

Alma Mater Studiorum

Università di Bologna

Dottorato di Ricerca in
Discipline delle Attività Motorie e Sportive

XX Ciclo

SSD: M-EDF 02

**Analisi cinematica e dinamica dei Ribaltamenti al
volteggio**

Presentata da: Dott. Gabriella Penitente

Coordinatore Dottorato
Prof. Salvatore Squatrito

Relatore
Prof. Franco Merni

Esame finale anno 2008

INDICE.....	2
INTRODUZIONE.....	4
METODI.....	14
METODI PER LO STUDIO DEL MODELLO DI PRESTAZIONE.....	14
Movimento analizzato.....	14
Fasi del movimento.....	15
Soggetti.....	15
Strumentazioni per l'acquisizione di dati cinematica.....	16
Strumentazioni per l'acquisizione di dati dinamici.....	17
Calibrazione delle pedane di forza portatili.....	19
Procedura di acquisizione.....	22
Elaborazione dei dati e selezione delle variabili cinematiche.....	22
Elaborazione dei dati e selezione delle variabili dinamiche.....	25
Analisi statistica.....	26
Statistica descrittiva.....	27
METODI PER LO STUDIO DELLA PRESTAZIONE DI GARA.....	28
Movimento analizzato.....	28
Fasi del movimento.....	30
Soggetti.....	30
Strumentazioni.....	31
Elaborazione dei dati e selezione delle variabili cinematiche.....	33
Analisi statistica.....	37
Statistica descrittiva.....	36
Elaborazione dei dati relativi ai punteggi di gara.....	36
Il modello deterministico.....	40
RISULTATI E DISCUSSIONI.....	41
RISULTATI E DISCUSSIONI RELATIVI ALLO STUDIO DEL MODELLO DI PRESTAZIONE	41
Dati cinematici.....	41
Durate temporali.....	41
Spostamenti orizzontali del centro di massa.....	42

Spostamenti verticali del centro di massa.....	43
Velocità del centro di massa.....	44
Angolo corporeo.....	46
Velocità angolare del centro di massa.....	47
Descrizione delle Ground Reaction Forces.....	48
RISULTATI E DISCUSSIONI RELATIVE ALLO STUDIO DELLA	
PRESTAZIONE DI GARA.....	57
Durate temporali.....	57
Spostamenti orizzontali del centro di massa.....	59
Spostamenti verticali del centro di massa.....	60
Spostamenti trasversali del centro di massa.....	63
Velocità del centro di massa.....	64
Angolo corporeo.....	70
Angoli segmentari.....	72
Spalla.....	74
Ginocchio.....	75
Gomito.....	76
Velocità angolare della spalla e dell'anca.....	77
Modello deterministico della ribaltata.....	78
Modelli deterministici dei salti Yurchenko.....	83
Modello deterministico relativo al primo volo.....	83
Modello deterministico relativo al secondo volo.....	84
Analisi dei modelli.....	85
Modelli deterministici relativi al primo volo dei salti YUta e YUt.....	87
Modelli deterministici relativi al secondo volo del salto YUta.....	92
Modelli deterministici relativi al secondo volo dei salti YUt.....	97
Modelli deterministici relativi al primo volo del salto YUc.....	103
Modello deterministico relativi al secondo volo del salto YUc	107
CONCLUSIONI.....	114
CONCLUSIONI RELATIVE AL MODELLO DI PRESTAZIONE.....	114
CONCLUSIONI RELATIVE ALLA PRESTAZIONE DI GARA.....	115
BIBLIOGRAFIA.....	118

INTRODUZIONE

La ginnastica artistica è caratterizzata da numerosi movimenti eseguiti in condizioni sia statiche che dinamiche in cui le ginnaste utilizzano gli arti superiori in modo singolare. I ribaltamenti rappresentano un particolare gruppo di movimenti acrobatici nei quali le ginnaste utilizzano le mani e le braccia per eseguire una sorta di salto “esplosivo” con l’obiettivo di muovere e ruotare il proprio corpo. I ribaltamenti sono considerati movimenti acrobatici di base molto utilizzati nella costruzione delle diagonali acrobatiche del corpo libero e alla trave, ma rappresentano anche l’azione fondamentale dei salti al volteggio.

Il volteggio è costituito da sette fasi ognuna delle quali ha una specifica funzione nella costruzione della meccanica del salto.

Nella prima fase di rincorsa, non superiore a 25 m, la ginnasta produce la maggior parte dell’energia necessaria per iniziare e portare a termine la prova.

Il presalto o la rondata, prepara allo stacco a due piedi dalla pedana, il primo in avanti, la seconda all’indietro.

Durante la fase di battuta sulla pedana di Reuther, cercando di sfruttare al massimo le proprietà elastiche della pedana stessa, l’energia accumulata durante la rincorsa viene trasformata in una componente lineare ed una angolare (Figura 1).

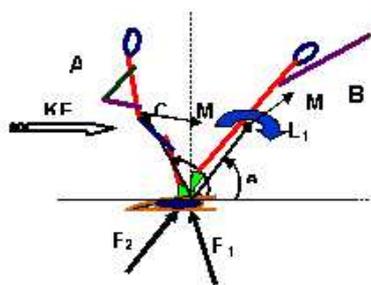


Figura 1 – Battuta sulla pedana

Con la successiva fase di primo volo, si prende contatto con la tavola, e durante la fase di appoggio-spinta con le mani, la ginnasta deve essere in grado di apportare ulteriori piccole, ma significative modifiche sia al movimento lineare che angolare, entrambi determinanti per la fase di volo seguente (Figura 2).

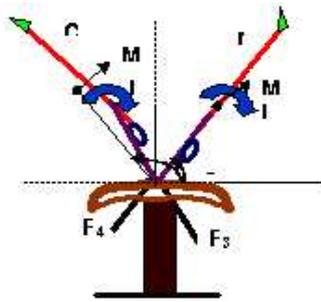


Figura 2 – Spinta sulla tavola

Il secondo volo, dal cavallo al tappeto, rappresenta la fase più spettacolare ed importante del salto in cui la ginnasta esegue una o più rotazioni attorno ad uno o più assi corporei.

Ed in fine la fase di arrivo, con la quale la ginnasta deve arrestare definitivamente il movimento, riducendo a zero sia la componente lineare che angolare senza l'aggiunta di alcun passo, spostamento o caduta (Figura 3) (Prassas 2002).

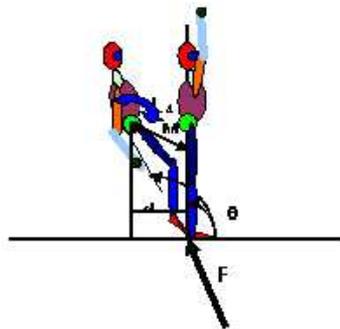


Figura 3 – Arrivo

Nella valutazione della prova al volteggio durante le competizioni, la giuria valuta in primis l'ampiezza, l'altezza, la dinamicità e la precisione del salto, ponendo molta attenzione all'esecuzione della seconda fase di volo. Sono, poi identificati, nelle varie fasi, i falli tecnici ed esecutivi rappresentati essenzialmente dagli atteggiamenti scorretti dei vari segmenti corporei, del corpo in assoluto e del corpo rispetto all'attrezzo. Nel Codice dei Punteggi, aggiornato al 2005, questi errori sono descritti, valutati e tradotti in penalità secondo una scala ordinale che li suddivide in tre categorie. Falli lievi, medi e gravi, che corrispondono, rispettivamente a deduzioni di 0,10, 0,30 e 0,50.

Ulteriore novità del nuovo Codice dei Punteggi riguarda la valutazione del salto espressa non più in maniera congiunta dalla giuria “A” e “B”, ma da una valutazione separata e, solo successivamente sommata, delle due giurie. La giuria “A” ha il compito di verificare la conformità tra il livello di difficoltà dichiarato dalla ginnasta prima dell’esecuzione ed il salto effettivamente eseguito; la giuria B, invece, valuta la qualità esecutiva del salto assegnando un punteggio con valore di partenza 10, dal quale si deducono gli errori tecnici ed estetici secondo i criteri sopra descritti. Con il precedente sistema di valutazione il punteggio non superava mai il valore massimo di 10, a cui potevano aspirare solo le ginnaste che eseguivano un esercizio con il massimo valore di difficoltà. Il sistema attuale comporta l’assegnazione di punteggi che oltrepassano il valore 10, ma l’aspetto fondamentale è che questo sistema di giudizio svincola parzialmente la tattica di gara dalla scelta della difficoltà del salto lasciando più spazio alla qualità esecutiva della prova.

In aggiunta a queste modifiche, bisogna tener presente l’elevato valore tattico-strategico da sempre riconosciuto al volteggio, determinata dalla natura stessa della sua prova. Questo è, infatti, l’unico tra gli attrezzi ginnici ad essere composto di un solo elemento tecnico puramente acrobatico, piuttosto che da un insieme di elementi acrobatici, artistici e coreografici collegati tra loro. L’abolizione nel 2000 per il settore femminile, della duplice prova dalla cui media si otteneva il punteggio finale e, la riduzione ad un solo salto come per il settore maschile, ha sicuramente contribuito ad incrementare il peso specifico del volteggio nelle competizioni con rotazione completa su tutti gli attrezzi.

Proprio per questa sua unicità, il volteggio ha sempre ricevuto grande attenzione da parte degli esperti di biomeccanica dello sport (Brüggemann 1987, 1994; Prassas 1999; Sands e Prassas 2006). Dall’analisi delle reviews sulla produzione della biomeccanica della ginnastica artistica, emerge che i più importanti studi che analizzano i ribaltamenti al volteggio nelle sue diverse forme, soprattutto per quanto riguarda gli aspetti cinematici, si concentrano maggiormente nel periodo compreso tra la fine degli anni sessanta e l’inizio degli anni novanta (Bajin 1979, Dainis 1979, Brüggemann 1984, Nelson, Gross et al 1985, Takei 1989; 1990; 1991a; 1991b; 1992; 1996; 1998, Takei and Kim 1992, Kwon, Fortney e Shin 1990). Nonostante il numero relativamente elevato degli studi effettuati, la sostituzione da

parte della Federazione Internazionale di Ginnastica nel 2001 del vecchio cavallo con la nuova tavola, in concomitanza con gli aggiornamenti del regolamento appena descritti, l'evoluzione dei movimenti e delle caratteristiche degli atleti, rendono le informazioni a disposizione sempre più spesso troppo obsolete (Sands et al 2003).

L'introduzione del nuovo attrezzo ha innanzi tutto uniformato la prova del volteggio per il settore maschile e femminile. Infatti, l'attuale tavola (Figura 5) viene utilizzata da entrambi i sessi a differente altezza, 125 cm per le femmine, 135 cm per i maschi. Il vecchio cavallo (Figura 4), caratterizzato da una struttura che si sviluppava in lunghezza (160 cm) piuttosto che in larghezza (35cm), con un'area effettiva di appoggio di circa 50 cm x 30 cm, era utilizzato con un'orientamento differente. Le femmine valicavano la larghezza dell'attrezzo, con il cavallo posizionato trasversalmente alla corsia di rincorsa, mentre i maschi valicavano la lunghezza, posizionando il cavallo longitudinalmente alla corsia di rincorsa.

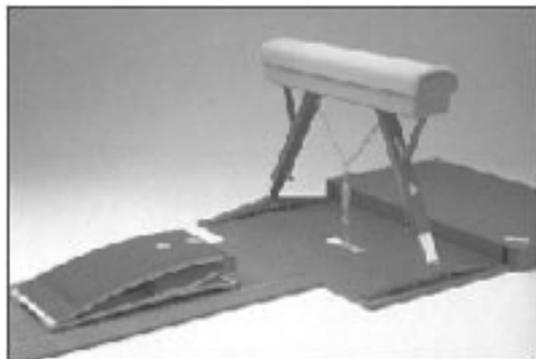


Figura 4 – Cavallo femminile



Figura 5 - Tavola

La nuova tavola è caratterizzata da una struttura più compatta e una superficie di appoggio più ampia di circa il 40%. Le sue dimensioni sono 95 cm di lunghezza e 120 cm di larghezza, con un'area effettiva di appoggio approssimativamente di 50 cm x 50 cm. Il piano di appoggio si presenta inoltre sagomato, più elastico e leggermente inclinato in avanti, rendendo l'area di appoggio più visibile agli atleti. Le caratteristiche meccaniche e geometriche della tavola hanno indotto ovviamente a delle modificazioni nella tecnica esecutiva soprattutto per il settore femminile (Sands and McNeal 2001; Sands et al 2003) Queste infatti, sviluppando una velocità orizzontale inferiore rispetto ai maschi all'impatto con la

pedana, risultano in partenza svantaggiate dalla maggiore lunghezza della tavola rispetto al cavallo (McNitt Grey 2000).

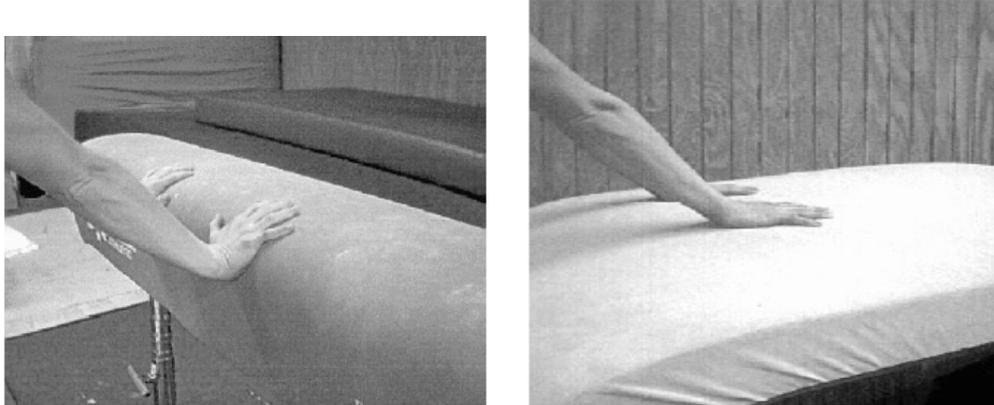


Figura 6- Posizione delle mani sul cavallo e sulla tavola

Nello studio del 2000, basato su delle osservazioni cinematiche delle Olimpiadi di Sidney, McNitt Grey investiga sulle implicazioni inerenti l'abilità delle ginnaste di superare con successo un cavallo tre volte più lungo. I risultati di questo studio indicano che, aumentando la lunghezza dell'attrezzo da 30 a 90 cm circa il 30% delle ginnaste avrebbe dovuto modificare completamente la meccanica del volteggio per completare con successo la prova. Nello specifico, se le ginnaste di Sidney 2000 avessero eseguito il loro salto sulla tavola invece che sul cavallo, avrebbero sicuramente urtato contro il margine superiore dell'attrezzo, il 25% con la testa e il 35% con i piedi. Secondo McNitt-Grey, essendo alquanto improbabile per le ginnaste incrementare significativamente la fase di rincorsa e, quindi la velocità orizzontale del centro di massa all'impatto sulla pedana, la strategia di approccio alla nuova tavola doveva essere rivolto a modifiche della meccanica nel primo volo ed in particolare della posizione del corpo nell'istante di impatto con l'attrezzo. Cambiando la posizione di impatto con l'attrezzo è, infatti, possibile variare il modulo sia del momento lineare che angolare ed evitare di urtare contro l'attrezzo nella seconda fase di volo.

Bisogna, inoltre, considerare che dal 2001 ad oggi, dopo due quadrienni olimpici, l'utilizzo della tavola ha indotto ad un' inversione di tendenza nella scelta dei salti nel settore femminile. La maggior superficie di appoggio della tavola agevola, infatti, di gran lunga i salti dorsali con entrata di spalle all'attrezzo. La popolarità di questo tipo di salto dipende dalla maggiore velocità verticale prodotta al

momento dello stacco dalla tavola, che rappresenta una condizione ovviamente più favorevole allo sviluppo della seconda fase di volo (Sands et al 2003).

Prendendo spunto da queste prime considerazioni di base fortemente supportate dalle osservazioni di McNitt- Grey del 2000, il presente studio si focalizza sull'analisi della tecnica dei volteggi eseguiti dal settore femminile.

Le tipologie di salti attualmente previste dal Codice dei Punteggi sono suddivisi per gruppi strutturali, rispetto alla direzione in cui si sviluppa il salto ed ordinati per livelli crescenti di difficoltà, in base al numero di rotazioni, agli assi di rotazione e all'atteggiamento corporeo del secondo volo. I principali gruppi strutturali comprendono i salti con approccio frontale all'attrezzo, detti ribaltate (figura 7); i salti con approccio laterale, detti Tsukahara (Figura 8) e, i salti con approccio dorsale dalla rondata flic, detti Yurchenko (Figura 9).

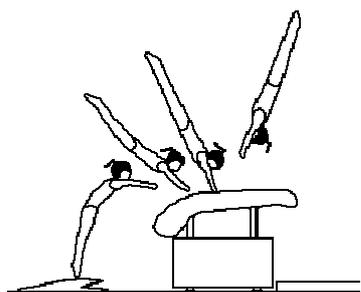


Figura 7- Ribaltata Frontale

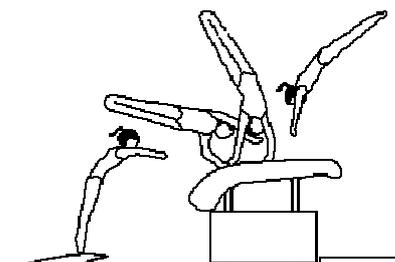


Figura 8- Tsukahara Laterale

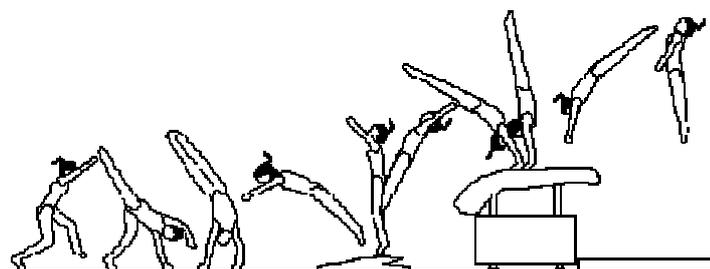


Figura 9 - Yurchenko Dorsale

Tra queste tre tecniche di salti volteggi, il ribaltamento in avanti, fino a pochi anni fa frequentemente eseguito sia dai maschi (Cheetham 1982, Dillman, Cheetham e Smith 1985, Takei 1988, 1991, 1992) che dalle femmine, (Dains 1979, Nelson, Gross et al 1985, Takei 1990) è quello maggiormente studiato. Dai risultati di

questi lavori emerge che la fase di rincorsa insieme ai parametri lineari ed angolari prodotti allo stacco dalla battuta in pedana sono fattori più importanti di quelli prodotti durante la fase di appoggio-spinta sul cavallo. Questo, in ultima analisi, significa che è molto più difficile recuperare gli errori commessi durante lo stacco dalla pedana, rispetto a quelli commessi sul cavallo. Altro fattore importante è il momento angolare allo stacco dalla pedana che tende inevitabilmente a ridursi durante la fase di contatto con il cavallo e convertita parzialmente in velocità verticale.

Di fondamentale importanza per la comprensione della performance dei volteggi frontali risultano i modelli deterministici messi a punto da Hay (1973) e da Takei (1989) nei quali la meccanica esecutiva viene analizzata in funzione del punteggio di gara. La figura 10 è una rappresentazione schematica di tali modelli.

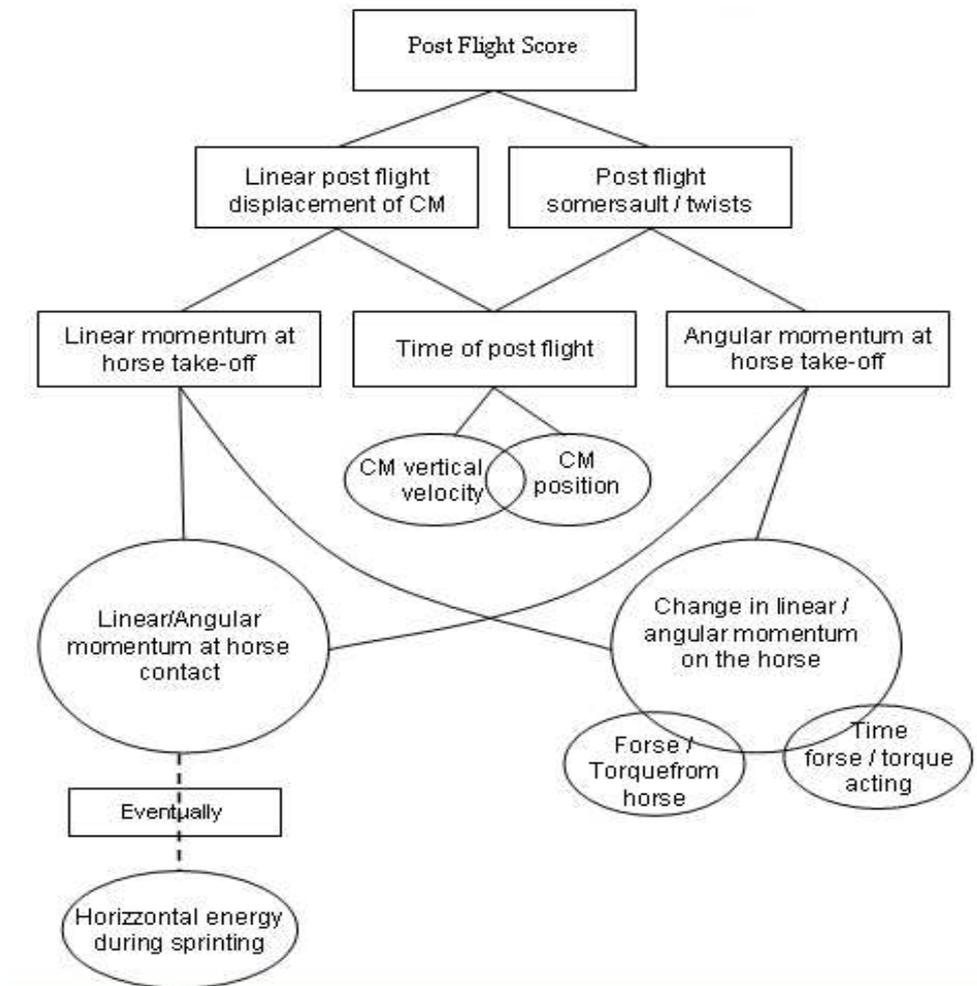


Figura 10- Modello deterministico della Ribaltata al volteggio

L'interesse per il volteggio dagli anni novanta in avanti si è poi maggiormente concentrato sull'analisi di alcuni aspetti dei ribaltamenti dalla rondana flic. Questo tipo di salto è stato introdotto da Natalia Yurchenco nel 198 ed è attualmente eseguito per lo più dalle donne. Le informazioni relative a questa categoria di salti sono al momento limitate. Il salto Yurchenko è stato analizzato per la prima volta da Know, Fortney e Shin nel 1990. In questo studio sono state analizzate le differenze meccaniche tra la tecnica del salto Yurchenko seguito da salto dietro teso rispetto al Yurchenko e salto dietro teso con un avvitamento, eseguiti in condizioni di gara. I risultati di questo studio evidenziano, che mentre, per i salti Yurchenko con avvitamento le variabili cruciali sono la minimizzazione della perdita di velocità verticale e la durata della fase di spinta sul cavallo; per i salti Yurchenko con salto dietro teso, la variabile fondamentale è, invece, rappresentata dalla variazione della velocità orizzontale sul cavallo, in grado di influenzare il mantenimento del momento angolare durante la seconda fase di volo.

Nel 1991, Elliot e Mitchell investigano sulle affinità meccaniche esistenti tra il salto Yurchenko e salto dietro teso e due esercizi propedeutici all'acquisizione della tecnica di base del salto stesso.

Più recentemente Koh e Jenning (2003 e 2007), attraverso uno studio di ottimizzazione basato sulla dinamica inversa, concludono che la migliore strategia per incrementare la performance del salto Yurchenko e salto dietro teso consiste nel mantenimento di un'adeguata velocità e un momento angolare elevato durante il primo volo, ed un ampio angolo corporeo al momento dell'impatto con il cavallo.

Nonostante Know e coll riportino, nel loro lavoro le variabili maggiormente correlate al punteggio di gara di entrambe le tipologie di Yurchenko analizzati, non esiste attualmente, nessun modello deterministico applicato alla performance di questo gruppo strutturale.

Lo scopo principale del seguente studio è identificare i fattori meccanici che determinano il successo della performance di gara dei salti Yurchenko maggiormente eseguiti dalle ginnaste di alto livello sulla nuova tavola.

L'ipotesi sperimentale parte dall'assunzione che esiste un pattern di variabili meccaniche che, rappresentate attraverso un modello deterministico basato su quello descritto da Hay (1973) e Takei (1989), sia in grado di spiegare le penalità

assegnate dalla giuria durante la gara ed identificare le fasi maggiormente soggette a penalizzazione.

Dall'analisi complessiva della prova al volteggio fatta fin qui, risulta evidente che le informazioni riguardanti le tecniche femminili dei ribaltamenti al volteggio acquisite fino ad oggi vengono messe in qualche modo in discussione dal naturale processo evolutivo della ginnastica e in particolar modo dalla sostituzione del cavallo con la tavola. La mancanza di studi che analizzano ribaltamenti eseguiti sulla tavola ha reso necessario l'inserimento nel presente progetto, di una sezione preliminare di aggiornamento, relativa alla descrizione del modello di prestazione delle moderne tecniche di ribaltamento. A tale scopo è stata analizzata la tecnica di base della ribaltata frontale per caratterizzare le forze di reazione che entrano in gioco nella fase di repulsione-spinta sulla tavola. Nonostante la ribaltata al volteggio, come abbiamo appena visto, sia stata ampiamente studiata dal punto di vista della cinematico, sono ancora molto limitate le informazioni riguardo i pattern di forza implicati nell'azione di spinta con le braccia. A riguardo, la letteratura attualmente fornisce poche informazioni, derivate da calcoli di dinamica inversa o da processi di modellizzazione (Takei 1989, 1990, 2002; Hall 1986; Dainis 1979; Koh, Jennings et al 2003). Nonostante questi studi abbiano dimostrato ampiamente le potenzialità offerte soprattutto dalla modellizzazione, rimangono pur sempre metodi che non misurano direttamente le forze. Proprio per questo, i dati ottenuti indirettamente stimano le forze in maniera meno precisa rispetto ai metodi di misurazione diretta. Miller e Nissinen, per esempio, nel loro studio sulle forze di reazione del salto giro avanti mostrano che i dati cinematici non sono in grado di fornire informazioni sufficientemente accurate riguardo la fase di spinta del salto giro. (Miller and Nissinen 1987).

Bisogna inoltre, considerare che la misurazione delle forze in gioco durante la fase di spinta sulle mani sul vecchio cavallo risultava particolarmente difficile considerando sia la forma dell'attrezzo che il posizionamento delle mani usato soprattutto dalle donne nell'eseguire la ribaltata (Figura 6). Al contrario, il design della tavola permette di studiare le forze di spinta tramite metodi diretti. Infatti, la maggiore ampiezza della superficie di appoggio consente il posizionamento di sensori per il rilevamento delle forze di reazione. (Sands e McNeal 2001). Le nuove

condizioni offrono dunque l'opportunità di investigare in maniera più approfondita aspetti dei ribaltamenti al volteggio che prima erano inaccessibili.

In questa sezione descrittiva del progetto, il classico modello deterministico della ribaltata frontale di Takei è stato utilizzato come criterio di base per lo studio delle correlazioni esistenti tra le variabili dinamiche relative alla spinta sulla tavola e quelle cinematiche relative alla fase di battuta in pedana, al primo volo e alla spinta sulla tavola stessa.

METODI

In questo capitolo sono descritti separatamente i metodi relativi allo studio descrittivo eseguito in condizioni sperimentali e, dello studio della prestazione di gara.

METODI PER STUDIO DEL MODELLO DI PRESTAZIONE

Movimento analizzato

In previsione dello studio dinamico della spinta sulla tavola è stato selezionato un ribaltamento frontale con arrivo su dei tappeti posti alla stessa altezza della tavola, in quanto caratterizzato da una tecnica esecutiva maggiormente standardizzata soprattutto nella fase di battuta in pedana (Figura 11). Quest'ultima risulta, infatti, maggiormente soggetta alle interpretazioni personali sia nei ribaltamenti laterali (Tsukahara) che dorsali (Yurchenko).

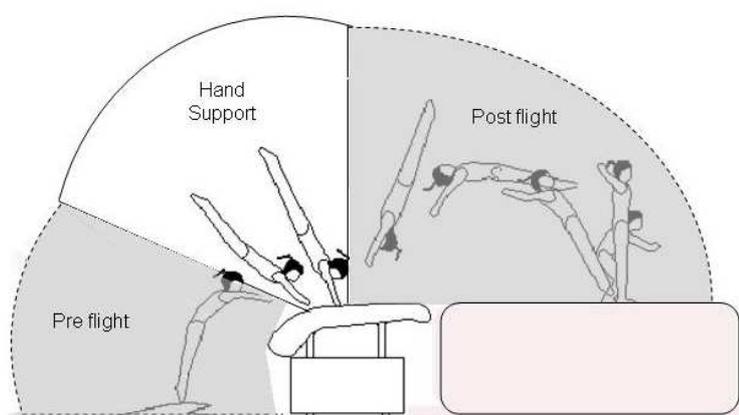


Figura 11 – Ribaltata frontale con arrivo all'altezza della tavola

L'arrivo sui tappeti posti alla stessa altezza della tavola svincolano la spinta sull'attrezzo dalla tipologia di salto eseguito nel secondo volo senza determinare un'eccessiva perdita dello sviluppo verticale del salto. Alle ginnaste viene, infatti, richiesto di completare l'azione di ribaltamento arrivando in stazione eretta.

L'apprendimento di questo esercizio è inoltre da considerarsi ampiamente acquisito e stabilizzato da ginnaste di alto livello, in quanto utilizzato sia come esercizio propedeutico all'acquisizione della tecnica di ribaltamento, che come normale esercizio di riscaldamento all'attrezzo.

Fasi del movimento

La ribaltata è costituita da quattro fasi, comprese tra i successivi istanti di impatto e stacco con la pedana e la tavola. Gli impatti (Imp) e gli stacchi (Stac) delle mani e dei piedi sono stati identificati dall'osservazione dei filmati ad alta frequenza, individuando il fotogramma in cui avviene il primo impatto con l'attrezzo (pedana, tavola e tappeto) e quello in cui è presente l'ultimo contatto. Le fasi sono:

- La battuta sulla pedana, compresa tra l'istante di impatto il successivo stacco con la pedana.(PED)
- Il primo volo, compreso tra l'istante di stacco dei piedi dalla pedana e il successivo impatto sulla tavola con le mani.(V1)
- La fase spinta sulla tavola, tra l'istante di impatto a quello di stacco dalla tavola.(TAV)
- Il secondo volo, dallo stacco delle mani dalla tavola, fino all'impatto con il tappeto di arrivo.

Di queste fasi sono state analizzate le prime tre.

Soggetti

Hanno partecipato alla sperimentazione le 12 ginnaste della Squadra Nazionale Junior Americane (livello 9 e 10 USA Gymnastics Federation) convocate all'allenamento collegiale dell'estate 2007 presso l'Olympic Training Center (USOC) di Colorado Springs.

Tutte le ginnaste messe al corrente della sperimentazione hanno approvato e firmato l'autorizzazione al trattamento dei dati personali.

Le ginnaste sono state sottoposte a misurazione antropometriche, i cui valori medi sono riportati nella tabella x e, successivamente rivestite sul lato destro del corpo con 11 marcatori riflettenti passivi di forma circolare del diametro di cm.

Gli 11 marcatori sono stati posizionati nei seguenti punti: a) alla base del 5^a metatarsale, b) all'altezza del calcagno, c) sul malleolo laterale, d) all'altezza dell'articolazione tibiofemorale, e) sul grande trocantere, f) all'altezza del processo xifoideo, g) come indicatore dell'articolazione gleno-omerale è stato marcato l'angolo inferiore della scapola, h) sull'epicondilo laterale gomito, i) processo stiloideo ulnare, l) sulla mano (base della 5^a falange), m) sulla testa, all'altezza dell'osso temporale in corrispondenza della linea verticale passante per il meato acustico (Figura 12).

E' stato quindi definito un modello del corpo costituito da 9 segmenti: piede, gamba, coscia, addome, torace, braccio, avambraccio, mano e testa.

La digitalizzazione dei punti di repere è stata eseguita in modalità semi-automatica con il software Peak Motus (Peak Performance Technologies, Inc., Centennial, CO, USA, Version 9.1). Il calcolo del centro di massa è stato eseguito utilizzando i parametri inerziali segmentali di Dempster (1955).



