

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
CAMPUS DI CESENA
SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA BIOMEDICA

**Studio biomeccanico del movimento di entrata alle
parallele asimmetriche: kippe**

Elaborato in

BIOMECCANICA

Relatore

Prof. Angelo Cappello

Presentata da

Maria Luisa Ruspi

Correlatore

Ing. Silvia Fantozzi

Sessione I

Anno Accademico 2012 – 2013

*Dedico questi miei studi alle mie due nonne
che hanno fatto nascere in me la curiosità
di capire chi siamo e come siamo fatti
e magari per aiutare qualcuno in futuro
a ricominciare a sognare.*

Toti

Sommario

1. Introduzione	1
1.1. Scopo	3
1.2. Revisione della letteratura	4
2. Le parallele asimmetriche	10
3. Materiali e metodi	14
3.1. Stereofotogrammetria	14
3.2. Difficoltà pratiche	16
3.3. Analisi cinematica della kippe	18
3.4. Il movimento studiato	19
3.5. Soggetti analizzati	21
3.6. Protocollo	21
3.7. Compiti motori acquisiti	25
4. Analisi dati	27
5. Risultati	31
5.1. Confronto degli angoli articolari e della velocità di esecuzione dei tre soggetti durante la kippe verticale a gambe divaricate	35
5.2. Confronto degli angoli articolari e della velocità di esecuzione durante la kippe verticale a gambe unite	38
.....	40
5.3. La nuova entrata	41
6. Conclusioni	44
6.1. Confronto tra lo slancio alla verticale eseguito a gambe divaricate e a gambe unite	44
6.2. Studio della nuova entrata alle parallele	46
7. Bibliografia	49

Indice delle figure

<i>Figura 1 - Preparazione di un grande salto allo staggio superiore delle parallele asimmetriche</i>	3
<i>Figura 2 - Modello di un ginnasta ("Biomechanics and dynamics of sport", Alison Sheets)</i>	5
<i>Figura 3 – Uscita in doppio salto dietro in posizione raccolta (Gymnica, supplemento de "Il Ginnasta"- FGI – 1998)</i>	6
<i>Figura 4 – Momento di stacco ottimale per eseguire un doppio salto indietro raccolto in uscita alle parallele asimmetriche ("Championship Gymnastica, biomechanical techniques for shaping winners" Gerald S. George)</i>	7
<i>Figura 5 - Elizabeth Tweddle - Olimpiadi Londra 2012 durante l'esercizio alle parallele asimmetriche</i>	7
<i>Figura 6 – Grande oscillazione eseguita allo staggio superiore ("Championship Gymnastic, biomechanical techniques for shaping winners" Gerald S. George)</i>	8
<i>Figura 7 - Sistema multilink di un'atleta, Gymnica 1991 - FGI</i>	8
<i>Figura 8 - Analisi quantitativa della strategia di anca (Hemami, Barin Biol, Yi-Chung Pai)</i>	9
<i>Figura 9 - Impugnatura palmare dello staggio</i>	13
<i>Figura 10 - Nadia Comaneci, Olimpiadi di Montreal 1976</i>	13
<i>Figura 11 - Laboratorio di analisi del movimento (ARD research lab)</i>	14
<i>Figura 12 - Sistema di telecamere a luce infrarossa</i>	15
<i>Figura 13 - Posizione delle telecamere intorno alle parallele asimmetriche</i>	16
<i>Figura 14 - Magnesio</i>	16
<i>Figura 15 - Paracalli e polsini per l'impugnatura alle parallele asimmetriche</i>	17
<i>Figura 16 - Confronto tra la posizione del centro di massa rispetto al corpo durante la kippe e la traiettoria che esso percorre (International conference on Robotics & Automation Leuven, 1998)</i>	18
<i>Figura 17 - Il movimento del centro di massa durante l'esecuzione della kippe visto come una traiettoria simile a quella del pendolo ma con una variazione della distanza dal fulcro (International conference on Robotics & Automation Leuven, 1998)</i>	19
<i>Figura 18 - Calibrazione dei marker tramite stick ("Position and orientation in space of bones during movement anatomical frame definition and determination" A Cappozzo)</i>	22
<i>Figura 19 - Posizione dei marker sulla parte posteriore del corpo</i>	23
<i>Figura 20 - Posizione dei marker sulla parte anteriore del corpo</i>	23
<i>Figura 21 - Posizionamento delle telecamere e dei marker rispetto alle parallele asimmetriche</i>	24
<i>Figura 22 - – Sistema di coordinate dell'omero ("ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints of the reporting of human joint motion")</i>	25

<i>Figura 23 - Posizione della pedana rispetto alle parallele per l'esecuzione della nuova entrata</i>	26
<i>Figura 24 - Tempo di capovolta alla verticale ("Championship Gymnastica, biomachanical techniques for shaping winners" Gerald S. George)</i>	26
<i>Figura 25 - Modello biomeccanico visto tridimensionalmente con l'utilizzo di SMART Tracker</i>	27
<i>Figura 26 - Ricostruzione del modello biomeccanico utilizzando SMART Tracker</i>	27
<i>Figura 27 - Struttura di un protocollo per i marker dell'avambraccio utilizzato dallo SMART Analyzer</i>	28
<i>Figura 28 - Marker anatomici ("ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion")</i>	29
<i>Figura 29 - Traccia del marker C7 nel tempo del soggetto 1 durante la kippe verticale</i>	29
<i>Figura 30 - Traccia del marker LUA1 nel tempo del soggetto 1 durante la kippe verticale: in blu la posizione rilevata dalle telecamere, in rosso la traiettoria ricostruire con l'uso di SMART Analyzer</i>	30
<i>Figura 31 - Angolo di pronazione/supinazione del gomito</i>	32
<i>Figura 32 - Componenti spettrali</i>	32
<i>Figura 33 - Confronto tra gli angoli articolari della spalla (flesso-estensione, ab-adduzione, intra-extrarotazione dall'alto verso il basso) filtrato in blu e non filtrato in rosso</i>	33
<i>Figura 34 – Confronto dell'angolo articolare di spalla durante l'esecuzione della nuova entrata riferita all'arto destro in blu e all'arto sinistro in verde</i>	33
<i>Figura 35 - Confronto dell'angolo articolare digomito durante l'esecuzione della nuova entrata riferita all'arto destro in blu e all'arto sinistro in verde</i>	34
<i>Figura 36 - Confronto dell'angolo di flesso-estensione della spalla nella fase di massimo allungo della kippe tra il soggetto 1 (a sinistra) e il soggetto 3 (a destra).</i>	36
<i>Figura 37 - Confronto tra la velocità massima di chiusura dell'arto inferiore destro tra il soggetto 1 (in blu) e il soggetto 2 (in rosso) durante la kippe verticale a gambe divaricate</i>	37
<i>Figura 38 - Differente posizione dell'atteggiamento del corpo durante lo slancio a gambe unite a corpo teso tra il il soggetto 2 (in alto a sinistra) e il soggetto 3 (in alto a destra)</i>	39
<i>Figura 39 - Confronto di angolo di flesso-estensione di spalla tra il soggetto 2 (in blu) e il soggetto 3 (in rosso) durante la kippe verticale a gambe unite</i>	40
<i>Figura 40 - Confronto dell'angolo di flesso-estensione formato tra arti inferiori e busto tra il soggetto 3 (in blu) e il soggetto 2 (in rosso)durante la kippe verticale a gambe unite</i>	40
<i>Figura 41 - Posizione di partenza della kippe verticale da fermo durante il momento dell'impugnatura dello staggio (corpo squadrato)</i>	41

<i>Figura 42 - Confronto tra la posizione del soggetto 1 (figura a destra) e del soggetto 3 (figura a sinistra) al termine del tempo di capovolta da cui poi esegue la kippe verticale</i>	41
<i>Figura 43 - Confronto tra le oscillazioni durante la kippe: (No.1) partenza da un'altezza minore = ampiezza dell'oscillazione minore, (No.2) partenza da una altezza maggiore = ampiezza dell'oscillazione maggiore ("Championship Gymnastica, biomechanical techniques")</i>	42
<i>Figura 44 – Soggetto1: confronto tra le velocità massime di chiusura degli arti inferiori durante la fase di massimo allungo durante il movimento della kippe verticale a gambe divaricate (in alto) e la nuova entrata (in basso).....</i>	43
<i>Figura 45 - Confronto tra gli slanci per raggiungere la verticale eseguito a gambe unite e a corpo teso (a sinistra) e lo slancio a gambe divaricate con il corpo squadrato (a destra).....</i>	45

Indice delle tabelle

<i>Tabella 1 - Confronto degli angoli articolari di gomito durante l'esecuzione della kippe verticale a gambe divaricate</i>	<i>36</i>
<i>Tabella 2 - Confronto degli angoli articolari di flessione-estensione e della massima velocità raggiunta durante l'esecuzione della kippe verticale a gambe divaricate</i>	<i>36</i>
<i>Tabella 3 - Confronto degli angoli articolari di gomito durante l'esecuzione della kippe verticale a gambe unite</i>	<i>38</i>
<i>Tabella 4 - Confronto degli angoli articolari di flessione-estensione e della massima velocità raggiunta durante l'esecuzione della kippe verticale a gambe unite</i>	<i>39</i>
<i>Tabella 5- Confronto degli angoli articolari di gomito durante l'esecuzione della nuova entrata</i>	<i>42</i>
<i>Tabella 6 - Confronto degli angoli articolari di flessione-estensione e della massima velocità raggiunta durante l'esecuzione della nuova entrata</i>	<i>42</i>

1. Introduzione

La ginnastica è una pratica sportiva che unisce esigenze acrobatiche e di forza ad esigenze di collegamento tra i vari esercizi e di coreografia, elementi che, tutti assieme, concorrono a determinare il valore dell'esercizio effettuato.

Come tutti gli altri sport, anche la ginnastica col tempo ha subito un processo di diversificazione e di specializzazione, moltiplicando le discipline e il loro contenuto tecnico; oggi si parla di ginnastica artistica, ritmica, trampolino elastico, aerobica e varie altre specialità, differenziando anche la pratica in ambito maschile e femminile. Le prime tre specialità sono comprese tra gli sport dei giochi olimpici, la prima fin dalle prime edizioni dei Giochi Olimpici, la ginnastica ritmica a partire dal 1984, il trampolino elastico dal 2000.

La **ginnastica artistica** è prevista come disciplina sia in campo maschile che femminile, si articola in gare di squadra e in gare individuali, in questo caso con classifiche sia su tutti gli attrezzi che sul singolo attrezzo. In campo maschile esistono sei attrezzi: parallele, volteggio, cavallo con maniglie, anelli, sbarra e corpo libero; in campo femminile quattro: parallele asimmetriche, trave, volteggio e corpo libero, quest'ultimo è accompagnato da un brano musicale che esalta la coreografia e la dinamica delle varie parti dell'esercizio e obbliga la ginnasta a seguire l'andamento della musica.



La **ginnastica ritmica** prevede solo esercizi al corpo libero, con l'utilizzo di 5 piccoli attrezzi (il cerchio, la palla, le clavette, il nastro e la fune) con un accompagnamento musicale. Gli esercizi di questa specialità sono caratterizzati dalla coreografia, dalla danza, dalla grazia dei movimenti più che dalla componente di forza e di velocità.



Il **trampolino elastico** prevede evoluzioni su un tappeto elastico, in termini di salti, rotazioni sui vari assi del corpo, acrobazie in aria; accanto alla prova individuale esistono competizioni di due ginnasti in sincronia, in cui, oltre a valutare la difficoltà e la corretta esecuzione degli esercizi visti per le prove individuali, si valuta il sincronismo dei movimenti. Come contenuto tecnico l'esercizio al trampolino elastico è paragonabile alla ginnastica artistica in termini di potenza e velocità dei movimenti.



La presente tesi vuole studiare un particolare movimento della ginnastica artistica femminile eseguito alle parallele asimmetriche: la kippe, il movimento maggiormente usato per iniziare l'esercizio a questo attrezzo. Nel primo capitolo si farà una breve panoramica degli studi biomeccanici precedentemente effettuati per analizzare gli esercizi effettuati su questo attrezzo, nel secondo capitolo della tesi verrà descritto l'attrezzo delle parallele asimmetriche e forniti dettagli sugli esercizi svolti a questo attrezzo. Nel terzo capitolo verranno descritte le modalità di effettuazione del test nonché le modalità di analisi e consuntivazione dei dati e nel quinto capitolo verranno forniti i risultati.

1.1. Scopo

Limitando il discorso alla ginnastica artistica femminile, mentre per molto tempo si è prestata una maggiore attenzione agli aspetti legati alla coreografia e alla coordinazione dei movimenti, da alcuni decenni l'attenzione si è spostata sul gesto atletico, con l'introduzione di esercizi di maggiore complessità e difficoltà.

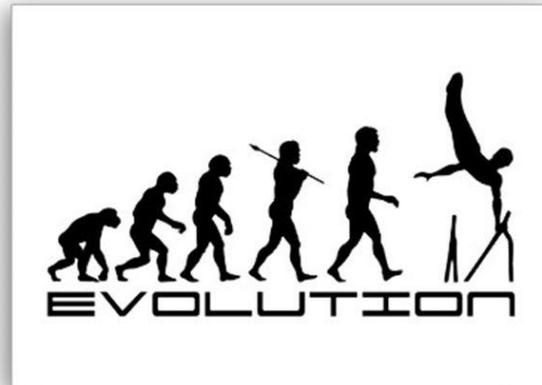


Questi richiedono una lunga preparazione atletica e uno studio approfondito della dinamica dei movimenti, allo scopo di realizzare esercizi più difficili garantendo contemporaneamente la sicurezza delle ginnaste e riducendo la possibilità di traumi. Col tempo è pertanto aumentata la tendenza ad un approccio scientifico allo studio dei movimenti volto ad “inventare” movimenti più difficili e più spettacolari, sfruttando al meglio le potenzialità fisiche di ogni singola atleta. Risultato di tali studi è una notevole quantità di informazioni che analizzano i movimenti già esistenti con diversi obiettivi:

- Identificare le parti del corpo più sollecitate e quindi più soggette a possibili traumi e lesioni a livello osseo, tendineo e muscolare. Si possono così effettuare interventi per prevenire infortuni e migliorare quindi la sicurezza dei ginnasti. Queste informazioni possono essere utilizzate dai tecnici sia per migliorare la preparazione fisica specifica relativa a quel determinato esercizio, sia per migliorare il tipo di attrezzature utilizzate in palestra e per una collaborazione più stretta con il sistema di supporto sanitario
- Migliorare la tecnica esecutiva dei vari movimenti con un'analisi cinematica e dinamica del movimento attraverso una collaborazione tra tecnici e operatori. Si possono così introdurre nuovi attrezzi/movimenti preparatori finalizzati a migliorare la tecnica del movimento studiato
- Ipotizzare nuovi movimenti che poi potranno essere introdotti nel Codice dei Punteggi, partendo da movimenti già esistenti nella ginnastica artistica, in particolare da un'analisi cinematica e dinamica quantitativa.

1.2. Revisione della letteratura

I primi approcci allo studio biomeccanico della ginnastica sono elencati in un articolo del 1969 intitolato “The analysis of Gymnastics, a survey of literature” pubblicato su Modern Gymnast Magazine, che ha riassunto e commentato le prime esperienze di utilizzo della biomeccanica nello studio della ginnastica. Dal periodo analizzato



in quell'articolo sono trascorsi più di 40 anni, durante i quali si è passato da un approccio sostanzialmente descrittivo e qualitativo a studi sistematici che utilizzano strumentazioni e metodologie di indagine molto più raffinate e generalizzabili. La strumentazione è passata dalle riprese cinematografiche qualitative alla stereofotogrammetria, dalla valutazione delle forze attraverso l'allungamento di elastici a pedane con misuratori di forze, momenti e spostamenti, da analisi numeriche manuali dei dati raccolti all'utilizzo di modelli biomeccanici ed elaborazioni al calcolatore.

L'utilizzo della biomeccanica si è rivelato prezioso in molti ambiti:

- Medicina: analisi del sistema nervoso, dell'apparato scheletrico e locomotore per la prevenzione degli infortuni in ambito sportivo e la riabilitazione in caso di incidenti
- Ergonomia: per la progettazione di attrezzi secondo i principi della biomeccanica
- Sport: analisi quantitativa del gesto atletico, possibile miglioramento delle prestazioni e prevenzione degli infortuni

Restando nell'ambito sportivo l'analisi biomeccanica è stata utilizzata soprattutto in alcuni sport come nella ginnastica, nel nuoto, nel pattinaggio, nei tuffi e nell'atletica, sport che sono essenzialmente dipendenti dal gesto atletico essendo compiuti dal singolo atleta e non nell'ambito di un gioco di squadra. Sono sicuramente importanti anche gli aspetti legati alla strategia, alla tenuta psicologica e alla pianificazione degli allenamenti, ma resta centrale la meccanica dei

movimenti eseguiti, con la valutazione delle forze e dei loro momenti, delle reazioni vincolari e la velocità dei movimenti.

