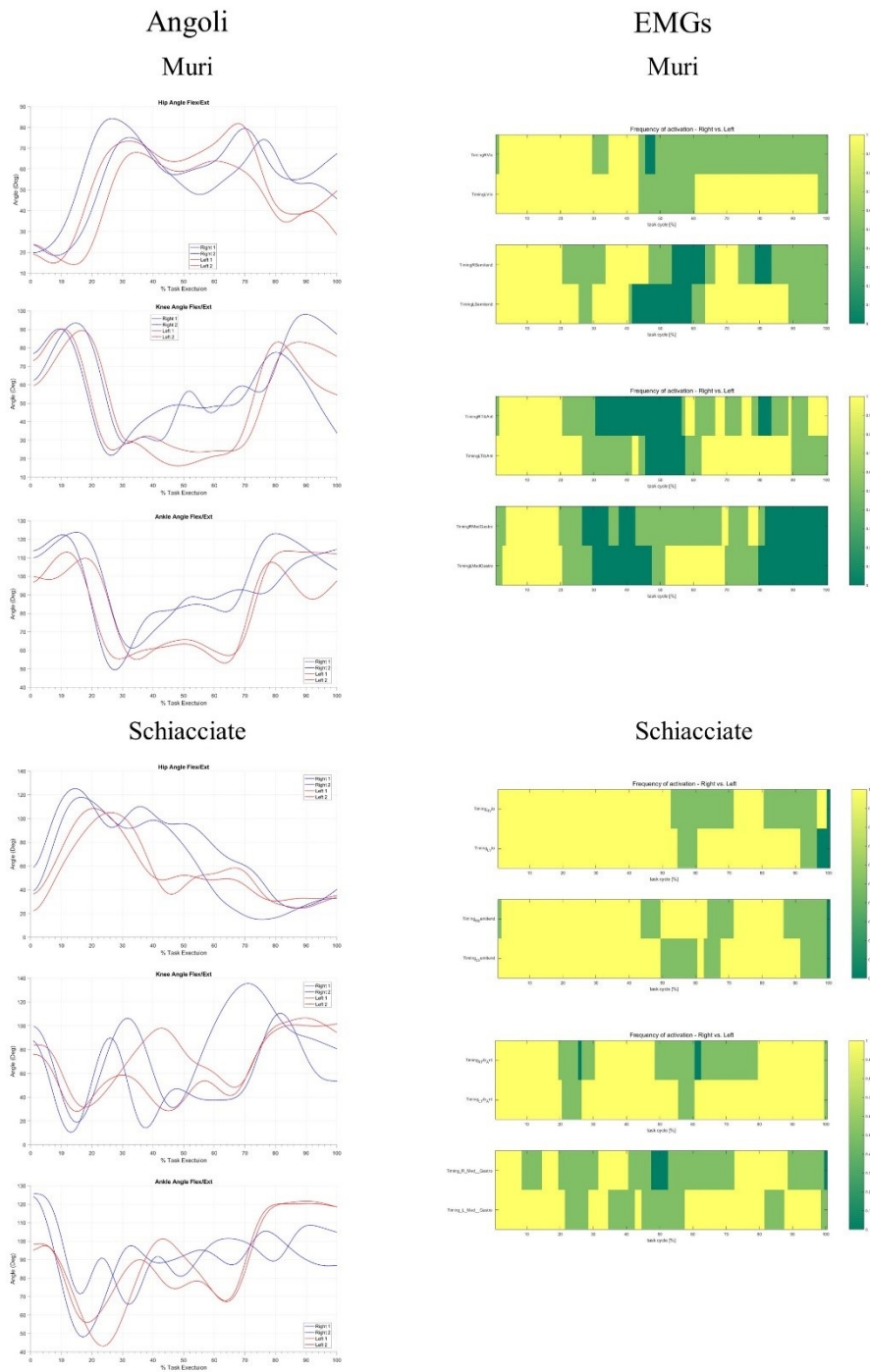


Figura A.3. – traiettorie articolari e attivazioni muscolari del Soggetto 6 nei task di muro e schiacciate