Figura 12 – Marker set

	Media	Dev St
Età (anni)	16.9	1.4
Peso (Kg)	56.7	7.8
Altezza (cm)	1.60	0.1

Tabella 1

Strumentazione per l'acquisizione dei dati cinematici

I salti volteggi sono stati video registrati con una telecamera ad alta frequenza (Photron Model 1280, Motion Engineering Company, Inc. Indianapolis, IN USA, 500 Hz), e visualizzati tramite il software Fastcam (Photron, Motion Engineering Company, Inc. Indianapolis, IN USA). L'asse ottico della telecamera è stato posizionato perpendicolarmente al piano del movimento. La calibrazione del campo di vista, ovvero la conversione da pixel in metri, è stata eseguita con un oggetto piano di forma rettangolare (1,10 m x 1 m) (Figura 13).

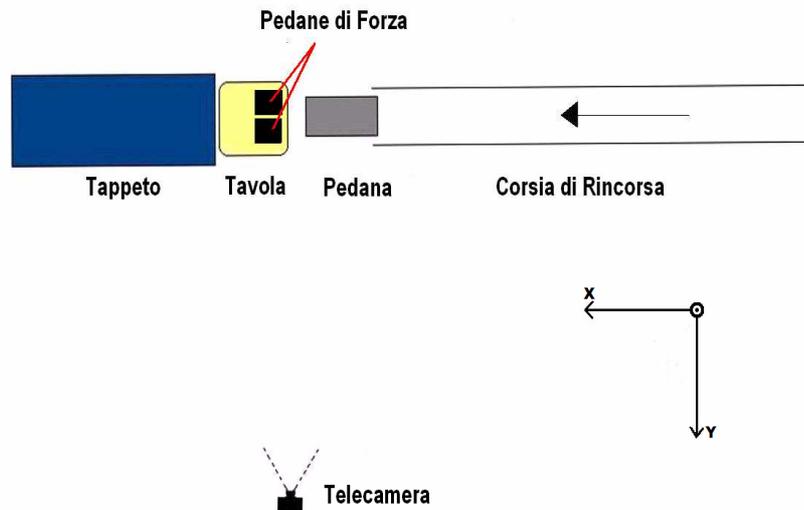


Figura 13 – Set up di acquisizione

Per incrementare il contrasto dei marcatori riflettenti nel video, sono state utilizzate delle luci e uno sfondo uniforme di colore scuro.



Figura 14

Strumentazione per l'acquisizione dei dati dinamici

La superficie della tavola (0,23m x 1,22m x 1,27m), posta ad altezza regolamentare (125cm) è stata allestita con due pedane di forza portatili (PF) (Pasco Scientific, Inc. Roseville, CA, USA, PS-2142). Le dimensioni di ciascuna pedana erano 37 x 37 cm per 6.4 Kg. Entrambe le pedane sono state connesse via cavo ad un

convertitore analogico-digitale (GLX, Pasco Scientific, Inc. Roseville, CA, USA, PS-2002). Le forze sono state misurate nella componente verticale (Z) e orizzontale (X) con una frequenza di campionamenti di 500 Hz. Le pedane di forza sono state montate su una base di legno (120 x 61 x 0,5 cm). Questa base è stata poi fissata alla tavola con delle pinze poste sui bordi laterali del volteggio. Le pinze sono state regolate in modo tale che la base di legno ricalcasse leggermente la curvatura e l'inclinazione della tavola. I bordi, anteriore e posteriore, della base di legno sono stati circondati da protezioni di gommapiuma della stessa altezza delle pedane e della stessa forma della tavola, in modo da creare una superficie di appoggio uniforme e quanto più simile nell'aspetto alla tavola stessa. Le pedane sono state, infine ricoperte con un tappetino morbido antiscivolo EthafoamTM dello spessore di 0.4 cm. (Figura 15).

I dati sono stati acquisiti con il software DataStudioTM (1.9.7 R11, Pasco Scientific, Inc. Roseville, CA).



Figura 15 – Allestimento della tavola

Le pedane di forza così ancorate alla tavola sono risultate inclinate sia lungo l'asse orizzontale (X) (pedana destra FP 10.5° ; pedana sinistra FP 7.5°) che trasversale (Y) (pedana destra 1°; pedana sinistra 3.5°). Gli angoli di inclinazione sono stati misurati con un inclinometro (Polycast Magnetic, Protractor 36, Empire),

prima e dopo la sessione sperimentale. Per riportare i vettori di forza nelle reali direzioni orizzontale e verticale è stato utilizzato un fattore trigonometrico di correzione. (Figura 16)

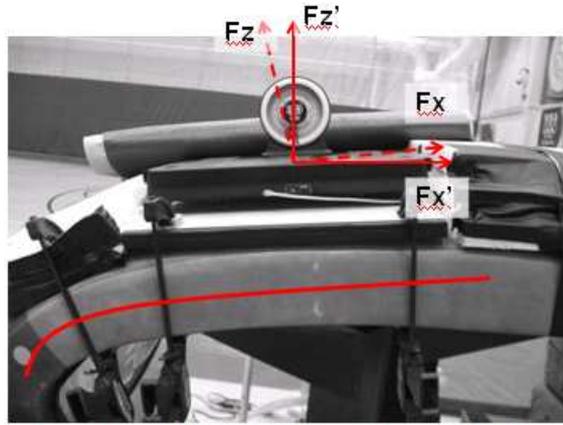


Figura 16 – Inclino metro

Una verifica preliminare basata sull'osservazione di riprese video ad alta frequenza (500 Hz) ha mostrato che durante l'esecuzione dei ribaltamenti, la base di legno e le pedane di forza rimangono solidali alla tavola.

Calibrazione delle pedane di forza portatili

In accordo con i metodi di calibrazione descritti da Major, Sands, et al. nel 1998 e da Dunlavy, Sands, et al. nel 2007, ciascuna pedana di forza è stata calibrata usando tre approcci differenti: la linearità statica (sia per la componente verticale che orizzontale), la regionalità statica e, la comparazione dinamica con una pedana si forza fissa in laboratorio. Le calibrazioni statiche sono state eseguite a 100 Hz, mentre quelle dinamiche a 1000 Hz.

Il primo metodo di calibrazione (Figura 17) statica accerta la linearità dei valori di forza delle pedane. Per verificare la misurazione nella direzione verticale sono state usate sei pesi (da 0 a 125,4 Kg) posizionando e aggiungendo dischi per il sollevamento pesi di massa nota nel centro della pedana (25 Kg). Il valore di ciascuna pedana è stato associato con il corrispondente valore di peso dei dischi. Le correlazioni sono risultate sufficientemente elevate da confermare la linearità per

entrambe le pedane (FP 1 $r = 0,99+$, standard error of estimate (SEE) = 0,62 N; FP 2 $r = 0,99+$, SEE = 0,48 N).

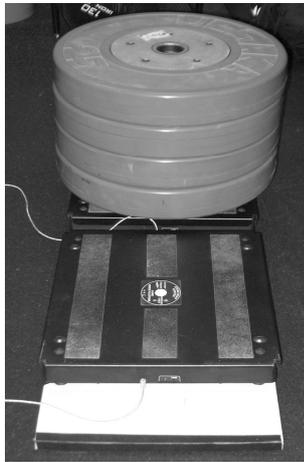


Figura 17
Calibrazione statica verticale



Figura 18
Calibrazione statica orizzontale

La componente orizzontale (X direzione) delle pedane è stata stimata in entrambe le direzioni avanti (X, positiva) e indietro (X, negativa) per mezzo di un algometro (Wagner Force One Model FDIX 50™, Wagner Instruments, Greenwich, CT, USA) (Figura 18). Su ciascuna pedana sono state applicate cinque forze da 0 a 199 N. queste forze sono state applicate manualmente sul bordo laterale della pedana di forza nel punto allineato con il centro della pedana stessa. Le due pedane di forza hanno mostrato un elevato livello di linearità sia nella direzione positiva (FP 1 $r = 0,99+$, SEE = 4,56 N; FP 2 $r = 0,99+$, SEE = 2,27 N) che negativa (FP 1 $r = 0,99+$, SEE = 1,77 N; FP 2 $r = 0,99+$, SEE = 1,43 N).

Il secondo metodo di calibrazione è stato utilizzato per determinare se le aree della superficie delle pedane erano soggette a variabilità regionale nella direzione verticale. Questi test consistono nel posizionare un blocchetto di legno (8,5 x 8,5 x 0,5 cm) in nove posizioni ordinate in maniera casuale sulla superficie della pedana. Le nove posizioni comprendono i quattro angoli, centro di ciascun lato e il centro della pedana. In ciascuna posizione è stato collocato un disco di 25 Kg sul blocchetto di legno.

Per ciascuna regione sono stati collezionati 50 fotogrammi e, poi analizzati mediante la Oneway ANOVA. L'esito dell' ANOVA e del post hoc Tukey HSD indicano che le differenze tra le regioni sono statisticamente significative, ad eccezione per due coppie di posizioni sulla pedana 1 ($F=1796,47$, $p < 0.001$) e quattro coppie per la pedana 2 ($F = 180.23$, $p < 0.001$). La media e la deviazione standard di ciascuna regione è compresa tra 246,3 e 248,9 N ($\pm 0,14$, 0,93 N) sulla FP 1 e tra 246,9 e 248,3 N (± 0.14 0,65 N) sulla FP 2.

Risultati simili sono stati trovati in altri studi con pedane di forza portatili (Major, Sands, et al. 1998 Dunlavy, Sands, et al. 2007). Nonostante le differenze statistiche, ritenendo trascurabile il valore assoluto delle differenze, le regioni delle pedane si possono considerare affidabili per la collezione dei dati del presente studio.

La calibrazione dinamica (Figura 19) consiste nel posizionare le pedane di forza portatili su una pedana di forza di calibrazione nota KistlerTM (Kistler Instruments Corp, Amherst, NY, USA) montata nel pavimento del laboratorio.

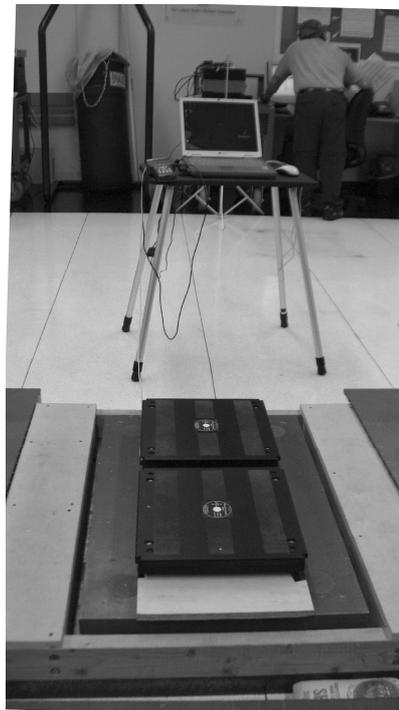


Figura 19 – Calibrazione dinamica

I dati di forza relativi a due prove di salto con partenza da fermo sono stati acquisiti simultaneamente da entrambe le pedane di forza ad una frequenza di

campionamento di 1000 Hz. La forza di reazione (GRF) nella componente verticale rilevata dalla pedana Kistler è stata messa a confronto con i dati rilevati dalla pedana di forza portatile. Le curve forza-tempo sono state poi sovrapposte e le coppie di dati messe in correlazione per determinare la forza della relazione lineare tra i due tipi di pedane. Le correlazioni relative alle due prove per la pedana 1 sono le seguenti: salto 1, $r = 0,99+$, $SEE = 5,7$ N; salto 2, $r = 0,99+$, $SEE = 23,7$ N. le correlazioni per le due prove sulla pedana 2 sono: salto 1, $r = 0,99+$, $SEE = 11,7$ N; salto 2, $r = 0,99+$, $SEE = 21,0$ N.

I risultati dei tre metodi di calibrazione mostrano che le pedane di forza sono lineari, sufficientemente affidabili nelle diverse regioni, e descrivono la linea forza-tempo esattamente come una pedana di forza fissa. I dati ottenuti durante la sessione sperimentale con le ginnaste sono dunque da considerarsi accurati per il rilevamento delle forze di reazione e per la comparazione con dati rilevati in altri studi con altre pedane di forza.

Procedura di acquisizione

Tutte le ginnaste hanno eseguito la loro usuale procedura di riscaldamento. La lunghezza della rincorsa e la distanza della pedana dalla tavola sono state impostate individualmente per ciascuna ginnasta. Alle atlete è stato permesso di eseguire una serie di prove preliminari per prendere confidenza con la strumentazione.

Per ciascuna ginnasta sono state collezionate due ribaltate.

Elaborazione dei dati e selezione delle variabili cinematiche

Le traiettorie delle coordinate dei punti digitalizzati sono state filtrate con un filtro Butterworth passabasso di secondo ordine (cut-off 6 Hz).

Per l'analisi cinematica sono state selezionate le variabili considerate fondamentali per descrivere la prestazione tenendo conto anche della letteratura. Non sono stati considerate le variabili relative al secondo volo, in quanto di secondaria importanza nel presente studio.

Sono state prese in considerazione la durata delle fasi che compongono il salto, ricavate dal conteggio del numero di fotogrammi compresi tra gli istanti di impatto e stacco di ciascuna fase ed, espresse in secondi (s).

- Durata della battuta in pedana (Tempo PED)
- Durata del primo volo (Tempo V1)
- Durata della spinta sulla tavola (Tempo TAV)

Gli spostamenti orizzontali (x) calcolati per differenza tra le coordinate x del centro di massa negli stanti di impatto e stacco ed espressi in metri.

- Lunghezza del primo volo (Spost X CM V1)

Gli spostamenti verticali (z) del centro di massa relativo ad istanti e fasi del movimento anch'essi espressi in metri (m). Per lo studio della traiettoria z del CM è stato necessario identificare delle sottofasi all'interno della fase di appoggio sulla pedana. Le sottofasi identificate sono il Caricamento sulla pedana, identificato dall'istante di impatto sulla pedana fino al raggiungimento dell'altezza minima del CM, che rappresenta appunto l'azione di caricamento elastico della pedana stessa. E la corrispondente fase di Spinta identificata dall'altezza minima raggiunta dal CM sulla pedana fino all'istante di stacco.

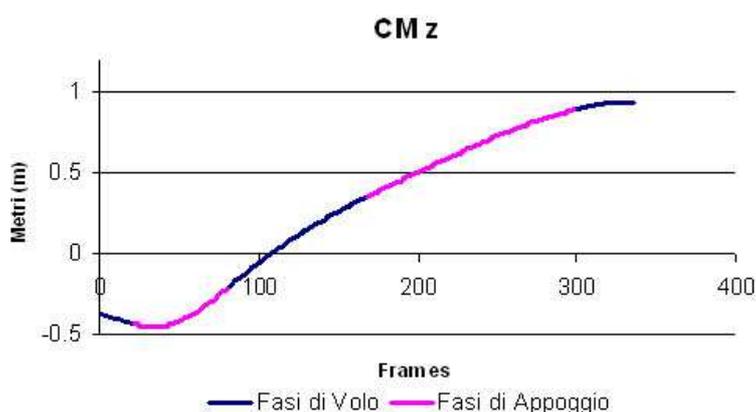


Figura 20

- Discesa del CM in fase di caricamento elastico della pedana (Altez CAR PD)
- Altezza del CM allo stacco dalla pedana (Altez ST PD)

- Ascesa del CM tra l'altezza minima raggiunta in fase di caricamento e lo stacco dalla pedana, che rappresenta la spinta della pedana. (Altez SPT PD)
- Altezza del CM allo stacco dalla tavola (Altez ST TV)
- Spostamento verticale del CM tra l'impatto e lo stacco dalla pedana, detta altezza relativa allo stacco dalla tavola. (Altez Rel ST TV)

E' stata poi presa in considerazione le velocità del centro di massa derivate dai dati spaziali e temporali e riportati in metri al secondo ($m*s^{-1}$). Sono state considerate la componente orizzontale (x) e verticale (z) in tutti gli istanti di impatto e stacco, le loro variazioni durante le fasi di appoggio e, la velocità risultante al momento dello stacco.

- Velocità orizzontale all'impatto e allo stacco con la pedana (Vel x Imp PED; Vel x Stac PED)
- Velocità verticale all'impatto e allo stacco con la pedana (Vel z Imp PED; Vel z Stac PED)
- Velocità risultante allo stacco dalla pedana (Vel Ris Stac PED)
- Variazione della velocità orizzontale e verticale sulla pedana (Δ Vel x PED; Δ Vel z PED)
- Velocità orizzontale all'impatto e allo stacco con la tavola (Vel x Imp TAV; Vel x Stac TAV)
- Velocità verticale all'impatto e allo stacco con la tavola (Vel z Imp TAV; Vel z Stac TAV)
- Velocità risultante allo stacco dalla tavola (Vel Ris Stac TAV)
- Variazione della velocità orizzontale e verticale sulla tavola (Δ Vel x TAV; Δ Vel z TAV)

E' stato poi calcolato l'angolo corporeo negli istanti di impatto e stacco. Come descritto dalla letteratura, quest'angolo è stato individuato come tra il piano orizzontale e la retta che unisce il punto di appoggio dei piedi o delle mani con il centro di massa (Figura 21). L'angolo è stato calcolato per mezzo di una funzione trigonometrica ed espresso in gradi.

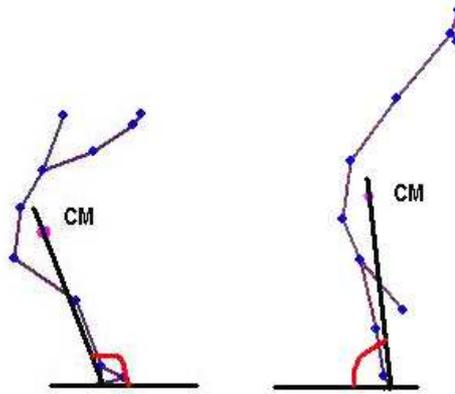


Figura 21 – Angolo Corporeo

- Angolo corporeo all’impatto e allo stacco con la pedana (Ang Imp PED; Ang Stac PED)
- Angolo corporeo all’impatto e allo stacco con la tavola (Ang Imp TAV; Ang Stac TAV)
- Angolo spazzato sulla tavola dal CM (Δ Ang TAV)

In fine sono state calcolate le velocità angolari del centro di massa relative agli istanti di impatto e stacco prima dalla pedana e poi dalla tavola espresse in radianti al secondo ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$):

- Velocità angolare del CM all’impatto e allo stacco dalla pedana (Vel Ang Imp PED; Vel Ang Stac PED)
- Velocità angolare del Cm all’impatto e allo stacco dalla tavola (Vel Ang Imp TAV; Vel Ang Stac TAV)

Elaborazione dei dati e selezione delle variabili dinamiche

Le forze verticali (F_z) e orizzontali (F_x) sono state normalizzate usando due metodi: Forza per unità di massa corporea (es. per Kilogrammo) ed, in aggiunta attraverso un fattore allometrico in accordo con le raccomandazioni di Jaric per i dati di forza (forza per unità di massa corporea 0.67 power, i.e., $\text{N}/\text{kg}^{0.67}$) (Jaric 2003) . Il primo metodo è stato usato per facilitare il confronto con i dati della letteratura, mentre il secondo metodo è da preferirsi per variabili che hanno delle relazioni molto complesse con le dimensioni corporee.

L'impatto iniziale sulla tavola è stato identificato in concomitanza con la prima inflessione presente nel grafico della forza verticale. L'inizio della fase di contatto è stato determinato calcolando la media e la deviazione standard del segnale registrato durante il periodo di non contatto, considerato come rumore di fondo, e poi cercando il primo valore superiore al doppio della deviazione standard. Lo stacco dalla tavola è stato determinato applicando lo stesso metodo al contrario.

Sono stati, quindi, individuati i picchi di forza, sia orizzontali (Picco Fx) che verticali (Picco Fz) in corrispondenza del primo punto di massimo presente nei rispettivi grafici subito dopo l'impatto.

Il tempo per raggiungere il picco di forza (Tempo Picco Fx; Tempo Picco Fz), misurato in secondi, è stato calcolato come differenziale tra l'istante di impatto e l'istante in cui si raggiunge il picco, calcolato sia per la componente verticale che orizzontale. Queste variabili sono state determinate separatamente per entrambe le mani.

Per l'impulso di forza (Impulso Fx; Impulso Fz), espresso in N*s è stata stimata l'area sottesa da ciascun grafico di forza attraverso il calcolo dell'integrale secondo il metodo dei trapezoidi in entrambe le componenti.

Analisi statistica

L'analisi statistica dei dati è stata effettuata con SPSS (Version 13.0, SPSS, Inc. Chicago, IL, USA), Excel 2003 (11.8033.8036 Redmond, WA, USA), e gli algoritmi di Hopkins (2007).

Per tutte le variabili è stata verificata la normalità in distribuzione in accordo con la procedura di Shapiro- Wilks.

L'attendibilità è stata eseguita testando le differenze tra le due prove registrate per ciascuna atleta utilizzando l'intraclass correlation coefficients (ICC, alpha). Sebbene l'attendibilità delle prove sia risultata accettabile per la maggior parte delle variabili (alpha da 0,26 a 0,85), per alcune variabili si è riscontrata una marcata variabilità, non sempre catturata dall' ICC, ma messa in evidenza da un errore relativo

tra le prove superiore al 20%. Le variabili sulle quali si è avuto tale riscontro sono lo spostamento verticale del CM durante il caricamento della pedana, la velocità verticale di impatto con la pedana e la velocità orizzontale e verticale allo stacco dalla tavola. La variabilità di questi parametri è da considerarsi scontata poiché legati a fattori del tutto personali quale, la massa corporea, la potenza e la precisione della rincorsa, e le capacità di forza. Inoltre, la variabilità individuale delle atlete nella performance al volteggio è già stata descritta da precedenti analisi cinematiche (Dainis 1979) e testimoniata anche dal divario di circa settanta decimi tra i giudizi assegnati all'esecuzione ripetuta di un salto da parte della stessa ginnasta (Sands 1984). Vista la natura esplorativa di questo studio e la variabilità riscontrata nella prestazione individuale, le 24 prove collezionate sono state considerate singolarmente piuttosto che come media per ciascuna atleta.

Il test t per campioni appaiati è stato usato per accertare le differenze tra le variabili dinamiche relative alla mano destra (DX) e sinistra (SN). E' stato, inoltre stimato l'Effect size (d) (Cohen 1988).

Le correlazioni tra le variabili sono state calcolate con il coefficiente di Pearson ($P < 0,05$).

Statistica descrittiva

La statistica descrittiva delle variabili cinematiche e dinamiche è stata eseguita calcolando la media (m), la deviazione standard (ds) e il coefficiente di variabilità, quest'ultimo espresso in termini di percentuale (cv%).

METODI PER LO STUDIO DELLA PRESTAZIONE DI GARA

Movimenti analizzati

Per lo studio della prestazione di gara sono stati selezionati salti appartenenti al gruppo strutturale Yurchenko, quindi con entrata dalla rondata flic. I volteggi eseguiti sono stati, Yurchenko e salto teso con un avvitamento, Yurchenko e salto dietro teso e, Flic avvitato e salto dietro carpiato.

Yurchenko e salto dietro teso con un avvitamento (YUta)

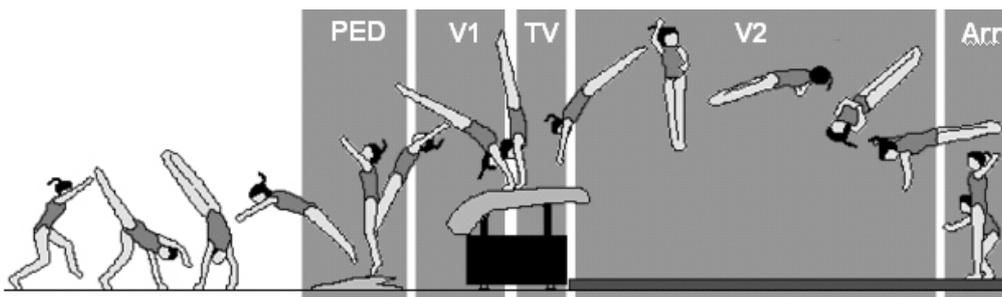


Figura 22 – Yurchenko e salto dietro teso con avvitamento

Consiste nell'esecuzione di una rondata con arrivo in pedana di spalle all'attrezzo, un flic indietro con il quale si prende contatto con la tavola in presa palmare. Nella seconda fase di volo si esegue un salto giro dietro (540°) in atteggiamento teso durante il quale la ginnasta effettua contemporaneamente una rotazione attorno all'asse trasversale e uno attorno a quello longitudinale (360°).

Il valore di difficoltà di questo salto è di 5,00 punti (P_A)

Yurchenko e salto dietro teso (YUt)

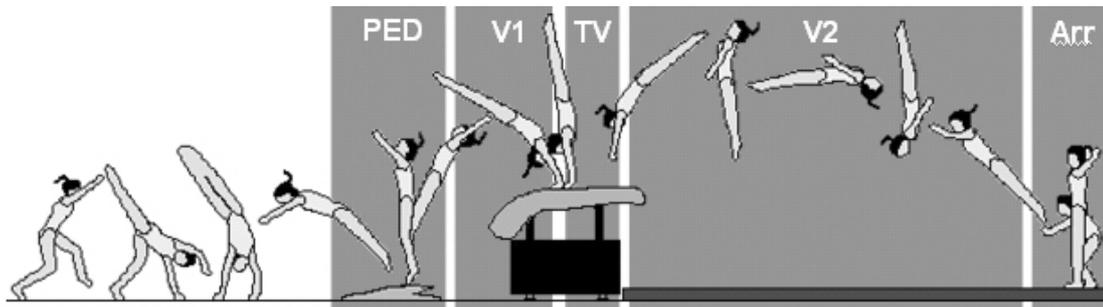


Figura 23 – Yurchenko e salto dietro teso

Consiste nell'esecuzione di una ronzata con arrivo in pedana di spalle all'attrezzo, un flic indietro con il quale si prende contatto con la tavola in presa palmare. Nella seconda fase di volo si esegue un salto giro dietro, ruotando attorno all'asse trasversale del corpo (540°) in atteggiamento teso.

Il valore di difficoltà di questo salto è di 4,40 punti (P_A)

Yurchenko avvitato e salto dietro carpiato (YUc)

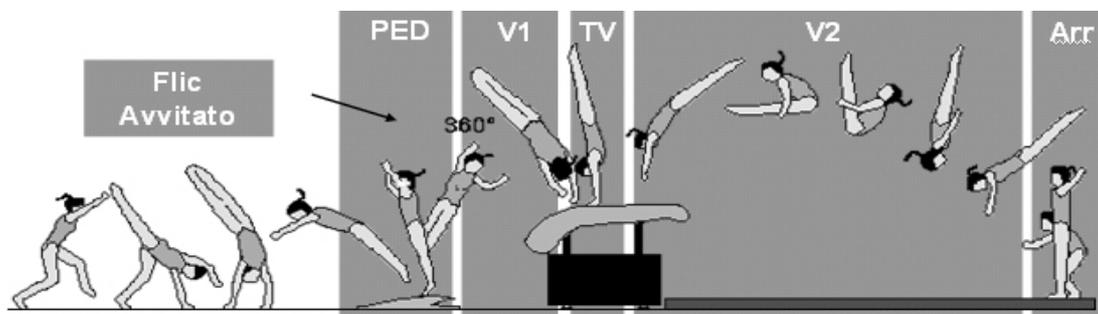


Figura 24 – Yurchenko avvitato e salto dietro carpiato

Consiste nell'esecuzione di una ronzata con arrivo in pedana di spalle all'attrezzo, un flic indietro con il quale si prende contatto con la tavola in presa palmare. Nella prima fase di volo la ginnasta esegue una rotazione di 360° attorno all'asse longitudinale del corpo, che deve essere completato per almeno 240° prima dell'impatto con la tavola. Nella seconda fase di volo si esegue un salto giro dietro (540°) in atteggiamento carpiato.

Il valore di difficoltà di questo salto è di 4,80 punti (P_A)

Fasi del movimento

Per ciascun salto sono stati individuati tutti gli istanti di impatto e stacco, prima con la pedana, e poi con la tavola, e le relative fasi. Gli impatti (Imp) e gli stacchi (Stac) sono stati identificati nei filmati ad alta frequenza.

- La battuta in pedana, dall'impatto allo stacco dei piedi sulla pedana. (PED)
- Il primo volo, dallo stacco dei piedi dalla pedana all'impatto delle mani sulla tavola (V1).
- La spinta sulla tavola., dall'impatto allo stacco delle mani sulla tavola (TAV)
- Il secondo volo, dallo stacco delle mani dalla tavola all'impatto dei piedi sul tappeto di arrivo (V2).

Soggetti

Hanno preso parte alla sperimentazione 16 delle 18 ginnaste della seria A1 partecipanti alla terza prova del Campionato Italiano a Squadre svoltasi a Parma nel 2006. Le 16 ginnaste sono state selezionate in base all'esercizio di gara. Le acquisizioni durante la competizione sono state effettuate previa autorizzazione del presidente nazionale della FGI e del comitato organizzativo. Per ragioni di ordine pratico e logistico legate alla competizione stessa, non è stato possibile effettuare alcuna misurazione antropometrica alle ginnaste. Le 16 atlete selezionate hanno un'età compresa tra i 16 e i 20 anni, 10 di loro appartengono alla squadra nazionale italiana (8 squadra A e 2 squadra B). Il campione selezionato è stato suddiviso in tre sottogruppi in base al tipo di salto eseguito, con la seguente modalità:

- Gruppo YUta :YU + salto teso avvitato (n 5)
- Gruppo YUt: YU + salto teso (n 7)
- Gruppo YUc: YU + salto carpiato (n 4)

Per ciascuna ginnasta è stato possibile determinare la dominanza corporea in base al lato utilizzato per eseguire la rondana.

Nella tabella 3 è sintetizzato il report di gara. Per ciascuna ginnasta, indicata con il nome della squadra di affiliazione, sono riportati, il tipo di salto

eseguito, il punteggio A (P_A), il punteggio B (P_B) e il totale, come riportati nel referto ufficiale di gara. Sono poi indicate le Penalità totali, le Penalità Parziali, le Penalità riferite alla seconda fase di volo e le deduzioni relativi agli spostamenti all'arrivo, derivati dall'analisi delle prove fatta a posteriori con un giudice internazionale.

Strumentazioni

I salti volteggi sono stati filmati con tre telecamere ad alta frequenza (BASLER 610, 3CCD, 1Mpixel) operanti a 100 Hz e posizionate con un angolo approssimativo di 120° tra gli assi ottici (figura 25). La calibrazione dello spazio di acquisizione è stata effettuata per mezzo di una struttura di metallo di forma cubica (100 x 110 x 110 cm) comprendente 8 marcatori. I fotogrammi di calibrazione sono stati acquisiti con il cubo posizionato di fronte alla struttura del volteggio al posto della pedana di battuta. L'asse x del sistema di riferimento tridimensionale (3D) è stato orientato lungo la corsia di rincorsa, l'asse z ortogonalmente al pavimento e l'asse y ortogonale al piano x-z.

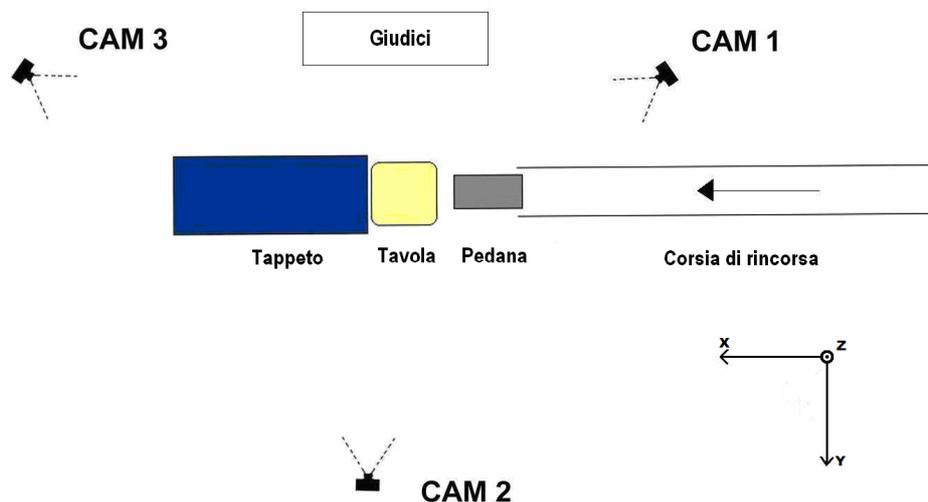


Figura 25

Per ciascuna prova sono stati digitalizzati circa 150 fotogrammi per ognuna delle tre telecamere (totale circa 450 fotogrammi a soggetto), con il software SIMI Motion Systems.

Il corpo delle atlete è stato caratterizzato con 19 punti digitalizzati manualmente da due operatori esperti, senza alcun marcatore su entrambi i lati (destro e sinistro) del corpo nelle seguenti posizioni in corrispondenza di: a) punta del piede, b) tallone; e dei centri articolari di c) caviglia, d) ginocchio, e) anche, f) spalla, g) gomito, h) polso, i) mano (base della 3^a falange), l) centro del contorno della testa, m) punta del naso. E' stato quindi delineato un modello corporeo a 14 segmenti utilizzato per il calcolo del CM secondo i parametri di Dempster (1955).