Con particolare riguardo alla ginnastica, l'esercizio è svolto dal singolo atleta, la

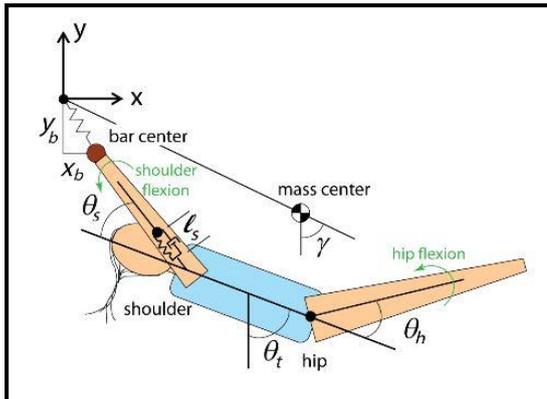


Figura 2 - Modello di un ginnasta
(*"Biomechanics and dynamics of sport"*, Alison Sheets)

durata va dai pochi secondi del volteggio al minuto e mezzo del corpo libero e della trave, ogni movimento deve essere studiato e preparato in modo che sia svolto con il massimo automatismo possibile. Punto di partenza è sempre il corpo

umano e la necessità di valutare a quali sforzi possono essere assoggettati i

muscoli, a quali angoli di estensione delle articolazioni e come giocano i momenti di inerzia del corpo o di sue sezioni nelle rotazioni attorno ai possibili assi di rotazione.

Prima della disponibilità e dell'utilizzo delle prime tecniche cinematografiche attorno agli anni '20 e '30, l'analisi dello sport della ginnastica era incentrata sulla ricerca antropometrica di quali fossero le caratteristiche fisiche che indicavano la predisposizione a quello sport. In mancanza di strumenti teorici di analisi venivano effettuate misurazioni sul peso, altezza, rapporto tra le lunghezze dei vari segmenti corporei dei ginnasti/e che ottenevano buoni risultati rispetto alla media dei coetanei, per individuare la predisposizione e il potenziale. L'uso della cinematografia, con la possibilità di vedere ripetutamente al rallentatore a livello di singolo fotogramma i movimenti compiuti dai ginnasti ha permesso di analizzare più compiutamente gli esercizi, ma per molto tempo questi strumenti sono stati utilizzati per un'analisi qualitativa più che quantitativa: venivano confrontati i movimenti (velocità, estensione dei movimenti, punti di appoggio sugli attrezzi, ecc.) eseguiti dai ginnasti di vertice con quelli eseguiti dagli altri ginnasti.

Per la valutazione della fatica muscolare è stato introdotto l'utilizzo della elettromiografia che misura l'attività elettrica dei muscoli mediante elettrodi intramuscolari o superficiali; in questo caso lo studio è effettuato attraverso un modello funzionale del muscolo in analogia con un particolare circuito elettrico. Anche se tale tecnica non è stata utilizzata in maniera estesa nella ginnastica, ha costituito un salto metodologico nello studio dell'esercizio sportivo.

Con il procedere degli studi il movimento è stato analizzato con un sistema integrato di diversi tipi di dati:

- Dati cinematici: i movimenti del corpo vengono misurati utilizzando i sistemi di motion capture
- Dati dinamici: le forze e i momenti angolari vengono misurati utilizzando piattaforme di forza e altri sensori
- Dati elettromiografici: i segnali elettrici di attivazione dei muscoli vengono misurati con degli elettrodi

Allo scopo di definire le modalità dello studio e quali parametri cinematici e dinamici prendere in considerazione abbiamo verificato degli esempi di studi già effettuati; dal momento che sono scarsi gli studi



relativi al movimento della kippe abbiamo guardato alcuni esempi di

Figura 3 – Uscita in doppio salto dietro in posizione raccolta (Gymnica, supplemento de "Il Ginnasta"- FGI – 1998)

studi su esercizi analoghi sullo stesso attrezzo. Un esempio è stata l'analisi dell'uscita alle parallele asimmetriche in campo femminile.

Questo studio è stato eseguito da Paolo De Brasa durante i campionati del mondo di Stoccarda del 1989 e i relativi dati sono stati analizzati nel Laboratorio di Biomeccanica dell'ISEF di Roma. Il movimento studiato è stato eseguito da sei ginnaste e le migliori quattro esecuzioni sono poi state analizzate dal punto di vista biomeccanico. Questo movimento è stato analizzato utilizzando una cinepresa ad una frequenza di 24 Hz con l'asse ottico coincidente con l'asse longitudinale dello staggio superiore delle parallele asimmetriche. Il movimento inizia con una rotazione intorno allo staggio superiore delle parallele a corpo disteso e dopo lo stacco delle mani dall'attrezzo vengono effettuate due rotazioni all'indietro a gambe flesse attorno all'asse trasversale prima dell'arrivo al suolo.

Lo studio è stato fatto analizzando i movimenti rotatori e traslatori attorno ai centri di massa dei vari segmenti prestando attenzione alla fase di stacco delle mani dallo staggio. Questo parametro è fondamentale per avere un arrivo stabile e in equilibrio al contatto col suolo. Lo stacco avviene per tutte le ginnaste sempre dopo aver raggiunto un angolo di 14° sotto l'orizzontale e questo permette la massima

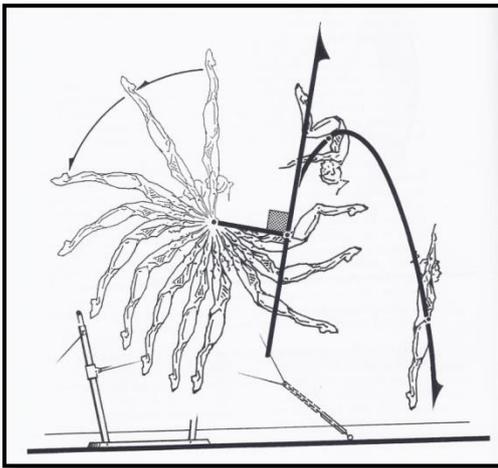


Figura 4 – Momento di stacco ottimale per eseguire un doppio salto indietro raccolto in uscita alle parallele asimmetriche ("Championship Gymnastica, biomechanical techniques for shaping winners" Gerald S. George)

elevazione durante il salto e quindi una minore velocità di rotazione dal momento che la ginnasta ha già effettuato una parte di rotazione prima dello stacco dallo staggio. Questa minor velocità di rotazione permette un miglior controllo del salto e un arrivo più stabile.

Uno stacco anticipato è caratterizzato da una quantità di moto angolare maggiore ma con minore elevazione e una velocità del centro di massa in avanti; un rilascio ritardato dello staggio comporta invece una quantità di moto rotatoria minore,

un'altezza del centro di massa al momento dello stacco maggiore e una velocità del centro di massa all'indietro (verso la parallela con possibilità di sbattere contro lo staggio).

Più precisamente, tempo di volo e velocità di rotazione sono inversamente proporzionali a parità di altre condizioni. Questi due parametri sono fondamentali in tutti gli esercizi di salto-giro.

Questo studio di Paolo de Brasa confronta i dati reali misurati con le previsioni fornite da un modello biomeccanico multilink a otto segmenti che usa momenti d'inerzia e quantità di moto angolari.

Si sono applicati undici marker nei punti di repere anatomici e si sono ricavati per ogni fotogramma alcuni parametri: posizione e velocità del centro di massa di ogni segmento corporeo, il momento d'inerzia attorno ad un asse parallelo all'asse ottico della macchina da presa e la massa di ogni segmento.

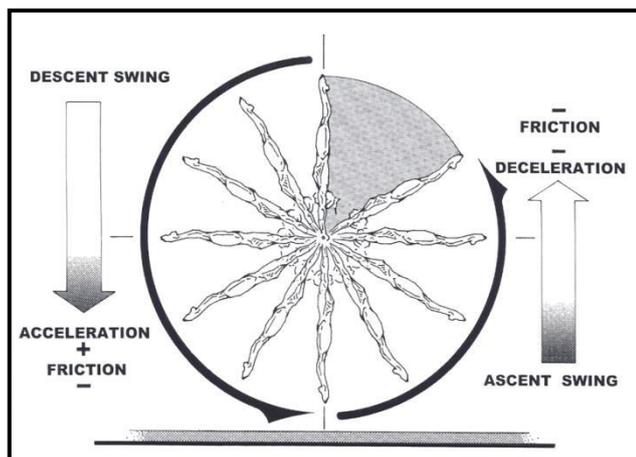


Figura 5 - Elizabeth Tweddle - Olimpiadi Londra 2012 durante l'esercizio alle parallele asimmetriche

Questo studio è stato fatto per cercare di alzare il più possibile questo tipo di uscita alle parallele, avendo così maggior tempo di volo prima dell'arrivo al suolo. Grazie a questo studio sono riusciti ad introdurre in questo salto oltre alle due rotazioni sul

piano frontale, anche delle rotazioni sul piano sagittale aumentando perciò il grado di difficoltà dell'esercizio (avvitamenti). Inoltre avendo raggiunto una maggiore elevazione è stato possibile effettuare la stessa uscita con diverse posizioni del corpo: raccolto, carpiato o tesa.

Un altro studio rilevante è quello relativo alla granvolta e in generale a tutte le oscillazioni (swing) sempre alle parallele asimmetriche, riportato nel manuale "Championship Gymnastics, biomechanical techniques for shaping winners" di Gerald S. George. Anche il movimento che andremo a studiare, la



kippe, è di fatto un'oscillazione con una successiva fase di appoggio sullo staggio.

Figura 6 – Grande oscillazione eseguita allo staggio superiore ("Championship Gymnastic, biomechanical techniques for shaping winners" Gerald S. George)

Esistono due tipi di granvolta attorno allo staggio superiore delle parallele: avanti e indietro. Soprattutto nella granvolta in avanti, dal momento che non si vede la posizione dello staggio inferiore esiste il rischio di toccare con i piedi lo staggio stesso (un errore che molte ginnaste commettono abbastanza frequentemente). Per evitare l'urto si è sempre chiesto alla ginnasta di squadrare il corpo con le gambe unite.

Lo studio effettuato su questo movimento analizza una nuova tecnica come

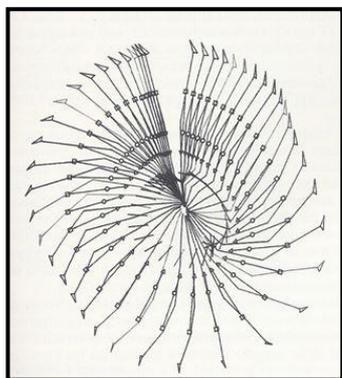


Figura 7 - Sistema multilink di un'atleta, *Gymnica 1991* - FGI

alternativa a quella sempre utilizzata, ovvero di aprire le gambe tenendo il corpo teso. In entrambi i casi il movimento di squadratura o di divaricazione delle gambe viene effettuato solo nell'arco di tempo in cui il corpo si avvicina allo staggio basso per non avere una riduzione del momento di inerzia troppo a lungo.

Subito dopo il passaggio dello staggio basso avviene l'azione di frustata, ovvero una prima fase in cui si arca il corpo aprendo l'angolo tra busto ed arti inferiori, successivamente si assume una posizione di tenuta a corpo teso.

L'analisi dimostra che è più efficiente la divaricazione delle gambe perché riduce il tempo durante il quale viene modificato l'assetto del corpo. Questo studio è stato effettuato con tecnica cinematografica a 25 e 50 Hz e analizzando tramite un computer ogni singolo fotogramma. Sono state prese sette ginnaste di diverso peso e altezza e si sono confrontati i risultati così ottenuti.

Il corpo delle ginnaste è stato rappresentato con uno schema multilink ed è stato studiato tramite un'analisi computerizzata bidimensionale: il tronco è stato approssimato ad un segmento rigido (retta che unisce le spalle alle anche), arti inferiori e arti superiori approssimati con altri due segmenti rigidi. In questa maniera però si può notare che il segmento che identifica il tronco in certi istanti si allunga mentre in altri si accorcia e questo proprio dovuto al fatto che il busto non è un segmento rigido ma è soggetto a movimenti di distensione e di flessione.

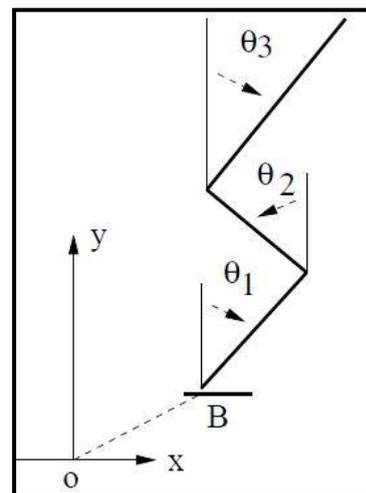


Figura 8 - Analisi quantitativa della strategia di anca (Hemami, Barin Biol, Yi-Chung

Le grandezze che sono state oggetto di misura sono: la velocità in metri al secondo del centro di massa, gli angoli articolari formati dal busto e gli arti superiori e inferiori, la traiettoria compiuta dal centro di massa nella rotazione attorno allo staggio superiore.

Questa tesi si occupa di un particolare esercizio effettuato sulle parallele asimmetriche: il movimento della kippe. È stato scelto questo elemento in quanto quello più usato più spesso per iniziare l'esercizio alle parallele. Il movimento della kippe realizza la salita all'attrezzo e il posizionamento per le successive evoluzioni. In seguito all'interesse per la Federazione Italiana di Ginnastica artistica (FGI), per valutare nuove modalità di esecuzione del movimento, è stato deciso di effettuare un'analisi biomeccanica del gesto. Come già visto negli studi descritti nella revisione della letteratura, prima di far eseguire alle ginnaste movimenti nuovi questi vanno analizzati per comprenderne la difficoltà e la rischiosità

2. Le parallele asimmetriche

Le parallele asimmetriche sono un attrezzo della ginnastica artistica femminile. Esse furono introdotte per la prima volta nel programma olimpico ai Giochi di Helsinki del 1952.

Sono formate da una struttura in metallo, che, agganciata con cavi d'acciaio al pavimento, sostiene due



staggi in legno posizionati ad una certa distanza uno dall'altro, uno più in alto e

Figura 9 - Struttura delle parallele asimmetriche

uno più in basso. L'evoluzione di questo attrezzo nel corso degli anni è stata notevole. Con il passare degli anni, infatti, gli staggi sono stati distanziati maggiormente, in modo da consentire evoluzioni più spettacolari e più complesse da parte delle atlete.

Sono così state introdotte le “granvolte” e movimenti propri della sbarra maschile, con passaggi in volo che prevedono rotazioni complete sull'asse trasversale prima di riprendere lo staggio. Questo ha comportato quasi un'assimilazione alla sbarra, attrezzo maschile, per il tipo di movimenti, pur permanendo nelle parallele asimmetriche la peculiarità dei salti da uno staggio all'altro.

Le misure regolamentari dell'attrezzo sono:

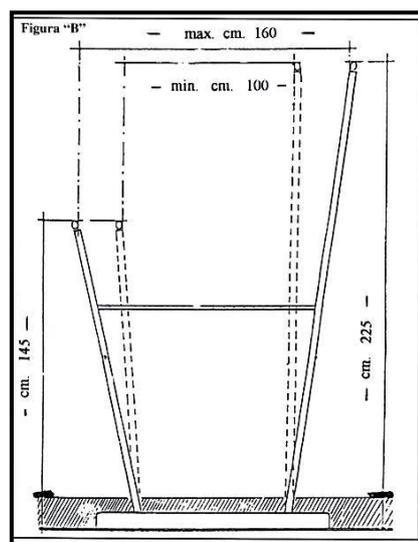
Altezza (comprensiva di circa 20 cm per il materasso d'arrivo)	Staggio superiore	245 cm
	Staggio inferiore	165 cm
Lunghezza degli staggi		240 cm
Distanza diagonale tra gli staggi	(regolabile)	130 cm – 180 cm

La distanza tra le parallele può essere modificata, entro certi limiti, in base alla corporatura della ginnasta e inoltre appositi tiranti di fissaggio dell'attrezzo al suolo permettono di rendere più o meno rigido l'attrezzo. Gli staggi, di legno, presentano una certa elasticità, che permette di assorbire parzialmente gli sforzi durante le evoluzioni e di favorire i movimenti di rotazione.

L'esercizio alle parallele asimmetriche è sicuramente l'obbligatorio più impegnativo e tecnicamente più denso di difficoltà.

E' un esercizio che va affrontato con ginnaste ben preparate fisicamente e tecnicamente e pertanto normalmente viene insegnato dopo gli altri attrezzi a ginnaste già allenate con una certa preparazione ed una certa linea del corpo.