Soggetto 8

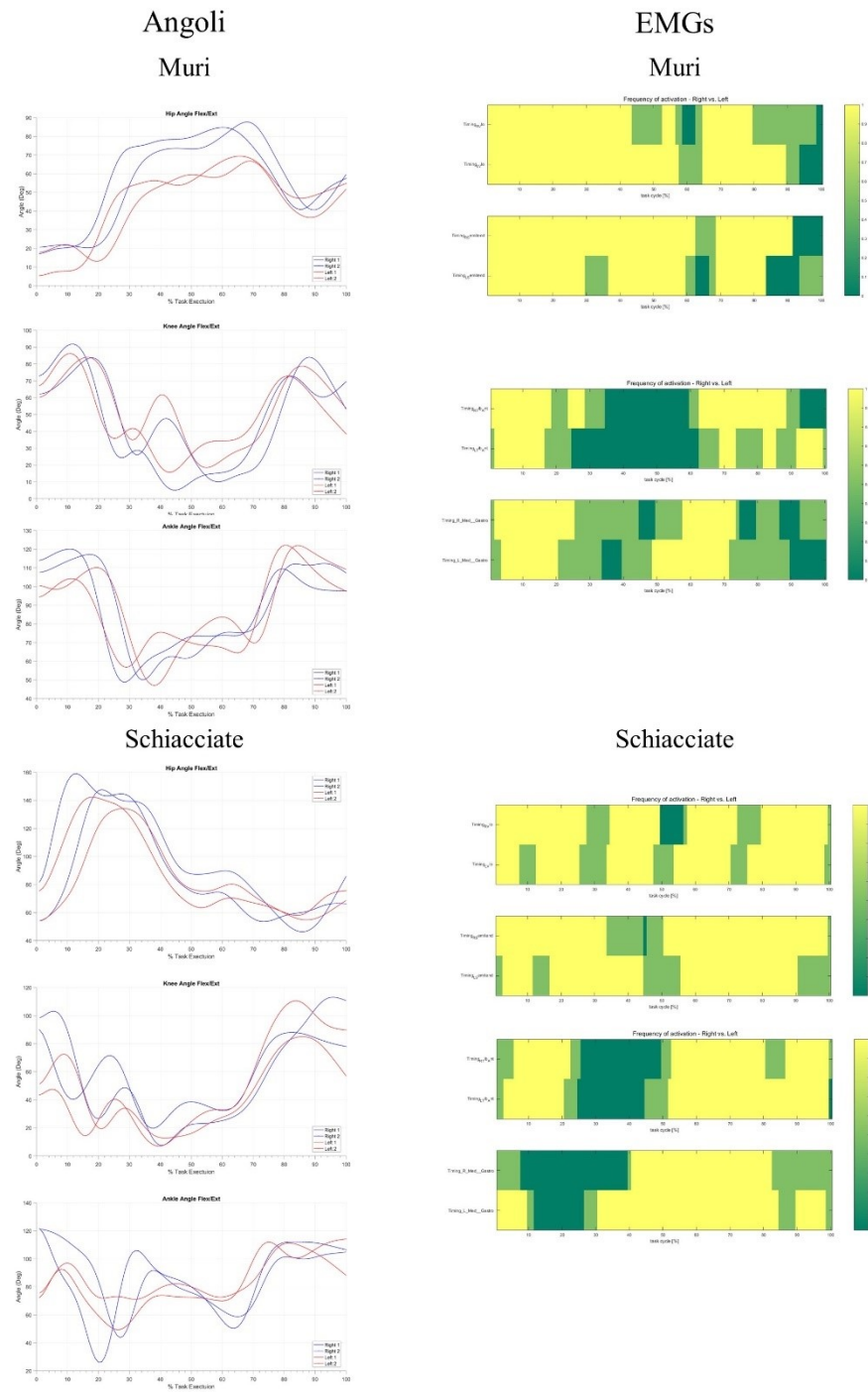


Figura A.4. – traiettorie articolari e attivazioni muscolari del Soggetto 6 nei task di muro e schiacciata