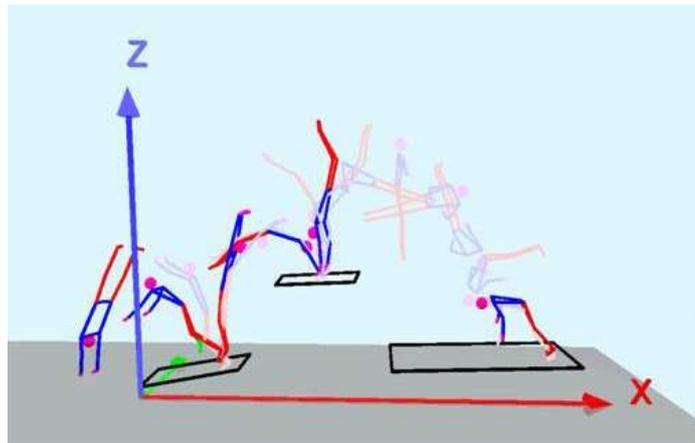


Figura 26

Poiché le condizioni di gara non consentono l'utilizzo di marcatori sul corpo dell'atleta, gli errori di digitalizzazioni riscontrati dal controllo delle variazioni nella lunghezza dei segmenti superiori al doppio della deviazione standard sono stati corretti tramite ridigitalizzazione.

Il controllo parziale dell'esperimento, limitato dalle condizioni di gara, in particolar modo dall'impossibilità di individuare i punti corporei con dei marcatori, affidando la precisione della digitalizzazione quasi esclusivamente all'esperienza degli operatori, hanno reso necessario un controllo dell'accuratezza dei dati. E' stata quindi, effettuata una verifica per testare le differenze intra ed inter- operatore. L'accuratezza dei dati è stata testata sulle coordinate x,y e z del CM relative ad una prova estratta casualmente. Un campione di 100 fotogrammi è stato digitalizzato tre volte, due volte dall'operatore 1 e una dall'operatore 2. Le differenze sono state poi verificate tramite sovrapposizione delle traiettorie, e misurate attraverso il calcolo dello scarto quadratico medio (SQM), linearità (r) e Standard Estimated Error (SEE)

(Tabella 2). I risultati indicano che le differenze intra ed inter operatore possono considerarsi trascurabili e che i dati analizzati sono sufficientemente accurati.

	SQM	r	SEE
CMx intra	0.01	1.00	0.01
CMy intra	0.01	0.93	0.01
CMz intra	0.01	1.00	0.01
CMx inter 1	0.02	1.00	0.02
CMy inter 1	0.01	0.75	0.01
CMz inter 1	0.01	1.00	0.01

Tabella 2

Elaborazione dei dati e selezione delle variabili cinematiche

Le traiettorie delle coordinate dei punti digitalizzati sono state filtrate con un filtro Butterworth passabasso di secondo ordine (cut-off 8 Hz).

Per l'analisi cinematica dei salti Yurchenko sono state selezionate le seguenti variabili suddivise in variabili temporali, lineari ed angolari.

Sono state prese in considerazione la durata complessiva del salto e delle sue fasi espresse in secondo (s).

- Durata della battuta in pedana (Tempo PED)
- Durata del primo volo (Tempo V1)
- Durata della spinta sulla tavola (Tempo TAV)
- Durata del secondo volo (Tempo V2)
- Durata totale

Gli spostamenti orizzontali del centro di massa espressi in metri (m) calcolati dalle coordinate della traiettoria x del CM.

- Spostamento orizzontale sulla pedana (Spost X PED)
- Lunghezza del primo volo (Lungh V1)
- Spostamento orizzontale sulla tavola (Spost X TAV)
- Lunghezza del secondo volo (Lungh V2)
- Lunghezza totale del salto

Gli spostamenti verticali del centro di massa relativo ad istanti e fasi del movimento anch'essi espressi in metri (m) e calcolati dalle coordinate z del CM.

- Altezza del CM all'impatto con la pedana (Altez CM Imp PED)
- Altezza minima raggiunta dal CM in fase di caricamento elastico della pedana (Min CM PED)
- Altezza del CM allo stacco dalla pedana (Altez CM Stac PED)
- Spostamento verticale del CM tra l'impatto e lo stacco dalla pedana, detta altezza relativa allo stacco dalla pedana (Altezz Rel CM Stac)
- Altezza massima relativo al primo volo (Max z V1)
- Altezza del CM all'impatto con la tavola (Altez CM Imp TAV)
- Altezza del CM allo stacco dalla tavola (Altez CM Stac TAV)
- Spostamento verticale del CM tra l'impatto e lo stacco dalla pedana, detta altezza relativa allo stacco dalla tavola (Altez Rel Stac TAV).
- Spostamento verticale (ascesa) del CM tra il punto minimo raggiunto durante la fase di appoggio sulla tavola e lo stacco dalla tavola (Asc CM TAV)
- Picco verticale, relativo alla seconda fase di volo (Max z V2)
- Ascesa del CM dallo stacco dalla tavola all'apice della parabola del secondo volo (Asc CM V2)
- Altezza del CM nell'istante di arrivo sul tappeto (z CM ARR).

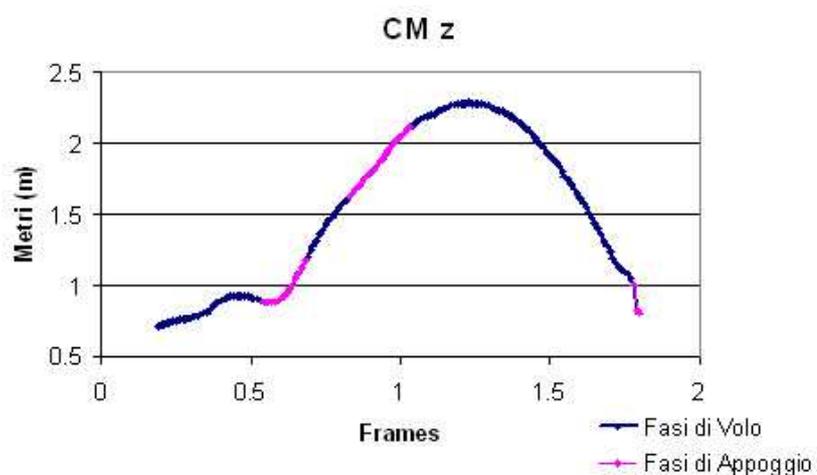


Figura 27

Sono stati considerati i seguenti spostamento trasversali (y) del centro di massa espressi in metri (m).

- Spostamento trasversale sulla pedana (Spost Y PED)
- Spostamento trasversale durante il primo volo (Spost Y V1)
- Spostamento trasversale sulla tavola (Spost Y TAV)
- Spostamento trasversale durante il secondo volo (Spost Y V2)

E' stata poi presa in considerazione le velocità del centro di massa derivate dai dati spaziali e temporali e riportati in metri al secondo ($m \cdot sec^{-1}$). Sono state considerate la componente orizzontale e verticale in tutti gli istanti di impatto e stacco, le loro variazioni durante le fasi di appoggio e, la velocità risultante al momento dello stacco.

- Velocità orizzontale all'impatto e allo stacco con la pedana (Vel x Imp PED; Vel x Stac PED)
- Velocità verticale all'impatto e allo stacco con la pedana (Vel z Imp PED; Vel z Stac PED)
- Velocità trasversale all'impatto e allo stacco dalla la pedana (Vel y Imp PED; Vel y Stac PED)
- Velocità risultante allo stacco dalla pedana (Vel Ris Stac PED)
- Variazione della velocità orizzontale, verticale e trasversale sulla pedana ($\Delta Vel x PED$; $\Delta Vel z PED$; $\Delta Vel y PED$)
- Velocità orizzontale all'impatto e allo stacco con la tavola (Vel x Imp TAV; Vel x Stac TAV)
- Velocità verticale all'impatto e allo stacco con la tavola (Vel z Imp TAV; Vel z Stac TAV)
- Velocità trasversale all'impatto e allo stacco dalla tavola (Vel y Imp TAV; Vel y Stac TAV)
- Variazione della velocità orizzontale, verticale e trasversale sulla pedana ($\Delta Vel x TAV$; $\Delta Vel z TAV$; $\Delta Vel y TAV$).

E' stato calcolato l'angolo corporeo negli istanti di impatto e stacco. Come descritto dalla letteratura, quest'angolo è stato individuato come tra il piano orizzontale e la retta che unisce il punto di appoggio dei piedi o delle mani con il

centro di massa. L'angolo è stato calcolato per mezzo di una funzione trigonometrica ed espresso in gradi ($^{\circ}$).

- Angolo corporeo all'impatto e allo stacco con la pedana (Ang Imp PED; Ang Stac PED)
- Angolo spazzato dal corpo durante la fase di battuta in pedana (Δ Ang PED)
- Angolo corporeo all'impatto e allo stacco con la tavola (Ang Imp TAV; Ang Stac TAV)
- Angolo spazzato dal corpo durante la fase di spinta sulla tavola (Δ Ang TAV)
- Angolo corporeo all'arrivo sul tappeto (Ang ARR)

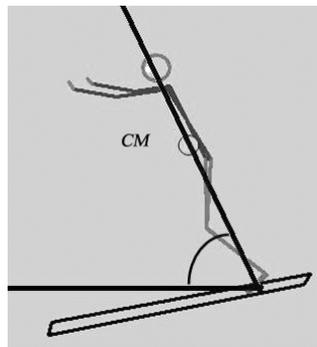


Figura 28 - Angolo Corporeo

Sono state calcolate le velocità angolari dell'angolo corporeo espresse in radianti al secondo ($\text{rad} \cdot \text{s}$).

- Velocità angolare del CM all'impatto e allo stacco con la pedana (VAng IMP PED; Vel Ang Stac PED)
- Velocità angolare del CM all'impatto e allo stacco della tavola (V Ang Imp TAV; Vel Ang Stac TAV)

Sono stati descritti gli angoli dei segmenti relativi alle catene cinetiche coinvolte nelle azioni di spinta sulla pedana e sulla tavola come segue:

- Angolo del ginocchio all'impatto e allo stacco con la pedana (Gin Imp PED; Gin Stac PED) e all'arrivo sul tappeto (Gin ARR)

- Angolo dell'anca all'impatto e allo stacco con la pedana (Anca Imp PED; Anca Stac PED) e con la tavola (Anca Imp TAV; Anca Stac TAV) e all'arrivo sul tappeto (Anca ARR)
- Angolo della spalla all'impatto e allo stacco con la pedana (Spalla Imp PED; Spalla Stac PED) e con la tavola (Spalla Imp TAV; Spalla Stac TAV) e all'arrivo sul tappeto (Spalla ARR)
- Angolo del gomito all'impatto e allo stacco con la tavola (Gom Imp TAV; Gom Stac TAV)

Le velocità degli angoli segmentari selezionati sono stati i seguenti ed espressi in radianti al secondo (rad*s)

- Velocità angolare della spalla sulla pedana (Vel Ang Spalla PED)
- Velocità angolare dell'anca sulla pedana. (Vel Ang Anca PED)

Analisi statistica

Considerando la numerosità limitata del campione, soprattutto quando è analizzato in sottogruppi per tipologia di movimento e, dato che molte delle variabili selezionate hanno fallito il test di normalità secondo Shapiro-Wilk, l'analisi statistica è stata condotta utilizzando test non parametrici.

Le differenze tra l'arto dominate e non dominate sono state verificate attraverso il test per campioni appaiati di tipo non parametrico (Mann-Whitney).

Le differenze tra i tre tipi di salti sono state misurate con il test non parametrico Kruskal- Wallis. ($p < 0,05$)

Le differenze tra i salti, considerati due alla volta, sono state, invece calcolate con il test non parametrico Mann-Whitney .

I tre tipi di salto Yurchenko sono significativamente differenti tra loro in base al test non parametrico Kruskal- Wallis. Le differenze tra lo YUta e YUt non sono significative per le variabili della fase di battuta in pedana e di primo volo (test Mann-Whitney). Sono significative le differenze tra questi due salti nelle fasi di spinta sulla tavola e di secondo volo. Sono risultante, invece significative le differenze tra i

due precedenti tipi di Yurchenko e il flic avvitato e salto dietro dietro carpiato in tutte le fasi.

Dal riscontro dei seguenti risultati nell'analisi descrittiva i tre salti sono stati esaminati singolarmente, mentre per l'implementazione dei modelli deterministici si è tenuto conto degli aspetti in comune e delle differenze.

Statistica descrittiva

La statistica descrittiva delle variabili cinematiche è stata eseguita calcolando la media (m), la deviazione standard (ds) e il coefficiente di variabilità ($cv\%$), quest'ultimo espresso in termini di percentuale.

Elaborazione dei dati relativi ai punteggi di gara

Al fine di eseguire un'analisi approfondita e significativa della prestazione, il punteggio B riportato nel referto ufficiale di gara è stato considerato nel modo seguente.

Sono state innanzitutto calcolate le penalità totali sottraendo al punteggio B teorico di partenza pari a 10, il punteggio assegnato dalla giuria B.

A questo punto dalle penalità complessive ottenute da ciascuna ginnasta sono stati sottratti le penalità specifiche, segnalate nel feretro di gara e, assegnate, quando la ginnasta arriva fuori dall'area consentita (-0,30) o sulla linea di demarcazione dell'area consentita stessa (-0,10). Oltre alle penalità specifiche, sono state sottratte anche le penalità assegnate per gli spostamenti, in termini di balzi o passi, piccoli (-0,10) o grandi (0,30) eseguiti in fase di arrivo ed identificate dall'analisi dei filmati con la collaborazione di un giudice internazionale affiliato alla Federazione Ginnastica D'Italia (FGI). Queste penalità non sono state prese in considerazione in quanto fattori non controllabili direttamente nel presente studio.

Le penalità così ottenute sono indicate nella tabella 3 come Penalità Parziali, e rappresentano in maniera più dettagliata l'esecuzione di ciascuna ginnasta. Successivamente, sottoponendo al giudice i filmati e le Penalità Parziali calcolate, sono state individuate le penalità relative alla fase di secondo volo. Questa ulteriore scomposizione delle penalità è stata eseguita per capire come la meccanica delle

precedenti fasi, dalla battuta in pedana allo stacco dalla tavola, possano influenzare la parte più importante della prova, il secondo volo.

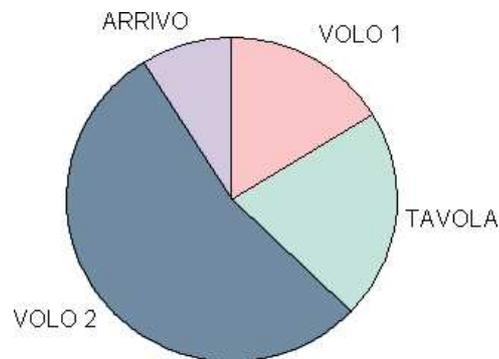


Figura 29

Ginnaste	Salto	A	B	Penalità Parziali	Arrivo	Volo2	
Brixia 1	Yu + teso avv	5.00	8.65	1.35	1.05	0.30	0.60
Brixia 2	Yu + teso avv	5.00	9.10	0.90	0.80	0.10	0.40
Trieste 2	Yu + teso avv	5.00	9.20	0.80	0.50	0.30	0.30
Lissone 2	Yu + teso avv	5.00	9.45	0.55	0.25	0.30	0.10
Padova 2	Yu + teso avv	5.00	8.15	1.85	1.55	0.30	0.60
Parma 1	Flic avv + carpio	4.80	8.30	1.70	1.70	0.00	0.90
Roma 1	Flic avv + carpio	4.80	8.10	1.90	1.60	0.30	0.90
Roma 2	Flic avv + carpio	4.80	9.15	0.85	0.55	0.30	0.30
Brescia 1*	Flic avv + carpio	4.80	8.95	1.05	0.45	0.30	0.20
Parma 2	Yu + teso	4.40	8.80	1.20	1.20	0.00	0.70
Trieste 1	Yu + teso	4.40	8.90	1.10	0.80	0.30	0.60
Lissone 1	Yu + teso	4.40	8.65	1.35	1.05	0.30	0.40
Mestre 2	Yu + teso	4.40	8.90	1.10	0.80	0.30	0.50
Catania 1*	Yu + teso	4.40	8.75	1.25	0.85	0.30	0.00
Catania 2	Yu + teso	4.40	9.15	0.85	0.75	0.10	0.30
Padova 1	Yu + teso	4.40	9.05	0.95	0.85	0.10	0.60

* penalità specifiche di arrivo

Tabella 3

Il modello deterministico

L'analisi complessiva dei dati è stata effettuata per mezzo dei modelli deterministici.

I modelli matematici di tipo deterministico vengono utilizzati in diversi ambiti delle scienze per rappresentare i processi di causa-effetto alla base dei fenomeni naturali. Essi offrono una rappresentazione idealizzata della realtà espressa attraverso relazioni logico-matematiche tra le variabili caratteristiche del fenomeno osservato. Dallo studio del modello è possibile comprendere e prevedere l'evoluzione del fenomeno, analizzare le relazioni tra le diverse variabili e, capire l'influenza di un certo fattore, in modo da poter poi intervenire direttamente nella realtà.

Al fine di poter meglio comprendere il problema in esame è opportuno che nella costruzione di un modello si evidenzino solo le variabili più significative, cercando comunque di descrivere il fenomeno nella maniera più accurata possibile.(Pontrelli e Di Liddo 2000).

I modelli deterministici di questo progetto sono stati implementati seguendo le indicazioni di Hay e Takei. Nella sezione descrittiva della ribaltata frontale il modello è stato utilizzato per studiare le relazioni tra le variabili dinamiche della spinta sulla tavola e le variabili cinematiche della fase di battuta in pedana, primo volo e appoggio sulla tavola. Per l'analisi della prestazione, invece, i modelli sono stati utilizzati per evidenziare gli errori meccanici che hanno determinato l'assegnazione delle penalità da parte della giuria.

Le correlazioni sono state misurate con il coefficiente di correlazione non parametrico rho di Spearman ($p < 0.05$).

RISULTATI E DISCUSSIONI

Nel seguente capitolo vengono riportati e discussi i risultati inerenti la statistica descrittiva del seguente lavoro in relazione a quelli della letteratura sia per il volteggio frontale che per quello dorsale.

RISULTATI E DISCUSSIONI RELATIVI ALLO STUDIO DEL MODELLO DI PRESTAZIONE

Dati cinematici

Sono di seguito riportati e discussi i dati relativi alle variabili cinematiche selezionate per lo studio del modello di prestazione della ribaltata.

Durate temporali

Le durate medie registrate per ognuna delle tre fasi prese in considerazione per la ribaltata frontale sono raccolte nella tabella 4. Nella tabella 5 successiva, sono invece, riportati i valori medi delle stesse fasi riportati in letteratura.

	Durate (s)		
	Pedana	Volo 1	Tavola
m	0,120	0,184	0,246
ds	0,01	0,04	0,04
cv (%)	5	21	16

Tabella 4

	Durate (s)			
	N	Pedana	Volo 1	Cavallo
Rose-Hyvonem, 1977	3	0,120	0,300	0,210
Dainis, 1979	10	-	-	0,210
Dainis, 1981	4	-	0,260	0,180
Nelson, 1985	2	0,100	0,160	0,170
Takei, 1990	24	0,137	0,235	0,245

Tabella 5

La fase di battuta in pedana ha una durata media di $0,120 \pm 0,01$ s. La fase di primo volo dura in media $0,184 \pm 0,04$ s, mentre la fase più lunga è quella di spinta sulla tavola pari a $0,246 \pm 0,04$ s.

Le maggiori differenze con i dati della letteratura si sono riscontrate nella fase di primo volo e di appoggio sulla tavola/cavallo. Infatti, mentre nel presente studio la fase di primo volo ha una durata intermedia tra la fase di battuta in pedana e di appoggio sulla tavola, dai precedenti studi risulta che questa fase aveva una durata superiore (Rose- Hyvonem 1977 e Dainis 1981) o leggermente inferiore (Nelson 1985, Takei 1990) alla successiva fase di spinta sul cavallo. Considerando la durata della fase di spinta con gli arti superiori, il risultato del presente studio $0,246 \pm 0,04$ s è paragonabile solo a quello riportato da Takei 0,245 s. Rispetto alla maggior parte dei lavori, la durata media della spinta sulla tavola è risultata essere più lunga di quella sul cavallo. Questa modifica può essere determinata dall'esigenza di dover valicare un attrezzo tre volte più lungo.

Spostamenti orizzontali del centro di massa

Le tabelle sottostanti (Tab 6 e 7) riportano i dati relativi agli spostamenti orizzontali del CM durante la fase di primo volo tra la battuta in pedana e l'impatto con l'attrezzo.

Spostamenti orizzontali CM (m)	
	Volo 1
m	0,781
ds	0,18
cv (%)	23

Tabella 6

Spostamenti orizzontali CM (m)		
	n	Volo 1
Rose-Hyvonem, 1977	3	2,010
Takei, 1990	24	1,070

Tabella 7

Dall'osservazione dei dati nelle due tabelle, la prima relativa all'esecuzione sulla tavola e la seconda al cavallo, è possibile notare nuovamente come questa fase del movimento si sia ridotta non solo nella durata temporale, ma anche nello sviluppo spaziale orizzontale ($0,781 \pm 0,18$ m vs 2,010 m e 1, 070 m). Tale differenza è dovuta non solo al cambiamento di attrezzo, ma, considerando gli anni a cui la letteratura fa riferimento, anche alla diversa interpretazione del gesto da parte delle ginnaste. Negli

anni '70-'80, infatti, l'esecuzione della ribaltata al volteggio era caratterizzata da un primo volo spesso più lungo del secondo.

Spostamenti verticali del centro di massa

Nella tabella 8 sono riportati i valori degli spostamenti verticali del CM nelle fasi e sottofasi identificate durante la battuta in pedana, e durante la fase di spinta sulla tavola. Nella tabella 9, sono riportati i risultati della letteratura.

I valori negativi indicano lo spostamento del CM verso il basso, mentre quelli positivi verso l'alto.

	Spostamenti verticali CM (m)				
	CAR PD	SPT PD	ST PD	Rel ST TV	ST
m	-0,019	0,237	0,207	0,548	1,798
ds	0,01	0,02	0,03	0,10	0,10
cv (%)	48	9	16	17	5

Tabella 8

	Spostamenti verticali CM (m)	
	n	Rel ST CV
Takei, 1989	40	0,510*
Takei, 1990	24	0,380

Tabella 9

Per la fase di caricamento della pedana è importante notare che, nonostante la pedana venga caricata dalle ginnaste con estrema potenza, cosa evidente anche dalla quasi totale compressione della pedana che si osserva nei filmati ad alta frequenza, l'azione coordinata di slancio degli arti superiori verso l'alto riduce al minimo lo spostamento verso il basso del CM (solo $0,019 \pm 0,01$ m). La notevole variabilità di questa azione pari al 48% è legata a diversi fattori quali la massa del soggetto, il punto in cui viene impattata la pedana (non uniformemente elastica) e, le strategie personali di battuta in pedana. La successiva azione di spinta è quindi, di sfruttamento dell'energia elastica, è più evidente (valore medio di $0,237 \pm 0,02$ m) e meno variabile (cv 9%). L'altezza del CM allo stacco dalla pedana ha un valore medio

di $0,207 \pm 0,03$ m. Per quanto riguarda lo spostamento verticale del CM tra l'impatto e lo stacco sulla tavola, ha un valore medio di $0,548 \pm 0,10$ m (cv 17%) mentre, il valore puntuale riferito al solo istante di stacco, ha un valore di $1,798 \pm 0,10$ m.

Lo spostamento relativo verso l'alto, del CM sulla tavola ha un valore nettamente superiore a quello riportato da Takei nel 1990 (0,380 m) riferito all'esecuzione sul cavallo. Risulta, invece, molto vicino al valore riscontrato dallo stesso autore nello studio della ribaltata eseguita dai maschi (0,510 m). Questo confronto potrebbe far pensare che la maggiore lunghezza della tavola oggi come la maggiore lunghezza del vecchio cavallo longitudinale maschile, inducano ad un maggiore spostamento verticale del CM durante la fase di appoggio sull'attrezzo.

Velocità del centro di massa

Nella prima tabella (10) sono riportate le velocità del CM espresse nella componente orizzontale e verticale, la seconda tabella (11) riassume i risultati della velocità risultante. Nell'ultima tabella (12) sono raccolti i dati della letteratura.

Velocità Orizzontale CM ($m*s^{-1}$)						
	Imp PD	Stac PD	Δ PD	Imp TV	Stac TV	Δ TV
m	6,48	4,45	-2,04	4,08	2,88	-1,20
ds	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4
cv (%)	7	9	17	10	15	37
Velocità Verticale CM ($m*s^{-1}$)						
	Imp PD	Stac PD	Δ PD	Imp TV	Stac TV	Δ TV
m	-1,00	3,98	4,99	2,30	1,45	-0,86
ds	0,4	0,2	0,5	0,3	0,4	0,4
cv (%)	38	5	9	13	30	50

Tabella 10

Velocità Risultante CM ($m*s^{-1}$)		
	Stac PD	Stac CV
m	5,98	3,17
ds	0,3	0,6
cv (%)	5	19

Tabella 11

La velocità orizzontale del CM all’impatto e allo stacco dalla pedana ha un valore medio rispettivamente di $6,48 \pm 0,4 \text{ m*s}^{-1}$ e $4,45 \pm 0,4 \text{ m*s}^{-1}$. La componente verticale relativa allo stesso istante ha, invece un valore medio di $-1,00 \pm 0,4 \text{ m*s}^{-1}$ e, di $3,98 \pm 0,2 \text{ m*s}^{-1}$ allo stacco dalla pedana, con un’ampi variabilità all’impatto (cv 38%). I valori della variazione di velocità sulla pedana indicano una decelerazione nella componente orizzontale (valore negativo) di $-2,04 \pm 0,3 \text{ m*s}^{-1}$ e un’accelerazione in quella verticale di $4,99 \pm 0,5 \text{ m*s}^{-1}$, con una maggiore variabilità nella componente orizzontale (cv 17%) rispetto a quella verticale (cv 9%). Il modulo del vettore risultante allo stacco dalla pedana ha un valore pari a $5,98 \pm 0,3 \text{ m*s}^{-1}$.

La scomposizione della velocità sulla tavola è così ripartita $4,08 \pm 0,4 \text{ m*s}^{-1}$ e $2,30 \pm 0,3 \text{ m*s}^{-1}$, rispettivamente per la componente orizzontale e verticale all’impatto. $2,88 \pm 0,4 \text{ m*s}^{-1}$ in orizzontale, e $1,45 \pm 0,4 \text{ m*s}^{-1}$ in verticale, allo stacco dalla tavola. Quest’ultima risulta avere una variabilità pari al 30% che potrebbe essere spiegata come espressione della capacità individuale di ciascuna ginnasta di spingere verso l’alto al momento dello stacco. Analizzando, infatti, anche le variazioni di velocità tra l’impatto e lo stacco si vede che, in entrambe le componenti, si registra una perdita di velocità (valore negativo) pari a $-1,20 \pm 0,4 \text{ m*s}^{-1}$ in orizzontale e $-0,86 \pm 0,4 \text{ m*s}^{-1}$ in verticale, con un’ampia variabilità (rispettivamente del 37% e 50%). Il vettore risultante allo stacco dalla tavola ha un valore medio di $3,17 \pm 0,6 \text{ m*s}^{-1}$.

	Velocità Orizzontale CM (m*s^{-1})						
	n	Imp PD	Stac PD	Δ PD	Imp CV	Stac CV	Δ CV
Rose-Hyvvonem, 1977	3	6,50	4,00	-2,50	4,00	2,60	-1,40
Dainis, 1979	10	-	3,70	-	3,70	2,60	-1,10
Dainis, 1981	4		3,80	-	3,80	2,30	-1,50
Nelson, 1985	2	7,00	5,15	-1,85	5,15	3,70	-1,45
Takei, 1990	24	6,75	4,61	-2,14	4,61	3,11	-1,50
	Velocità Verticale CM (m*s^{-1})						
	n	Imp PD	Stac PD	Δ PD	Imp CV	Stac CV	Δ CV
Rose-Hyvvonem, 1977	3	-0,40	3,20	3,60	1,50	1,00	-0,50
Dainis, 1979	10	-	2,70	-	0,50	1,00	0,50
Dainis, 1981	4	-	3,30	-	-	1,60	-
Nelson, 1985	2	-0,75	3,85	4,60	2,20	2,65	0,45
Takei, 1990	24	-1,15	3,34	4,49	1,26	1,46	0,20

Tabella 12

Dal confronto tra i dati del presente studio e quelli della letteratura (tabella 12) risulta che l'esecuzione della ribaltata sul cavallo necessitava velocità orizzontale di ingresso in pedana leggermente superiore a quella attuale (da 6,50 a 7,00 m*s⁻¹). Questo può essere spiegato sia in relazione ai precedenti risultati inerenti allo sviluppo orizzontale della fase di primo volo, sia ricordando che negli anni '70, si utilizzavano delle pedane con delle proprietà elastiche inferiori a quelle attuali. Quanto al comportamento generale della velocità è evidente che sulla pedana la tendenza generale sia nel presente studio che in quelli della letteratura, indica un rallentamento nella componente orizzontale e un'accelerazione in quella verticale. La velocità verticale allo stacco dalla pedana riscontrata in questo studio è risultata più elevata rispetto ai valori riportati dalla letteratura (3,98 m*s⁻¹ presente studio vs 2,70 m*s⁻¹ e 3,85 m*s⁻¹ letteratura).

Per quanto riguarda la variazione di velocità sulla tavola invece, la componente orizzontale tende sempre a ridursi, anche se in maniera più evidente nell'esecuzione al cavallo (da -1,10 a -1,50 m*s⁻¹), ma le maggiori differenze si hanno nella componente verticale. I dati del presente lavoro mostrano, infatti, che la velocità verticale si riduce di ben -0,86 m*s⁻¹. Nell'esecuzione al cavallo, invece, ha una forte tendenza ad aumentare, da 0,20 a 0,50 m*s⁻¹, fatta eccezione per lo studio di Rose-Hyvnonem del 1977 nel quale si riporta una riduzione di -0,50 m*s⁻¹. Bisogna comunque tener presente, che nel presente studio, alle ginnaste non è stato richiesto di eseguire alcuna evoluzione nella seconda fase di volo, quindi la forte riduzione della velocità verticale sulla tavola potrebbe essere legato anche a questo particolare esecutivo. La velocità orizzontale allo stacco dalla tavola ha un valore superiore a quello riportato da Rose-Hyvnonem (1977) e Dainis (1979, 1981) (2,88 m*s⁻¹ vs 2,60 e 2,30 m*s⁻¹), ma inferiori a quelli di Nelson (1985) e Takei (1990), rispettivamente pari a 3,70 m*s⁻¹ e 3,11 m*s⁻¹. Considerando che quest'ultimi due lavori analizzano una tecnica relativamente più recente, è possibile ipotizzare che la velocità orizzontale sulla tavola rispetto al cavallo, sia diminuita.

Angolo corporeo

La tabella 13 sintetizza i valori medi relativi all'angolo corporeo considerato negli istanti di impatto e stacco dalla pedana e dalla tavola.

	Angolo Corporeo (°)			
	Imp PD	Stac PD	Imp TV	Stac TV
m	112	72	29	87
ds	3	3	8	8
cv (%)	3	4	28	10

Tabella 13

L'impatto e lo stacco dalla pedana vengono eseguiti con un angolo corporeo medio piuttosto elevato (rispettivamente $112 \pm 3^\circ$ e $72 \pm 3^\circ$).

All'impatto con la tavola, invece, l'angolo corporeo è alquanto piccolo, $29 \pm 8^\circ$ con una variabilità del 28%. Questo valore è inferiore al range riportato da Li (1998) compreso tra 35° e 45° (Dainis 1979; Sands et al 2003). Al momento dello stacco dalla tavola il valore medio dell'angolo è di $87 \pm 8^\circ$ con una variabilità pari al 10%.

Velocità angolare del centro di massa

La tabella 14 riporta i dati relativi alla velocità angolare del CM negli istanti di impatto e stacco dalla pedana e dalla tavola.

	Velocità Angolare ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$)			
	Imp PD	Stac PD	Imp CV	Stac CV
m	16.3	10.5	2.1	6.3
ds	0.9	0.9	0.8	1.2
cv (%)	6	8	38	20

Tabella 14

La velocità angolare del CM all'impatto con la pedana è risultata avere un valore medio pari a $16,3 \pm 0,9 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$. Allo stacco dalla pedana la velocità si riduce fino ad un valore medio di $10,5 \pm 0,9 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$.

All'impatto con la tavola la velocità angolare risulta essere in media molto bassa ($2,1 \pm 0,8 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$), mentre al successivo stacco dalla tavola è di $6,3 \pm 1,2 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$. Entrambi i valori relativi all'impatto e allo stacco dalla tavola hanno una variabilità piuttosto elevata (38% Impatto TAV e 20% Stacco TAV).