La preparazione fisica generale deve mirare al miglioramento della tenuta del corpo, della mobilità articolare e del potenziamento dei settori muscolari interessati per poter così ricercare le massime espressioni di ampiezza e



rapidità nei movimenti. In particolare è richiesta una notevole mobilità articolare a

Figura 10 - Parallele asimmetriche (Gymnica, supplemento de "Il Ginnasta" - FGI 1998)

livello delle spalle, forza nelle braccia e a livello addominale e una capacità di reazione elevata.

L'esecuzione richiede anche acquisizione degli schemi motori dei diversi elementi che devono essere eseguiti in modo automatico e con buona capacità di



Figura 11 - Granvolta allo staggio superiore con 360° sul piano longitudinale

orientamento nello spazio anche perché molte volte la ginnasta non ha il tempo di vedere lo staggio prima di impugnarlo e occorre avere una precisione quasi perfetta.

Le ginnaste eseguono le difficoltà in gran velocità e sicuramente i passaggi più spettacolari sono quelli caratterizzati dai grandi salti con ripresa dello stesso staggio di spinta, oppure dai passaggi da uno staggio all'altro, con rotazione o meno del corpo rispetto all'asse longitudinale/trasversale.

L'esercizio alle parallele deve quindi essere eseguito in modo dinamico e senza pause; il corpo ruota intorno allo staggio con granvolte, cambi di presa e di fronte, salti e rotazioni senza interruzione nella continuità dell'esercizio.

L'esercizio viene valutato in base alle difficoltà presenti ma anche alla modalità dell'esecuzione: gli elementi devono apparire eseguiti senza eccessivo sforzo e con

continuità anche se l'esercizio stesso richiede una forza notevole data la velocità di esecuzione.

I movimenti vengono dalle interazioni tra la forza di gravità, la forza di inerzia, la forza centrifuga e la reazione vincolare. La forza di attrito si può considerare trascurabile vista la velocità dei movimenti. Durante il movimento c'è trasferimento di momento delle forze tra lo staggio e il corpo o tra parti del corpo stesso sia in movimento rettilinei che in movimenti rotazionali.

Tutto l'esercizio è composto da fasi in cui si incrementa la quantità di moto attraverso forze muscolari e altre fasi in cui si ha conservazione della quantità di moto ma con trasferimento della stessa tra le varie parti del corpo.



Figura 12 - Grande salto con ripresa dello stesso staggio alle parallele asimmetriche (Tkatchew)

Bisogna ricordare che alla parallela esistono diversi tipi di presa con le mani dello staggio (diverse impugnature):

- dorsale: palmo della mano verso il tronco ed entrambi i pollici risultano interni all'impugnatura
- palmare: c'è stata una rotazione del braccio esteriormente, il dorso della mano è rivolto verso il tronco ed entrambi i pollici risultano esterni all'impugnatura
- cubitale: c'è stata una rotazione del braccio verso l'interno, il dorso della mano è rivolto verso il tronco ed entrambi i pollici risultano esterni all'impugnatura
- mista: una combinazione qualsiasi delle diverse impugnature precedentemente spiegate.

La maggior parte degli elementi alla parallela viene eseguita in impugnatura palmare.

I movimenti alle parallele asimmetriche possono essere divisi in sei tipologie diverse:

- entrate
- movimenti circolari attorno allo staggio (a gambe unite)
- granvolte e cambi di staggio dallo staggio superiore a quello inferiore e viceversa
- stalder (movimenti circolari avanti/indietro a gambe divaricate)
- grandi salti (lasciare la presa dello staggio, effettuare un giro sull'asse longitudinale e/o trasversale con ripresa dello stesso staggio)
- uscite



Figura 9 - Impugnatura palmare dello staggio

L'esercizio alle parallele asimmetriche inizia con un'entrata, che solitamente è la kippe, e termina con un'uscita, nella quale la ginnasta si stacca definitivamente dallo staggio ed arriva sul tappeto. Ai massimi livelli agonistici, nell'uscita le ginnaste eseguono doppi salti mortali, anche con avvitamanti in volo (rotazioni contemporaneamente longitudinali e trasversali). Parlando di questo attrezzo non si può dimenticare la grandissima rumena Nadia Comaneci che ai Giochi di Montreal



Figura 10 - Nadia Comaneci, Olimpiadi di Montreal 1976

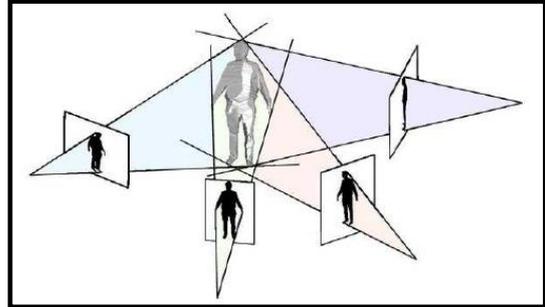
grande perfezione in quell'occasione, che porta il suo nome.

del 1976 fu la prima ginnasta in assoluto ad ottenere un 10 pieno e unanime da parte di tutti i giudici, proprio alle parallele asimmetriche. Tuttora esiste nel codice dei punteggi un movimento da lei inventato, eseguito con

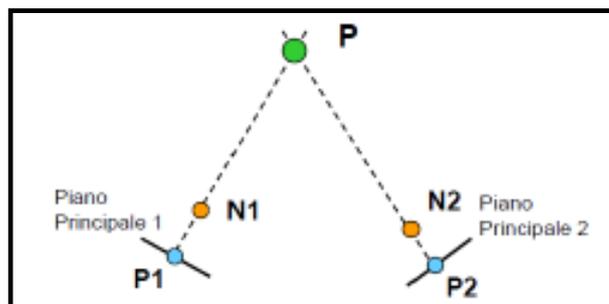
3. Materiali e metodi

3.1. Stereofotogrammetria

La stereofotogrammetria è un sistema di “*Motion Capture*” che consiste nel riprendere il movimento oggetto dello studio con almeno due telecamere collegate ad un computer. Sul soggetto che compie l’esercizio vengono applicati dei marker riflettenti adesivi sui punti del corpo più opportuni (punti di repere anatomici) per catturare il movimento di singole parti del corpo (braccia, gambe, dorso).



Le telecamere sono dotate di un illuminatore a raggi infrarossi la cui luce viene riflessa dai marker. Le telecamere in tal modo rilevano la posizione dei marker campionandola con una certa frequenza e inviano le coordinate al computer. Le telecamere, in numero variabile a seconda del tipo di movimento da studiare,



riprendono la scena da varie angolazioni, allo scopo di garantire che le coordinate di ogni marker vengano costantemente rilevate anche quando una telecamera perde di vista il marker a causa del

movimento del soggetto (per ogni istante di campionamento il marker deve essere visto da minimo due telecamere per poi poter ricostruire il suo movimento in uno spazio a tre dimensioni).

Questa tecnica oggi è largamente utilizzata in cinematografia per la realizzazione di personaggi di aspetto fantastico, ma che si muovono con movimenti umani: la scena è interpretata da attori reali sui quali sono stati applicati un gran numero di marker, poi i dati del movimento rilevati

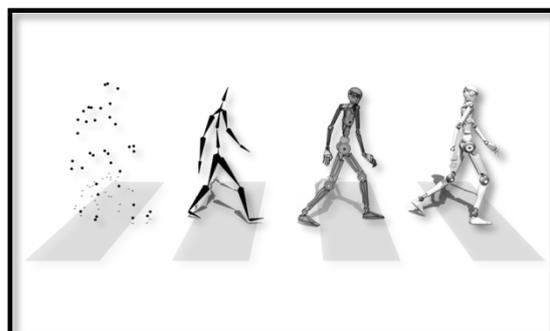


Figura 11 - Laboratorio di analisi del movimento (ARD research lab)

dalle telecamere sono applicati ai personaggi di fantasia.

In ambito sportivo il risultato finale della ripresa è un file che contiene, con la frequenza di campionamento prescelta in base anche alle caratteristiche del sistema di telecamere utilizzate, le coordinate di ogni marker rispetto ad un sistema di riferimento definito in fase di calibrazione del sistema.

I test sono stati effettuati presso la palestra Sterlino di Bologna, dove è stata portata



Figura 12 - Sistema di telecamere a luce infrarossa

la strumentazione stereofotogrammetrica consistente in dieci telecamere (sistema Smart-D, BTS Engineering) posizionate intorno alle parallele a diverse altezze. Alcune sono state alzate per poter rilevare il campo superiore del volume di misurazione, mentre le rimanenti sono state abbassate per rilevare i marker nella parte inferiore

dello spazio.

Queste telecamere hanno una frequenza di campionamento e una risoluzione variabile: per il nostro studio abbiamo scelto una frequenza di 500 Hz e una risoluzione di 4 MPixel, i dati relativi ad ogni marker vengono trasmessi al computer per poi essere visualizzati e analizzati.

Oltre a queste dieci telecamere ad infrarosso, sono state anche posizionate due telecamere IP sensibili alla luce visibile per riprendere il movimento: una è stata posizionata sul lato sinistro dell'attrezzo mentre l'altra anteriormente ad esso. Queste telecamere hanno un sensore di 1280 x 800 Pixel, prima della trasmissione alla workstation la risoluzione viene ridotta a 640 x 480 Pixel, risoluzione usata dal visualizzatore. Questo rescaling permette di avere una qualità di immagine superiore rispetto a quella che avrebbe una telecamera che lavori a 640 x 480 Pixel in modo nativo. La frequenza di trasmissione dell'immagine è 25 Hz.

Le immagini riprese da queste telecamere sono utilizzate a scopo di verifica del movimento effettuato, i dati effettivamente utilizzati nell'elaborazione sono quelli registrati dalle telecamere ad infrarosso.

E' stato abbastanza complicato trovare la giusta posizione per ogni telecamera per evitare che i cavi d'acciaio e i supporti in ferro della parallela stessa non disturbassero l'immagine rilevata dalla singola telecamera.

Sono stati poi regolati il fuoco e la luminosità di ogni singola telecamera in modo da rilevare nel modo più dettagliato possibile i marker durante l'acquisizione.

Durante la definizione della messa a fuoco e dell'ingrandimento di ogni telecamera, sono stati messi anche un marker vicino al tappeto sotto la parallela e altri su un'asta tenuta



verticalmente sopra lo staggio di circa due metri (altezza massima di

Figura 13 - Posizione delle telecamere intorno alle parallele asimmetriche

una ginnasta nella posizione verticale al termine del movimento sullo staggio) al fine di avere una caratterizzazione migliore del volume di acquisizione e quindi un settaggio migliore delle telecamere.

Prima di procedere con l'acquisizione del movimento è stata fatta una calibrazione statica, poi una calibrazione dinamica.

Durante l'acquisizione statica si è messa una terna destrorsa di assi al centro dello staggio. La calibrazione statica è servita per definire posizione ed orientamento di ciascuna telecamera, quindi i parametri estrinseci.

La calibrazione dinamica invece è stata effettuata muovendo l'asta con sopra i marcatori all'interno del volume di acquisizione per definirne il volume e acquisire i parametri intrinseci di calibrazione quali la distorsione geometrica, l'asse ottico ed il punto nodale.

3.2. Difficoltà pratiche

E' importante anche non dimenticare che nell'esercizio alle parallele si utilizza spesso il magnesio (polvere di magnesio) spalmato sulle mani e sullo staggio per aumentare l'attrito ed avere maggiore aderenza delle mani sullo staggio. Dal momento che per effettuare le nostre



Figura 14 - Magnesio

misurazioni abbiamo dovuto applicare diversi marker sul corpo delle atlete si è anche dovuto tener conto della difficoltà di mantenere i marker aderenti sulla cute della ginnasta per la presenza della polvere di magnesio. Nonché la riduzione della proprietà riflettente dei marker, infatti è stato necessario pulire con acqua i marker durante le acquisizioni perché altrimenti, dopo alcune ripetizioni dell'esercizio, non erano più visibili dalle telecamere.



Figura 15 - Paracalli e polsini per l'impugnatura alle parallele asimmetriche

Inoltre bisogna ricordare che le ginnaste, sempre per avere una migliore presa dello staggio, a volte usano vari tipi di fasciature sulle mani: possiamo avere le "fascette" (sottili strati di garza per salvaguardare il palmo della mano) o i paracalli (una striscia di cuoio che si allaccia al polso per essere mantenuta nella corretta posizione del palmo).

Nel caso di utilizzo dei paracalli, durante le prove, si è dovuto assicurare l'aderenza dei marker sul polso inserendo una fascia fissata alla cute con nastro adesivo. Questo per evitare spostamenti non voluti del marker durante i movimenti.

Inoltre alcuni materiali creavano disturbo alla rilevazione poiché riflettevano la luce infrarossa. Il pavimento è stato ricoperto di tappeti opachi e alcuni supporti della parallela sono stati schermati per evitare riflessi.



3.3. Analisi cinematica della kippe

Noi possiamo considerare tutta la massa del corpo umano come se fosse concentrata in un solo punto, il *centro di massa* del soggetto.

Durante la kippe la posizione del centro di massa percorre una traiettoria che è simile a quella di un pendolo. Un'analisi accurata del movimento andrebbe effettuata considerando il corpo del ginnasta come un pendolo di lunghezza variabile. Il modello più semplice può essere ricostruito considerando un corpo articolato formato da tre link.

Il fulcro di questo pendolo sta sullo staggio esattamente in mezzo alle mani del ginnasta

(essendo il movimento simmetrico rispetto al piano frontale). In una prima fase il centro di massa percorre un arco di circonferenza dal momento in cui il ginnasta impugna lo staggio fino alla posizione di massimo allungo in cui gli angoli tra arti inferiori e busto e tra arti superiori e busto sono circa a 180° (fasi (a), (b), (c) e (d) in figura). Successivamente il ginnasta richiama le gambe verso lo staggio mantenendo l'angolo tra braccia e busto completamente aperto come prima (fasi (e) e (f) in figura). Questo movimento degli arti inferiori fa spostare il centro di massa più vicino al fulcro e da questa posizione esso percorrerà un arco di circonferenza nel verso opposto al precedente ma a distanza minore dal fulcro (fasi (g) e (h) in figura). Arrivato a questo punto il ginnasta riapre l'angolo tra arti inferiori e busto avvicinandosi ai 90° mentre l'angolo tra braccia e busto diventa pari a 0° (fase (i) in figura). Questa è la fase di appoggio da cui poi verrà effettuato lo slancio degli arti inferiori fino a raggiungere la verticale. In questa fase di appoggio il centro di massa percorrerà un ultimo arco di circonferenza fino ad arrivare vicino alla posizione del fulcro del nostro ipotetico pendolo.

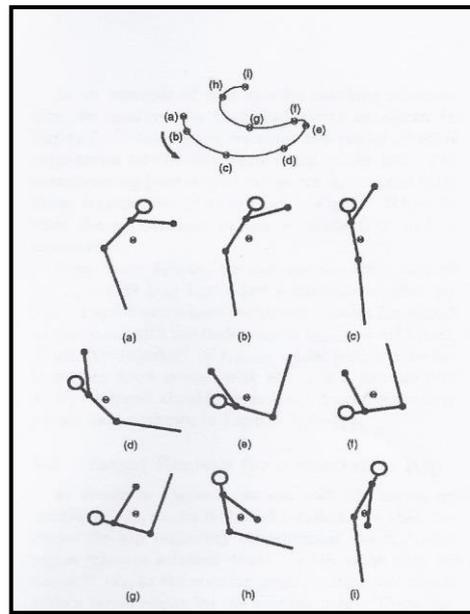


Figura 16 - Confronto tra la posizione del centro di massa rispetto al corpo durante la kippe e la traiettoria che esso percorre (International conference on Robotics & Automation Leuven, 1998)

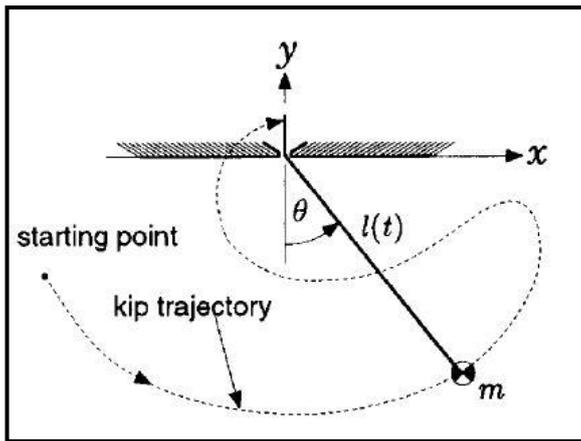


Figura 17 - Il movimento del centro di massa durante l'esecuzione della kippe visto come una traiettoria simile a quella del pendolo ma con una variazione della distanza dal fulcro (International conference on Robotics & Automation Leuven, 1998)

Nel presente studio abbiamo considerato il corpo del ginnasta come un modello 3-link:

1. Arti superiori
2. Busto
3. Arti inferiori

La tecnica della kippe verticale è

basata sugli angoli che questi tre link formano tra di loro. Vedremo come una piccola variazione di questi angoli può causare un

mancato raggiungimento della posizione della verticale, o un superamento di essa con la conseguente caduta.

3.4. Il movimento studiato

Gli esercizi alle parallele risentono di una certa standardizzazione e di conseguenza sarebbe opportuno ricercare combinazioni più articolate e più originali; occorrerà sicuramente

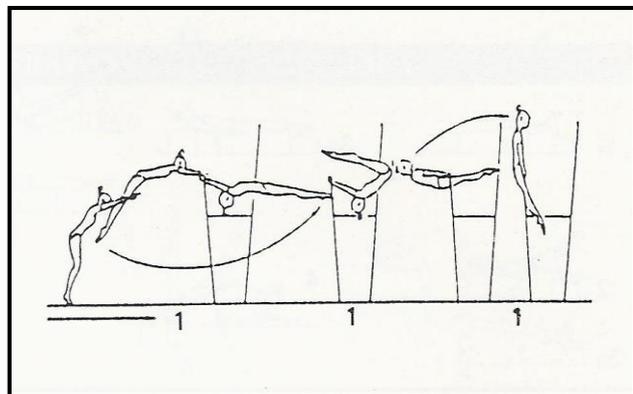


Figura 22 - Movimento di kippe eseguito allo staggio inferiore (Gymnica, supplemento de "Il Ginnasta" n° 4 - 1989)

incrementare il valore delle entrate (ancora troppe volte è utilizzata la "kippe" di valore A, il valore minimo previsto per i singoli esercizi, in una scala crescente da A ad H) e studiare entrate originali e di maggiore difficoltà. Il termine kippe indica il passaggio rapido del corpo da un atteggiamento lungo a un altro lungo, attraverso uno breve.

Il movimento della kippe può essere suddiviso in 4 fasi:

1. Dopo un piccolo salto servito per impugnare lo staggio (alto o basso a seconda della direzione dell'entrata) con presa palmare, si protende il corpo

in avanti con costante azione di spinta degli arti superiori a braccia tese fino ad arrivare al massimo allungo di tutte le parti del corpo (vedi immagini 1 - 2 - 3 nella figura sotto riportata)

2. mantenendo ferma la parte superiore del corpo (braccia, spalle e busto), si richiamano rapidamente gli arti inferiori verso lo staggio cambiando così l'angolo formato dagli arti inferiori col busto (4)
3. si chiude l'angolo formato tra le braccia e il busto mentre si riapre l'angolo tra l'arto inferiore e il tronco (5 - 6)
4. si ruota poi l'impugnatura fino ad arrivare all'appoggio ritto frontale (7)



Figura 23 - Le diverse fasi del movimento della kippe alle parallele asimmetriche (Gymnica, supplemento al n° 6 - giugno 1991 de "Il Ginnasta" edito da Federazione Ginnastica d'Italia)

Questa entrata è sempre seguita da uno slancio alla verticale che può essere effettuato sia a gambe divaricate (a corpo squadrato), sia a gambe unite (a corpo teso). Per eseguire lo slancio alla verticale a gambe unite dall'appoggio ritto frontale (fase ultima della kippe, vedi fase 1 della figura sotto riportata), si effettua con grande velocità lo slancio delle gambe portando il corpo proteso dietro in atteggiamento teso con il bacino bloccato (fasi 2 - 3 - 4), le spalle inizialmente sono leggermente avanzate rispetto alla linea verticale di appoggio, per garantire che il baricentro sia sulla verticale dello staggio. Le braccia sono sempre completamente tese anche durante l'azione di caricamento. Dopo questa fase le spalle ritornano sulla linea della verticale mediante un'azione di anteropulsione, sempre in massima spinta e allungo dei segmenti corporei (5).

Per eseguire invece lo slancio alla verticale a gambe divaricate bisogna slanciare le gambe e appena terminata l'azione di frustata, si aprono portando così il bacino sulla linea della verticale mentre gli arti inferiori sono divaricati e i piedi si trovano all'altezza delle spalle. Una volta raggiunta questa posizione (spalle in linea col bacino sullo staggio), si uniscono le gambe raggiungendo così la posizione della verticale con tutto il corpo allineato.

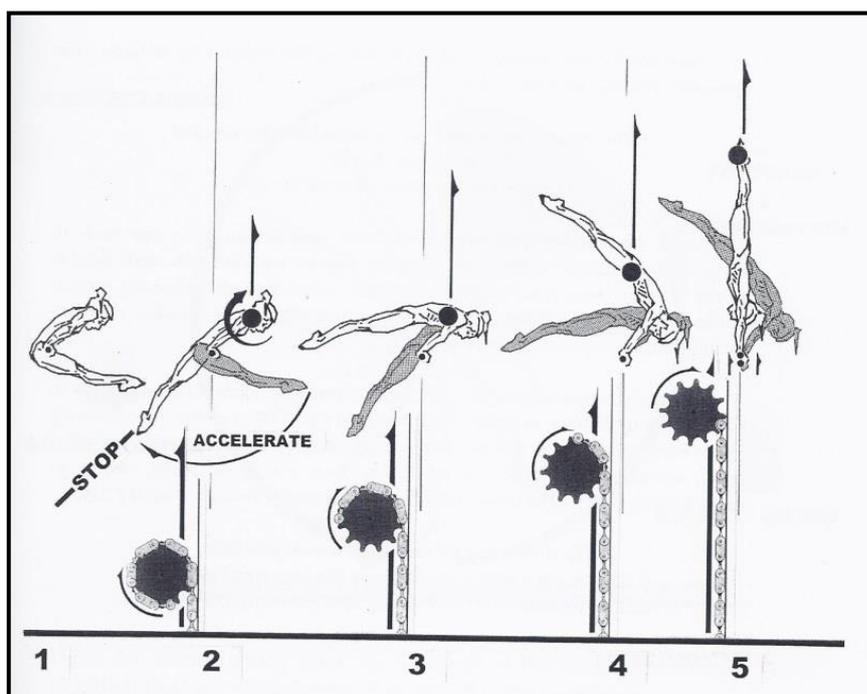


Figura 24 - Progressivo confronto di un movimento di slancio alla verticale ("Championship Gymnastica, biomechanical techniques for shaping winners" Gerald S. George)

3.5. Soggetti analizzati

Al test hanno partecipato tre ginnaste:

Nome	Età	Peso	Altezza	Categoria
Soggetto 1	22	55	1.65	Senior
Soggetto 2	22	52	1.60	Senior
Soggetto 3	14	43	1.56	Junior

La ginnasta minorenni è stata accompagnata da un genitore che ha dato il consenso all'attività del test effettuato.

3.6. Protocollo

Per l'acquisizione e l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il protocollo CAST (acronimo di "Calibrated Anatomical System Technique") definito dal prof. Cappozzo a metà degli anni '90 e ha avuto un importante sviluppo nell'ambito della biomeccanica per l'importante rivoluzione rispetto ai protocolli precedentemente implementati.

Consiste nell'utilizzare dei marker tecnici non direttamente posizionati sui punti di repere anatomici, al fine di migliorare la visibilità e quindi la ricostruzione cinematica di un particolare segmento anatomico. Questo approccio necessita di una calibrazione anatomica che permetta di associare la posizione dei marker tecnici con l'anatomica sottostante.

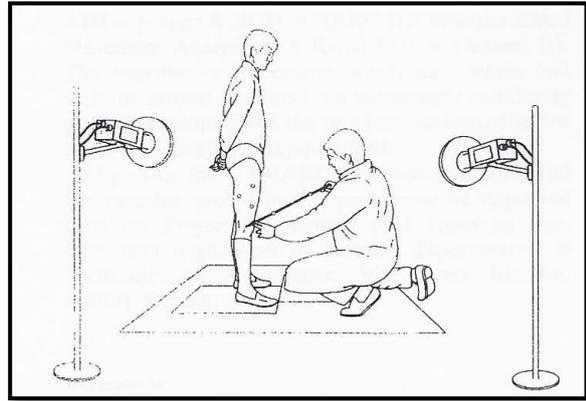


Figura 18 - Calibrazione dei marker tramite stick (*"Position and orientation in space of bones during movement anatomical frame definition and determination" A Cappozzo*)

Abbiamo utilizzato 32 marker (10 per l'arto superiore destro, 10 per l'arto superiore sinistro, 3 per l'arto inferiore destro, 3 per l'arto inferiore sinistro e 4 per la parte superiore del tronco).

Alcuni di questi marker sono stati messi in corrispondenza dei punti di repere anatomici, mentre altri invece erano cluster di marker tecnici svincolati dall'anatomia (braccio, avambraccio e parte superiore del tronco).

Il protocollo CAST utilizza proprio questi gruppi di cluster di marker per individuare la posizione esatta di alcuni punti di repere anatomici dove è difficoltoso applicare dei marker oppure la posizione dei marker non è sempre visibile dalle telecamere durante tutta l'esecuzione del gesto motorio.

La calibrazione effettuata tramite protocollo CAST viene fatta in posizione statica con l'uso di uno *stick* o *wand* (puntatore di precisione) a cui sono stati applicati almeno due marker. Di questo stick si conoscono con precisione le distanze tra la punta dell'asta e il primo marker, e tra i due marker applicati ad essa. L'estremità dello stick permette di calcolare con estrema precisione la posizione del punto di repere e metterla in relazione con i cluster di marker svincolati dall'anatomia e pertanto meno soggetti a spostamenti durante i movimenti.

Durante la prova dinamica lo stick viene rimosso e la posizione del punto di repere è calcolata a partire dai marker dei cluster.



Figura 20 - Posizione dei marker sulla parte anteriore del corpo



Figura 19 - Posizione dei marker sulla parte posteriore del corpo

I marker in posizione anatomica sono stati identificati con dei nomi previsti dalla nomenclatura dello standard proposto dal “STC, Standardization and Terminology Committee” della International Society of Biomechanics.

Essi corrispondono indicativamente a:

- Terza testa metacarpale della mano (**RM3, LM3**)
- Avambraccio (**RFA, LFA**)
- Braccio (**RUA, LUA**)
- Acromion (**RAC, LAC**)
- Sterno, incisura giugulare e processo xifoideo (**IJ, PX**)
- Vertebre (**C7, T8**)
- Gran trocantere (**RGT, LGT**)
- Ginocchio, epicondilo laterale (**RKNE, LKNE**)
- Caviglia, malleolo laterale (**RANK, LANK**)

Durante il movimento ci interessa misurare gli angoli articolari e gli angoli che i segmenti corporei formano con il tronco, la posizione delle spalle rispetto allo staggio sia durante la fase di appoggio, sia al termine del movimento quando la ginnasta avrebbe dovuto raggiungere la verticale.

A questo scopo gli arti superiori sono stati identificati in maniera ben definita mediante un notevole numero di marker: uno per l’acromion, 4 marker per il

braccio, 5 per l'avambraccio e uno nella mano posizionato sul metacarpo. Tale alto numero di marker è dovuto alla necessità di rilevare con precisione la posizione rispetto al corpo di questo segmento corporeo.

Gli arti inferiori invece sono stati identificati da tre marker (gran trocantere, ginocchio e caviglia), con un sistema multi link a due segmenti. Questa approssimazione è stata fatta perché gli arti inferiori rimangono tesi durante tutto il movimento e l'unica azione che avviene è la fase di divaricazione di questi arti per raggiungere la verticale dopo essere arrivati in appoggio sullo staggio.

Dal momento che i marker devono rimanere fissi sulla pelle durante il movimento della ginnasta, sulla superficie del corpo è stata spruzzata una colla (Tuf Skin) in modo da migliorare il più possibile l'adesione del marker sulla pelle e non avere problemi causati dal sudore che potrebbero provocare la perdita di un marker durante l'esecuzione dell'esercizio.

L'unico marker posizionato non direttamente a contatto con la cute è stato quello relativo al gran trocantere. Quest'ultimo è stato posizionato sui pantaloncini della ginnasta che essendo comunque molto aderenti non permettevano un grande spostamento rispetto al corpo.

Sono stati anche fissati dei marker alle estremità dello staggio inferiore per



Figura 21 - Posizionamento delle telecamere e dei marker rispetto alle parallele asimmetriche

individuare la posizione e valutare il movimento della ginnasta rispetto allo staggio.

Nel nostro caso le coordinate dei punti di reperi sono riferiti ad un sistema di riferimento cartesiano con origine al centro dello staggio inferiore e asse y posizionato secondo la verticale.

Poiché le parallele si flettono durante l'esecuzione del movimento a causa delle notevoli sollecitazioni che vengono esercitate su di esse dalla ginnasta, per comodità si sono messi due marker sul perno esterno dove lo staggio è fissato al supporto in metallo (posizione fissa) e altri due ai lati dello

staggio (durante l'esecuzione le posizioni di questi ultimi due marker variano leggermente per le sollecitazioni esercitate sullo staggio).

Il sistema utilizzato per effettuare le misure è lo standard descritto da "ISB recommendation" contenute nel "Journal of Biomechanics" che ha definito degli standard per la definizione di un sistema di riferimento cartesiano per le varie articolazioni. Il metodo consiste nel definire una terna di assi cartesiani per ogni tipo di articolazione cui riferire i marker posizionati sul segmento corporeo relativo alla stessa articolazione. Attraverso gli angoli di Eulero si può passare dalle coordinate globali (X_g, Y_g, Z_g) alle coordinate definite per ogni articolazione (X_l, Y_l, Z_l) e calcolare gli angoli che corrispondono ai possibili movimenti dell'arto superiore:

- α : estensione (positivo) / flessione (negativo)
- γ : pronazione (positivo) / supinazione (negativo)
- β : adduzione (positivo) / abduzione (negativo)

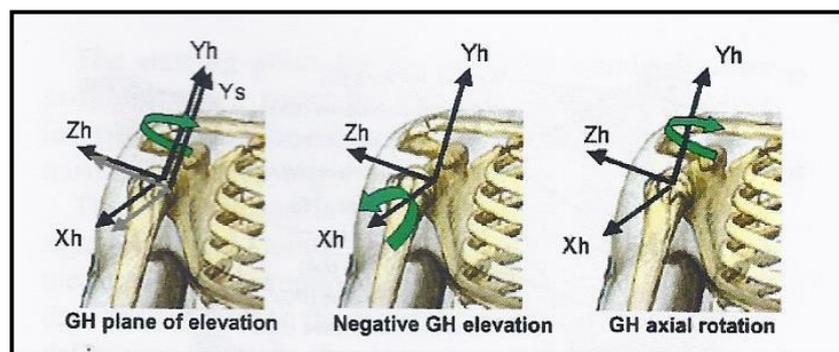


Figura 22 - - Sistema di coordinate dell'omero ("ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints of the reporting of human joint motion")

3.7. Compiti motori acquisiti

Le prove effettuate sono state le seguenti:

1. Kippe verticale a corpo squadrato e con gambe divaricate
2. Kippe verticale a corpo teso a gambe unite
3. Una nuova entrata non codificata e ancora in fase di studio

La kippe verticale a gambe unite è stata eseguita dai soggetti 2 e 3, la nuova entrata è stata provata dai soggetti 1 e 3, mentre la kippe verticale a gambe divaricate è stata eseguita da tutte e tre le ginnaste.

La nuova entrata che si sta pensando di introdurre nel Codice Dei Punteggi si effettua partendo non da fermi come nel caso della kippe, bensì con una rincorsa e con l'uso di una pedana.

Si può partire sia dalla parte esterna della parallela (analogo alla kippe), sia dall'interno mettendo la pedana sotto lo staggio superiore della parallela (nel nostro caso abbiamo scelto questa possibilità per un



Figura 23 - Posizione della pedana rispetto alle parallele per l'esecuzione della nuova entrata

problema di spazi, nell'altro modo non ci sarebbe stato sufficiente spazio per la rincorsa).

Una volta battuto in pedana a piedi uniti si impugna lo staggio e si raggiunge con il corpo una posizione orizzontale (spalle, bacino e piedi allineati), successivamente si effettua una rotazione intorno allo staggio chiudendo l'angolo tra le braccia e il busto e quindi avvicinando le cosce alla parallela. Dopo aver effettuato una rotazione di 360°, si riapre l'angolo tra braccia e busto cercando di raggiungere la verticale (tempo di capovolta alla verticale). Una volta raggiunto questo allineamento, gli arti inferiori si abbassano raggiungendo così con il corpo una posizione squadrata (angolo tra arti inferiori e busto circa di 90°). Da questa posizione si effettua la kippe verticale studiata precedentemente ma con una velocità maggiore rispetto alla partenza da fermo.