Descrizione delle Ground Reaction Forces (GRF)

Attraverso l'osservazione dei dati raccolti con le pedane di forza, si è cercato prima di tutto di caratterizzare la curva della GRF relativa alla spinta sulla tavola.

Le figure sottostanti (30 e 31) sono due esempi di curva forza-tempo relativa all'azione di spinta di una mano durante una ribaltata al volteggio. La prima curva (Figura 30) rappresenta la forza nella componente verticale e la seconda (Figura 31) in quella orizzontale.

Nella figura 30 è possibile vedere che la forza verticale è caratterizzata da un picco e da un successivo punto di minimo che comprendono circa il 20% dell'intera fase di spinta. Essa rappresenta l'impatto della mano sulla tavola con il quale viene assorbito il carico dovuto all' "urto" con l'attrezzo. La rimanente parte della curva rappresenta, invece l'azione di spinta. La linea tratteggiata indica la massa della ginnasta in Newton

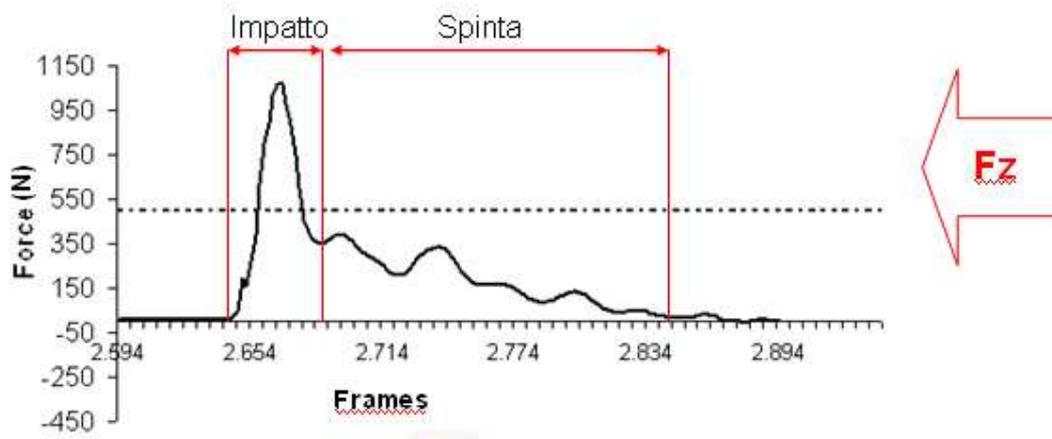


Figura 30

La figura 31, rappresenta invece la componente orizzontale della forza. Anche questa curva è caratterizzata da un picco piuttosto evidente che si presenta dopo la fase di impatto. Circa l'80% della curva è caratterizzata da valori negativi che rappresentano l'azione di frenata sulla tavola. Nel punto in cui la curva si inverte, e diventa positiva inizia, invece l'azione propulsiva, che occupa solo il 20% circa della fase di appoggio.

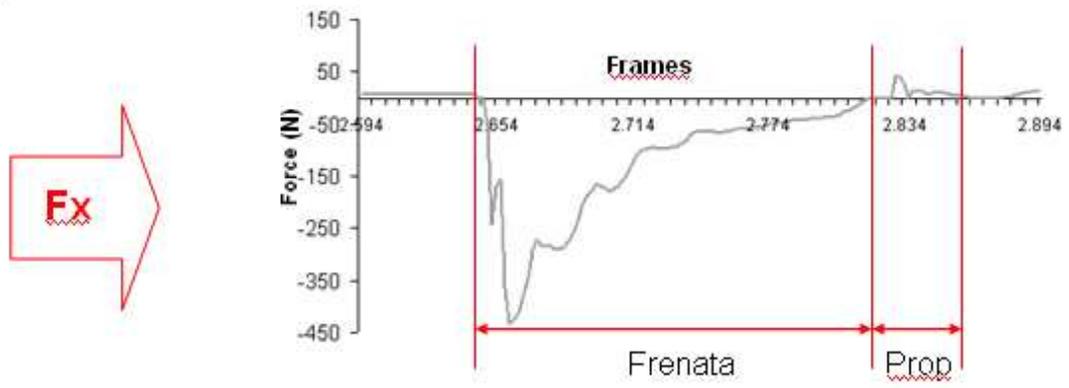


Figura 31

Dati dinamici

Nelle tabelle successive (15-17) sono raccolti i dati relativi alle durate temporale della fase di spinta, ai picchi di forza e ai tempi impiegati per raggiungerli e, nell'ultima tabella ci sono i dati degli impulsi di forza.

	Durata Appoggio TV (s)			Tempo Picco Verticale (s)			Tempo Picco Orizzontale(s)			Tempo Picco Risultante(s)		
	SN	DX	ES	SN	DX	ES	SN	DX	ES	SN	DX	ES
m	0,224	0,234	7,54	0,021	0,022	24,120	0,021	0,018	39,260	0,022	0,021	25,340
ds	0,03	0,05		0,01	0,01		0,01	0,01		0,01	0,01	
cv %	15,4	20,7		42,9	34,5		54,1	41,7		49,7	35,9	

Tabella 15

	Picco Verticale (Z)			Picco Orizzontale (X)			Picco Risultante		
	N			N			N		
	SN	DX	ES	SN	DX	ES	SN	DX	ES
m	755,5	803,0	0,006*	-354,3	-347,0	0,002	828,9	861,0	0,004
ds	183,9	187,5		73,1	79,0		181,3	192,2	
cv %	24,3	23,3		20,6	22,8		21,9	22,3	
	Allometrica N/kg ^{0.67}			Allometrica N/kg ^{0.67}			Allometrica N/kg ^{0.67}		
	SN	DX	ES	SN	DX	ES	SN	DX	ES
	SN	DX	ES	SN	DX	ES	SN	DX	ES
m	11,18	11,87	0,36*	-5,27	-5,15	0,175	12,28	12,73	0,239
ds	2,48	2,51		1,11	1,13		2,47	2,53	
cv %	22,2	21,1		-21,0	22,0		20,1	19,9	
	Massa Corporea (N/kg)			Massa Corporea (N/kg)			Massa Corporea (N/kg)		
	SN	DX	ES	SN	DX	ES	SN	DX	ES
	SN	DX	ES	SN	DX	ES	SN	DX	ES
m	1,36	1,45	2,881*	-0,65	-0,63	1,458	1,50	1,55	1,854
ds	0,30	0,30		0,15	0,15		0,31	0,31	
cv %	22,3	21,0		22,8	23,1		20,6	19,8	

* significatività T test

Tabella 16

	Impulso Verticale (Z)			Impulso Orizzontale (X)			Impulso Risultante		
	N*s			N*s			N*s		
	SN	DX	ES	SN	DX	ES	SN	DX	ES
m	54,0	58,9	0,056*	-24,9	-22,5	0,140*	60,4	63,8	0,035
ds	13,7	11,9		6,0	5,3		14,6	12,8	
cv %	25,4	20,2		24,2	23,8		24,2	20,0	
	N/kg ^{0.67} *s			N/kg ^{0.67} *s			N/kg ^{0.67} *s		
	SN	DX	ES	SN	DX	ES	SN	DX	ES
	m	0,80	0,87	3,727*	-0,37	-0,33	9,533*	0,89	0,94
ds	0,17	0,12		0,08	0,07		0,18	0,13	
cv %	21,2	14,0		21,6	20,0		20,2	13,9	
	Massa Corporea (N/kg)*s			Massa Corporea (N/kg)*s			Massa Corporea (N/kg)*s		
	SN	DX	ES	SN	DX	ES	SN	DX	ES
	m	0,10	0,11	30,24*	-0,04	-0,04	77,975*	0,11	0,11
ds	0,02	0,01		0,01	0,01		0,02	0,01	
cv %	20,1	12,0		21,8	19,9		19,3	12,2	

* significatività T test

Tabella 17

La figura 32 mostra alcuni esempi di pattern di GRF di diverse atlete.

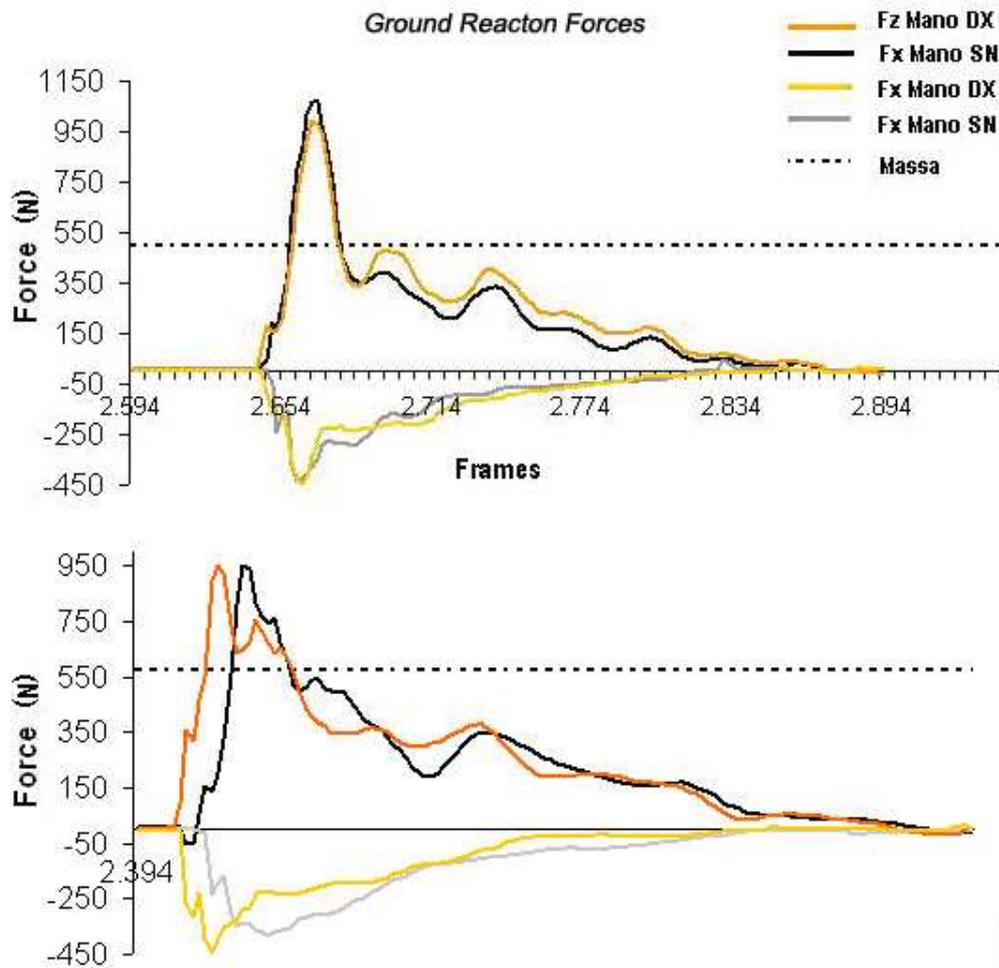


Figura 32

L'apparente rumore di fondo presente nelle curve, sottoforma di serie di picchi secondari, è dovuto alle oscillazioni antero-posteriori della tavola durante la fase di appoggio con le mani da parte delle ginnaste. Le oscillazioni del volteggio sono state accertate anche dall'osservazione dei filmati ad alta frequenza (500 Hz).

La prima parte della curva forza-tempo è caratterizzata da un picco relativamente elevato di breve durata dovuto all'impatto iniziale sulla tavola. Il picco di forza verticale medio è di $1,4 \pm 0,3$ rispetto alla massa corporea (BW) ed ha una durata media approssimativamente del 10% ($\pm 0,05$) dell'intera fase di appoggio per

entrambe le mani. In alcuni casi è presente più di un picco (secondo grafico della figura 32) perché il contatto delle mani della ginnasta include un rimbalzo tra il primo e il secondo impatto. In questi casi è evidente che il primo picco rappresenta l'impatto vero e proprio con il quale la ginnasta assorbe il carico d'urto. Il secondo picco, sempre più basso, rappresenta invece, un atterraggio secondario.

Nelle tabelle 15, 16 e 17 sono riportate le medie e le deviazioni standard di tutte le variabili dinamiche. La durata media della fase di appoggio ha una durata complessiva di $0,234 \pm 0,048$ e $0,224 \pm 0,035$ s rispettivamente, per la mano destra e sinistra.

Il tempo medio impiegato per raggiungere il picco di forza verticale è di $0,022 \pm 0,01$ s per la mano destra e $0,021 \pm 0,01$ s per la sinistra. Il tempo medio relativo al picco orizzontale, è di $0,18 \pm 0,01$ e $0,21 \pm 0,01$ s, sempre per la destra e la sinistra. Osservando i dati dinamici delle due mani in termini di timing, è possibile notare che la simultaneità dell'impatto sulla tavola è alquanto rara. Il ritardo tra l'impatto delle mani è compreso tra 0,002 e 0,028 s.

I valori dell'impulso espressi in funzione della massa corporea (BW) nella componente verticale sono di $58,9 \pm 11,9$ N*s e $54 \pm 13,7$ N*s, rispettivamente per la destra e la sinistra. I valori nella componente orizzontale sono, invece, $22,5 \pm 5,3$ N*s per la mano destra e $24,9 \pm 6,0$ N*s per la sinistra. L'impulso risultante ha un valore di $63,8 \pm 12,8$ N*s e $60,4 \pm 14,6$ N*s per la mano destra e sinistra.

La seguente analisi descrive le relazioni tra i dati della mano destra e sinistra.

Il picco di forza verticale è correlato significativamente con il picco di forza orizzontale per entrambe le mani (sinistra, $r = -0,46$; $p = 0,02$; destra, $r = -0,50$; $p = 0,01$). Le correlazioni tra la mano destra e sinistra è maggiore per il picco verticale ($r = 0,78$; $p < 0,001$) e per il picco risultante ($r = 0,79$; $p < 0,001$) rispetto a quello orizzontale ($r = 0,62$; $p = 0,003$).

La durata temporale dell'appoggio è risultato significativamente correlato tra la mano destra e sinistra ($r = 0,56$; $p = 0,005$). Il tempo per raggiungere il picco verticale è correlato con il tempo per raggiungere quello orizzontale sia per la destra ($r = 0,61$; $p = 0,002$) che per la sinistra ($r = 0,70$; $p < 0,001$).

L'impulso verticale ed orizzontale sono entrambi correlati negativamente per la mano destra ($r = -0,64$; $p < 0,001$) e sinistra ($r = -0,69$; $p = 0,001$).

Il picco di forza, il tempo per raggiungere il picco e l'impulso sono sempre correlati significativamente tra la mano destra e sinistra in entrambe le componenti, verticale (picco $r = 0,78$ $p < 0,001$; tempo picco $r = 0,64$ $p = 0,001$; impulso $r = 0,44$ $p = 0,03$) ed orizzontale (picco $r = 0,62$ $p = 0,001$; tempo picco $r = 0,46$ $p = 0,002$; impulso $r = 0,52$ $p = 0,008$) e, per la risultante (picco $r = 0,78$ $p < 0,001$; tempo picco $r = 0,67$ $p < 0,001$; impulso $r = 0,45$ $p = 0,03$).

La variabilità esecutiva delle atlete riscontrata dall'analisi qualitativa dei filmati è stata confermata dall'analisi delle correlazioni. Per esempio, il tempo di contatto è significativamente correlato (da $r = -0,45$ a $r = -0,59$) con il tempo per raggiungere il picco di forza verticale della mano sinistra, ma non della mano destra ($r < -0,32$).

Mentre un numero di coefficienti di correlazione raggiungono la significatività statistica la magnitudo di queste relazioni è spesso rappresentativa solo quando espressa mediamente effect size (ES) (Cohen 1988). Questo risultato è alquanto sorprendente ed inaspettato considerato che alle ginnaste è stato chiesto di eseguire un esercizio simmetrico e per lo più il cui apprendimento si considera consolidato.

Studi	n	Durata fase di spinta sul cavallo
		(s)
Dainis, 1979	10	0.210
Dainis, 1981	4	0.180
Rose-Hyvvonem, 1977	3	0.210
Rose-Hyvvonem, 1977	1	0.170
Nelson, 1985	16	0.200
Takei, 1990	24	0.245
Takei, 1990	51	0.187
Takei, 1991	2	0.190
Irwin 2004 (cavallo)	4	0.090
Irwin 2004 (tavola)	4	0.140
Seguente studio destra	12	0.234
Seguente studio sinistra	12	0.224

Tabella 18

Sulla base della letteratura analizzata, il presente studio risulta essere il primo a misurare direttamente le forze implicate durante la fase di spinta sulla tavola della ribaltata frontale. Fin ad oggi la GRF era stata studiata in diverse tipologie di ribaltamento eseguiti per lo più al suolo, come ad esempio nel flic indietro (Koh,

Grabiner, e al 1992), nella capovolta avanti con tuffo (Davidson, Nahar e al, 2005) e nella rondata (Seeley & Bressel 2005). I picchi di forza registrati in questo studio, ($1,4 \pm 0,3$ BW per ciascuna mano) sono molto simili a quelli registrati per la capovolta in avanti con tuffo ($1,5 \pm 0,4$ BW, Davidson), ma inferiori a quelli del flic indietro riscontrati da Koh e Davidson, rispettivamente pari a $2,37 \pm 0,5$ BW e $2,0 \pm 0,3$ BW. La forma generale della curva forza-tempo è risultata molto simile sia a quella relativa alla spinta sulle mani del flic indietro di Koh e Davidson (Koh, Grabiner e al 1992), che a quella della spinta sui piedi del salto giro avanti descritta da Miller e Nissinen (1987).

I dati collezionati da ciascuna pedana di forza permettono di verificare e quantificare la variabilità tra le due mani durante la spinta sulla tavola. Le differenze tra le due mani riscontrate in questo studio contrastano ampiamente con i valori ottenuti dai precedenti studi di modellizzazione (Davidson, Nahar et al 2005). Infatti, l'assunto secondo il quale tali differenze durante la fase di appoggio possano essere modellizzate sulla base di una comune caduta in avanti sulle mani è probabilmente sbagliato. La tabella 18, in cui sono riassunti i dati temporali ritrovati in letteratura (Takei 1989, 1990, 2002, Dainis 1979, Irwin & Mullineaux 2004), mostra che la simultaneità nell'impatto delle mani e la ripetibilità della prestazione su altre variabili del volteggio sono alquanto rare, perfino quando la stessa atleta esegue lo stesso volteggio. Le differenze di durata della fase di appoggio delle mani sono evidenti anche dai dati riportati in letteratura dai quali si evince che la durata della fase di spinta sul cavallo era compresa in un range tra 0,17 e 0,245 s (Takei 1989, 1990, 2002, Dainis 1987, Irwin & Mullineaux 2004). Questi valori confermano l'idea che la variabilità esecutiva del volteggio rappresenta la normalità piuttosto che l'eccezione.

L'analisi delle correlazioni tra la mano destra e sinistra indicano che se pur in molti casi le differenze sono statisticamente significative, l'intensità delle correlazioni evidenziano una modesta, ma considerevole, variabilità nelle forze applicate da ciascuna mano. La variabilità individuale, come detto precedentemente, non è un fattore sorprendente nell'esecuzione di queste atlete in quanto verificata anche dall'analisi qualitativa delle registrazioni video.

L'analisi temporale fornisce inoltre, ulteriori importanti informazioni riguardo il comportamento delle due mani negli istanti di impatto e stacco dalla tavola.

L'assunto comune secondo cui la ribaltata avanti è un movimento caratterizzato da un'azione simmetrica degli arti superiori non è confermato dai dati di questo studio. Tale dettaglio potrebbe spiegare la relazione tra le forze di compressione e di frenata all'istante d'impatto ed il rischio di infortuni sia acuti che cronici dovuti ad un eccessivo carico di impatto a cui sono soggetti gli arti superiori nel corso delle numerose ripetizioni dell'esercizio. Come riportato da Panzer nel suo studio sui volteggi Tsukahara, ribaltamenti laterali caratterizzati dal posizionamento asimmetrico delle mani sul cavallo, l'appoggio della prima mano può aumentare lo stress a livello metacarpale e radiale dal 15 al 20%. (Panzer, Bates et al 1987).

Sia i biomeccanici che gli ortopedici affermano che i ginnasti sono gli atleti maggiormente soggetti a disturbi ed infortuni a livello dell'articolazione del polso, specialmente a livello del piatto di accrescimento radiale distale. (Mandelbaum, Grant et al 1988, Mandelbaum & Teurling 1991, Nattiv & Mandelbaum 1993, De Smet, Claessens, et al 1994, DiFiori, Puffer et al 1996, DiFiori & Mandelbaum 1996, DiFiori, Caine et al 2006). Il corpo libero ed il volteggio sono considerati gli attrezzi più frequentemente associati con gli infortuni degli arti superiori nella ginnastica femminile (Mitchell 1988, Mandelbaum, Grant et al 1988, Nattiv & Mandelbaum 1993, Liebling, Berdon et al 1995). Il picco medio di forza verticale riscontrato in questo studio è stato di 755,5 N con un range di variazione compreso tra 1096,8 e 433,7 N. Questi valori sono molto vicini a livelli di forza in grado di provocare una frattura distale del radio. (Spadaio, Werner et al 1994, Myers Hecker et al 1993).

RISULTATI E DISCUSSIONI RELATIVI ALLO STUDIO DELLA PRESTAZIONE DI GARA

Durate temporali.

Nelle seguenti tabelle sono raccolti, per ciascuna tipologia di Yurchenko, i dati relativi alle durate temporale delle fasi di battuta in pedana, primo volo, spinta sulla tavola, secondo volo e del movimento totale espresse sia in secondi che in termini percentuali rispetto al totale. La figura 33 permette di comprendere meglio i rapporti tra le durate delle varie fasi del movimento. Nella tabella successiva sono riportati gli stessi dati relativi alla bibliografia di riferimento.

		Durate Temporali (s-%)									
		PED		V1		TAV		V2		Asc (s)* [◇]	Tot(s) * ^{†◇}
		Sec	%	Sec* [†]	%	Sec	%	Sec* [◇]	%		
YU ta (5)	m	0,154	11,6	0,126	9,5	0,210	15,9	0,800	60,4	0,244	1,324
	ds	0,013		0,021		0,010		0,032		0,039	0,048
	cv%	9		16		5		4		16	4
YU c (4)	m	0,158	12,6	0,195	15,6	0,230	18,4	0,668	53,4	0,140	1,250
	ds	0,015		0,017		0,034		0,021		0,032	0,022
	cv%	10		9		15		3		23	2
YU t (7)	m	0,146	12,2	0,150	12,6	0,200	16,7	0,699	58,5	0,190	1,194
	ds	0,008		0,027		0,033		0,027		0,031	0,049
	cv%	5		18		16		4		16	4

* significatività Mann-Whitney test tra YUta e YUc

(p<0,05)

† significatività Mann-Whitney test tra YUt e YUc

◇ significatività Mann-Whitney test tra YUta e YUt

Tabella 19

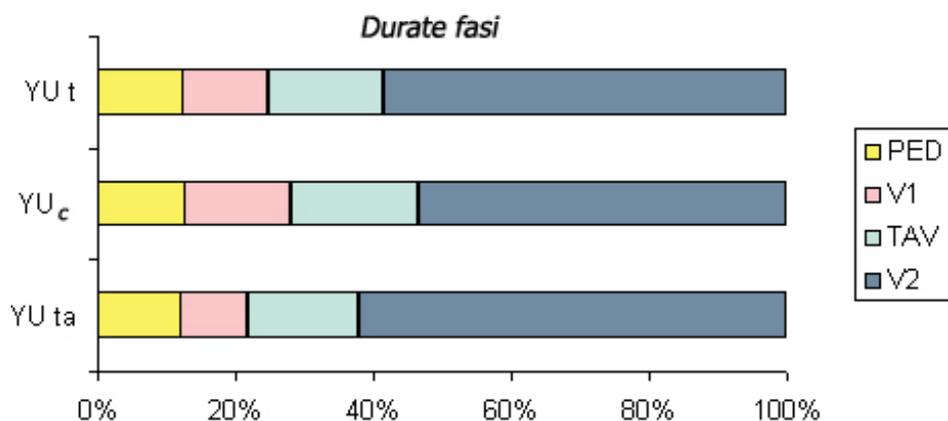


Figura 33

	n	PED		V1		TAV		V2		TOT
		Sec	%	Sec	%	Sec	%	Sec	%	Sec
Known (YU ta)	10	0,148	11,5	0,134	10,4	0,184	14,3	0,822	63,8	1,288
Known (YU t)	10	0,157	12,4	0,143	11,3	0,202	16,0	0,764	60,3	1,266
Nelson (YU ta)	2	0,150	11,6	0,140	10,9	0,210	16,3	0,790	61,2	1,290
Nelson (YU t)	2	0,150	11,8	0,170	13,4	0,180	14,2	0,77	60,6	1,270
Ragheb (YU)	12	0,160	-	0,180	-	-	-	-	-	-
Fortey (YU)	9	0,160	12,6	0,160	12,6	0,230	18,1	0,720	56,7	1,270
Elliott (YU t)		-	-	-	-	0,160	-	-	-	-

Tabella 20

La durata totale del salto risulta essere di circa 1 secondo con differenze significative tra i tre tipi di salto. Il tempo maggiore si è registrato per il salto YUta ($1,324 \pm 0,048$ s), quello intermedio per il YUc ($1,250 \pm 0,022$ s) e, la durata minore per il YUt ($1,193 \pm 0,049$ s) con una variabilità mai superiore al 4%. Questi dati sono risultati alquanto in linea con quelli della letteratura anche se, la durata complessiva del salto YUta sembra attualmente essere leggermente aumentato (Known 1,288 s, Nelson 1,290), mentre il YUt sembra essersi leggermente ridotto (Known 1,266 s, Nelson 1,270 s). Nonostante queste piccole variazioni, le durate percentuali delle singole fasi sono rimaste per lo più invariate. La fase di battuta in pedana ha una durata media compresa tra 0,146 s ($\pm 0,008$) del YUt e 0,158 s ($\pm 0,015$) del YUc, e rappresenta circa il 12% del movimento. La fase di primo volo ha una durata media di $0,126 \pm 0,021$ s per il YUta, per il quale rappresenta solo il 9,5% del salto; $0,150 \pm 0,027$ s per il salto YUt (12,6%) e, ben $0,195 \pm 0,017$ s per il YUc, per il quale rappresenta il 15,6% del movimento. La durata del primo volo del YUc è risultata essere significativamente differente da quella del YUta e YUt. Anche per la fase di spinta sulla tavola il YUc ha la durata maggiore sia in secondi, $0,230 \pm 0,0034$, che in percentuale, 18,4%. Le maggiori durate delle prime fasi del movimento riscontrate per il YUc sono da attribuirsi alla presenza dell'avvitamento nella prima fase di volo che condiziona sia la battuta in pedana, che la spinta sulla tavola. Sulla pedana, la rotazione viene impostata e nella successiva fase di appoggio sulla tavola, la rotazione attorno all'asse longitudinale deve essere spesso completata, e poi arrestata e trasformata in rotazione trasversale per il secondo volo. Analogamente le ginnaste che eseguono il YUta hanno una fase di spinta sulla tavola leggermente superiore rispetto a quelle che eseguono YUt sia per incrementare l'impulso di forza che per

impostare l'azione di avvistamento della successiva fase di volo. La durata della seconda fase di volo risulta significativamente più lunga per il YUta, proprio per la presenza dell'avvistamento. Le ginnaste che invece, eseguono il YUc, ruotando con un momento inerziale minore, dovuto all'atteggiamento carpiato, hanno una durata di volo inferiore ($0,668 \pm 0,021$ s) anche rispetto alle ginnaste che eseguono un salto teso dietro ($0,699 \pm 0,027$ s). Per tutte le ginnaste la seconda fase di volo rappresenta più del 50% del salto e solo per il YUta è del 60%, come nella maggior parte dei dati della letteratura. Oltre alla seconda fase di volo, YUta registra anche un tempo di ascesa del secondo volo ($2.244 \pm 0,039$ s) significativamente maggiore sia a quello del gruppo YUt ($0,190 \pm 0,031$ s) che YUc ($0,140 \pm 0,032$ s)

Spostamenti orizzontali del centro di massa

La tabella 21 comprende i dati descrittivi degli spostamenti orizzontali del CM sia parziali delle singole fasi, che totali, espresse sia in metri che in percentuale. Di seguito, invece, sono riportati i dati della letteratura.

		Spostamenti Orizzontali CM (m - %)								TOT m
		PED		V1		TAV		V2		
		m	%	m	%	m	%	m	%	
YU ta (5)	m	0,725	18	0,516	13	0,629	16	2,176	54	4,046
	ds	0,09		0,08		0,07		0,15		0,31
	cv%	12		16		11		7		8
YU c (4)	m	0,649	17	0,682	18	0,628	17	1,754	47	3,712
	ds	0,06		0,12		0,12		0,30		0,53
	cv%	9		18		18		17		14
YU t (7)	m	0,634	17	0,602	16	0,635	17	1,903	50	3,775
	ds	0,05		0,10		0,07		0,16		0,19
	cv%	8		16		11		8		5

Tabella 21

Spostamenti Orizzontali CM (m)		
	TAV	V2
Known (YU ta)	-	2,280
Known (YU t)	-	1,980
Nelson (YU ta)	-	2,125
Nelson (YU t)	-	2,080
Fortey (YU)	-	2,040
Elliott (YU t)	0,35	-

Tabella 22

Le lunghezze medie totali dei salti sono risultate essere di $4,046 \pm 0,31$ m per il YUta, $3,712 \pm 0,53$ m per il YUc e, $3,775 \pm 0,19$ m per il YUt, con una variabilità maggiore per YUc (14% vs 8% YUta e 5% YUt). Lo sviluppo spaziale del CM nelle prime tre fasi del salto è piuttosto bilanciato e simile per tutti i salti (18% , 13% e 16% YUta; 17%, 18% e 17% YUc; 17%, 16% e 17% YUt). La seconda fase di volo occupa il 54 e 50%, rispettivamente per il salto YUta e YUt e meno del 50% (47%) per il YUc. Durante la battuta in pedana il CM avanza verso la tavola in media tra 0,634 m (YUt) e 0,725 m (YUta). Il primo volo è più ampio per il gruppo di ginnaste che esegue YUc $0,682 \pm 0,12$ m e più corto per il gruppo del YUta $0,516 \pm 0,08$ m, con una variabilità tra il 16 e 18%. Durante la fase di spinta sulla tavola il CM continua ad avanzare notevolmente (da 0,628 m nel YUc e 0,635 m nel YUt), infatti, paragonando questo dato con l'unico riferimento bibliografico di Elliott relativo a uno YUt sul cavallo, pari a soli 0,350 m, è evidente la differenza. Per quanto riguarda la lunghezza del secondo volo, risulta che solo il salto YUta ha uno sviluppo che supera i 2 metri ($2,176 \pm 0,15$ m), con un valore piuttosto in linea con quelli della letteratura riferiti alla stessa tipologia di salto (Known 2,280 m; Nelson 2,125 m). Anche la lunghezza del salto YUt , di poco inferiore ai 2 metri ($1,903 \pm 0,16$ m) è simile ai dati della letteratura (Known 1,980 m; Nelson 2,080 m). Il secondo volo del YUc pari a $1,754 \pm 0,030$ m, risulta il più corto dei tre.

Spostamenti verticali del centro di massa

Nella tabella x sono riportati i dati relativi agli spostamenti verticali del CM in istanti e fasi considerati importanti per la descrizione cinematica dei salti. Nella tabella successiva sono riportati i dati della letteratura.

Questo leggero vantaggio viene mantenuto fino al successivo istante di stacco ($2,211 \pm 0,04$ m YUc; $2,184 \pm 0,06$ m YUta; $2,094 \pm 0,06$ m YUt), dove il YUt risulta essere significativamente differente dagli altri due gruppi.. Lo spostamento verticale del CM sulla tavola è stato descritto con due variabili, l'ascesa del CM che tiene conto di eventuali precedenti abbassamenti dovuti al caricamento, non sempre presenti, e lo spostamento relativo tra l'impatto e lo stacco. L'ascesa del CM è presente, infatti solo per il YUc ($0,401 \pm 0,05$ m) e per il YUt ($0,458 \pm 0,05$ m). Lo spostamento relativo per il salto YUta ha un valore medio di $0,575 \pm 0,06$ m che coincide con l'ascesa; per il YUc ha un valore di $0,400 \pm 0,05$ m e di $0,463 \pm 0,06$ per

YUt. Gli spostamenti verticali del CM sulla tavola del gruppo YUta sono risultati statisticamente differenti dai gruppi YUt e YUc.