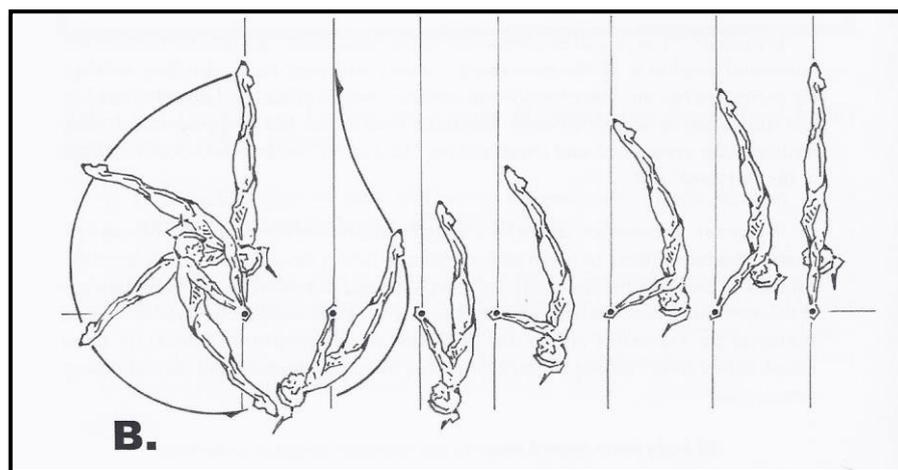


Figura 24 - Tempo di capovolta alla verticale ("Championship Gymnastica, biomechanical techniques for shaping winners" Gerald S. George)

4. Analisi dati

Per l'analisi dei dati si sono usati due programmi: SMART Tracker e SMART Analyzer.

Il primo serve per visualizzare ed identificare i marker nel volume di calibrazione e permette di creare un modello che assegna ad ognuno di essi un proprio nome. Questo nominativo può identificare un punto di repero

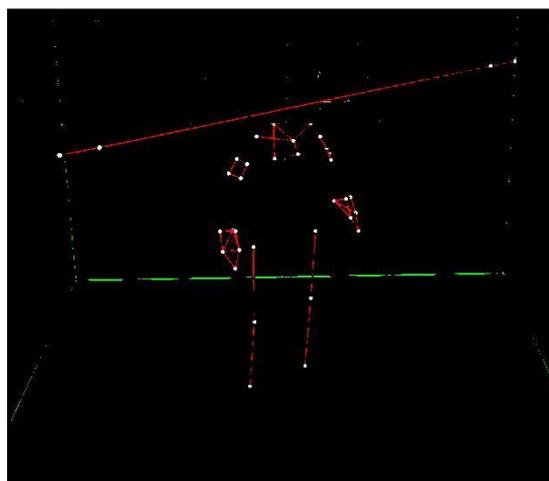


Figura 25 - Modello biomeccanico visto tridimensionalmente con l'utilizzo di SMART Tracker

anatomico, oppure un punto che è servito per calibrare la posizione di repero tramite la wand (puntatore di precisione) e un protocollo di calcolo. Una volta nominati tutti i marker presenti, si sono definiti i collegamenti tra essi:

- Tronco: **C7, IJ, T8, PX, LAC, RAC**
- Braccio destro: **RUA1, RUA2, RUA3, RUA4**
- Braccio sinistro: **LUA1, LUA2, LUA3, LUA4**
- Avambraccio destro: **RFA1, RFA2, RFA3, RFA4, RFA5, RM3**
- Avambraccio sinistro: **LFA1, LFA2, LFA3, LFA4, LFA5, LM3**
- Arto inferiore destro: **RGT, RKNE, RANK**
- Arto inferiore sinistro: **LGT, LKNE, LANK**
- Parallela: **PA1, PA2, PA3, PA4**
- Asta di calibrazione: **WP, WM, WD**

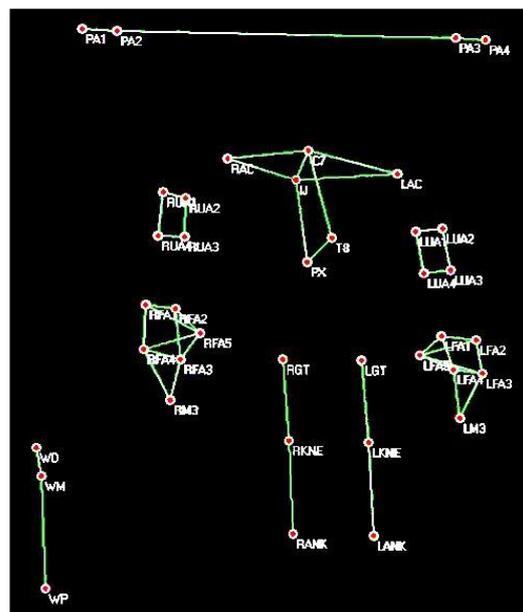


Figura 26 - Ricostruzione del modello biomeccanico utilizzando SMART Tracker

Il secondo programma (SMART Analyzer) è stato utilizzato per costruire uno schema di calcolo per l'analisi dei dati arrivando così alla stima della cinematica articolare. Con questo programma è possibile generare protocolli di analisi per mezzo di un'interfaccia grafica a blocchi gestita da operazioni *drag&drop*, estrarre dati di tipo biomeccanico (distanze, angoli articolari, velocità); è possibile impostare diverse unità di misura per ogni protocollo e generare diversi sistemi di riferimento in modo da poter analizzare i dati da diversi punti di vista. Grazie a questo programma si sono potuti anche filtrare i dati in presenza di segnali spuri e interpolare i diversi segnali di acquisizione per migliore e ricostruire i dati di input. Infatti i marker durante il movimento non sono sempre visibili dalle telecamere (a volte vengono nascosti durante il movimento da altre parti del corpo o dallo staggio della parallela) e quindi questo programma riesce a ricostruire la traiettoria del singolo marker nel tempo grazie ad una interpolazione dei dati.

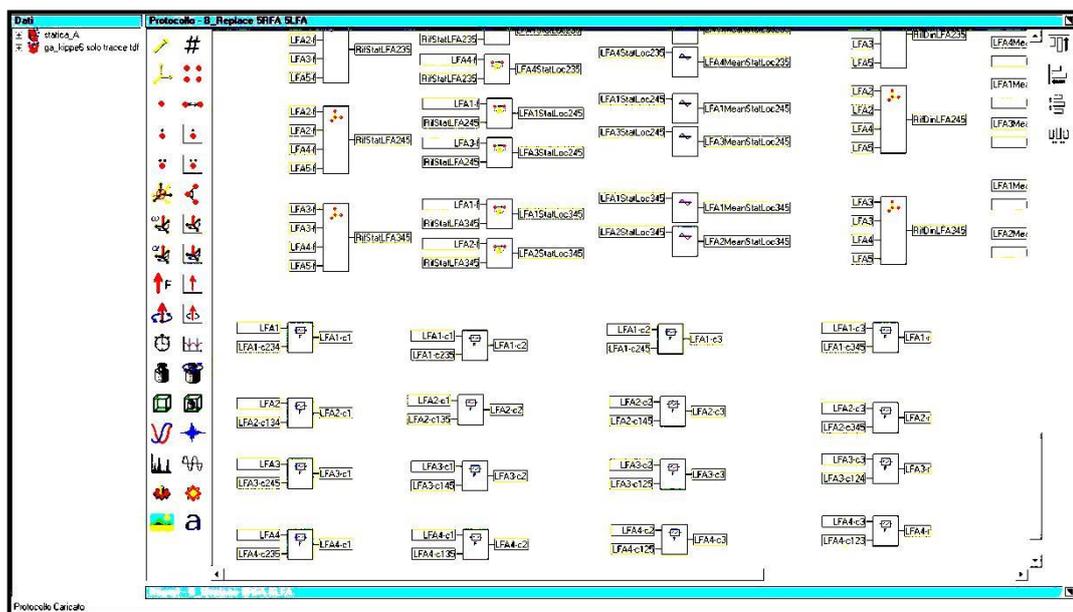


Figura 27 - Struttura di un protocollo per i marker dell'avambraccio utilizzato dallo SMART Analyzer

È stata fatta prima un'acquisizione statica di qualche secondo per ciascun soggetto per verificare la corretta rilevazione dei marker, successivamente sono state fatte diverse calibrazioni statiche (come previsto dal protocollo CAST) per individuare esattamente la posizione di alcuni punti di repere anatomici non direttamente identificati da marker:

- Epicondilo mediale sinistro: **LEM**
- Epicondilo mediale destro: **REM**
- Epicondilo laterale sinistro: **LEL**
- Epicondilo laterale destro: **REL**
- Stiloide radiale sinistro: **LRS**
- Stiloide radiale destro: **RRS**
- Stiloide ulnare sinistro: **LUS**
- Stiloide ulnare destro: **RUS**
- Sterno: **PX**
- Ottava vertebra toracica: **T8**

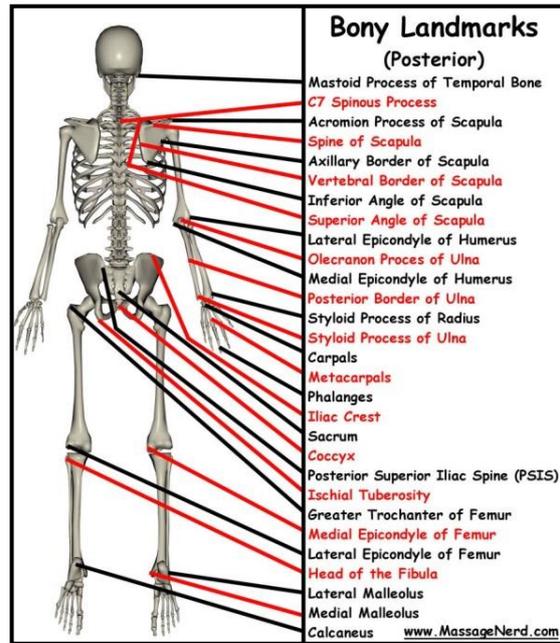


Figura 28 - Marker anatomici ("ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion")

Completata la fase di calibrazione si è proceduto ad acquisire il movimento della ginnasta (acquisizione dinamica).

Durante l'acquisizione dinamica il soggetto eseguiva il movimento della kippe verticale mentre le telecamere campionavano con una certa frequenza (500 Hz) la posizione di tutti i marker che poi veniva trasmessa al computer. La posizione di ogni marker lungo le tre direzioni degli assi cartesiani (asse x, asse y e asse z) è visibile sul monitor grazie al programma SMART Tracker. Si può notare come in certi istanti si ha mancanza di informazione perché in quegli istanti i marker non erano visibili dalle telecamere.

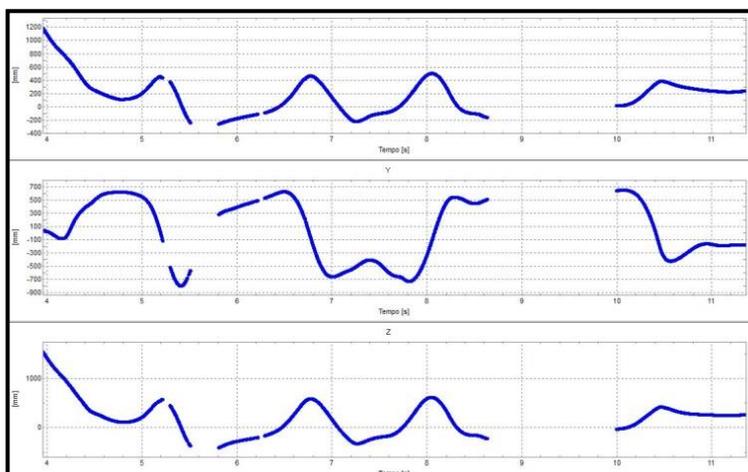


Figura 29 - Traccia del marker C7 nel tempo del soggetto 1 durante la kippe verticale

Con SMART Analyzer è stato possibile ricostruire tutte le traiettorie dei marker con precisione interpolando i vari dati anche in quei frame in cui l'informazione era assente. Abbiamo così ottenuto una traccia continua nel tempo per ogni singolo marker e siamo riusciti a eliminare possibili errori di campionamento del segnale tramite dei blocchi di filtraggio.

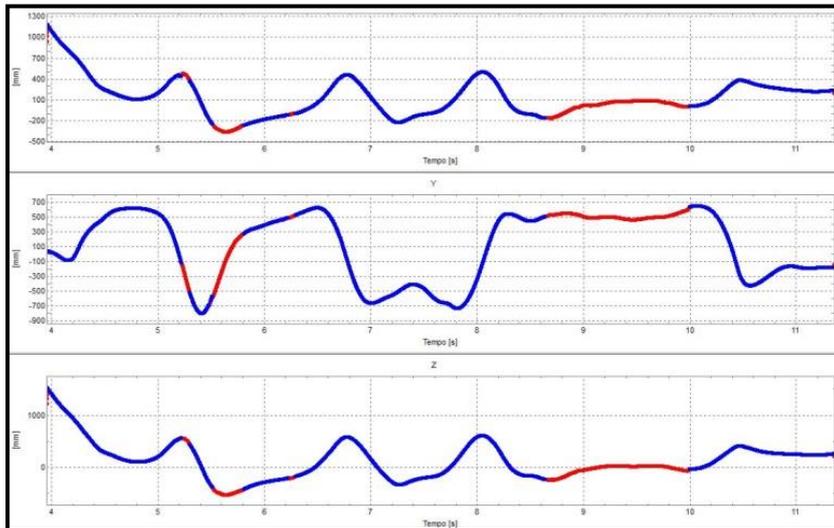


Figura 30 - Traccia del marker LUA1 nel tempo del soggetto 1 durante la kippe verticale: in blu la posizione rilevata dalle telecamere, in rosso la traiettoria ricostruire con l'uso di SMART Analyzer

5. Risultati

I dati che si sono utilizzati per l'analisi sono stati i seguenti:

1. Angolo di flesso-estensione di spalla, tipicamente riferito dagli allenatori come l' "angolo formato tra arti superiori e busto" in fase di massimo allungo
2. Angolo di flesso-estensione di spalla quando si è raggiunta la verticale
3. Angolo di flesso-estensione degli arti inferiori in fase di massimo allungo
4. Angolo di flesso-estensione degli arti inferiori in fase di appoggio sulla parallela
5. Angolo articolare di gomito in fase di massimo allungo
6. Angolo articolare di gomito in fase di appoggio sullo staggio
7. Velocità angolare massima raggiunta dagli arti inferiori al termine del massimo allungo

La scelta di questi dati è dovuta ad una serie di considerazioni.

Per quanto riguarda il movimento delle braccia si è scelto di concentrare l'attenzione dell'analisi sull'angolo di flessione/estensione di spalla, e non quelli di adduzione/abduzione. Similmente, anche per il gomito si è analizzato perlopiù l'angolo di flesso-estensione e non quello di pronazione/supinazione. Questa scelta deriva dal fatto che tali angoli non sono particolarmente interessanti per la posizione assunta dall'omero e avambraccio sullo staggio, vincolata dalla cinetica specifica del gesto per tutta la sua durata.

Come si è potuto verificare dal grafico di esempio, l'angolo di pronazione / supinazione del gomito resta costante circa a 100° . Questo perché quando il soggetto impugna lo staggio non si trova in posizione anatomica ma esegue una rotazione dell'avambraccio per potersi poi trovare in posizione palmare. Dal grafico di figura 31 si può notare che dal momento in cui la ginnasta impugna lo staggio l'angolo di pronazione/supinazione rimane abbastanza costante, mentre solo nella prima fase c'è un movimento di pronazione per potere poi impugnare lo staggio.

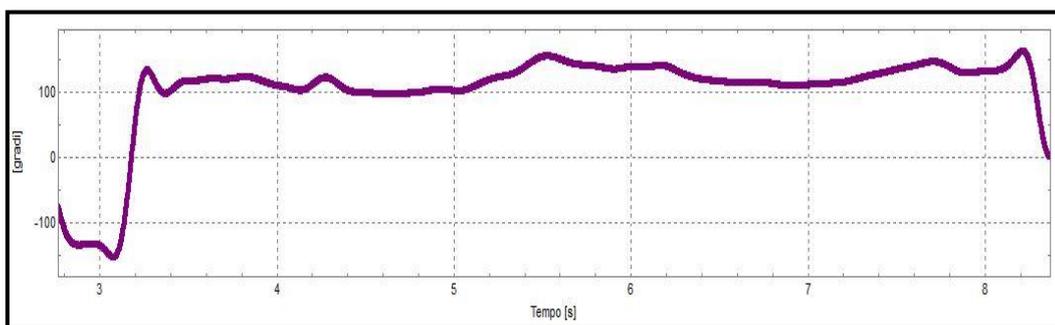


Figura 31 - Angolo di pronazione/supinazione del gomito

I dati relativi agli angoli articolari di flesso-estensione (spalla e gomito) analizzati sono stati filtrati con un filtro passa-basso Butterworth di 4° ordine con una frequenza di taglio pari a 5 Hz. Questo valore è stato scelto arbitrariamente una volta verificato che le componenti spettrali degli angoli articolari 3D, determinata da una Fast Fourier Transform (nota anche come FFT), fossero per tutti i dati al di sotto di questa frequenza, nonostante si trattasse di un gesto sportivo.

A dimostrazione di ciò, si riporta il grafico sotto riportato è stato ottenuto dai dati analizzati dal programma SMART Analyzer che mostra le componenti spettrali del segnale.

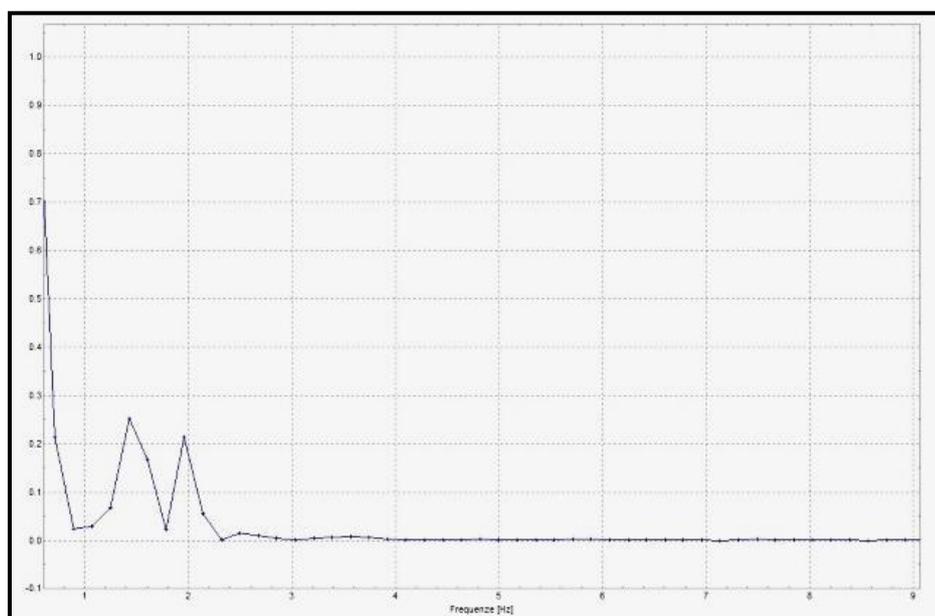


Figura 32 - Componenti spettrali

La figura di seguito, invece, mostra l'andamento degli angoli articolari di spalla filtrati e non filtrati per la prova di kippe verticale divaricata del marker C7 del soggetto 1.

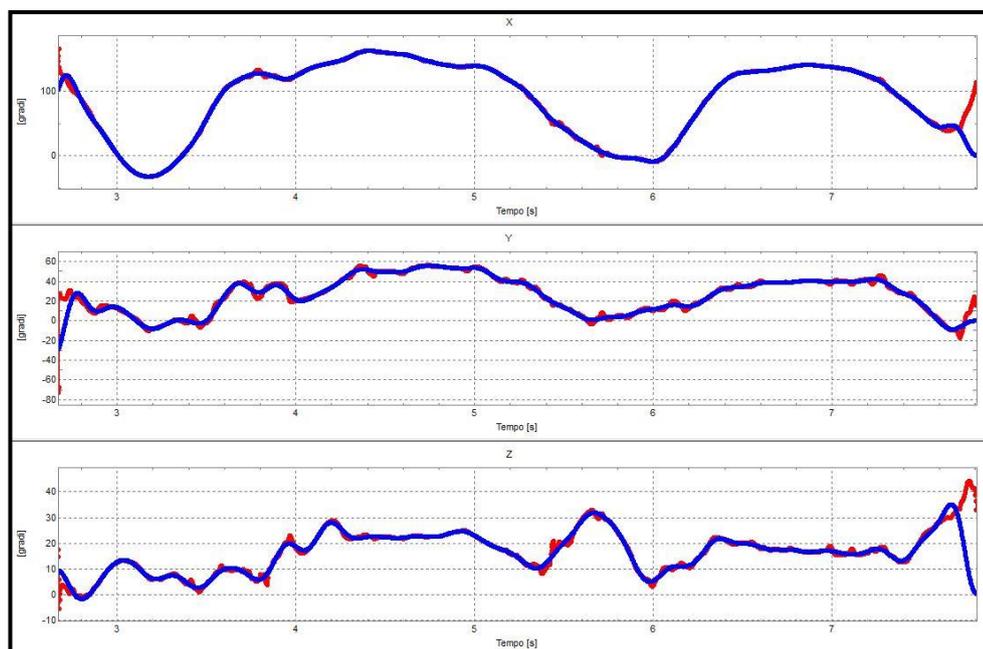


Figura 33 - Confronto tra gli angoli articolari della spalla (flesso-estensione, ab-adduzione, intra-extrarotazione dall'alto verso il basso) filtrato in blu e non filtrato in rosso

Analizzando i dati abbiamo verificato una simmetria sul piano sagittale dei movimenti eseguiti, infatti i dati ottenuti per la parte destra del corpo sono sostanzialmente gli stessi ottenuti per l'altra parte.

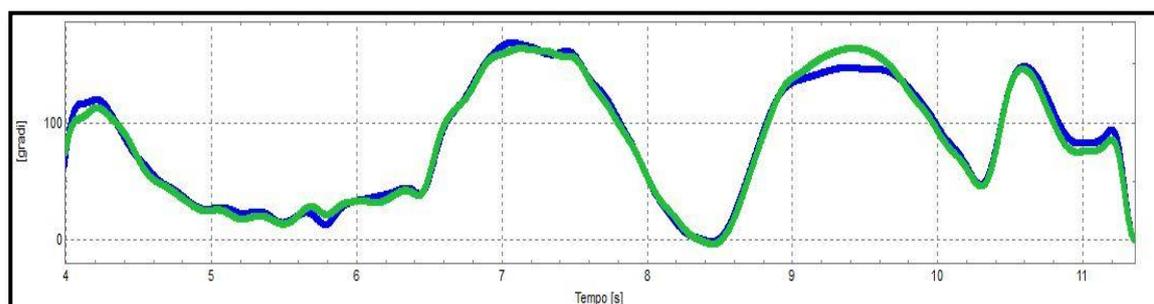


Figura 34 – Confronto dell'angolo articolare di spalla durante l'esecuzione della nuova entrata riferita all'arto destro in blu e all'arto sinistro in verde

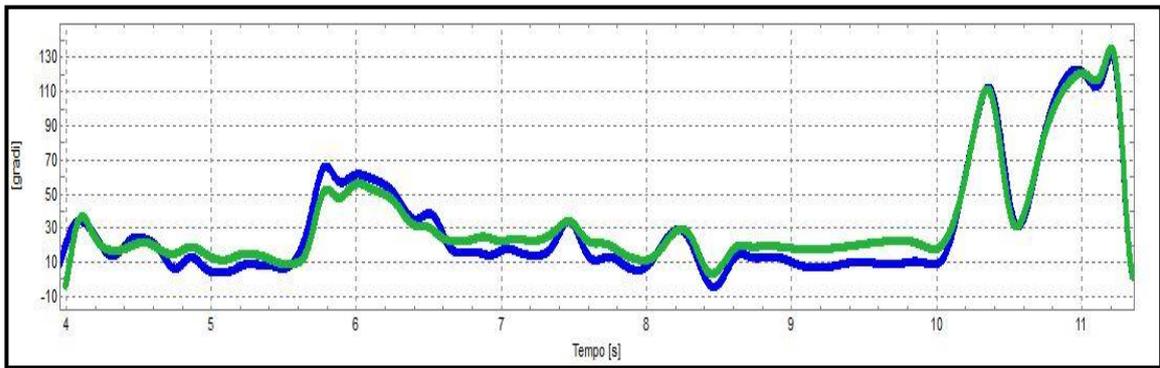


Figura 35 - Confronto dell'angolo articolare digomito durante l'esecuzione della nuova entrata riferita all'arto destro in blu e all'arto sinistro in verde

Si fa notare che tutte queste misure sono soggette ad errori di artefatto di tessuto molle (ATM). Questo è normalmente l'errore maggiore nell'analisi cinematica del movimento, ma per gli scopi del presente studio sulla ginnastica sono stati considerati accettabili.

5.1. Confronto degli angoli articolari e della velocità di esecuzione dei tre soggetti durante la kippe verticale a gambe divaricate

Dopo che la ginnasta ha impugnato lo staggio con il corpo squadrato, slancia gli arti inferiori verso il basso sfiorando i tappeti (*swing*), aumenta così l'energia cinetica degli arti inferiori fino ad arrivare alla posizione di massimo allungo, ovvero ipoteticamente la ginnasta dovrebbe formare una linea retta tra arti superiori, busto e arti inferiori. Sfruttando l'energia cinetica acquisita durante l'oscillazione sarà più facile richiamare gli arti inferiori verso lo staggio mantenendoli tesi mentre uno sforzo muscolare maggiore indurrebbe la ginnasta a piegare gambe e braccia.

Se confrontiamo i tre soggetti (tabella 2) vediamo una differenza nell'angolo di flessione-estensione di spalla in questa fase di massimo allungo nella kippe: il soggetto 2 non apre completamente questo angolo (140°) e richiama gli arti inferiori verso lo staggio in un tempo minore rispetto agli altri due soggetti, il cui movimento non viene completato poiché viene anticipato il richiamo degli arti inferiori (dal momento in cui il soggetto impugna lo staggio fino al termine del massimo allungo, il soggetto 1 impiega 1 secondo, il soggetto 3 impiega 1.05 secondi mentre il soggetto 2 impiega 0.90 secondi). Si può notare infatti la diversa velocità angolare con cui i soggetti richiamano le gambe verso lo staggio (ultima colonna della tabella 2): il soggetto 2 è molto più dinamico rispetto al soggetto 3 che aprendo maggiormente il corpo in fase di allungo (170°) e chiudendo l'angolo tra arti inferiori e busto in fase di appoggio (95°) raggiunge una minore velocità angolare al termine del movimento ($370^\circ/\text{sec}$).

Possiamo anche notare che l'angolo articolare di gomito cambia per i tre soggetti (tabella 1): il soggetto 1 sia durante la fase di massimo allungo sia in fase di appoggio piega le braccia raggiungendo i 60° , il soggetto 3 mantiene le braccia più distese sia durante la prima fase (20°) sia durante la seconda fase (30°), mentre il soggetto 2 durante il massimo allungo raggiunge gli 80° e quando si trova in appoggio sullo staggio raggiunge i 75° .

Tutti e tre i soggetti comunque raggiungono la verticale ma con due tecniche diverse: il secondo sfrutta soprattutto l'energia cinetica acquisita durante l'oscillazione, mentre gli altri due sfruttano maggiormente la chiusura tra tronco e arti inferiori in fase di appoggio per poter poi raggiungere la verticale.

Tabella 1 - Confronto degli angoli articolari di gomito durante l'esecuzione della kippe verticale a gambe divaricate

	Angolo articolare di gomito durante la fase di massimo allungo	Angolo articolare di gomito durante la fase di appoggio
Soggetto 1	60°	60°
Soggetto 2	80°	70°
Soggetto 3	20°	25°

Tabella 2 - Confronto degli angoli articolari di flessione-estensione e della massima velocità raggiunta durante l'esecuzione della kippe verticale a gambe divaricate

	Angolo di flessione-estensione di spalla durante la fase di allungo	Angolo di flessione-estensione di spalla in verticale	Angolo di flessione-estensione degli arti inferiori durante la fase di allungo	Angolo di flessione-estensione degli arti inferiori durante la fase di appoggio	Massima velocità angolare raggiunta in fase di allungo
Soggetto 1	150°	145°	161°	88°	400°/sec
Soggetto 2	140°	155°	180°	119°	480°/sec
Soggetto 3	170°	214°	150°	95°	370°/sec

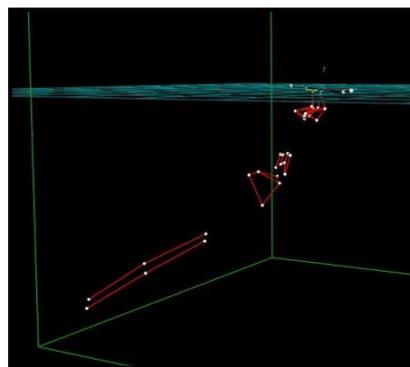
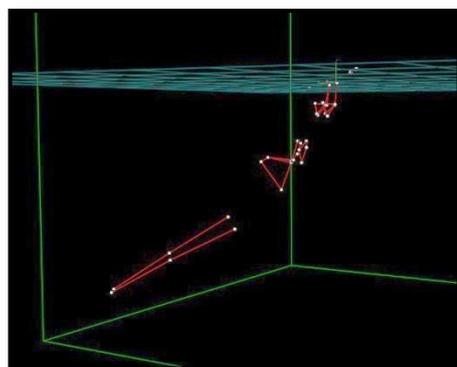
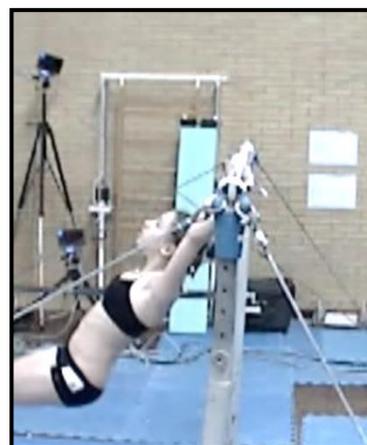


Figura 36 - Confronto dell'angolo di flessione-estensione della spalla nella fase di massimo allungo della kippe tra il soggetto 1 (a sinistra) e il soggetto 3 (a destra).

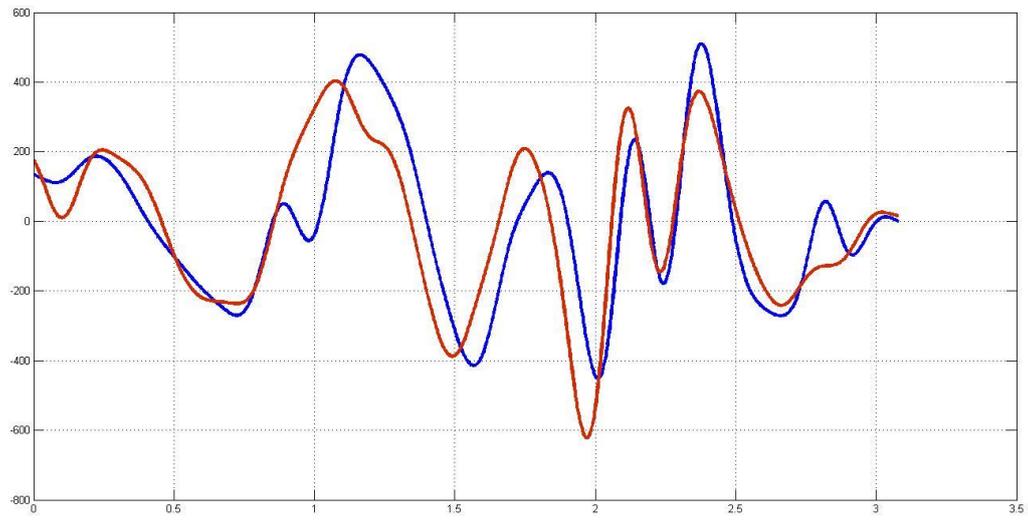


Figura 37 - Confronto tra la velocità massima di chiusura dell'arto inferiore destro tra il soggetto 1 (in blu) e il soggetto 2 (in rosso) durante la kipe verticale a gambe divaricate

5.2. Confronto degli angoli articolari e della velocità di esecuzione durante la kippe verticale a gambe unite

La kippe verticale a gambe unite è stata eseguita dai soggetti 2 e 3.

Mentre nella verticale a gambe divaricate tutti i soggetti sono riusciti a raggiungere la verticale in entrambe le tecniche descritte nel paragrafo precedente, nella verticale a gambe unite solo il soggetto 2 è riuscito ad arrivare in questa posizione. Questo è dovuto alla diversa velocità di esecuzione, maggiore per il soggetto 2 ($520^\circ/\text{sec}$), che ha sfruttato l'azione dei muscoli addominali mantenendo gli angoli più chiusi.

Si nota questo mancato raggiungimento della verticale anche guardando l'angolo di flessione-estensione di spalla nella parte finale del movimento (tabella 4): il soggetto 3 non ha il corpo allineato proprio per il mancato raggiungimento della verticale (160°), mentre il soggetto 2 ha addirittura superato la posizione di esatta verticale arrivando a 195° .