Dall'istante di stacco dalla tavola il CM si sposta verticalmente verso l'alto in media di ben $0,268 \pm 0,07$ m per il gruppo che esegue YUta, $1,00 \pm 0,03$ m per YUc e $1,182 \pm 0,05$ m per YUt. Questi valori sono strettamente legati al differente tipo di salto eseguito nel secondo volo, infatti, il gruppo che eleva maggiormente il CM è quello che esegue un salto indietro teso con un avvitemento, e quello che lo eleva meno è quello che esegue un salto carpiato. Bisogna inoltre considerare che il gruppo YUc ha un'ascesa notevolmente inferiore agli altri due gruppi perché sfruttano gran parte dell'energia accumulata con la rincorsa e la rotonda nell'avvitemento del primo volo, motivo per cui eseguono un salto carpiato anziché teso. I valori di ascesa del salto YUta e YUt non mostrano alcuna differenza con quelli riportati da Known sul cavallo ($0,27$ m YUta e $0,19$ m YUt). La massima altezza raggiunta all'apice della parabola di volo è risultata essere in media di $2,451 \pm 0,10$ m, $2,311 \pm 0,03$ m e $2,272 \pm 0,06$ m rispettivamente per YUta, YUc e YUt. Nonostante il gruppo che esegue il YUc sia risultato quello che risale meno tra lo stacco e l'apice della parabola, registra un valore di massimo assoluto superiore a quello del gruppo che esegue YUt. L'altezza massima media viene raggiunta dal gruppo che esegue YUta.

		Spostamenti Verticali CM (m)											
		PED			V1			TAV			V2		ARR
		Imp	Min	Stac	Z Rel	Max* [†]	Imp* [†]	Stac ^{†◇}	Asc* [◇]	Z Rel* [◇]	Max [◇]	Asc*	Imp
YU ta	M	0,940	-0,016	1,227	0,288	1,609	1,609	2,184	0,575	0,575	2,451	0,268	1,082
(5)	Ds	0,04	0,01	0,06	0,02	0,04	0,04	0,06	0,06	0,06	0,10	0,07	0,06
	cv%	4	-	5	7	3	3	3	10	10	4	25	5
YU c	M	0,923	-0,016	1,233	0,310	1,811	1,811	2,211	0,401	0,400	2,311	0,100	1,072
(4)	Ds	0,03	0,01	0,05	0,08	0,08	0,08	0,04	0,05	0,05	0,03	0,03	0,08
	cv%	4	-	4	26	4	4	2	13	13	1	34	7
YU t	M	0,903	-0,012	1,186	0,283	1,632	1,631	2,094	0,458	0,463	2,272	0,182	1,088
(7)	Ds	0,04	0,00	0,05	0,04	0,09	0,09	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05
	cv%	4	-	4	14	5	5	3	11	12	2	27	5

* significatività Mann-Whitney test tra YUta e YUc

(p<0,05)

† significatività Mann-Whitney test tra YUt e YUc

◇ significatività Mann-Whitney test tra YUta e YUt

Tabella 23

	Spostamenti Verticali CM (m)	
	V2	
	Asc	Max
Known YU ta	0,27	-
Known YU t	0,19	-
Nelson YU ta	-	2,38
Nelson YU t	-	2,37

Tabella 24

L'altezza del CM alla fine della rondata, nell'istante in cui le ginnaste impattano con la pedana è in media tra 0,903 m (YUt) e 0,940 (YUta) m. Subito dopo l'impatto il CM scende in seguito all'azione di caricamento elastico della pedana. Lo spostamento verso il basso è indicato dal segno negativo relativo all'altezza minima raggiunta durante il caricamento. Osservando i valori di questa variabile vediamo che l'abbassamento del CM sulla pedana è molto piccolo (tra 0,012 e 0,016 m) ed in effetti anche lo schiacciamento della pedana visualizzato nei filmati ad alta frequenza non è totale. Al momento dello stacco della pedana il CM si trova in media tra 1,186 (YUt) e 1,233 (YUc) m di altezza. Lo spostamento relativo in senso verticale del CM dall'impatto allo stacco è di $0,288 \pm 0,04$ m per il YUta, $0,310 \pm 0,08$ m per il YUc e $0,283 \pm 0,04$ m per il YUt. I rispettivi valori massimi raggiunti nella successiva fase di primo volo sono stati $1,609 \pm 0,08$ m (YUta); $1,811 \pm 0,08$ m (YUc); $1,631 \pm 0,09$ m (YUt). La ricerca di una maggiore altezza del CM nel primo volo e, di conseguenza anche al successivo impatto sulla tavola, del YUc, significativamente differenti sia dal YUta che dal YUt, sono necessari per eseguire l'avvitamento.

Confrontando questi valori con gli stessi riferiti al cavallo riportati da Nelson si può notare che mentre per il salto YUta nel seguente studio è stata riscontrata un'altezza maggiore (Nelson 2,38 m cv 2,451 m), per lo YUt l'altezza è diminuita (Nelson 2,37 m cv 2,272 m).

La variabilità degli spostamenti del CM nei tre gruppi è risultata essere piuttosto bassa, ad eccezione per l'altezza relativa allo stacco dalla pedana per il YUc (26%), dovuta probabilmente a diverse strategie di avvitamento nel primo volo. È risultata inoltre molto variabile anche l'ascesa del secondo volo (25% YUta, 34% YUc, 27% YUt). Questa variabilità esprime la diversa capacità delle ginnaste di saper sfruttare la spinta sulla tavola per elevare il più possibile in CM nella successiva fase di volo.

Spostamenti trasversali del centro di massa

La seguente tabella riporta gli spostamenti trasversali (destra-sinistra) del CM nelle varie fasi del movimento. Questi spostamenti in teoria non dovrebbero essere presenti, ma se pur minimi esistono e rappresentano un'interferenza negativa nella precisione ma anche nella meccanica del salto in quanto comportano perdita di energia orizzontale e verticale. Essendo sia la media che la deviazione standard prossimi allo zero non vengono riportati i valori di variabilità.

Spostamenti Trasversali CM (m)					
		PED	V1	TAV	V2
YU ta(5)	m	0,018	0,011	0,018	0,107
	ds	0,02	0,01	0,03	0,04
YU c (4)	m	0,021	0,023	0,038	0,140
	ds	0,01	0,01	0,03	0,12
YU t (7)	m	0,025	0,029	0,015	0,163
	ds	0,01	0,02	0,02	0,21

Tabella 25

Gli spostamenti trasversali del CM durante la fase di battuta in pedana hanno un valore medio di $0,018 \pm 0,02$ m per YUta, $0,021 \pm 0,01$ m per YUc e $0,025 \pm 0,01$ m per il YUt. Gli spostamenti sulla pedana possono essere causati o da eventuali aggiustamenti all'arrivo dalla rondana, che è comunque un gesto del tutto asimmetrico, o ad errori coordinativi di precisione. Durante il primo volo il CM ha uno spostamento medio compreso tra 0,011 m (YUta) e 0,029 m (YUt). Nonostante la presenza dell'avvitamento in questa fase il gruppo YUc non ha registrato il maggiore spostamento laterale, raggiunto invece dal gruppo YUt. Sulla tavola, mentre gli spostamenti dei gruppi YUta e YUt si mantengono al di sotto dei 2 cm, quello del gruppo YUc per effetto dell'avvitamento nella fase di primo volo, ha uno spostamento medio di quasi 4 cm ($0,038 \pm 0,03$ m). Queste deviazioni laterali possono essere strategie usate dalle ginnaste per apportare eventuali aggiustamenti sulla posizione del CM per meglio predisporre alla successiva fase di volo. Nella fase di secondo volo le ginnaste che eseguono il YUta risultano spostarsi lateralmente poco più di 1cm ($0,107 \pm 0,04$ m), questo significa che nonostante eseguano una rotazione attorno all'asse longitudinale durante il volo, riducono al minimo gli spostamenti laterali e, di conseguenza perdono meno energia possibile. Le ginnaste che eseguono il YUc hanno

uno spostamento medio di $0,140 \pm 0,12$ m, mentre quelle che eseguono YUt di $0,163 \pm 0,21$ m. In tutte le fasi del movimento le ginnaste che eseguono il salto YUta risultano essere le più precise per quanto riguarda le deviazioni laterali di esecuzione

. E' interessante notare che in fase di gara due ginnaste, appartenenti una al gruppo YUc e l'altra a YUt, hanno ricevuto rispettivamente trenta e dieci centesimi di penalità specifica per arrivo al di fuori dell'area di atterraggio consentita.

Velocità del centro di massa

Le tabelle sottostanti (26 e 27)riportano, la prima, i valori relativi alla statistica descrittiva della velocità orizzontale del CM e la seconda i dati della letteratura.

		Velocità Orizzontale ($m*s^{-1}$)					
		PED			TAV		
		IMP	TK [†]	Var [†]	IMP	TK	Var
YU ta (5)	m	5,27	4,14	-1,13	4,47	2,55	-1,92
	ds	0,6	0,5	0,9	0,3	0,4	0,4
	cv%	11	11	-	7	14	19
YU c (4)	m	4,62	3,62	-1,00	3,73	2,47	-1,20
	ds	0,4	0,2	0,4	0,6	0,7	0,5
	cv%	9	6	-	15	27	43
YU t (7)	m	5,17	3,98	-1,19	4,24	2,25	-1,89
	ds	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3
	cv%	6	7	-	9	17	17

† significatività Mann-Whitney test tra YUt e YUc
P < 0,05

Tabella 26

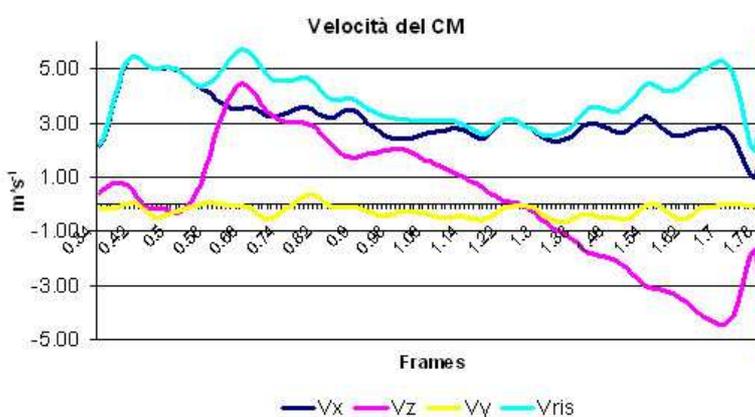


Figura 34

	Velocità Orizzontale (m*s ⁻¹)					
	PED			TAV		
	IMP	TK	Var	IMP	TK	Var
Known (YU ta)	5,26	-	-1,29	-	-	-1,08
Known (YU t)	5,03	-	-1,32	-	-	-0,88
Nelson (YU ta)	5,35	4,00	-1,35	4,00	2,90	-1,10
Nelson (YU t)	5,30	3,95	-1,35	3,95	3,10	-0,85
Fortey (YU)	5,08	-	-	-	-	-
Elliott (YU)	5,30	4,30	-1,00	4,20	2,00	-2,20
Koh (YU t)	-	-	-	3,29	2,32	-0,97
Koh (YU t)	-	-	-	3,29	2,34	-0,95
Koh op1(YU t)	-	-	-	3,29	2,35	-0,94
Koh op2 (YU t)	-	-	-	3,29	2,34	-0,95

Tabella 27

La velocità orizzontale del CM all'impatto sulla pedana ha un valore medio molto simile per il salto YUta e YUt , rispettivamente dei valori di $5,27 \pm 0,6 \text{ m*s}^{-1}$ e $5,17 \pm 0,3 \text{ m*s}^{-1}$; il salto YUc ha una velocità orizzontale d'impatto leggermente inferiore ($4,62 \pm 0,4 \text{ m*s}^{-1}$. I valori registrati per il salto YUta e YUt sono molto vicini a quelli riportati dalla letteratura che hanno un range compreso tra $5,03 \text{ m*s}^{-1}$ (Known, YUt) e $5,35 \text{ m*s}^{-1}$ (Nelson, YUta). Al successivo stacco dalla pedana la velocità orizzontale maggiore viene raggiunta dal gruppo YUta ($4,14 \pm 0,5 \text{ m*s}^{-1}$), di poco inferiore è la velocità del YUt ($3,98 \pm 0,3 \text{ m*s}^{-1}$), mentre la velocità più bassa appartiene al gruppo YUc ($3,62 \pm 0,2 \text{ m*s}^{-1}$). I pochi dati riportati dalla letteratura oscillano tra $3,95 \text{ m*s}^{-1}$ (Nelson, YUt) e $4,30 \text{ m*s}^{-1}$ (Elliot, YUt). Il segno negativo della variazione della velocità sulla pedana indica che tra l'impatto e lo stacco la componente orizzontale si riduce di circa 1 m*s^{-1} (da $1,00 \text{ m*s}^{-1}$ YUc a $1,19 \text{ m*s}^{-1}$ YUt). La velocità orizzontale media di impatto sulla tavola risulta anche in questo caso molto simile per il YUta ($4,47 \pm 0,3 \text{ m*s}^{-1}$) e YUt ($4,24 \pm 0,4 \text{ m*s}^{-1}$) e leggermente inferiore per YUc ($3,73 \pm 0,6 \text{ m*s}^{-1}$). I dati del presente studio, soprattutto quelli del gruppo YUta e YUt, se confrontati con la letteratura risultano incrementati (da $3,29$ a $4,20 \text{ m*s}^{-1}$). La velocità allo stacco dalla tavola è risultata in media per i tre salti rispettivamente di $2,55 \pm 0,4 \text{ m*s}^{-1}$ per YUta, $2,47 \pm 0,7 \text{ m*s}^{-1}$ per YUc e $2,25 \pm 0,4 \text{ m*s}^{-1}$ per YUt. Le variazioni medie di velocità tra l'impatto e lo stacco, in termini di decelerazione in quanto negative, sono risultate di $-1,92 \pm 0,4 \text{ m*s}^{-1}$ per YUta, $-1,20 \pm 0,5 \text{ m*s}^{-1}$ YUc e, $-1,89 \pm 0,3 \text{ m*s}^{-1}$ YUt. Dal confronto con i dati della letteratura la riduzione della velocità tra l'impatto e lo stacco dalla tavola è

fortemente aumentata rispetto al passato (da $-0,85$ a $-1,10$ $m*s^{-1}$ fatta eccezione per il valore riportato da Elliot pari a $-2,20$ $m*s^{-1}$). E' evidente che sia la maggiore velocità di impatto che la maggiore perdita di velocità sulla tavola sono dovute alla necessità di superare un attrezzo tre volte più lungo rispetto al cavallo.

Le due tabelle che seguono riportano la statistica descrittiva delle velocità verticale del CM nei tre salti (Tabella 28) e, i dati della letteratura (Tabella 29).

		Velocità Verticale ($m*s^{-1}$)					
		PED			TAV		
		IMP	TK	Var	IMP	TK* [†]	Var [†]
YU ta (5)	m	-0,56	3,84	4,41	2,22	2,16	-0,06
	ds	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,5
	cv%	24	3	5	13	22	-
YU c (4)	m	-0,57	3,80	4,38	1,98	1,36	-0,62
	ds	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2
	cv%	30	2	5	12	9	-
YU t (7)	m	-0,65	3,71	4,36	1,95	1,82	-0,13
	ds	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,4
	cv%	27	5	3	19	12	-

* significatività Mann-Whitney test tra YUta e YUc

† significatività Mann-Whitney test tra YUt e YUc
p<0,05

Tabella 28

		Velocità Verticale ($m*s^{-1}$)					
		PED			TAV		
		IMP	TK	Var	IMP	TK	Var
Known (YU ta)		-0,07	3,54	3,57	2,61	2,43	-0,18
Known (YU t)		-0,25	3,45	3,62	2,55	2,02	-0,53
Nelson (YU ta)		-0,17	3,15	3,32	1,95	2,50	0,55
Nelson (YU t)		-0,20	3,50	3,70	1,70	2,55	0,85
Fortey (YU)		-0,36	3,72	4,08	1,99	1,84	-0,15
Elliott (YU)		-1,10	2,70	3,80	1,80	2,20	0,40
Koh (YU t)		-	-	-	2,40	2,27	-0,13
Koh (YU t)		-	-	-	2,40	2,61	0,21
Koh op1(YU t)		-	-	-	2,40	2,63	0,23
Koh op2 (YU t)		-	-	-	2,40	2,68	0,28

Tabella 29

La velocità verticale all'impatto con la pedana, negativa in quanto rivolta verso il basso, ha un valore medio compreso tra $-0,56 \text{ m*s}^{-1}$ (YUta) e $-0,65 \text{ m*s}^{-1}$ (YUt). Allo stacco dalla pedana la componente verticale della velocità ha dei valori medi molto simili tra i tre gruppi ($3,83 \pm 0,1 \text{ m*s}^{-1}$ YUta; $3,80 \pm 0,1 \text{ m*s}^{-1}$, YUc e $3,71 \pm 0,2 \text{ m*s}^{-1}$, YUt). Le variazioni medie di velocità tra l'impatto e lo stacco indicano un'incremento compresa tra $4,36$ e $4,41 \text{ m*s}^{-1}$. I valori della velocità verticale relativi alla fase di battuta in pedana risultano superiori a quelli trovati in letteratura sia all'impatto con la pedana (da $-0,07$ a $-0,36 \text{ m*s}^{-1}$ eccetto il valore riportato da Elliot pari a $-1,10 \text{ m*s}^{-1}$) che allo stacco (da $2,70$ a $3,72 \text{ m*s}^{-1}$). Anche l'incremento della velocità verticale in pedana risulta inferiore rispetto a quelli trovati nel seguente studio (tra $4,08$ a $3,32 \text{ m*s}^{-1}$). La velocità verticale all'impatto sulla tavola ha un valore medio di poco superiore ai 2 m*s^{-1} ($2,2 \pm 0,3 \text{ m*s}^{-1}$) per il YUta, e, di poco inferiore ai 2 m*s^{-1} per gli altri due gruppi ($1,98 \pm 0,2 \text{ m*s}^{-1}$, YUc e $1,95 \pm 0,4 \text{ m*s}^{-1}$ YUt) La variabilità della velocità di impatto è compresa tra il 12 e il 19%. Al successivo istante di stacco la velocità verticale del CM ha un valore medio di $2,16 \pm 0,5 \text{ m*s}^{-1}$ per il gruppo di YUta, $1,36 \pm 0,1 \text{ m*s}^{-1}$ per YUc e $1,82 \pm 0,2 \text{ m*s}^{-1}$ per il YUt. La velocità verticale allo stacco dalla tavola del gruppo YUta e YUt è inoltre, risultata significativamente superiore da quella del gruppo YUc. Questo gruppo è, infatti, quello con l'ascesa di secondo volo più bassa. La variazione di velocità tra l'impatto e lo stacco dalla tavola è per tutti e tre i gruppi negativa, per il salto YUta e YUt la riduzione di velocità è molto vicina allo zero ($-0,06 \pm 0,5 \text{ m*s}^{-1}$ YUta e $-0,13 \pm 0,4 \text{ m*s}^{-1}$ YUt) per il gruppo YUc ha un valore medio superiore pari a $-0,62 \pm 0,2 \text{ m*s}^{-1}$. I risultati delle velocità verticali relativi all'istante di impatto con il cavallo riportati da Known ($2,61 \text{ m*s}^{-1}$ YUta e $2,55 \text{ m*s}^{-1}$ YUt) e Koh ($2,40$ e Koh ($2,40 \text{ m*s}^{-1}$ YUt), risultano superiore a quelli del presente studio, mentre quelli riportati da Nelson ($1,95 \text{ m*s}^{-1}$ YUta, $1,70 \text{ m*s}^{-1}$ YUt), da Fortney ($1,99 \text{ m*s}^{-1}$) e da Elliot ($1,80 \text{ m*s}^{-1}$ YUt) sono più in linea con i valori del presente studio. Allo stacco dal cavallo i valori di velocità verticali della letteratura sono compresi tra $1,84 \text{ m*s}^{-1}$ (Fortney) e $2,68 \text{ m*s}^{-1}$ (Koh), vicini a quelli riscontrati per il YUta e YUt ma ben superiori rispetto alla velocità verticale di stacco del YUc. Per quanto riguarda la variazione di velocità verticale i dati della letteratura sono alquanto discordanti tra loro, infatti mentre Known, Forney e Koh riscontrano una perdita di velocità verticale sul cavallo compresa tra $-0,13$ e $0,53 \text{ m*s}^{-1}$, Nelson, Elliot e lo stesso Koh riportano un incremento compreso tra $0,21 \text{ m*s}^{-1}$ e $0,85 \text{ m*s}^{-1}$. Le differenze riscontrate tra i vari

lavori della letteratura potrebbero essere dovuti a una diversa interpretazione della fase di spinta sul cavallo condizionata probabilmente anche dalle capacità condizionali delle ginnaste prese in esame. Le variazioni di velocità riportate in questo lavoro indicano comunque che sulla tavola le ginnaste tendono a decelerare e in base alla difficoltà del salto eseguito nel secondo volo questa perdita di velocità viene ridotta al minimo. E' importante notare che dalle due ottimizzazioni di Koh risulta che la condizione ideale è quella in cui la velocità verticale allo stacco tende se pur solo leggermente ad incrementare piuttosto che a diminuire.

Le velocità trasversali del CM sono riportate nella seguente tabella. Essendo le medie e le deviazioni standard prossime allo zero non sono riportati i valori del coefficiente di variabilità.

		Velocità trasversale ($m*s^{-1}$)					
		PED			TAV		
		IMP*†	TK	Var	IMP	TK	Var
YU ta	m	0,08	0,12	0,20	0,37	0,50	0,87
(5)	ds	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,5
YU c	m	0,33	0,01	0,34	0,30	0,16	0,46
(4)	ds	0,1	0,3	0,4	0,6	0,3	0,6
YU t	m	0,08	0,07	0,01	0,39	0,37	0,77
(7)	ds	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,5

* significatività Mann-Whitney test tra YUta e YUc

† significatività Mann-Whitney test tra YUt e YUc

p<0,05

Tabella 30

Dai dati in tabella è possibile notare che all'impatto sulla pedana sia il gruppo YUta che YUt hanno una velocità trasversale molto bassa ($0,08 \pm 0,1$ e $0,2 m*s^{-1}$), mentre il gruppo YUc ha un valore pari a $0,33 \pm 0,1 m*s^{-1}$. La differenza tra i primi due gruppi e l'ultimo risulta infatti statisticamente significativa. Allo stacco dalla pedana la velocità trasversale ha un valore medio compreso tra $0,01 m*s^{-1}$ (YUc) e $0,12 m*s^{-1}$. Le variazioni di velocità trasversale tra l'impatto e lo stacco sono maggiori per il gruppo che esegue l'avvitamento nel primo volo ($0,34 \pm 0,4 m*s^{-1}$); leggermente inferiore nel gruppo YUta ($0,20 \pm 0,3 m*s^{-1}$) e quasi pari a zero per il gruppo YUt ($0,01 \pm 0,3 m*s^{-1}$). All'impatto sulla tavola la velocità trasversale del CM

ha dei valori medi simili tra i tre gruppi ($0,37 \pm 0,3 \text{ m}^*\text{s}^{-1}$ YUta; $0,30 \pm 0,6 \text{ m}^*\text{s}^{-1}$ YUc; e $0,39 \pm 0,3 \text{ m}^*\text{s}^{-1}$ YUt). Al successivo stacco dalla tavola il gruppo YUta ha una velocità trasversale di stacco di ben $0,50 \pm 0,2 \text{ m}^*\text{s}^{-1}$ dovuto probabilmente all'impostazione del successivo avvitemento nel secondo volo. Le ginnaste che eseguono YUt hanno una velocità trasversale media di $0,37 \pm 0,2 \text{ m}^*\text{s}^{-1}$, mentre il gruppo YUc ha un valore medio di soli $0,16 \pm 0,3 \text{ m}^*\text{s}^{-1}$. La variazione di velocità trasversale sulla tavola è molto simile per i due gruppi che eseguono YUta e YUt ($0,87 \pm 0,5 \text{ m}^*\text{s}^{-1}$ YUta e $0,77 \pm 0,5 \text{ m}^*\text{s}^{-1}$ YUt). Il gruppo che esegue YUc ha una variazione di velocità trasversale inferiore pari a $0,46 \pm 0,6 \text{ m}^*\text{s}^{-1}$.

La tabella sottostante raccoglie i dati relativi alla velocità risultante del CM considerata negli istanti di impatto e stacco dalla pedana e dalla tavola.

		Velocità risultante (m^*s^{-1})			
		PED		TAV	
		IMP	TK*	IMP	TK \diamond
YU ta (5)	m	5,30	5,66	5,03	3,42
	ds	0,6	0,3	0,2	0,1
	cv%	11	6	4	2
YU c (4)	m	4,67	5,26	4,28	2,92
	ds	0,4	0,1	0,5	0,6
	cv%	8	2	13	22
YU t (7)	m	4,54	5,18	4,35	2,85
	ds	1,6	0,7	0,9	0,5
	cv%	34	13	21	17

* significatività Mann-Whitney test tra YUta e YUc
 \diamond significatività Mann-Whitney test tra YUta e YUt
 $p < 0,05$

Tabella 31

La velocità risultante all'impatto con la pedana superiore è registrato nel gruppo YUta ($5,30 \pm 0,6 \text{ m}^*\text{s}^{-1}$). Gli altri due gruppi impattano con una velocità rispettivamente pari a $4,67 \pm 0,4 \text{ m}^*\text{s}^{-1}$ per il YUc e $4,54 \pm 1,6 \text{ m}^*\text{s}^{-1}$ per il YUt. Quest'ultimo è risultato avere anche una deviazione standard e un coefficiente di variabilità piuttosto elevato 34%. Allo stacco dalla pedana la velocità risultante è per tutti e tre i gruppi superiore a $5 \text{ m}^*\text{s}^{-1}$ ($5,66 \pm 0,2 \text{ m}^*\text{s}^{-1}$ YUta; $5,26 \pm 0,1 \text{ m}^*\text{s}^{-1}$ YUt e $5,18 \pm 0,7 \text{ m}^*\text{s}^{-1}$). Il gruppo YUt ha inoltre una variabilità pari al 13%. All'impatto

sulla tavola il valore medio massimo di velocità è registrato sempre nel gruppo YUta ($5,03 \pm 0,2 \text{ m*s}^{-1}$). Gli altri due gruppi impattano sulla tavola con una velocità di poco superiore ai 4 m*s^{-1} ($4,28 \pm 0,5 \text{ m*s}^{-1}$ YUc e $4,35 \pm 0,9 \text{ m*s}^{-1}$ YUt). Entrambi i gruppi presentano una variabilità piuttosto elevata, 13% YUc e 21% YUt. Allo stacco dalla tavola i valori medi registrati rimangono sempre più elevati per il primo gruppo (YUta) rispetto agli altri due ($3,42 \pm 0,1 \text{ m*s}^{-1}$ YUta; $2,92 \pm 0,6 \text{ m*s}^{-1}$ YUc; $2,85 \pm 0,5 \text{ m*s}^{-1}$ YUt) e, il YUta risulta significativamente differente dal gruppo YUt. Anche per lo stacco il gruppo YUc e YUt presentano una variabilità elevata 22% YUc e YUt 17%.

Angolo Corporeo

Nella seguente tabella sono riportati gli angoli corporei dei tre salti negli istanti di impatto e stacco e lo spostamento angolare del CM sia sulla pedana che sulla tavola.

Angolo Corporeo (°)								
		PED			TAV			ARR
		IMP*	TK	Δ	IMP*†	TK*†	Δ *†	IMP
YU ta (5)	m	60	97	37	46	118	71	64
	ds	0,5	2,4	2,6	2,1	3,4	1,6	9,6
	Cv%	1	2	7	5	4	2	15
YU c (4)	m	58	94	36	119	156	37	65
	ds	1,4	2,7	3,8	1,3	19,4	19,6	3,2
	Cv%	2	3	11	1	12	52	5
YU t (7)	m	61	96	35	45	118	73	57
	ds	2,1	2,1	1,9	2,9	1,2	1,9	18,4
	Cv%	3	2	5	6	1	3	32

* significatività Mann-Whitney test tra YUta e YUc

† significatività Mann-Whitney test tra YUt e YUc

p < 0,05

Tabella 32

All'impatto con la pedana, alla fine della rondata le ginnaste impattano con un angolo corporeo compreso tra 58° (YUc) e 61° (YUt), mentre nel successivo istante di stacco dalla pedana l'angolo corporeo è compreso tra 94° (YUc) e 97° (YUta). L'angolo spazzato dal corpo tra l'impatto e lo stacco risulta dunque compreso tra 35° e 37° . Il comportamento angolare del corpo sulla pedana è quindi piuttosto simile per

i tre gruppi di salti. All'impatto sulla tavola il salto YUta e YUt hanno valori simili con un angolo pari a $46 \pm 2,1^\circ$ per YUta e $45 \pm 2,9^\circ$ per YUt. Questi due gruppi impattano quindi sulla tavola con un angolo piuttosto piccolo. Al successivo stacco, entrambi i gruppi staccano oltre la verticale (90°), con un angolo corporeo pari a 118° ($\pm 3,4^\circ$ YUta ; $\pm 1,2^\circ$ YUt). L'angolo spazzato tra l'impatto e lo stacco risulta essere di $71 \pm 1,6^\circ$ per YUta e $73 \pm 1,9^\circ$ per YUt. Gli angoli corporei di impatto e stacco dalla tavola si differenziano in modo significativo per il salto YUc caratterizzato da un angolo corporeo di impatto molto elevato ($119 \pm 1,3^\circ$) e un angolo di stacco ben oltre la verticale (90°) pari a $156 \pm 19,4^\circ$. L'angolo spazzato sulla tavola è nettamente inferiore a quello degli altri due gruppi ($37 \pm 19,6^\circ$ con cv 52%). All'impatto finale sul tappeto le ginnaste hanno tutte un angolo corporeo compreso tra 57° e 65° , atterrano quindi, sbilanciate in avanti a circa 30° dalla posizione eretta.

Le velocità angolari del centro di massa sono riportate nella tabella sottostante. Quando la media e la deviazione standard hanno un valore molto simile non viene riportato il coefficiente di variabilità.

		Velocità Angolare CM ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$)						
		PED			TAV			ARR
		IMP	TK [†] \diamond	Δ^*	IMP	TK [*] \diamond	$\Delta^{*\dagger}$	IMP
YU ta (5)	m	3,3	3,3	4,2	1,8	0,9	6,0	1,9
	ds	0,6	0,3	0,1	0,4	0,4	0,4	1,8
	Cv%	17	9	3	20	-	6	-
YU c (4)	m	3,2	3,5	4,0	1,0	0,2	2,9	2,0
	ds	1,0	0,5	0,1	0,5	0,2	1,6	2,5
	Cv%	31	15	3	-	-	-	-
YU t (7)	m	3,5	2,6	4,2	1,3	0,1	6,6	1,9
	ds	0,6	0,3	0,3	0,6	0,2	1,4	1,2
	Cv%	18	13	6	-	-	22	-

* significatività Mann-Whitney test tra YUta e YUc (p<0,05)
† significatività Mann-Whitney test tra YUt e YUc
 \diamond significatività Mann-Whitney test tra YUta e YUt

Tabella 33

La velocità angolare all'impatto sulla pedana ha un valore medio compreso tra $3,2$ e $3,5 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$, con una variabilità piuttosto elevata soprattutto per il gruppo YUc (31%). Allo stacco dalla pedana il CM ha una velocità angolare media di $3,3 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$

per YUta, $3,5 \text{ rad*s}^{-1}$ per YUc e $2,6 \text{ rad*s}^{-1}$ per YUt, con il gruppo di YUt che si differenzia significativamente dagli altri due gruppi. La variazione media tra l'impatto e lo stacco di circa 4 rad*s^{-1} . Sulla tavola, invece la velocità angolare del CM all'impatto del gruppo YUta è significativamente più elevata rispetto agli altri due gruppi (YUta $0,9 \pm 0,4 \text{ rad*s}^{-1}$; YUc $0,2 \pm 0,2 \text{ rad*s}^{-1}$, YUt $0,1 \pm 0,2 \text{ rad*s}^{-1}$). La maggiore velocità angolare di stacco del gruppo YUta è necessaria alle ginnaste per incrementare la rotazione attorno all'asse trasversale del corpo in coordinazione al timing delle rotazioni longitudinali. La variazione della velocità angolare sulla tavola è pari a $6,0 \pm 0,4 \text{ rad*s}^{-1}$ per YUta e $6,6 \pm 1,4 \text{ rad*s}^{-1}$ per YUt. La variazione della velocità angolare del YUc è di $3 \pm 1,6 \text{ rad*s}^{-1}$. L'incremento della velocità angolare dei gruppi YUta e YUt è significativamente maggiore rispetto a quello del gruppo YUc. All'arrivo sul tappeto tutti i gruppi hanno una velocità angolare media di circa 2 rad*s^{-1} .

Angoli segmentari

Anca

Nella seguente tabella sono riportati i dati descrittivi relativi all'angolo assoluto dell'anca. I dati riportati sono la media tra i valori angolari dell'anca destra e sinistra.

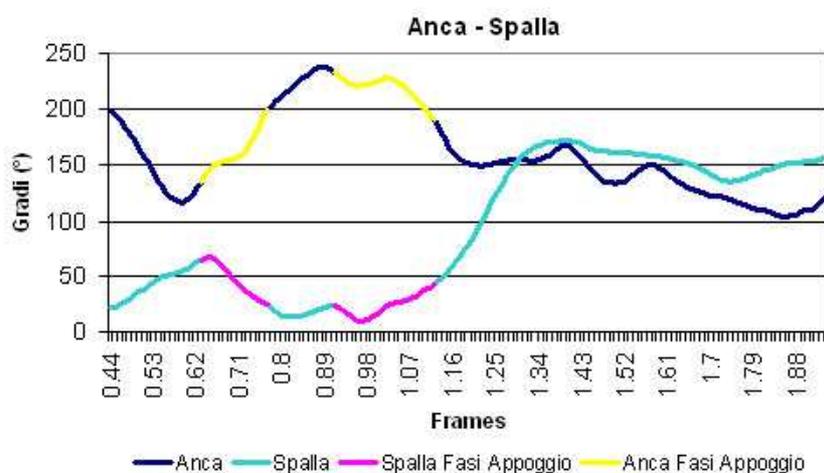


Figura 35

		Angolo Anca (°)				
		PED		TAV		ARR
		IMP	TK	IMP* [†]	TK* [◇]	IMP* [†]
YU ta	m	124	203	226	186	117
(5)	ds	10	6	10	6	7
	cv%	8	3	4	3	6
YU c	m	120	191	153	165	87
(4)	ds	3	12	19	3	17
	cv%	3	6	12	2	19
YU t	m	116	194	234	162	122
(7)	ds	8	9	6	9	10
	cv%	7	5	3	5	8

* significatività Mann-Whitney test tra YUta e YUc

† significatività Mann-Whitney test tra YUt e YUc

◇ significatività Mann-Whitney test tra YUta e YUt

Tabella 34

. Sia all'impatto che allo stacco dalla pedana il gruppo YUta ha l'anca più estesa rispetto agli altri due (Impatto: $124 \pm 10^\circ$ YUta; $120 \pm 3^\circ$ YUc; $116 \pm 8^\circ$ YUt), (Stacco: $203 \pm 6^\circ$ YUta; $191 \pm 12^\circ$ YUc; $194 \pm 9^\circ$ YUt). Al momento dello stacco dalla pedana l'articolazione dell'anca risulta già iperestesia in tutti i gruppi. All'impatto sulla tavola il gruppo YUta e YUt hanno dei valori angolari dell'anca molto simili ($226 \pm 10^\circ$ YUta; $234 \pm 6^\circ$ YUt) che indicano una marcata iperestensione, al contrario il gruppo YUc, eseguendo una avvitamento durante al prima fase di volo, impatta sulla tavola con un angolo dell'anca di $153 \pm 19^\circ$, significativamente differente dagli altri due. Allo stacco dalla tavola le ginnaste che eseguono YUta hanno l'anca sempre leggermente in iperestensione ($186 \pm 6^\circ$), con una differenza significativa rispetto agli altri due gruppi che staccano con l'anca leggermente in flessione ($165 \pm 3^\circ$ YUc e $162 \pm 9^\circ$ YUt). All'impatto sul tappeto le ginnaste che eseguono YUta hanno l'anca flessa di $117 \pm 7^\circ$, e quelle del gruppo YUt hanno l'anca leggermente più estesa ($122 \pm 10^\circ$), mentre il gruppo YUc ha l'anca molto flessa ($87 \pm 17^\circ$). La maggiore flessione del gruppo YUc è condizionata dall'atteggiamento carpiato del corpo durante il salto, che dovrebbe essere variato da carpiato a lungo prima dell'atterraggio attraverso un'azione coordinata di apertura proprio dell'anca.

Spalla

La tabella seguente (35) riporta i valori dell'angolo assoluto ricavato dalla media delle due spalle.

		Angolo Spalla (°)				
		PED		TAV		ARR
		IMP	TK	IMP* [†]	TK	IMP [†]
YU ta(5)	m	69	198	207	133	37
	ds	10,7	9,0	3,5	5,4	19,2
	cv%	15	5	2	4	52
YU c (4)	m	58	211	58	140	24
	ds	3,8	14,0	10,0	4,1	8,5
	cv%	7	7	17	3	36
YU t (7)	m	66	198	208	139	46
	ds	11,0	6,2	7,2	7,9	30,7
	cv%	17	3	3	6	66

* significatività Mann-Whitney test tra YUta e YUc

† significatività Mann-Whitney test tra YUt e YUc

p<0,05

Tabella 35

All'impatto con la pedana l'angolo delle spalle ha un valore medio compreso tra 58° (YUc) e 69° (YUta). Allo stacco dalla pedana l'angolo della spalla viene aperto attraverso una decisa e veloce azione di slancio indietro fino ad oltrepassare la massima estensione (198 ± 9° YUta; 198 ± 6,2° YUt; 211 ± 14° YUc). L'angolo maggiore spazzato dalle braccia tra l'impatto e lo stacco è quello del gruppo YUc, per le quali l'impatto con la pedana avviene con un le braccia più basse mentre (58° vs 69° YUta e 66° YUt) lo stacco avviene con le braccia più estese indietro oltre la linea del tronco. Questo permette loro di sfruttare maggiormente l'azione di slancio delle braccia per entrare nell'avvitamento del primo volo. All'impatto con la tavola l'angolo delle spalle nei gruppi YUta e YUt ha un valore medio di iperestensione rispettivamente di 207 ± 3,5° e 208 ± 7,2°. Il gruppo YUc per effetto dell'avvitamento ha un angolo medio di impatto significativamente diverso (58 ± 10°). E' evidente che queste ginnaste impattano sulla tavola con le braccia flesse sul tronco, e non in iperestensione come gli altri gruppi. Al successivo stacco dalla tavola, dopo aver superato la posizione verticale (rovesciata) sulla tavola, tutte le ginnaste escono dall'attrezzo con un angolo di flessione medio molto simile. 133 ± 5,4° per YUta e,

leggermente più estese YUt, $139 \pm 7,9^\circ$ e $140 \pm 4,1^\circ$ YUc. All'arrivo sul tappeto la posizione delle braccia, e quindi l'angolo della spalla, è di fondamentale importanza per l'arresto del movimento ed il controllo dell'equilibrio. Tutte le ginnaste impattano con le braccia in avanti e quindi con la spalla flessa in media di $37 \pm 19,4^\circ$ per YUta, $46 \pm 30,7^\circ$ YUt e, $24 \pm 8,5^\circ$ YUc. Per il gruppo YUc l'angolo all'arrivo risulta leggermente più chiuso in quanto durante la carpiatura del salto giro le ginnaste afferrano le gambe con le mani e poi le rilasciano prima dell'atterraggio. I valori estremamente elevati sia delle deviazioni standard che dei coefficienti di variabilità (52 % YUta, 66% YUt e 36% YUc) indicano che le strategie di arrivo sono un fattore coordinativo molto personale e determinato anche dalle condizioni del secondo volo, Infatti, se durante la parabola del secondo volo non è abbastanza elevata le ginnaste non riescono a completare la rotazione ed eseguire un atterraggio corretto.

Ginocchio

La tabella 36 raccoglie i dati dell'angolo assoluto del ginocchio, ricavanti anch'essi dalla media tra il ginocchio destro e sinistro. Il valore angolare di quest'articolazione è stata considerata negli istanti di impatto e stacco sulla pedana e all'arrivo finale sul tappeto.

		Angolo Ginocchio ($^\circ$)		
		PED		ARR
		IMP	TK	IMP
YU ta (5)	m	145	158	166
	ds	5	3	13
	cv%	4	2	8
YU c (4)	m	148	160	169
	ds	5	12	4
	cv%	4	7	2
YU t (7)	m	141	159	167
	ds	9	7	5
	cv%	7	4	3

Tabella 36

All'arrivo sulla pedana le ginnaste completano la rondata e, contemporaneamente si preparano all'impatto con il ginocchio leggermente flesso,

145°± 5° YUta, 148 ± 5° YUc e 141 ± 9° YUt. Allo stacco dalla pedana il ginocchio si estende di circa 10° (158 ± 3° YUta, 160 ± 12° YUc e 159 ± 7° YUt, con un comportamento molto simile tra i tre gruppi di salto. All’impatto sul tappeto il ginocchio è risultato per tutte quasi completamente esteso (166 ± 13° YUta, 169 ± 4° YU c e 167 ± 5° YUt). A differenza dell’angolo delle spalle, l’atteggiamento del ginocchio all’arrivo è meno soggetto alle strategie personali, infatti nell’istante di impatto la funzione del ginocchio è più che altro di tenuta e, successivamente di ammortizzamento.

Gomito

La tabella sottostante (37) è relativa all’angolo assoluto del gomito negli istanti di impatto e stacco con la tavola. I valori riportati in tabella si riferiscono alla media tra le due braccia.

		Angolo Gomito (°)	
		TAV	
		IMP	TK
YU ta	m	152	160
(5)	ds	13	5
	cv%	9	3
YU c	m	149	165
(4)	ds	6	6
	cv%	4	4
YU t	m	134	160
(7)	ds	17	9
	cv%	12	6

Tabella 37

All’impatto sulla tavola il gruppo YUta (152 ± 6°) e YUc (149 ± 6°) hanno un angolo medio maggiormente esteso rispetto al gruppo YUt (134 ± 17°). Quest’ultimo gruppo presenta anche una variabilità superiore (12% vs 9% YUta e 4% YUc). Al successivo stacco dalla tavola i due gruppi YUta e YUt hanno il gomito esteso a 160° (± 5° YUta; ± 9° YUt) , mentre il gruppo YUc ha il gomito più esteso di 5°. (165° ± 6).

Velocità angolare della spalla e dell'anca

Per meglio valutare il contributo delle braccia e del tronco sulla pedana, sono di seguito riportati i valori delle velocità angolari della spalla e dell'anca (Tabella 38).

Lo slancio dietro delle braccia sulla pedana ha una velocità angolare media compresa tra $15 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ (YUta) e $17 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ (YUc), mentre quella dell'anca è di $2 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$.

		Velocità angolare ($\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$)	
		PED	
		Spalla	Anca
YU ta (5)	m	15	2
	ds	2	0
	cv%	14	29
YU c (4)	m	17	2
	ds	3	0
	cv%	18	25
YU t (7)	m	16	2
	ds	2	0
	cv%	10	13

Tabella 38

Modello deterministico della ribaltata

Seguendo le indicazioni di Hay e Takei, il modello deterministico di questo progetto è stato sviluppato per organizzare in maniera sistematica le relazioni tra le variabili cinematiche e dinamiche.

Nel caso dello studio descrittivo, essendo lo scopo individuare e misurare la forza delle relazioni esistenti tra le variabili dinamiche della fase di spinta sulla tavola, con le variabili cinematiche della fase di spinta e di quelle precedenti, il modello deterministico è stato utilizzato principalmente come criterio di selezione delle variabili cinematiche.

Nel modello delineato, l'azione di spinta sulla tavola viene considerata come ultimo evento in grado di condizionare la parabola del centro di massa nella seconda fase di volo e, per questo posto al I livello. Al II livello sono dunque posizionate le caratteristiche meccaniche che descrivono il secondo volo, ovvero la traiettoria della parabola e la distanza angolare percorsa dal CM durante il secondo volo.

Per quanto riguarda la distanza angolare del CM è stato preso in considerazione solo il momento angolare del CM allo stacco dalla tavola. Il momento inerziale e la durata del secondo volo non sono state prese in considerazione nel presente studio (III livello). Data la relazione che lega il momento angolare alla velocità angolare, al IV livello è stata presa in considerazione la velocità angolare del CM allo stacco dalla tavola. Ai livelli successivi, V e IV, si trovano la velocità angolare del CM all'impatto con la tavola e la velocità angolare del CM allo stacco dalla pedana.

La traiettoria del CM nel secondo volo (II livello) è determinata, invece, dalla velocità risultante del CM allo stacco dalla tavola, la distanza verticale percorsa dal centro di massa durante la fase di spinta sulla tavola e l'angolo corporeo allo stacco dalla tavola (III liv). La velocità risultante di stacco dalla tavola altro non è che il vettore somma della velocità orizzontale e verticale allo stacco, variabili posizionate quindi al IV livello. Le velocità orizzontali e verticali sono a loro volta, uguali alla somma delle corrispondenti velocità nell'istante di impatto e delle rispettive variazioni durante tutta la fase di contatto con la tavola (V livello). Le velocità all'impatto sulla tavola sono strettamente dipendenti dalle velocità relative al

precedente stacco dalla pedana, mentre le variazioni di velocità durante la fase di contatto con la tavola, sono determinate dall'impulso di forza orizzontale e verticale che l'attrezzo esercita sulla ginnasta (in reazione all'impulso esercitato dalla ginnasta) e dalla massa della ginnasta stessa (regolata dalla relazione tra impulso e momento lineare). Tutte queste variabili sono rappresentate nel VI livello del modello. Gli impulsi orizzontali e verticali sono determinate per definizione dal tempo di contatto con la tavola e dalla forza esercitata dalla tavola sulla ginnasta. Data la natura del gesto di repulsione/spinta, al VII livello sono stati considerati i picchi di forza sia nella componente orizzontale che verticale piuttosto che la forza media. Sono stati infine, considerati anche i tempi impiegati per raggiungere tali picchi di forza (VIII livello). L'altezza relativa del CM allo stacco dalla tavola (III liv) dipende direttamente dall'altezza del CM negli istanti di stacco dalla tavola (IV liv), di impatto con la tavola (V liv) e, di stacco dalla pedana (VI liv). L'angolo corporeo allo stacco dalla tavola (III liv), è determinato dalla variazione dello stesso angolo durante tutta la fase di contatto con la tavola (IV liv), e dall'angolo corporeo negli istanti di impatto con la tavola (V liv), di stacco (VI liv) e di impatto (VII liv) dalla pedana.

A questo punto, all'interno del modello sono state evidenziate le correlazioni tra le variabili dinamiche e quelle cinematiche, espresse dal coefficiente non parametrico rho di Spearman.

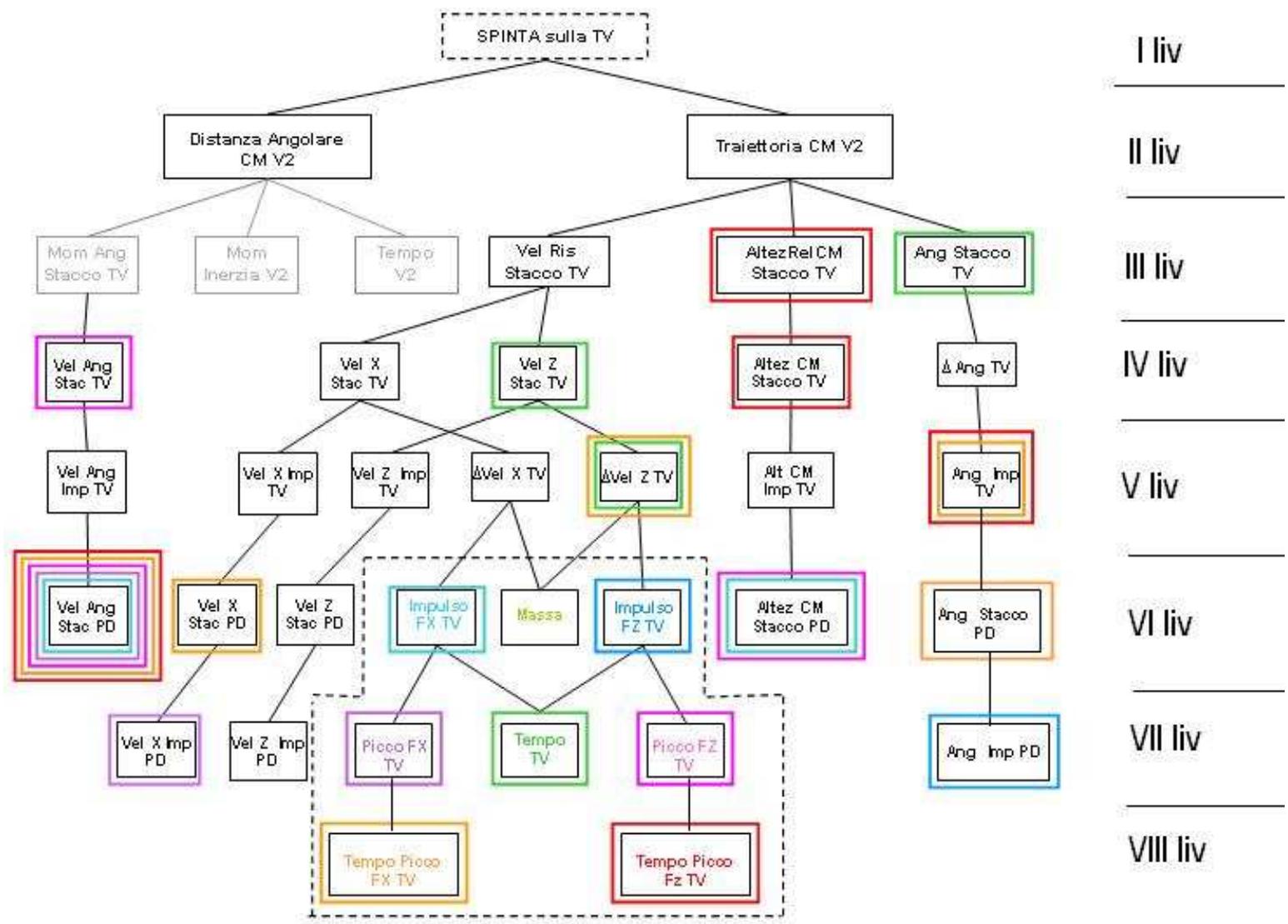


Figura 36

Nel modello deterministico illustrato nell'immagine 36 sono evidenziate le correlazioni significative tra le variabili dinamiche e quelle cinematiche. Le variabili dinamiche sono posizionate al V, VI e VII livello del modello.

L'impulso di forza orizzontale (celeste) è risultato correlato positivamente all'altezza del CM allo stacco dalla pedana ($r = 0,50$; $p = 0,01$) ed alla velocità angolare del CM allo stacco dalla pedana ($r = 0,43$; $p = 0,04$). Queste correlazioni indicano che le ginnaste che allo stacco dalla pedana hanno il CM più alto ed una velocità angolare maggiore, sviluppano anche un impulso orizzontale maggiore. L'impulso di forza verticale (azzurro) è correlato, invece, negativamente all'angolo corporeo di impatto sulla pedana ($r = -0,41$; $p = 0,04$). Quindi, quando l'angolo corporeo di impatto è più piccolo e, il corpo è meno sbilanciato indietro rispetto alla direzione del movimento, l'impulso verticale aumenta.

Il picco di forza orizzontale (viola) di frenata è proporzionale alla velocità verticale del CM all'impatto con la pedana ($r = 0,43$; $p = 0,03$) ed alla velocità angolare allo stacco dalla pedana ($r = 0,47$; $p = 0,02$). Questa relazione indica che il picco di forza orizzontale è più alto quando le ginnaste impattano sulla pedana con una velocità verticale maggiore e, staccano con una velocità angolare più elevata. Il picco di forza verticale (rosa) aumenta, non solo con la velocità angolare allo stacco dalla pedana ($r = 0,43$; $p = 0,04$), ma anche con l'altezza del CM allo stacco dalla pedana ($r = 0,48$; $p = 0,02$) e con la velocità angolare allo stacco dalla tavola ($r = 0,41$; $p = 0,05$). Come il picco di forza orizzontale, anche quello verticale aumenta, quando la velocità angolare di stacco dalla pedana è maggiore e il CM è più elevato. Un picco di forza elevato, a sua volta, è in grado di influenzare positivamente la velocità angolare di stacco dalla tavola. Il tempo di contatto delle mani con tavola (verde) determina, invece, la riduzione della variazione di velocità verticale del CM sulla tavola (decelerazione) ($r = -0,69$; $p < 0,01$), della velocità verticale allo stacco dalla tavola ($r = -0,56$; $p < 0,01$) e dell'angolo di stacco dalla tavola ($r = -0,70$; $p < 0,01$).

Il tempo impiegato per raggiungere il picco di forza orizzontale (arancione) è correlato positivamente con diverse variabili cinematiche allo stacco dalla pedana quali, l'altezza del CM ($r = 0,44$; $p = 0,03$) e, la velocità verticale ($r = 0,40$; $p = 0,05$) ed angolare ($r = 0,55$; $p = 0,01$) del CM. E' inoltre proporzionale all'angolo di impatto con la tavola ($r = 0,53$; $p = 0,01$) ed alla variazione di velocità verticale sulla tavola ($r = 0,43$; $p = 0,04$). Questo significa che quando il CM all'uscita dalla pedana è più alto, ed ha una velocità verticale ed angolare maggiore, si raggiunge il picco di forza

orizzontale in un tempo più lungo. Il tempo per raggiungere il picco di forza verticale (rosso) è, invece, correlato, positivamente all'angolo di impatto con la tavola ($r = 0,46$; $p = 0,03$) ed alla velocità angolare del CM allo stacco dalla tavola ($r = 0,43$; $p = 0,04$); e, negativamente sia allo spostamento verticale che all'altezza del CM allo stacco dalla tavola ($r = -0,42$; $p = 0,04$ per entrambi). Questo indica che l'angolo corporeo di impatto sulla tavola è più ampio e, lo spostamento verticale percorso dal CM durante la fase di appoggio sulle mani è minore, quindi, il tempo impiegato per raggiungere il picco di forza verticale si allunga. A sua volta, il tempo del picco verticale è in grado di influenzare positivamente la velocità angolare e l'altezza del CM allo stacco dalla tavola.

Modelli deterministici dei salti Yurchenko

Nello studio della prestazione di gara dei salti Yurchenko, come nei modelli comunemente applicati all'analisi dei volteggi descritti dalla letteratura, il primo livello è occupato dalla valutazione del giudizio di gara. Considerata la nuova forma con cui le prove vengono valutate (A + B) ed, essendo lo scopo del seguente lavoro quello di mettere alla luce i fattori meccanici che interferiscono con la qualità esecutiva del gesto a prescindere dal valore di partenza del salto, al primo livello del modello sono state poste le penalità assegnate dalla giuria.

Per prima cosa sono stati delineati due modelli deterministici uno per descrivere il primo volo, comprendente le variabili relative alla fase battuta in pedana e di primo volo; e un altro descrittivo del secondo volo con le variabili della spinta sulla tavola, del secondo volo e dell'istante di arrivo.

Modello deterministico relativo al primo volo

Le condizioni iniziali determinanti per la prima fase di volo sono state suddivise in una componente rotatoria, individuata dalla distanza angolare percorsa nel primo volo e una lineare identificata dalla traiettoria descritta al centro di massa sempre nel primo volo (II liv).

La distanza angolare del primo volo dipende dalla durata temporale del volo stesso, dal momento inerziale di volo e dal momento angolare allo stacco dalla pedana (III liv). Il momento inerziale e quello angolare nel modello (rappresentati nella figura x in grigio) non sono stati quantificati in questo studio per mancanza di dati antropometrici delle ginnaste. Nonostante ciò abbiamo proseguito nella stesura del modello tenendo presente la relazione che lega il momento angolare allo stacco con la velocità angolare del CM nello stesso istante (IV liv). Quest'ultima in fine dipende a sua volta dalla velocità angolare all'impatto con la pedana e dalla variazione della velocità angolare stessa durante la fase di battuta in pedana (V liv).

La traiettoria lineare del CM (II liv) è determinata dalla velocità risultante allo stacco dalla pedana, la distanza verticale percorsa dal CM durante la fase di battuta in pedana e, dall'angolo corporeo allo stacco dalla pedana(III liv).

La velocità risultante di stacco dalla pedana è il vettore somma della velocità orizzontale, verticale e trasversale allo stacco (IV liv). Le velocità di stacco dipendono

dalle corrispondenti velocità nell'istante di impatto con la pedana e delle rispettive variazioni durante tutta la fase di battuta in pedana (V liv). Dato il minor contributo della componente trasversale rispetto alla risultante, se ne considera solo la variazione di velocità. Le variazioni di velocità sulla pedana sono strettamente legate sia alla durata temporale della battuta che agli spostamenti orizzontali, verticali e dalle deviazioni trasversali percorsi dal CM(VI liv).

L'angolo corporeo allo stacco dalla pedana (III liv) dipende dalla variazione dello stesso angolo durante la fase di battuta (IV liv) che a sua volta dipende dall'angolo di impatto con la pedana (V liv). Possiamo inoltre considerare che l'angolo corporeo non è altro che il risultato degli atteggiamenti segmentali della catena cinetica costituita da ginocchio, anca e spalla. Parallelamente quindi, alle variabili precedenti del IV e V livello, si aggiungono gli angoli di stacco e impatto della catena cinetica appena descritta. Considerato l'evidente contributo sia del tronco che delle braccia durante la fase di battuta, descritte rispettivamente dalla variazione dell'angolo dell'anca e delle spalle, al VI livello ci sono le rispettive variazioni di velocità angolare.

L'altezza relativa del CM allo stacco dalla pedana (III liv), da una parte dipende dall'altezza allo stacco dalla pedana e, dall'altra determina l'altezza della successiva fase di impatto sulla tavola (IV liv). L'altezza del CM allo stacco dalla pedana dipende sia dall'altezza all'istante di impatto con la pedana che dall'altezza minima raggiunta durante l'azione di caricamento della pedana stessa (V liv).

Modello deterministico relativo al secondo volo

Il modello relativo alla seconda fase di volo è stato delineato secondo gli stessi principi del precedente modello apportando le opportune modifiche di seguito descritte.

Per quanto riguarda la distanza angolare percorsa, sono state aggiunte nel IV livello il tempo di ascesa del secondo volo (dallo stacco dalla tavola all'apice della parabola) e la massima flessione/estensione dell'anca, in quanto considerato valore indicativo del momento inerziale di volo.

Per la traiettoria del CM, la catena cinetica considerata è stata quella formata da gomito, spalla e anca.

Sono stati inoltre inserite le variabili angolari sia corporee che segmentali relative all'arrivo sul tappeto.

Analisi dei modelli

Sulla base dei risultati dei test statistici di Mann-Whitney, essendo il gruppo YUta e YUt simili nella prima parte del salto, per il calcolo delle correlazioni del modello relativo alla prima fase di volo, i due gruppi sono stati considerati come un unico campione ($n = 12$; 5 YUta e 7 YUt) e dunque rappresentati nello stesso modello. Per la seconda fase, invece, essendo le differenze significative, i due gruppi sono stati studiati singolarmente con modelli separati .

Il gruppo YUc, in quanto significativamente differente dagli altri è stato trattato singolarmente .

Le correlazioni tra le penalità e le variabili cinematiche sono state calcolate con il coefficiente di correlazione non parametrico rho di Spearman. Le relazioni sono state interpretate come nulle con r tra 0 e 0,39; (linea tratteggiata), lievi (r tra 0,40 e 0,59; linea sottile), medie (r tra 0,60 e 0,89; linea spessa) e forte (r tra 0,90 e 1; linea grossa).

Per i gruppi YUta e YUt all'interno dei modelli sono state prima individuate e rappresentate con linee di diversa intensità le correlazioni con le penalità parziali (PP) (I livello) e poi con quelle del secondo volo (PV2). Di queste ultime sono state aggiunte nel modello solo quelle che evidenziavano una relazione con le PV2 più forti di quelle con le PP. In questo modo è possibile avere prima un quadro dei fattori che interferiscono con l'esecuzione globale della prova al volteggio e poi, capire in maniera più specifica quali sono i fattori che determinano le deduzioni della parte fondamentale del salto, il secondo volo.

Per il gruppo YUc i modelli del primo e del secondo volo sono stati studiati in maniera analoga ma, prima in funzione delle penalità totali (PT) e poi di quelle parziali (PP). Questo criterio è stato applicato tenendo conto della presenza di un avvistamento nel primo volo e dell'atteggiamento carpiato nel secondo volo, che rendono queste due fasi una più difficile e l'altra più facile rispetto agli altri gruppi .

Per ciascuna parte del movimento analizzata, i modelli deterministici rispetto alle penalità (PP, PV2 e PT) sono discussi insieme considerando una fase o un ramo del modello alla volta, partendo con la variabile posizionata al livello più alto e procedendo poi con le variabili poste più in basso. Nell'analisi dei modelli sono discusse le correlazioni significative e quelle che, se pur non significative, mostrano

una forte relazione con le penalità di gara. Tali correlazioni, infatti, se pur non significative evidenziano dei fattori importanti e non trascurabili.