Confrontando gli angoli articolari di gomito (tabella 3) si può notare una grande differenza: mentre il soggetto 3 durante la fase di massimo allungo forma un angolo di 40° , il soggetto 2 forma un angolo di ben 85° . Analogamente possiamo notare questa grande differenza confrontando lo stesso angolo durante la fase di appoggio sullo staggio: il soggetto 3 raggiunge i 25° mentre il soggetto 2 si avvicina ai 75° .

Tabella 3 - Confronto degli angoli articolari di gomito durante l'esecuzione della kippe verticale a gambe unite

	Angolo articolare di gomito durante la fase di massimo allungo	Angolo articolare di gomito durante la fase di appoggio
Soggetto 2	85°	75°
Soggetto 3	40°	25°

Tabella 4 - Confronto degli angoli articolari di flessione-estensione e della massima velocità raggiunta durante l'esecuzione della kippe verticale a gambe unite

	Angolo di flessione-estensione di spalla durante la fase di allungo	Angolo di flessione-estensione in verticale	Angolo di flessione-estensione degli arti inferiori durante la fase di allungo	Angolo di flessione-estensione degli arti inferiori durante la fase di appoggio	Massima velocità raggiunta in fase di allungo
Soggetto 2	140°	195°	180°	115°	520°/sec
Soggetto 3	180°	160°	148°	90°	330°/sec

Inoltre confrontando gli esercizi della kippe verticale a gambe unite eseguiti dai soggetti 2 e 3, vediamo un diverso allineamento del corpo: mentre nel soggetto 2 dopo aver effettuato il caricamento durante la fase di appoggio il corpo raggiunge la verticale mantenendo la posizione tesa (come se fosse un corpo rigido), il soggetto 3 invece inarca la schiena. Si può notare questo fatto anche dalle due diverse curve del grafico di figura 40. Nel prima curva si vede che il soggetto 2 dopo la fase di caricamento apre con un movimento abbastanza regolare l'angolo tra arti superiori e busto fino a raggiungere la verticale, nella seconda curva si vede invece che il soggetto 3 mantiene più chiuso questo angolo nella prima fase di slancio e lo apre solo nella parte finale.

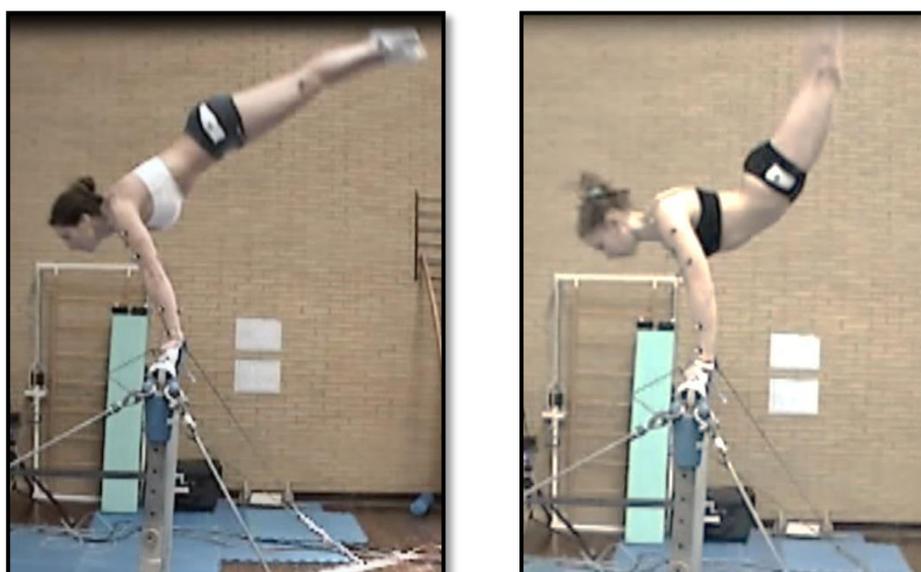


Figura 38 - Differente posizione dell'atteggiamento del corpo durante lo slancio a gambe unite a corpo teso tra il il soggetto 2 (in alto a sinistra) e il soggetto 3 (in alto a destra)

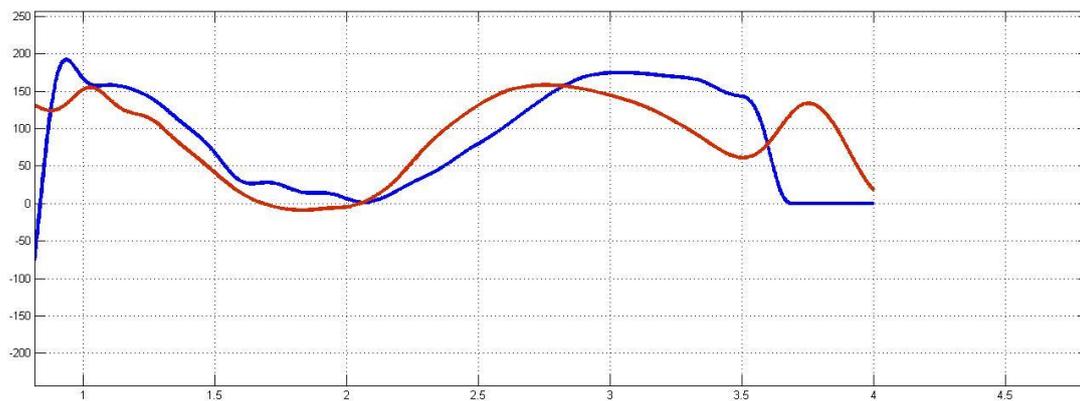


Figura 39 - Confronto di angolo di flesso-estensione di spalla tra il soggetto 2 (in blu) e il soggetto 3 (in rosso) durante la kippe verticale a gambe unite

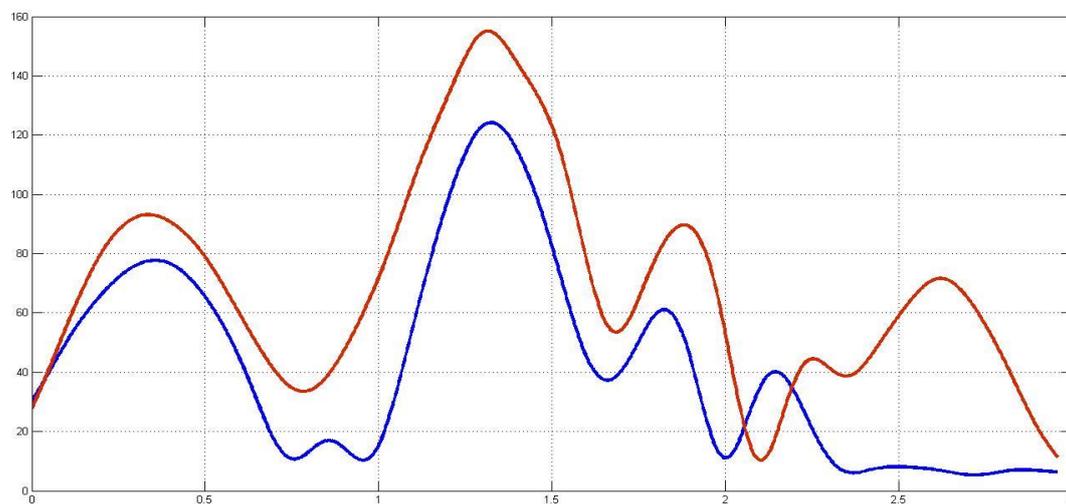


Figura 40 - Confronto dell'angolo di flesso-estensione formato tra arti inferiori e busto tra il soggetto 3 (in blu) e il soggetto 2 (in rosso) durante la kippe verticale a gambe unite

5.3. La nuova entrata

Nella sessione di prove effettuate nell'ambito di questa tesi si è provata la nuova entrata che partendo dal tempo di capovolta dovrebbe ipoteticamente far partire il movimento della kippe dalla verticale. In tali prove però le ginnaste non hanno raggiunto la verticale al termine del tempo di capovolta; nelle seguenti figure si vedono rispettivamente il soggetto 3 e il soggetto 1 che hanno raggiunto angoli diversi.



Figura 41 - Posizione di partenza della kippe verticale da fermo durante il momento dell'impugnatura dello staggio (corpo squadrato)

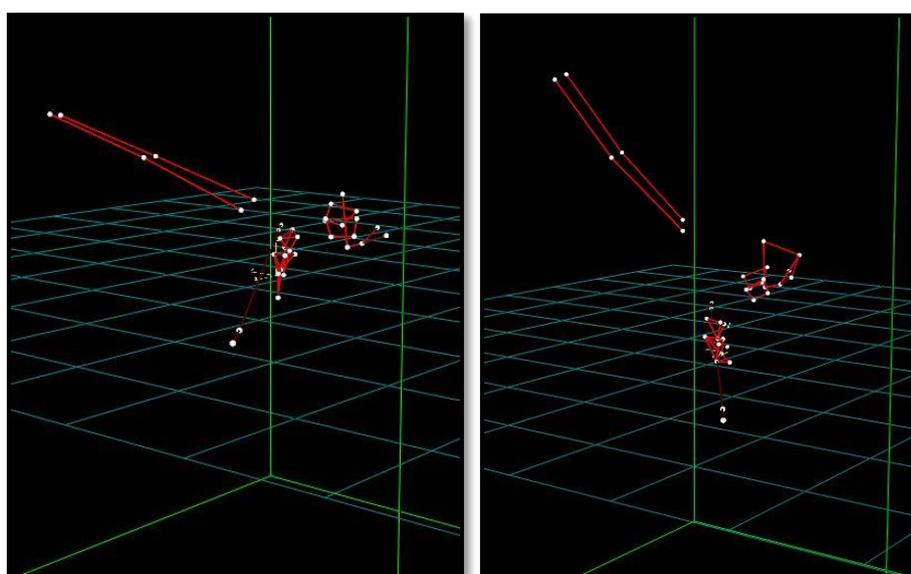


Figura 42 - Confronto tra la posizione del soggetto 1 (figura a destra) e del soggetto 3 (figura a sinistra) al termine del tempo di capovolta da cui poi esegue la kippe verticale

Possiamo notare una maggior velocità nella fase di allungo durante l'esecuzione della nuova entrata e di conseguenza gli angoli tra braccia e busto tendono ad aprirsi (tabella 6): il soggetto 3 arriva a 173° mentre il soggetto 1 arriva a 161° (11° in più rispetto al precedente caso).

In questo modo il corpo spazia un'area maggiore ed è più facile richiamare le gambe allo staggio per poi completare la kippe con un avvicinamento degli arti superiori verso il busto.

Gli angoli articolari di gomito durante la fase di appoggio sono di 28° per il soggetto 1 e di soli 14° per il soggetto 3; invece durante la fase di massimo allungo della kippe gli stessi angoli sono rispettivamente di 35° e di 52° (tabella 5).

Si può vedere che nelle prove eseguite con la nuova entrata entrambi i soggetti, a seguito del movimento della kippe, hanno raggiunto la verticale e sono anche riusciti a mantenere questa posizione per pochi secondi. In particolare il soggetto 3 è riuscito ad aprire l'angolo tra arti superiori e busto esattamente a 180° senza oltrepassare la verticale; da notare che con la kippe verticale a gambe divaricate la posizione della verticale o è stata superata (214°) o non è stata raggiunta rimanendo con un angolo molto chiuso (160°).

Tabella 5 - Confronto degli angoli articolari di gomito durante l'esecuzione della nuova entrata

	Angolo articolare di gomito durante la fase di massimo allungo	Angolo articolare di gomito durante la fase di appoggio
Soggetto 1	35°	28°
Soggetto 3	52°	14°

Tabella 6 - Confronto degli angoli articolari di flessione-estensione e della massima velocità raggiunta durante l'esecuzione della nuova entrata

	Angolo tra busto e arti superiori durante la fase di allungo	Angolo tra busto e arti superiori in verticale	Angolo tra busto e arti inferiori durante la fase di allungo	Angolo tra busto e arti inferiori durante la fase di appoggio	Massima velocità raggiunta in fase di allungo
Soggetto 1	161°	150°	180°	122°	505°/sec
Soggetto 3	173°	180°	176°	106°	420°/sec

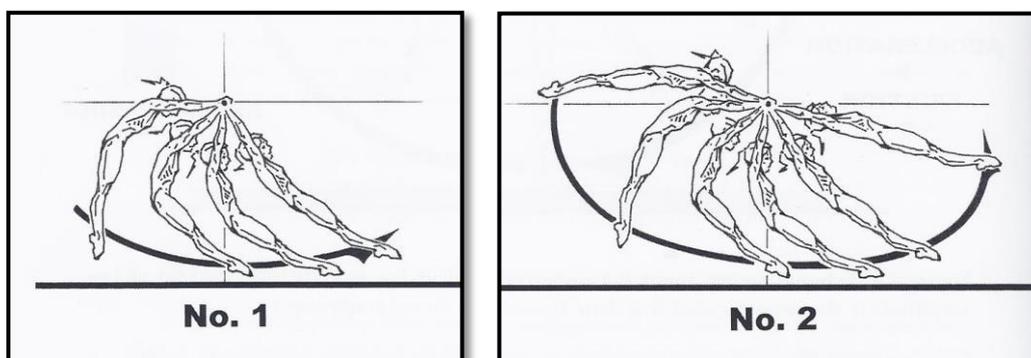


Figura 43 - Confronto tra le oscillazioni durante la kippe: (No.1) partenza da un'altezza minore = ampiezza dell'oscillazione minore, (No.2) partenza da una altezza maggiore = ampiezza dell'oscillazione maggiore ("Championship Gymnastica, biomechanical techniques")

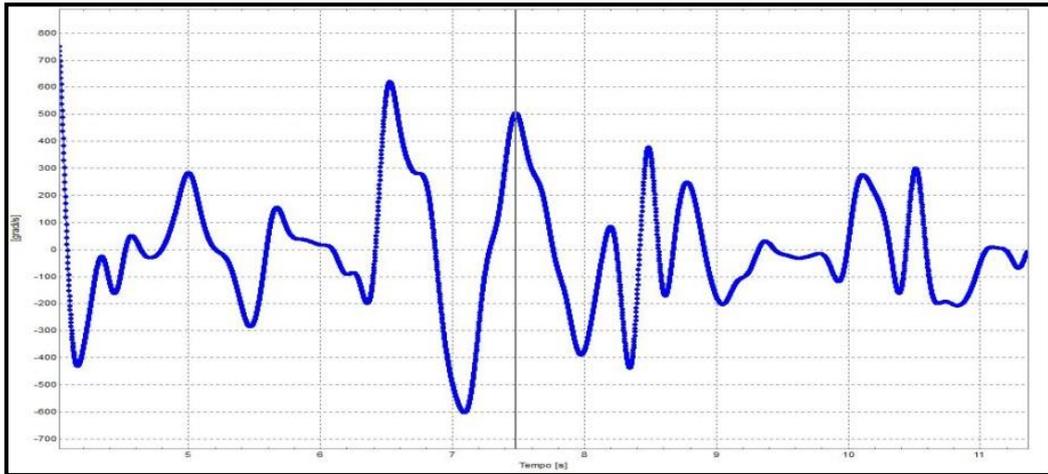
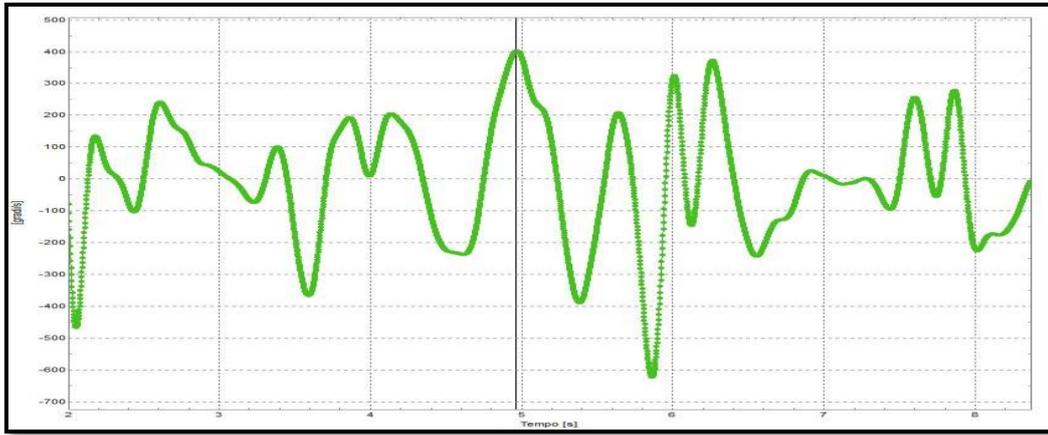


Figura 44 – Soggetto1: confronto tra le velocità massime di chiusura degli arti inferiori durante la fase di massimo allungo durante il movimento della kippe verticale a gambe divaricate (in alto) e la nuova entrata (in basso)

6. Conclusioni

6.1. Confronto tra lo slancio alla verticale eseguito a gambe divaricate e a gambe unite

Confrontando le tabelle 1 e 2 (dati relativi alla kippe verticale a gambe divaricate) con le tabelle 3 e 4 (dati relativi alla kippe verticale a gambe unite) vediamo che l'angolo minimo formato tra arti inferiori e busto in fase di appoggio per i soggetti 2 e 3 è minore nel secondo caso (entrambi riducono questo angolo di circa 5°). Vediamo anche che il soggetto 2 durante la kippe verticale a gambe divaricate non raggiunge la verticale ma resta con l'angolo tra arti superiori e busto chiuso pari a 155° mentre nell'esecuzione a gambe unite supera questa posizione arrivando formare 195° tra braccia e busto. Al contrario il soggetto 3 supera di molto la posizione di verticale durante l'esecuzione a gambe aperte (214°), ma rimane molto al di sotto della verticale nello slancio a gambe unite (160°). Un altro dato importante da confrontare è la diversa velocità raggiunta in fase di massimo allungo: il soggetto 2 incrementa questa velocità passando da 480°/sec a 520°/sec, mentre il soggetto 3 decrementa questa velocità da 370°/sec a 330°/sec.

Da questi dati si deducono alcune considerazioni.

Lo slancio alla verticale viene preso dalla posizione finale della kippe, ovvero quando ci si trova in posizione di appoggio sullo staggio. Per raggiungere la verticale bisogna mantenere il più possibile chiuso l'angolo formato tra busto e arti inferiori al termine della kippe mentre l'angolo formato tra braccia e busto è 0°. Più l'angolo tra arti inferiori e busto è chiuso maggiore sarà la possibilità di aumentare l'energia cinetica di rotazione mediante lo slancio delle gambe per raggiungere poi la posizione della verticale; tale slancio può essere eseguito sia a gambe divaricate con il corpo squadrato sia a gambe unite con il corpo teso.

La prima modalità di esecuzione riduce in modo consistente il momento di inerzia del corpo e pertanto facilita la rotazione per raggiungere la verticale. Nel secondo caso invece risulta più difficile raggiungere la verticale a causa del maggiore momento di inerzia che richiede un buon caricamento in fase di appoggio per slanciare gli arti inferiori fino ad arrivare alla verticale grazie all'aumento di energia cinetica rotazionale. Infatti il soggetto 2 nell'eseguire lo slancio a gambe divaricate non accentua la chiusura dell'angolo tra arti inferiori e busto in fase di appoggio e non avendo una grande velocità durante il massimo allungo non riuscirà

a raggiungere poi la verticale. Al contrario il soggetto 3 riesce a raggiungere quasi l'angolo retto in fase di appoggio sullo staggio (tabella 2) e in tal modo, pur avendo velocità inferiore rispetto al soggetto 2, riesce a prendere un grande slancio che lo porta addirittura oltre alla posizione di verticale (214°, tabella 2).

Nello slancio a gambe unite invece si nota che la componente fondamentale più che essere il caricamento in fase di appoggio, è la massima velocità raggiunta in fase di allungo. Infatti il soggetto 3, pur diminuendo ulteriormente l'angolo tra arti inferiori e busto in fase di appoggio, non riesce a raggiungere la verticale per la bassa velocità raggiunta (solo 330°/sec, tabella 4). Al contrario il soggetto 2 incrementa di molto questa velocità, superando i 500°/sec, e questo gli permette di raggiungere la verticale e di superarla (195°).

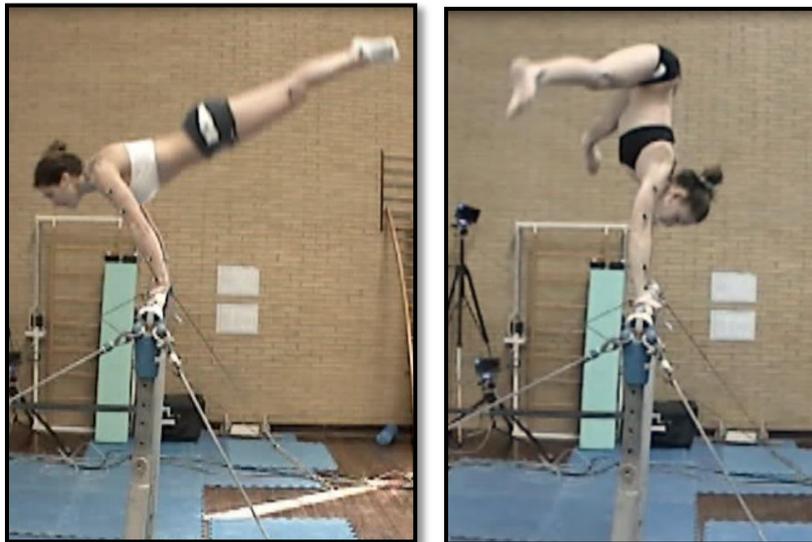


Figura 45 - Confronto tra gli slanci per raggiungere la verticale eseguito a gambe unite e a corpo teso (a sinistra) e lo slancio a gambe divaricate con il corpo squadrato (a destra)

Inoltre confrontando gli angoli di articolazione di gomito dei soggetti 2 e 3 si nota come il soggetto 2, avendo una velocità di esecuzione più elevata e mantenendo più costanti gli angoli di flessione-estensione di braccia e gambe, è costretto a flettere le braccia per poter raggiungere la verticale (80° nella kippe verticale a gambe divaricate e 85° nella kippe verticale a gambe unite). Al contrario il soggetto 3, avendo minor velocità, riesce a controllare meglio il proprio corpo e, sfruttando la variazione degli angoli di flessione-estensione di spalla e gambe, flette poco le

braccia: rispettivamente 25° durante la kippe verticale a gambe divaricate e 40° nella kippe verticale a gambe unite.

Un fattore che influenza l'esecuzione di questo movimento è anche l'altezza della ginnasta (a parità di peso): più una ginnasta è alta maggiore è il momento di inerzia rispetto allo staggio ($I = \int mr^2 dm$) e quindi maggiore sarà anche la difficoltà di eseguire lo slancio a gambe unite rispetto invece allo slancio squadrato a gambe divaricate.

6.2. Studio della nuova entrata alle parallele

La differenza tra la classica entrata in kippe e la nuova entrata proposta, presa dal tempo di capovolta, consiste nella diversa velocità di discesa durante la fase di allungo. Nella kippe standard con partenza da fermo il movimento parte con una spinta per impugnare lo staggio con una ridotta elevazione del corpo; al contrario nel movimento proposto la kippe parte con il corpo in posizione più elevata. Una minore elevazione comporta una limitata ampiezza della successiva oscillazione sotto lo staggio e una minore velocità di esecuzione di tutto il movimento. A causa di questa minore velocità di rotazione occorre esercitare un maggiore sforzo muscolare (soprattutto contrazione degli addominali e avvicinamento degli arti superiori al corpo) per raggiungere la successiva posizione in verticale e questo comporta una maggiore difficoltà.

Con la nuova entrata il movimento di rotazione viene eseguito con una maggiore velocità: durante il movimento intorno allo staggio (tempo di capovolta) si è acquisita maggiore energia cinetica di rotazione e raggiunta una maggior altezza del baricentro: da questa posizione più elevata il corpo parte per eseguire la kippe sfruttando una maggiore energia potenziale. Questa è una valutazione qualitativa in quanto non è stata calcolata la posizione nel tempo del baricentro durante l'esecuzione.

Lo studio effettuato su questo nuovo elemento ha condotto ad alcuni risultati interessanti: al posto del movimento standard di kippe verticale si può introdurre il nuovo movimento che appare più dinamico.

Si può notare questa maggiore dinamicità confrontando i dati relativi ai soggetti 1 e 3 in corrispondenza alla posizione di massimo allungo della kippe verticale a

gambe divaricate e della kippe presa dal tempo di capovolta nell'esecuzione della nuova entrata. Si può notare che entrambi i soggetti hanno incrementato di molto questa velocità: il soggetto 1 è passato da 400°/sec a 505°/sec, mentre il soggetto 3 è passato da 370°/sec a 420°/sec; questa maggiore velocità comporta un movimento più fluido dimostrato da una minore variazione degli angoli in fase di appoggio sullo staggio e un raggiungimento facilitato della posizione di verticale.

Questo comporta anche un'altra conseguenza interessante: sia il soggetto 1 che il soggetto 3 durante la fase di appoggio hanno diminuito l'angolo articolare di gomito passando rispettivamente da 60° a 28° del soggetto 1 e da 25° a 14° del soggetto 3. Durante la fase di massimo allungo mentre il soggetto 1 ha diminuito questo angolo passando da 60° a 28°, il soggetto 3 invece lo ha incrementato da 20° a 52°. Questo aumento potrebbe essere causato dall'incremento di velocità durante la nuova entrata alla quale il soggetto 3 non era abituato.

Si può notare la minor chiusura dell'angolo tra arti inferiore e busto confrontando i dati relativi ai soggetti 1 e 3 durante la fase di appoggio sullo staggio: nella kippe verticale divaricata il soggetto 1 forma un angolo pari a 88° mentre il soggetto 3 forma un angolo di 95°, mentre con l'esecuzione della nuova entrata questi angoli diventano rispettivamente di 122° e 106°.

Analizzando il movimento del soggetto 1 si può notare che con la kippe verticale a gambe divaricate l'angolo di flessione-estensione della spalla al termine dell'esecuzione è pari a 145° (senza raggiungere la verticale), mentre con la nuova entrata ha aperto questo angolo raggiungendo i 150°.

Da questo si può dedurre che con la nuova entrata il raggiungimento della verticale dipende soprattutto dalla velocità acquisita in fase di massimo allungo e non dall'angolo formato tra arti inferiori e busto in fase di appoggio (al contrario di quanto dimostrato nel paragrafo precedente comparando lo slancio a gambe divaricate con lo slancio a gambe unite).

Inoltre si può notare anche che con l'esecuzione della nuova entrata è più facile controllare meglio il raggiungimento della verticale e la tenuta del corpo in questa posizione. Questo fatto lo si può notare analizzando il movimento del soggetto 3: nella verticale a gambe divaricate l'angolo tra braccia e busto in verticale era di 214° (superata la posizione desiderata), nella verticale a gambe unite era di 160° (senza raggiungere la verticale), mentre con l'esecuzione della nuova entrata si

sono registrati esattamente 180° (arti superiori e busto perfettamente allineati in verticale).

La limitazione nel numero di prove effettuate non ha permesso di raggiungere una perfetta posizione di verticale dopo il tempo di capovolta, ma i risultati sono sufficienti per ritenere che con ulteriori prove e training con movimenti preparatori per questa entrata si possa raggiungere la modalità di esecuzione desiderata.

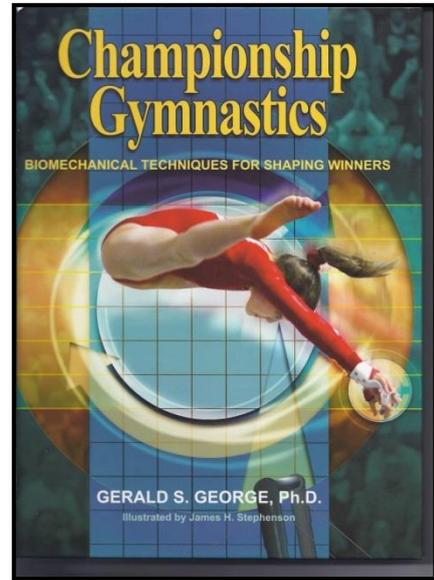
Infatti se si riuscisse a raggiungere la verticale dal tempo di capovolta sarebbe poi inutile ripetere tutto il movimento della kippe verticale: dalla posizione raggiunta si potrebbe già proseguire con la successione dei movimenti che compongono l'intero esercizio.

Il valore del tempo di capovolta in verticale eseguito alle parallele è registrato nel Codice dei Punteggi con il valore C (ricordiamo che la scala di difficoltà degli esercizi va dalla A, elemento più facile, alla H, elemento più difficile).

In questa maniera si potrebbe sostituire alla classica entrata in kippe verticale (valore A), la nuova entrata con il tempo di capovolta in modo da incrementare il valore dell'entrata dell'esercizio e diversificare gli esercizi possibili alle parallele.

7. Bibliografia

- *Gymnica* – supplemento al n° 6 – giugno 1991 de “IL GINNASTA” edito da Federazione Ginnastica d’Italia
- *Gymnica* – supplemento al n° 6 – giugno 1985 de “IL GINNASTA” edito da Federazione Ginnastica d’Italia
- *Gymnica* – supplemento al n° 5 – giugno 1988 de “IL GINNASTA” edito da Federazione Ginnastica d’Italia
- *Gymnica* – Federazione Ginnastica d’Italia (1987)
- *Gymnica* – supplemento al n° 2 – febbraio 1999 de “IL GINNASTA” edito da Federazione Ginnastica d’Italia
- *Gymnica* – supplemento al n° 12 – dicembre 1991 de “IL GINNASTA” edito da Federazione Ginnastica d’Italia
- “*Championship Gymnastics, biomechanical techniques for shaping winners*” Gerald S. George
- “*Biomechanical analysis of fundamental human movement*” Arthur E. Chapman
- Revisione della letteratura: “*Biomechanics research in gymnastics: past, present and future*” Ellen Kreighbaum, Hper department, Montana State University; “*Metodi di analisi strumentali del tennis in carrozzina*” Fantozzi, Giovanardi, Camorani, Cutti, Garofalo, Merni
- Studio biomeccanico del doppio salto di uscita alle parallele asimmetriche: *Gymnica* 1998 edito da Federazione Ginnastica d’Italia; Manoni A. (1987) “*Biomeccanica e divisione strutturale della ginnastica artistica*”
- Studio biomeccanico della granvolta indietro alle parallele asimmetriche: *Gymnica* 1991 edito da Federazione Ginnastica d’Italia; “*Analisi biomeccanica e tecnica degli esercizi di capovolta in verticale rovesciata a braccia dritte alle parallele pari (controkippe)*”, Manoni
- “*Position and orientation in space of bones during movement: anatomical frame definition and determination*” A. Cappozzo, F. Catani, U. della Croce, A. Leardini
- “*ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion*” Wu G, Siegler S, Allard P,



Kirtley C, Leardini A, Rosenbaum D, Whittle M, 'Lima DD, Cristofolini L, Witte H, Schmid O, Stokes

- “*Adjustments to zatsiorsky – Seluyanov’s segment inertia parameters*”
Paolo De Leva
- “*A standardized protocol for the description of shoulder motions*” Frans C.T. van der Helm
- “*Dynamic modeling approach to gymnastic coaching, International conference on Robotics & Automation Leuven (1998)*”

Ringraziamenti

Per tutti quelli che mi sono stati vicini in questi tre anni, per tutti quelli che hanno creduto in me dicendomi di non mollare, per tutti quelli che mi hanno aiutato a coltivare la mia passione più grande: GRAZIE.

Per tutti quelli che hanno cercato di ostacolare i miei sogni senza riuscirci, per tutti quelli che mi hanno abbandonato alla prima difficoltà, per tutti quelli che mi consideravano pazza: GRAZIE perché mi avete reso più forte.

Grazie a tutti i miei amici che mi hanno fatto ridere anche quando non ne vedevo il motivo, che mi sono sempre stati vicini e con i quali ho passato momenti fantastici e indimenticabili.

Grazie a tutte le mie compagne di allenamento e a tutti gli allenatori che mi hanno aiutata a credere in me stessa e ad andare avanti superando le mie paure, mi hanno insegnato a non arrendermi mai. Grazie a loro ho imparato che la determinazione e la forza di volontà sono l'arma segreta del piccolo campione.

Metà della mia vita l'ho passata dentro quei soliti quattro muri con la polvere di magnesio ovunque, ma oggi ho capito che quell'edificio con le persone che ci lavoravano dentro sono stati la migliore scuola di vita che potessi trovare.

Un grazie speciale va ad una persona a me molto cara: la mia allenatrice Valentina. Mi ha appassionato allo sport fin da quando ero bambina, con lei ho passato momenti stupendi fino all'incoronazione di un sogno: Ancona 2006 e Bassano 2007.

Per ultimi ringrazio i miei genitori perché senza i loro consigli e le loro parole non sarei mai arrivata dove mi trovo ora.

Grazie a "mamy" per tutte le candele che ha acceso durante i miei esami e per tutte le volte che si nascondeva dietro la solita colonna durante una gara. Grazie per quella treccina fatta in macchina con l'elastico del calzino e soprattutto per ogni treccina fatta in seguito come ricordo di credere in me stessa e come porta fortuna: la scaramanzia non fa mai male!

Grazie a "Drummy" che ogni giorno mi portava in giro preparandomi da mangiare in macchina perché diciamolo: seguirmi nei miei mille impegni non è roba da poco!

Concludo con una frase che mi hanno insegnato tutte queste persone: "NOTHING IS IMPOSSIBLE".