Modelli deterministici relativi al primo volo dei salti YUta e YUt

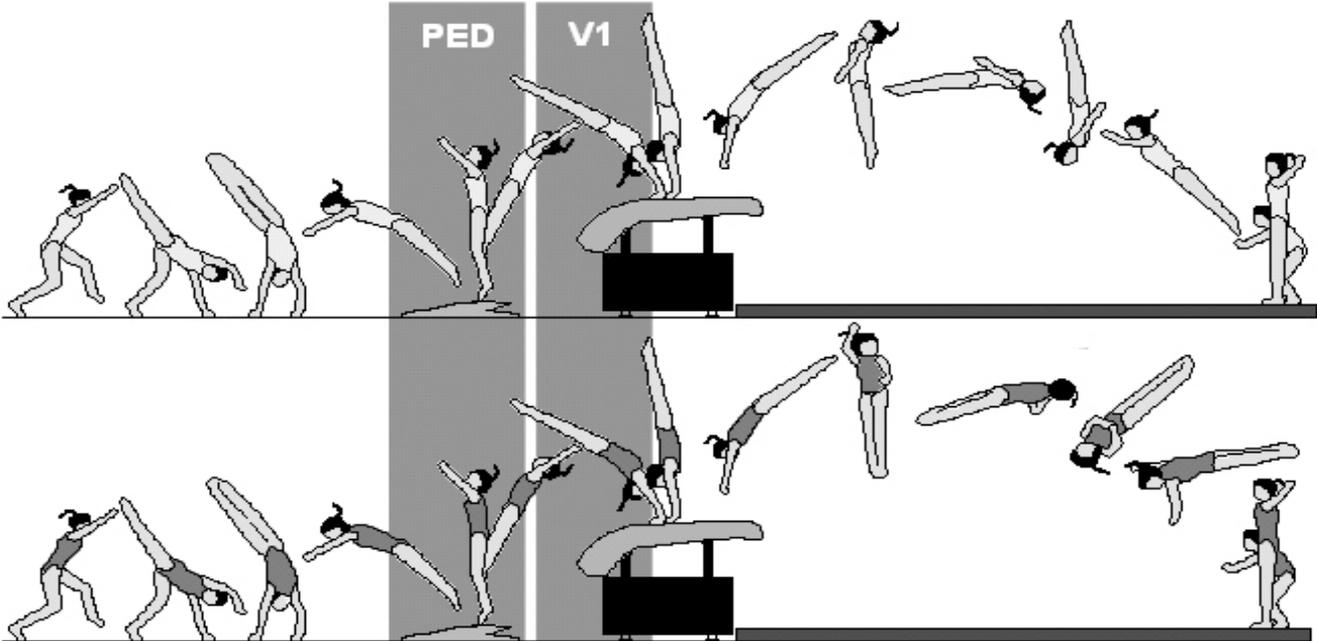


Figura 37

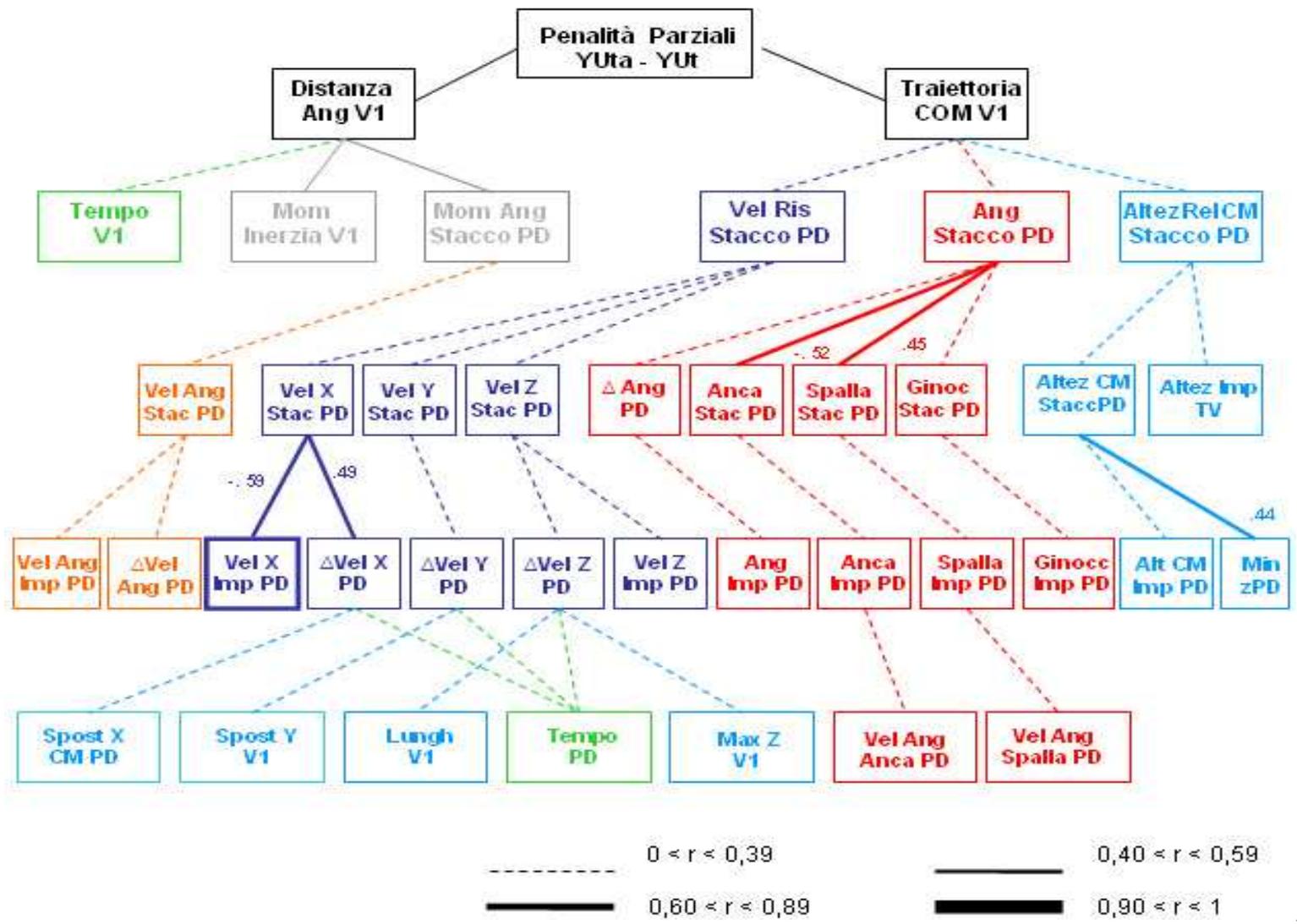


Figura 34

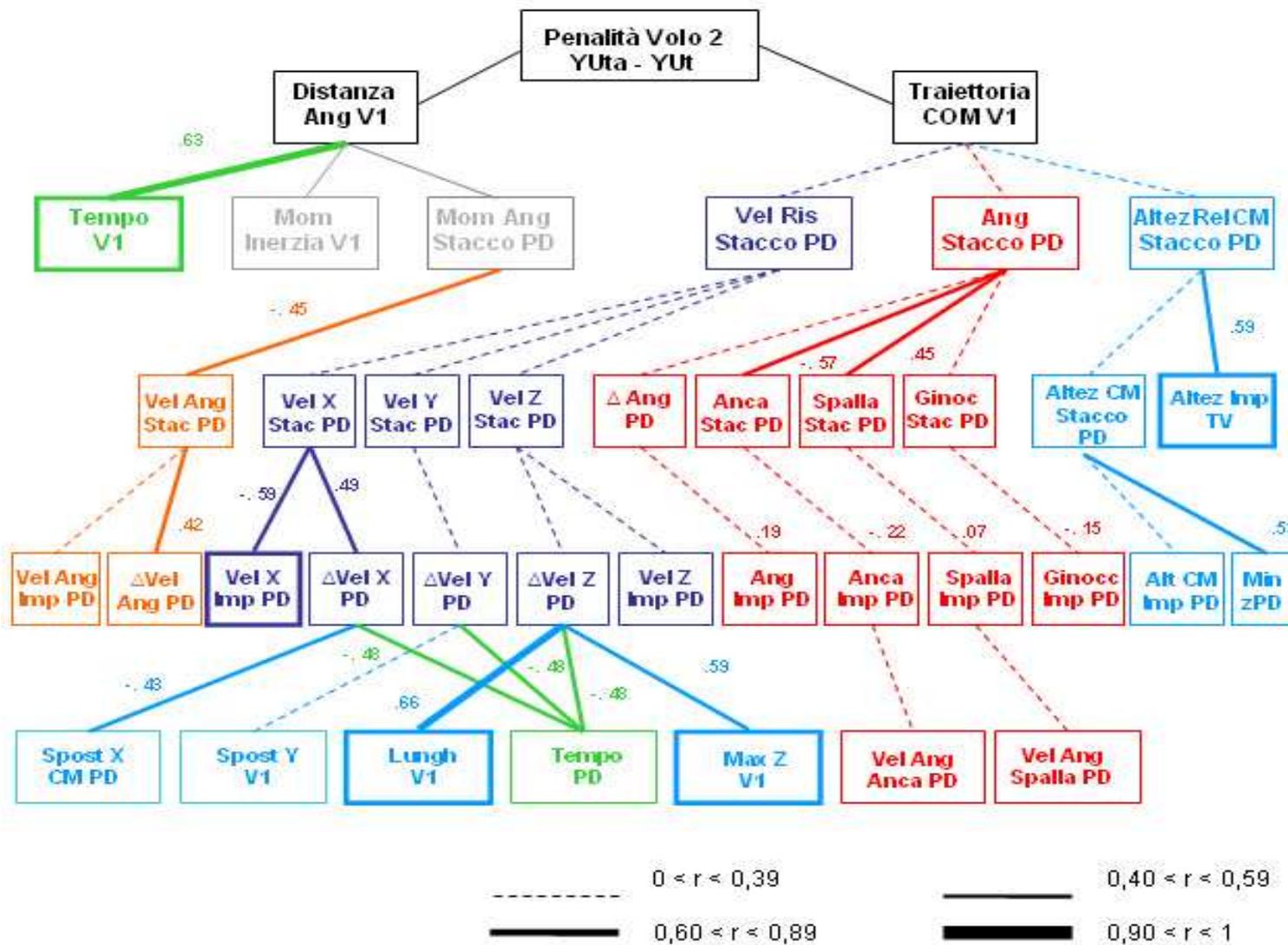


Figura 38

Primo volo YUta e YUt

I modelli relativi alla prima fase di volo dei salti YUta e YUt rispetto al punteggio PP e PV2 sono rappresentati nelle figure 34 e 35.

Traiettoria CM VI. La correlazione negativa tra l'angolo dell'anca allo stacco dalla pedana e le penalità ($r = -0,52$ PP; $r = -0,57$ PV2), nel IV livello del modello, indica che le ginnaste che staccano dalla pedana con l'anca più iperestesa sono penalizzate un pò di meno. Al contrario, nello stesso istante, la correlazione positiva con l'angolo delle spalle ($r = 0,45$ PP) indica che la maggiore estensione delle braccia sul tronco determina un moderato aumento delle penalità. Allo stesso livello, risulta lieve ma significativa la correlazione tra l'altezza del CM all'impatto con la tavola e le PV2 ($r = 0,59$ $p < 0,05$). Quindi, le ginnaste che alla fine del primo volo, impattano sulla tavola con il CM più alto, sono penalizzate maggiormente nel secondo volo.

Al livello successivo (V) l'altezza minima raggiunta dal CM sulla pedana ha una bassa correlazione positiva con le PP ($r = 0,44$) che con le PV2 ($r = 0,53$). Ciò significa che un eccessivo abbassamento del CM sulla pedana determina un aumento delle penalità. Nel ramo delle velocità del CM (in blu nell'immagine) al V livello, la correlazione negativa con la velocità orizzontale all'impatto sulla pedana ($r = -0,59$ $p < 0,05$ PP e PV2), indica che un elevato valore di questa variabile è importante per non perdere punteggio. L'importanza della componente orizzontale della velocità sulla pedana è confermata dalla correlazione positiva tra le penalità con la variazione di velocità orizzontale (decellarazione) ($r = 0,49$ PP). All'ultimo livello del pattern di variabili che descrivono la traiettoria del CM troviamo alcune relazioni interessanti con il PV2. Quella negativa con lo spostamento orizzontale del CM sulla pedana ($r = -0,48$) e, positiva della durata della battuta in pedana ($r = 0,48$). E due correlazioni significative, di 0,66 ($p < 0,05$) e 0,59 ($p < 0,05$), rispettivamente con la lunghezza e l'altezza massima del CM nel primo volo.

Distanza angolare del CM nel VI. Tra le variabili determinanti la distanza angolare del CM la durata del primo volo risulta correlata significativamente e positivamente ($r = 0,63$ $p < 0,05$) con le PV2. Un' elevata velocità angolare del CM allo stacco dalla pedana (IV liv) determina una minore penalizzazione nel secondo

volo ($r = -0,45$); mentre la variazione (incremento) di velocità angolare del CM sulla pedana determina una maggiore penalizzazione.

Lo scarso numero di variabili correlate con le penalità sia PP che PV2 ed allo stesso tempo il valore piuttosto basso dei coefficienti di correlazione, indicano che, per entrambi i gruppi YUta e YUt, la fase di battuta in pedana e di primo volo sono eseguite per lo più correttamente e, quindi poco penalizzate. Le componenti essenziali nella prima parte dell'esercizio sono, prima di tutto, quella orizzontale sia nella velocità che negli spostamenti, e poi, quella degli spostamenti verticali del CM, insieme con la durata del primo volo.

Modelli deterministici relativi al secondo volo del salti YUta

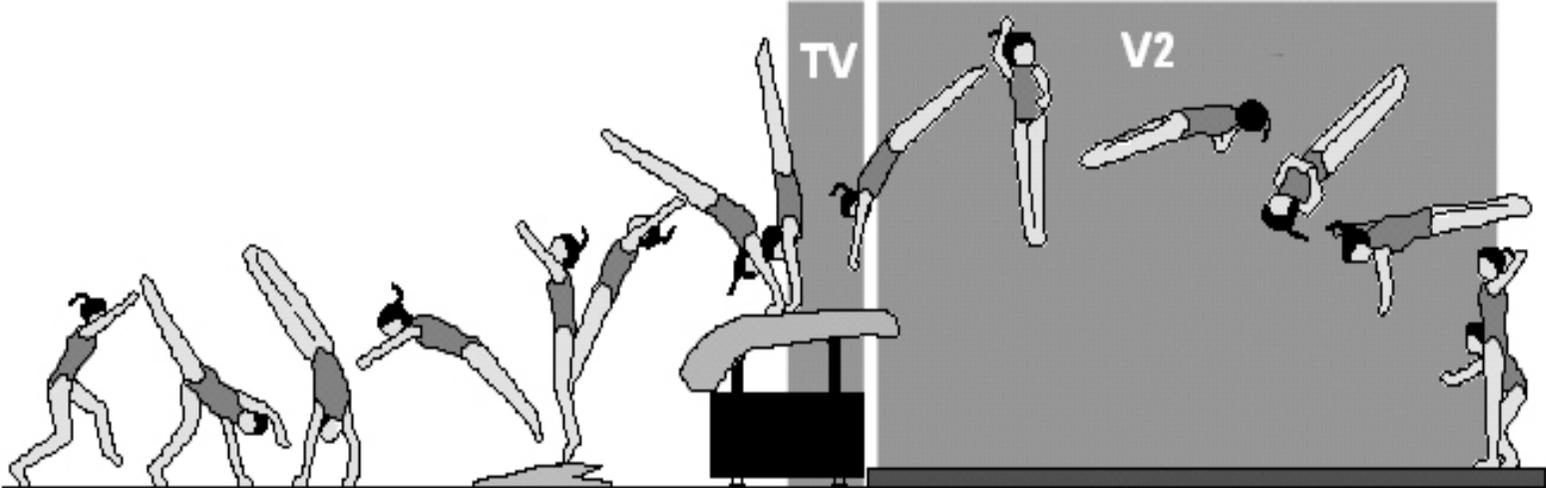


Figura 39

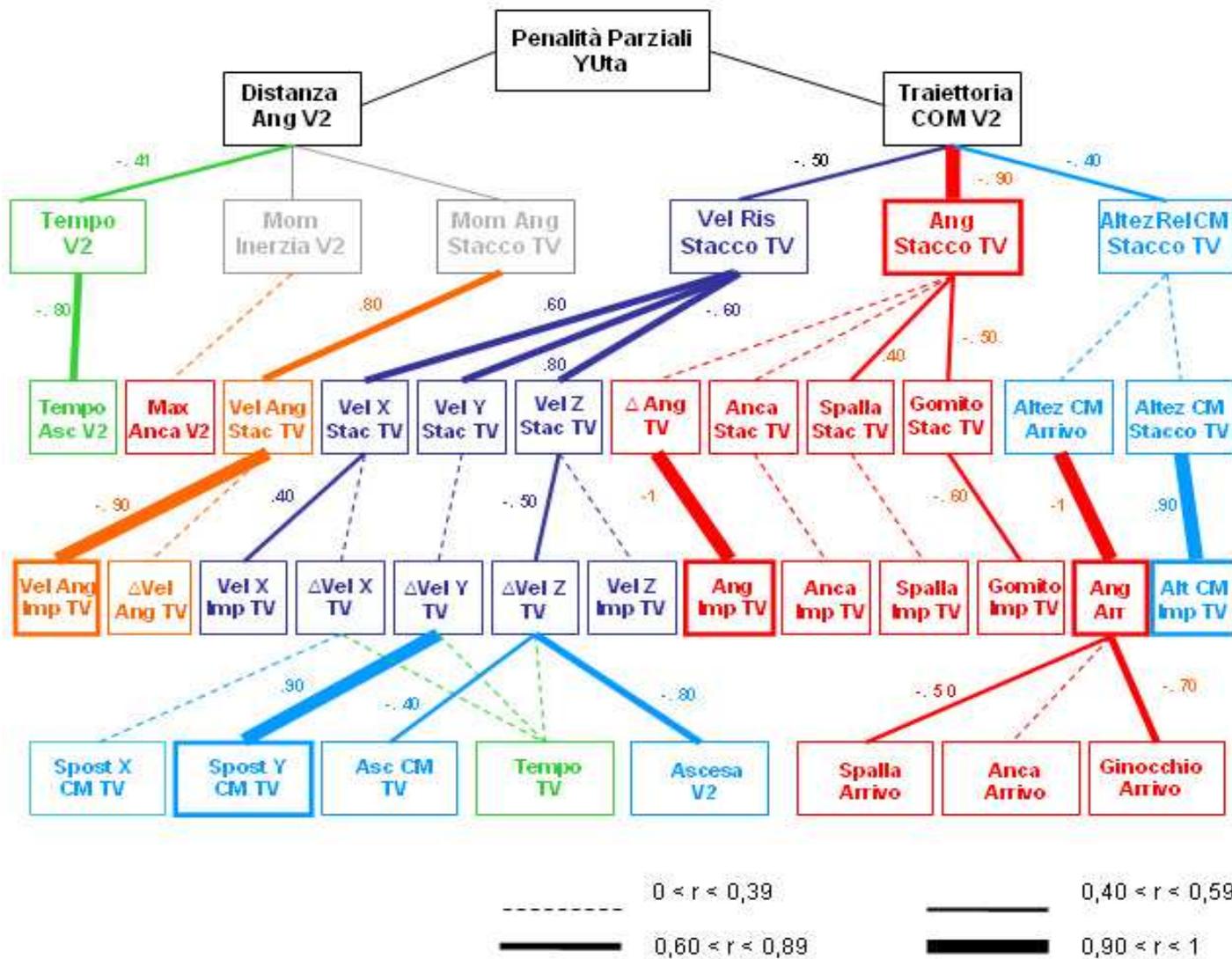


Figura 40

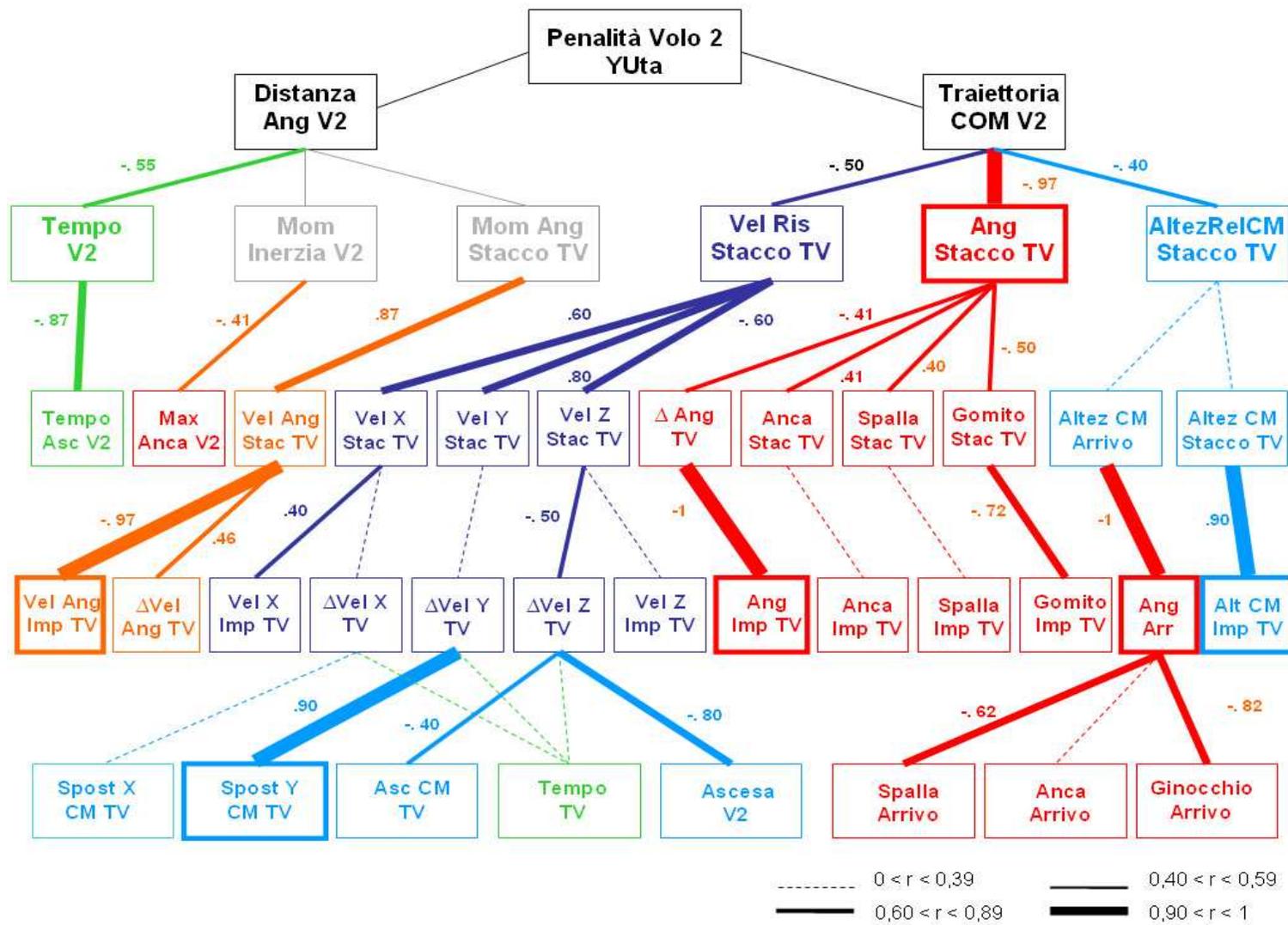


Figura 41

Secondo volo YUta

I modelli relativi alla seconda fase di volo del salto YUta rispetto alle PP e PV2 è rappresentato nelle figure 40 e 41.

Traiettoria del CM nel V2. Dal modello rappresentato nelle immagini x e y si nota che le variabili che descrivono la traiettoria del CM nel V2 posizionate al III livello sono tutte correlate negativamente con le penalità. L'angolo del CM allo stacco dalla tavola ha una correlazione positiva significativa sia con il PP ($r = -0,90$ $p < 0,001$) che PV2 ($r = -0,97$ $p < 0,01$). L'altezza relativa del CM allo stacco dalla tavola ha $r = -0,40$. La velocità risultante ha un coefficiente di $-0,50$ con il PP. Delle tre componenti che la determinano (IV liv), due sono correlate positivamente, quella orizzontale moderatamente con $r = 0,60$ e quella trasversale mediamente con $r = 0,80$ (PP). L'intensità di quest'ultima relazione, in particolare significa che le ginnaste che tendono ad anticipare l'avvitamento sulla tavola sono quelle maggiormente penalizzate. Anche lo spostamento trasversale del CM sulla tavola (VI liv) è infatti, correlato significativamente con le penalità ($r = 0,90$).

La velocità verticale allo stacco è invece, correlata negativamente ($r = -0,60$ per PP). Quindi, incrementando anche lievemente, la componente verticale della velocità all'uscita dall'attrezzo è possibile ridurre le penalità. Al V livello, la velocità orizzontale di impatto con la tavola ha una bassa correlazione positiva con le PP ($r = 0,40$). Da questo punto in poi è possibile notare come ci sono una serie di variabili tutte relative al movimento verticale del CM sulla tavola correlate negativamente con il PP. L'altezza ($r = 0,90$ $p < 0,011$) e l'angolo ($r = -1$) del CM all'impatto sulla tavola, la variazione di velocità verticale ($r = -0,40$) e l'ascesa del CM ($r = -0,40$), tutte correlate negativamente con le PP. Si deduce che per questo gruppo la componente verticale sulla tavola è un fattore che se incrementato può ridurre in maniera significativa le penalità. Alle variabili appena descritte è possibile aggiungere l'angolo del gomito all'impatto con la tavola ($r = -0,60$ PP; $r = -0,72$ PV2) e allo stacco ($r = -0,50$). Queste correlazioni indicano che l'atteggiamento del gomito più esteso contribuisce a mantenere il CM più alto durante tutta la fase di spinta, riducendo sia la perdita della velocità verticale che lo spostamento verso l'alto tra l'impatto e lo stacco. Tutto questo si trasforma in una maggiore ascesa del CM nel secondo volo che si correla negativamente alle PP ($r = 0,80$). A questo quadro si

aggiunge la correlazione lieve dell'angolo delle spalle allo stacco dalla tavola ($r = 0,40$) e dell'angolo spazzato dal CM sulla tavola ($r = -0,41$).

Gli angoli del CM ($r = -1$), della spalla ($r = -0,50$ PP e $r = -0,62$ PV2)) e del ginocchio ($r = -0,70$ PP e $r = -0,82$ PV2) all'arrivo sono correlati anch'essi negativamente. Quindi le ginnaste che all'arrivo sul tappeto hanno gli angoli più aperti, vengono penalizzate meno.

Distanza angolare del CM nel V2. Al III e IV livello le correlazioni con la durata totale del secondo volo ($r = -0,41$ PP e $r = -0,55$ PV2) ed in particolare, del tempo impiegato per raggiungere il picco della parabola ($r = -0,80$ PP e $r = 0,87$ PV2) sono correlate negativamente con le penalità. La velocità angolare del CM all'impatto con la tavola è correlato significativamente con le penalità in senso negativo ($r = -0,90$ PP e $r = -0,97$ PV2). La velocità angolare allo stacco invece, ha una correlazione media ma positiva ($r = 0,80$ PP e $r = 0,87$ PV2). La variazione della velocità angolare sulla tavola è correlata moderatamente solo con le PV2 ($r = 0,46$).

Le correlazioni individuate nel modello indicano che le penalità assegnate dalla giuria al gruppo YUta, sono da attribuirsi soprattutto agli errori commessi nella fase di spinta sulla tavola e di secondo volo. Le variabili critiche in queste fasi sono rappresentate dalle componenti angolari segmentarie all'impatto ed allo stacco dalla tavola e all'arrivo, la velocità angolare del CM all'impatto.

Modelli deterministici relativi al secondo volo del salto YUt

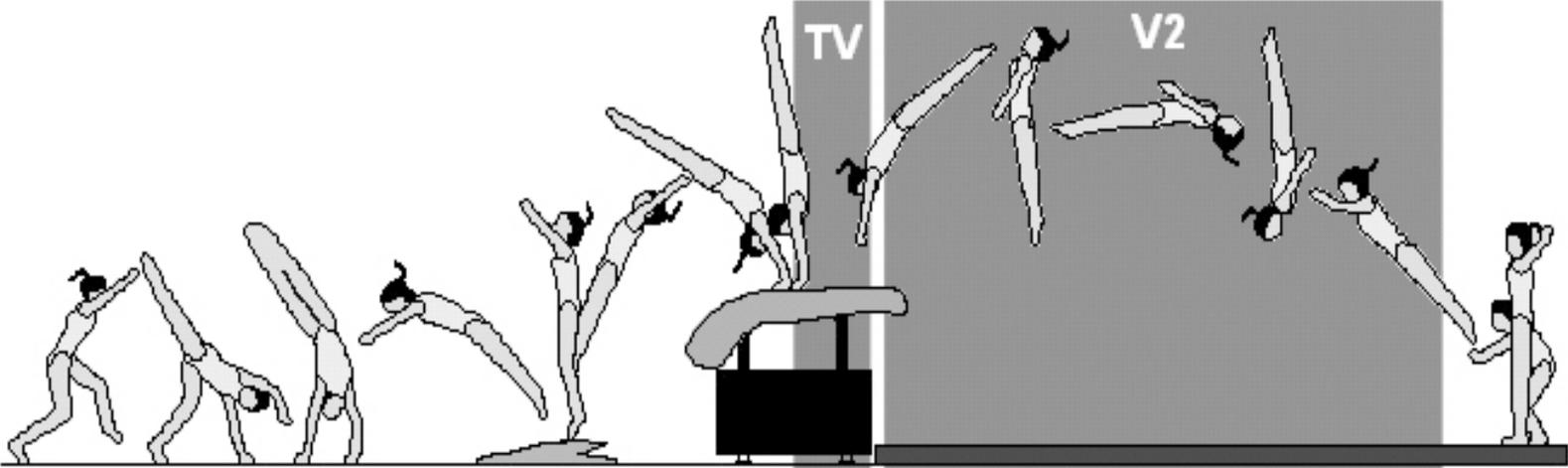


Figura 42

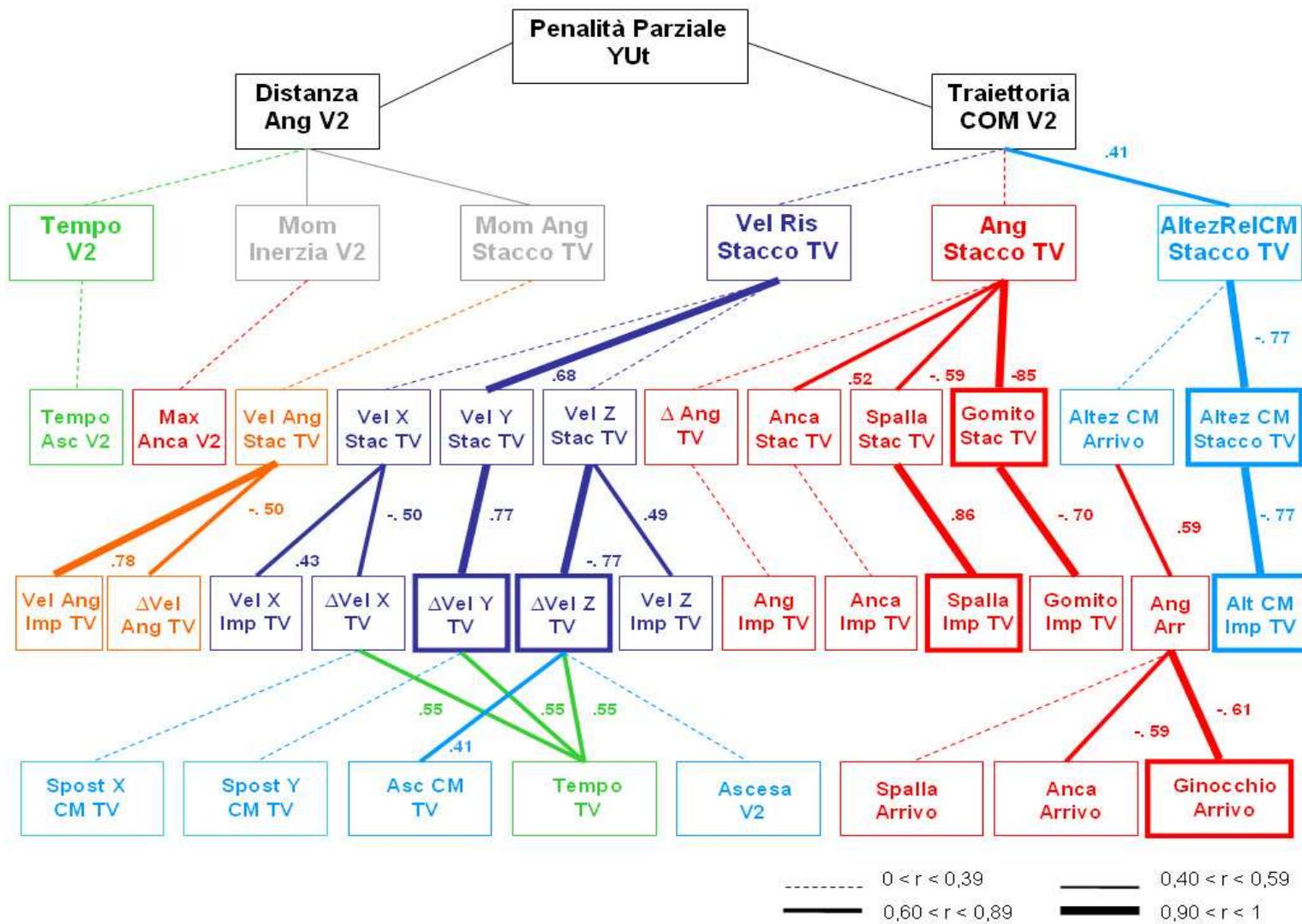


Figura 43

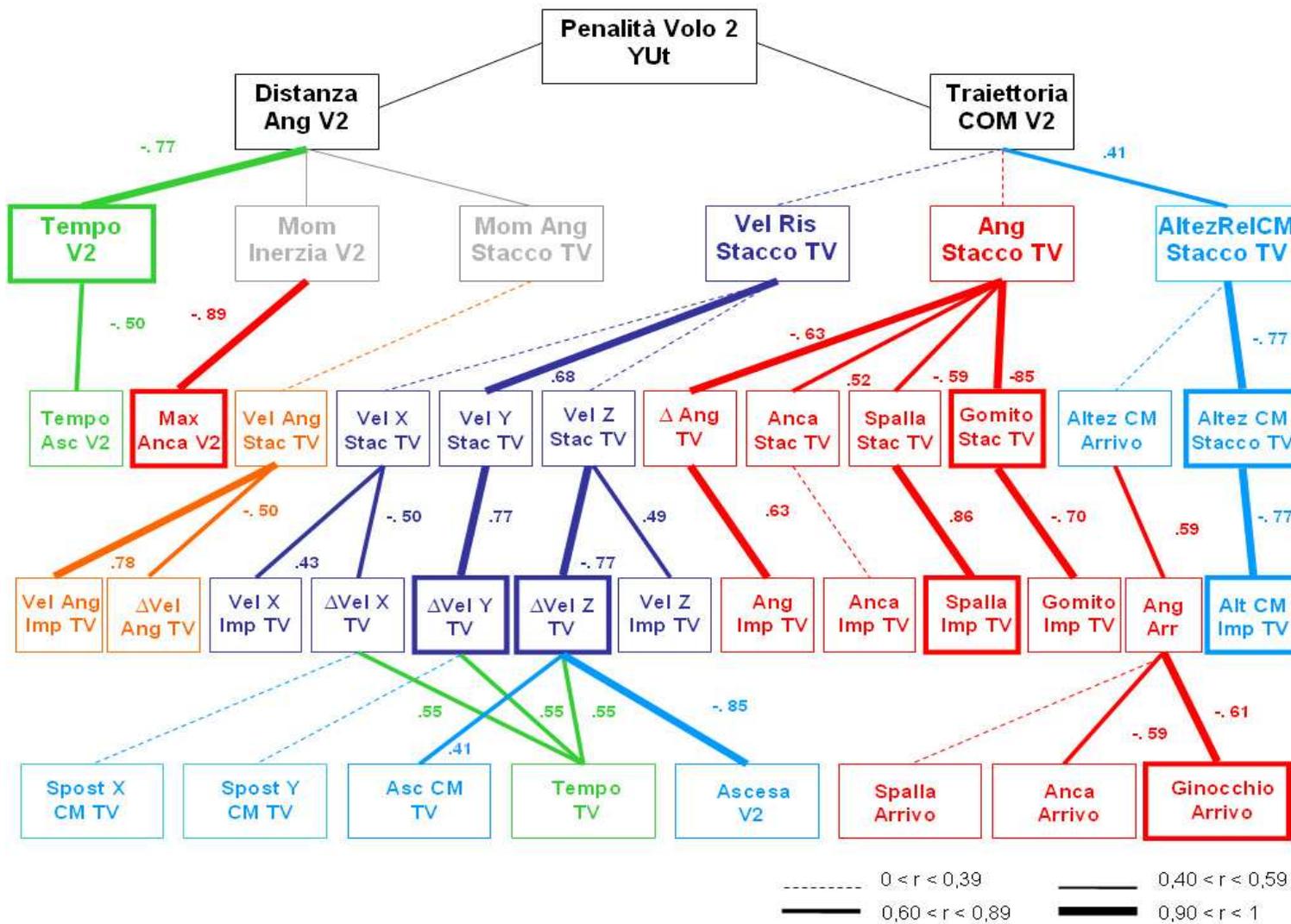


Figura 44

Secondo volo YUt

I modelli relativi alla seconda fase di volo del salto YUt rispetto alle PP e PV2 è rappresentato nelle figure 43 e 44.

Traiettoria CM V2. Al terzo livello del modello lo spostamento relativo del CM allo stacco dalla tavola è correlato moderatamente con le PP ($r = 0,41$), quindi un eccessivo spostamento verso l'alto del CM durante la spinta sulla tavola è un fattore che influenza negativamente se pur di poco, la performance. Infatti, sia l'altezza del CM all'inizio che alla fine della spinta sono correlati negativamente con le PP ($r = -0,77$). Questo significa che il CM deve essere mantenuto alto per tutta la fase di appoggio sulla tavola. Al momento dello stacco dalla pedana l'angolo dell'anca ha una correlazione positiva con le PP ($r = 0,52$), mentre quello della spalla e del gomito sono negative (spalla $r = -0,59$; gomito $r = -0,85$ $p < 0,01$). L'atteggiamento scorretto delle spalle, non allineate con il tronco e, in maniera significativa dei gomiti flessi determinano un'importante perdita di punteggio. Sempre negativa risulta l'angolo spazzato dal CM sulla tavola con il PV2 ($r = -0,63$). Quando questo angolo aumenta le penalità nel secondo volo si riducono.

Le variabili angolari presentano correlazioni interessanti anche nel livello successivo (V) dove l'angolo della spalla all'impatto è correlato significativamente ($r = 0,86$) con il PP, mentre quello del gomito è correlato negativamente con $r = -0,70$. Mentre l'eccessiva iperestensione delle braccia risulta negativa per la prestazione, l'estensione dei gomiti rappresenta un fattore positivo anche all'impatto. L'angolo corporeo all'impatto risulta, invece, correlato moderatamente alle PV2 ($r = 0,63$).

Le correlazioni tra le velocità del CM e le penalità sono presenti al IV livello con la componente trasversale allo stacco ($r = 0,68$) ed al livello successivo in maniera significativa con la variazione della velocità trasversale sulla tavola, ma negativamente ($r = -0,77$ $p < 0,05$). Si può, infatti, notare che non essendo eseguito alcun avvistamento nel secondo volo, la componente trasversale allo stacco rappresenta un elemento che interferisce con la precisione del salto. La correlazione negativa della variazione di velocità trasversale sulla tavola indica che all'aumentare della variazione le penalità si riducono. Questa relazione, piuttosto insolita, vista la simmetria del movimento, può essere spiegata come una strategia di aggiustamento per correggere eventuali deviazioni laterali del CM. La velocità orizzontale, invece, è

correlata solo moderatamente con le PP in maniera positiva nell'istante di impatto con la tavola ($r = 0,43$) e, negativa con la sua variazione durante l'appoggio ($r = -0,50$). Le ginnaste che durante il passaggio sulla tavola riducono maggiormente la componente orizzontale della velocità sono penalizzate meno. La componente verticale della velocità ha un comportamento simile, infatti, la velocità di impatto è correlata positivamente con le PP ($r = 0,49$) mentre, la variazione della velocità è correlata negativamente e significativamente con le PP ($r = -0,77$ $p < 0,05$).

All'ultimo livello del modello l'ascesa del CM sulla tavola ha una bassa relazione positiva di 0,41, mentre l'ascesa durante la fase di volo ha una relazione negativa significativa con le PP ($r = -0,85$ $p < 0,001$). Lo spostamento verticale del CM sulla tavola è, come già visto precedentemente, un fattore negativo, mentre quello del secondo volo è positivo.

La durata della fase di spinta è correlata positivamente con le PP ($r = 0,55$). Al IV livello si trova poi una correlazione positiva tra le PP e la durata della fase di spinta sulla tavola ($r = 0,55$), la quale indica che le ginnaste con un tempo di appoggio più lungo sono penalizzate di più. In fine, gli angoli di arrivo del ginocchio e dell'anca, insieme con l'angolo corporeo risultano correlati con le PP.

Gli angoli segmentari mostrano delle correlazioni negative di -0,59 per l'anca e -0,61 ($p < 0,05$) per il ginocchio. Quindi, le ginnaste che atterrano con l'anca ed il ginocchio più esteso sono penalizzate meno. Quanto all'angolo corporeo, la correlazione positiva indica che all'aumentare dell'angolo aumentano anche le penalità. Le condizioni di atterraggio descritte dalle variabili angolari nel modello spiegano gli spostamenti all'arrivo osservati dai filmati, che in questo gruppo si presentano sempre come un passo o balzo indietro che denota una carenza nel controllo della rotazione attorno all'asse trasversale e del suo arresto.

Distanza angolare V2. Tra le variabili che descrivono il movimento rotatorio del secondo volo del gruppo YUt risulta significativa la correlazione tra la durata del secondo volo e le PV2 ($r = -0,77$ $p < 0,01$). La correlazione negativa della durata del volo, insieme a quella del tempo impiegato per raggiungere il picco della parabola ($r = -0,50$), indicano che queste variabili sono di fondamentale importanza per la performance di questo salto. Infatti, entrambe sono necessarie per poter completare la rotazione attorno all'asse trasversale in atteggiamento teso e quindi, con un elevato momento inerziale. Queste variabili contribuiscono inoltre, ad

incrementare l'estetica ed aumentare la spettacolarità di salto. Altra variabile che mostra una correlazione piuttosto elevata con le PV2 è l'angolo di massima estensione dell'anca in volo ($r = -0,89$). Questa relazione indica che le ginnaste che mantengono un atteggiamento del corpo più esteso vengono penalizzate meno. Anche questa componente del salto è considerata un fattore estetico e, quindi, osservata attentamente dai giudici.

Tra le altre variabili che mostrano una relazione con le penalità (PP) ci sono ancora, la velocità angolare del CM all'impatto con la tavola ($r = 0,78$), il cui aumento comporta maggiori deduzioni e, la variazione della velocità angolare del CM sulla tavola. Quest'ultima variabile, correlata negativamente ($r = -0,50$), indica che le ginnaste che durante la fase di appoggio sulla tavola hanno incrementato maggiormente la velocità angolare del CM sono state penalizzate di meno.

Dallo studio del modello del secondo volo del gruppo YUt risulta che, le ginnaste che eseguono questo salto sono state penalizzate mediamente nella fase di spinta sulla tavola, secondo volo e all'arrivo. I fattori meccanici determinanti per l'esecuzione di questo tipo di salto sono rappresentate dalla traiettoria verticale del CM sulla tavola, durata del volo, e dalla massima estensione dell'anca, dalla quale dipende il momento inerziale di rotazione. Risultano inoltre, critiche le variabili angolari articolari all'impatto e allo stacco dalla tavola e all'arrivo sul tappeto.

Modelli deterministici relativo al primo volo dei salti YUc

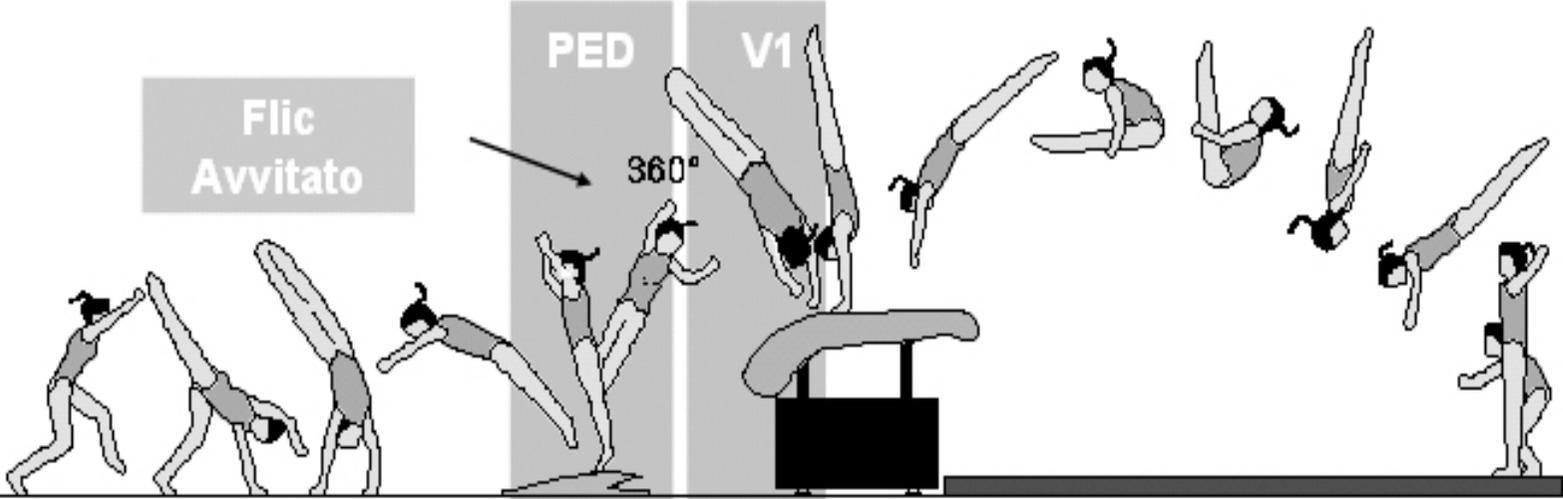


Figura 45

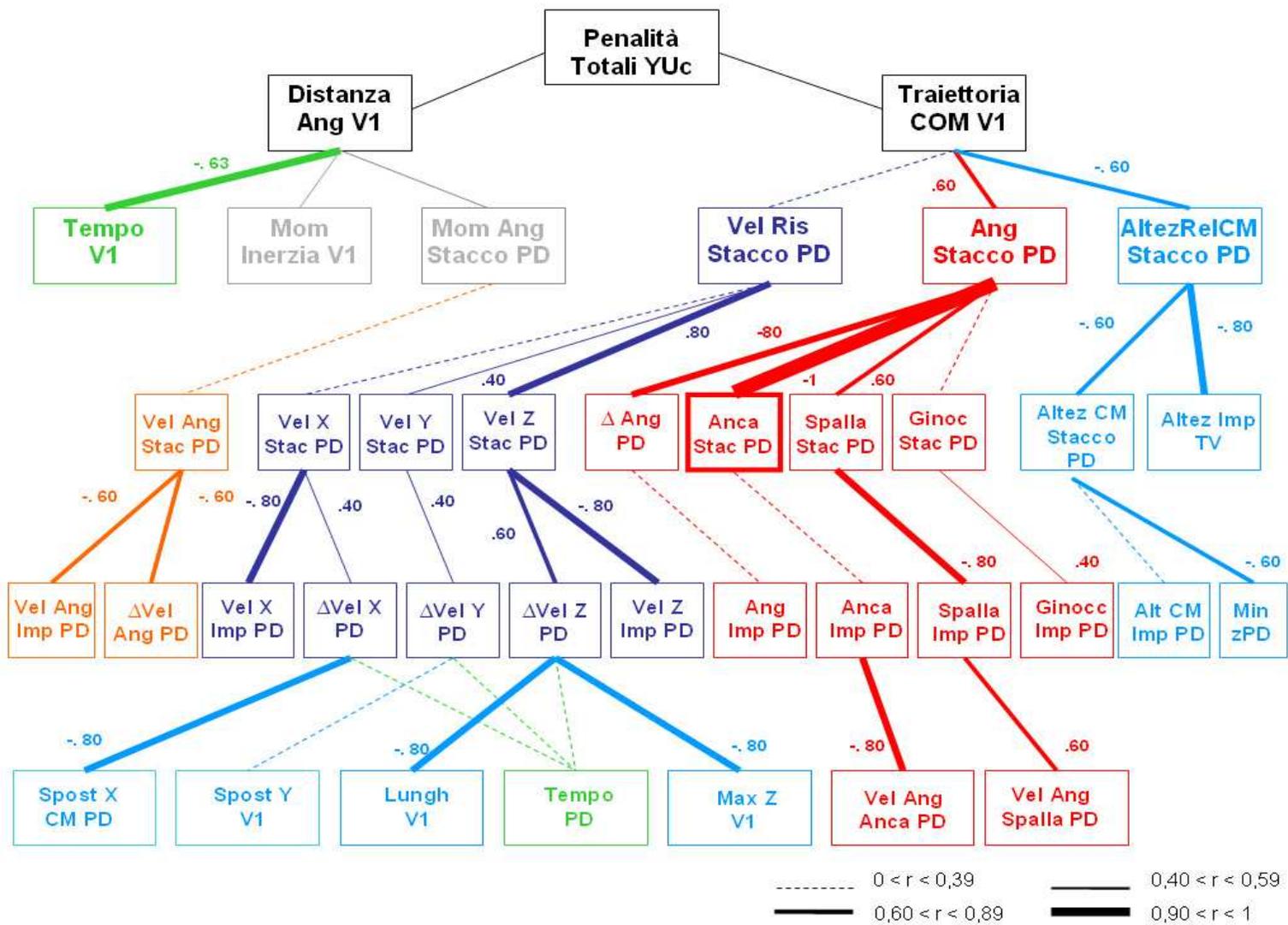


Figura 46

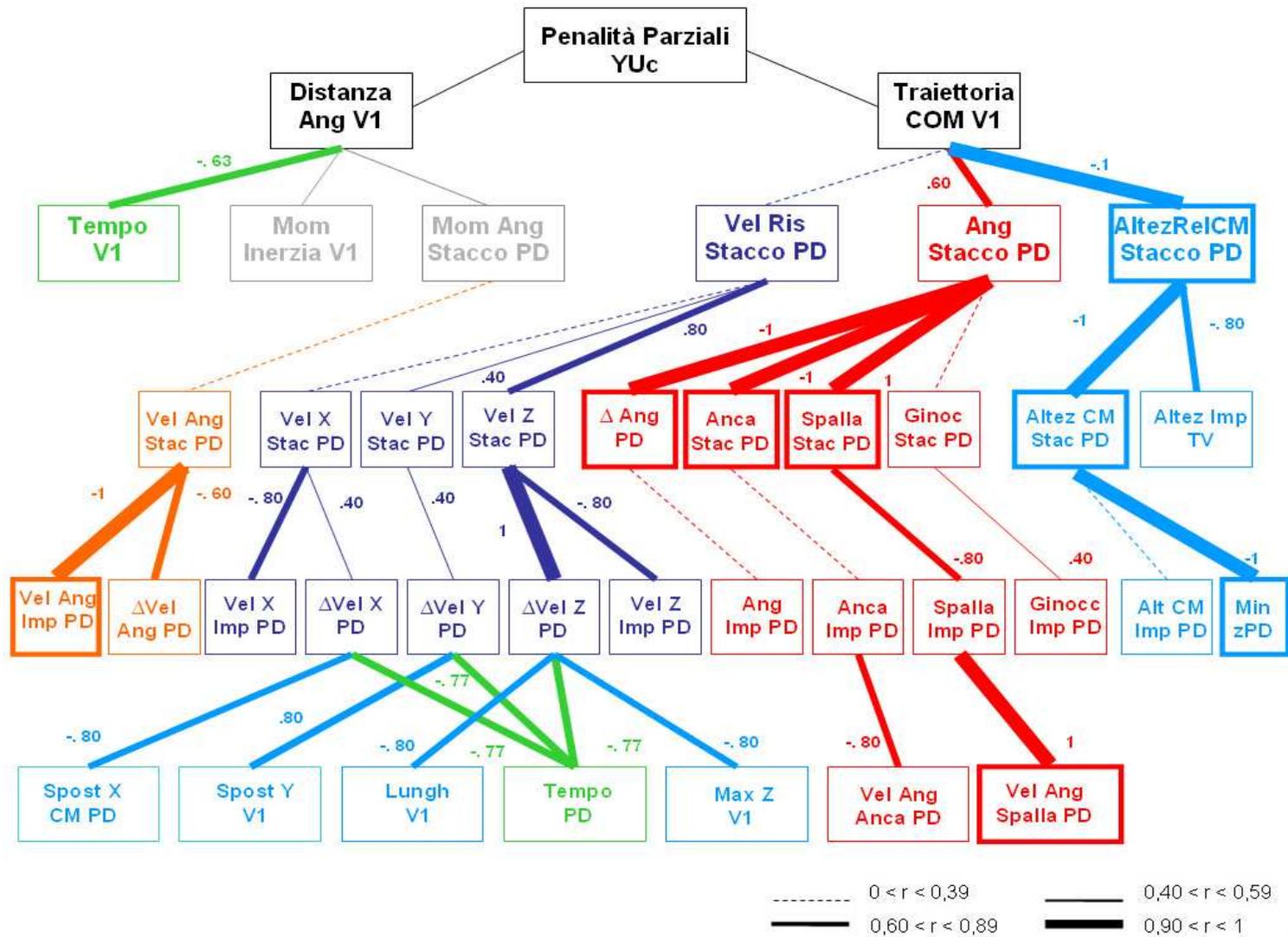


Figura 47

Primo volo YUc

I modelli relativi alla prima fase di volo del salto YUc rispetto alle PT e PP sono rappresentati nelle figure 46 e 47.

Traiettoria CM VI. Tra le variabili descrittive della traiettoria del primo volo rappresentate nel III livello del modello, sono risultate correlate alle PT l'angolo del CM allo stacco dalla pedana ($r = 0,60$) e lo spostamento relativo verticale del CM allo stacco dalla pedana ($r = -0,60$). La relazione significativa tra quest'ultima variabile e le PP ($r = -1$ $p < 0,01$) indica che le ginnaste che durante la battuta in pedana spostano maggiormente il CM verso l'alto sono penalizzate di meno.

Ai livelli successivi ci sono altre importanti correlazioni negative con le variabili verticali del CM. Al IV livello sia con l'altezza del CM allo stacco dalla pedana ($r = -0,60$ PT e $r = -1$ $p < 0,01$ PP) che all'impatto con la tavola ($r = -0,80$). Mentre al V livello con l'altezza minima raggiunta dal CM al momento di massimo caricamento elastico della pedana ($r = -0,60$ PT e $r = -1$ $p < 0,01$ PP).

Tra le variabili angolari, che seguono l'angolo di stacco dalla pedana, al IV livello risulta elevata e significativa la correlazione con le penalità dell'angolo spazzato dal CM durante la battuta ($r = -0,80$ PT e $r = -1$ $p < 0,01$ PP); dell'angolo dell'anca allo stacco ($r = -1$ $p < 0,01$) e quello della spalla allo stacco dalla pedana ($r = 0,60$ PT e $r = 1$ $p < 0,01$ PP). Questo vuol dire che le ginnaste che sulla pedana spazzano un angolo più ampio ed escono dalla pedana con l'articolazione dell'anca più estesa sono penalizzate meno; al contrario un'eccessiva apertura dell'angolo della spalla allo stacco comporta un aumento delle penalità.

L'atteggiamento della spalla risulta molto correlato anche al livello successivo (V) all'impatto con la pedana ($r = -0,80$), ma in maniera negativa. Quindi, l'arrivo in pedana, alla fine della rondana con le braccia più in anteposizione determina una minore perdita di punteggio. Il fondamentale contributo delle braccia in pedana e, quindi della variazione dell'angolo delle spalle è evidenziato dalla significatività della correlazione della velocità angolare di quest'angolo ($r = 0,60$ PT; $r = 1$ $p < 0,01$ PP). Nonostante questa variabile sia correlata positivamente con le penalità, la velocità angolare della spalla prodotta dall'azione di slancio delle braccia è un fattore determinante per entrare nell'avvitamento del primo volo. Insieme alla velocità angolare della spalla, nell'ultimo livello del modello, risulta correlata alle PT anche la velocità angolare dell'anca. Essendo questa correlazione negativa ($r = -0,80$) implica

che l'azione di estensione del tronco dopo la rondata è fondamentale per un'esecuzione corretta. All'impatto con la pedana risulta positiva la correlazione tra l'angolo del ginocchio e la PT ($r = 0,40$). Tra le componenti lineari al IV livello è presente una modesta correlazione tra la velocità trasversale del CM allo stacco e le PT ($r = 0,40$) e, più elevata di quella della componente verticale ($r = 0,80$).

Procedendo nel modello, la velocità del CM risulta correlata anche nei livelli successivi. La variazione nella componente trasversale ha una bassa correlazione ($r = 0,40$) con le penalità. Quella verticale, invece, è correlata sia all'impatto con la pedana ($r = -0,80$) che nella variazione durante la fase di battuta ($r = 0,60$ PT; $r = 1$ $p < 0,01$ PP). Infine, la velocità orizzontale all'impatto con la pedana e la sua variazione sono anch'esse in relazione con le PT ($r = -0,80$ Vel x Imp PED, $r = 0,40$ Δ Vel x PED). Dall'analisi di questo ramo del modello è possibile dedurre che, tra le componenti delle velocità del CM sono particolarmente critiche l'incremento eccessivo della componente verticale sulla pedana che, comporta delle importanti perdite di punteggio. All'ultimo livello gli spostamenti spaziali sia orizzontale che verticale del CM sono correlati negativamente con le PT. Lo spostamento orizzontale del CM in pedana ($r = -0,80$), la lunghezza del primo volo ($r = -0,80$) e l'altezza massima raggiunta durante il primo volo ($r = -0,80$), sono tutte componenti che se incrementate contribuiscono a migliorare la performance. L'ultima variabile correlata negativamente alle PT è la durata della fase di battuta con $r = -0,77$.

Distanza angolare VI. Tra le variabili comprese nel ramo del movimento rotatorio durante il primo volo sono presenti tre variabili correlate negativamente con le penalità. La durata del primo volo ($r = -0,63$), la velocità angolare del CM all'impatto con la pedana ($r = -0,60$ PT ; $r = -1$ $p < 0,01$ PP) e la variazione di questa velocità durante la fase di battuta ($r = -0,60$). Quindi, le ginnaste che hanno una velocità angolare del CM maggiore in pedana e, successivamente una fase di primo volo più duratura sono penalizzate meno.

Il numero relativamente elevato di variabili correlate con le penalità in questa prima parte del movimento indica che per questo tipo di volteggio sia la fase di battuta che quella di primo volo sono mediamente soggette a penalizzazione. In particolare risultano critiche diverse variabili sia natura di natura angolare che lineare.

Modello deterministico relativo al secondo volo del salto YUc

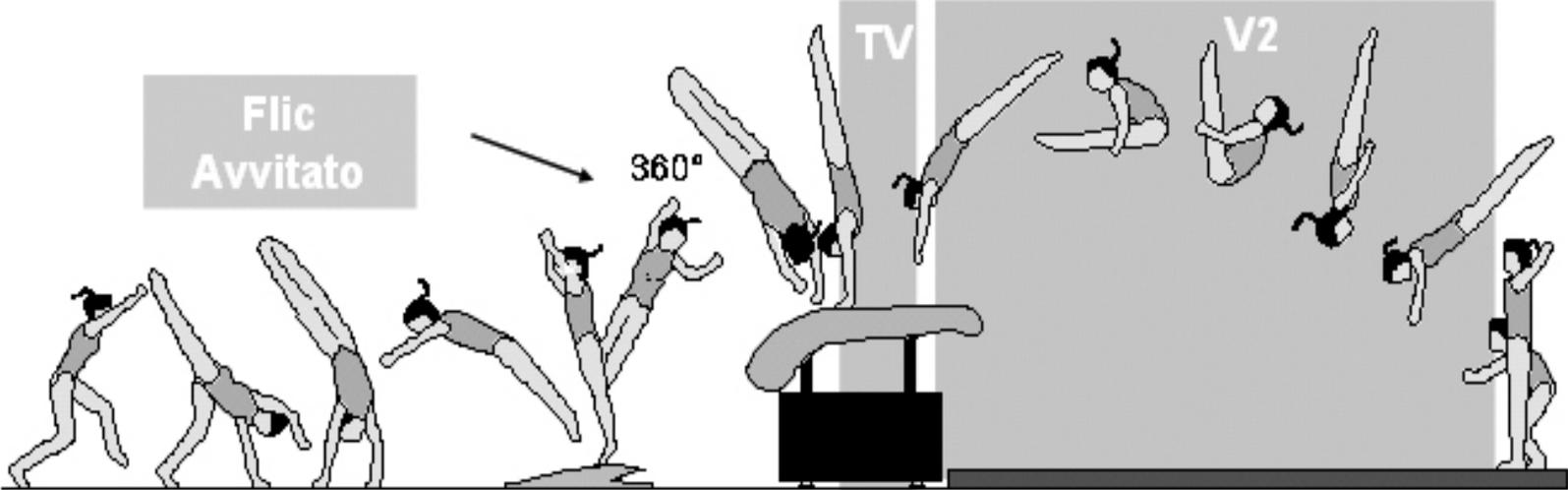


Figura 48

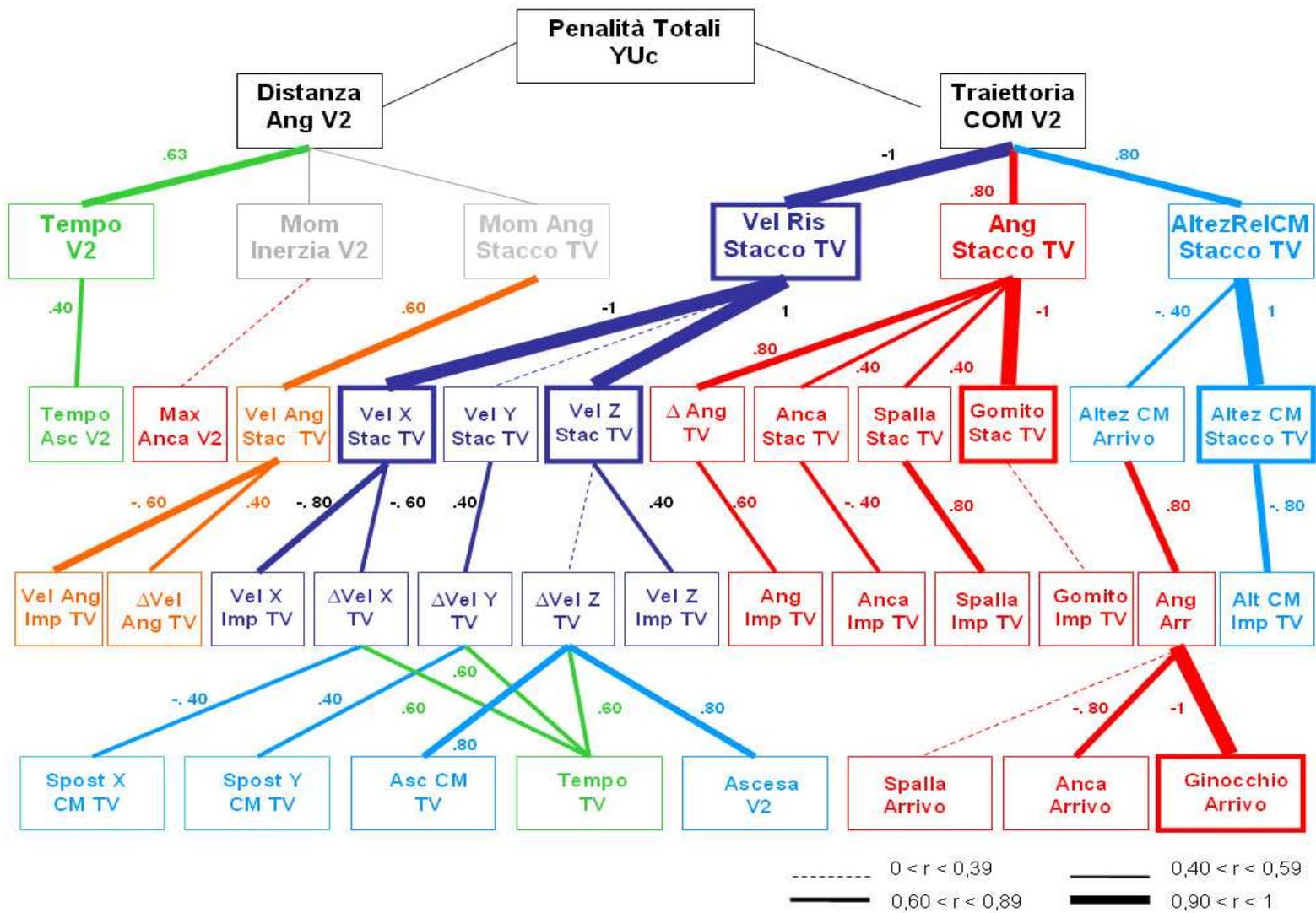


Figura 49

Secondo volo YUc

Il modello relativo alla seconda fase di volo del salto YUc rispetto alle PT è rappresentato nella figura 49.

Traiettoria CM V2. Al terzo livello del ramo della traiettoria del CM la velocità risultante allo stacco dalla tavola è correlata significativamente con le PT ($r = -1$ $p < 0,01$). Essendo la correlazione negativa, le ginnaste che hanno sviluppato una maggiore velocità risultante allo stacco hanno ottenuto meno penalità. Tra le componenti da cui è determinata, sono significative le correlazioni di quella orizzontale ($r = -1$ $p < 0,01$) e verticale ($r = 1$ $p < 0,01$). Quindi mentre un'elevata velocità orizzontale di stacco sembra essere in relazione con un punteggio positivo, quella verticale presenta una relazione inversa. Si vedrà in seguito come questo fatto può essere spiegato in base alla presenza di variabili concomitanti al momento dell'impatto sulla tavola (altezza CM e angolo del gomito). Al livello successivo, queste due componenti risultano correlate anche nell'istante di impatto sulla tavola anche se con maggiore intensità quella orizzontale ($r = -0,80$) rispetto alla verticale ($r = 0,40$). Le variazioni di velocità orizzontale e trasversale durante la fase di spinta sulla tavola sono correlate la prima negativamente ($r = -0,60$) e la seconda positivamente ($r = 0,40$). In maniera analoga anche i rispettivi spostamenti del CM in orizzontale ($r = -0,40$) e in senso trasversale ($r = 0,40$) sono in relazione con le penalità. In ultima analisi mentre lo sviluppo della componente orizzontale è importante per l'esecuzione del salto, le eccessive deviazioni laterali sulla tavola, dovute all'avvitamento del primo volo, sono un fattore che comporta un aumento delle penalità.

Per il ramo dello spostamento relativo del CM allo stacco dalla tavola, correlato allo 0,80 con le PT, seguono le correlazioni sia dell'altezza del CM allo stacco ($r = 1$ $p < 0,01$) e all'impatto ($r = -0,80$) con la tavola che, quella all'arrivo sul tappeto ($r = -0,40$). E ancora, all'ultimo livello, l'ascesa del CM sulla tavola ($r = 0,80$) e l'ascesa di volo ($r = 0,80$). Come si può notare tutte le correlazioni tra le variabili spaziali verticali del CM e le PT sono positive, tranne quella d'impatto sulla tavola. Nonostante sia l'ascesa del CM nel secondo volo che la velocità verticale allo stacco dalla tavola siano correlate positivamente con le PT, non significa che la giuria abbia penalizzato l'altezza di volo. Infatti, osservando il modello, allo stesso livello

della velocità verticale di stacco è presente una correlazione significativa negativa tra le PT e l'angolo del gomito allo stacco ($r = -1$ $p < 0,01$). Questo significa che l'atteggiamento del gomito piegato determina non solo un giudizio negativo, ma anche una strategia per recuperare altezza e velocità verticale durante la fase di appoggio sulla tavola.

Anche il ramo delle variabili angolari presenta delle correlazioni con le PT al III livello, dove è posizionato l'angolo del CM allo stacco dalla pedana ($r = 0,80$). Questa relazione indica che quando le ginnaste escono dalla tavola con un angolo corporeo più ampio e quindi, più vicino alla verticale sono penalizzate. Al livello seguente risultano correlati positivamente anche le variabili relative all'angolo spazzato dal CM durante la spinta sulla tavola e l'angolo dell'anca ($r = 0,40$) e della spalla ($r = 0,40$) allo stacco. All'impatto sulla tavola, la spalla mostra sempre una relazione positiva ($r = 0,80$), quindi l'impatto con l'angolo della spalla più aperto comporta una maggiore penalizzazione. L'anca, invece, ha una relazione negativa ($r = -0,40$) anche se piuttosto bassa. All'arrivo sul tappeto le correlazioni tra le PT e le variabili angolari sono risultate tutte elevate. L'angolo corporeo ($r = 0,80$) ha una correlazione positiva, quindi un atterraggio con il CM molto vicino alla verticale determina un giudizio negativo. Questa relazione potrebbe sembrare inusuale, ma è spiegata dalla correlazione negativa dell'angolo dell'anca all'arrivo ($r = -0,80$). Infatti, eseguendo un secondo volo in atteggiamento carpiato, queste ginnaste atterrano sul tappeto con l'angolo dell'anca molto chiuso, e quindi la posizione del CM molto vicina alla verticale è determinato non da un arrivo corretto in stazione eretta, ma dalla notevole flessione del tronco sulle gambe che comporta comunque, una penalizzazione per atteggiamento scorretto all'arrivo. Anche l'angolo del ginocchio all'arrivo risulta correlato con le PT ($r = -1$ $p < 0,01$) in maniera negativa, quindi l'atterraggio a ginocchia estese determina in modo significativo, deduzioni. L'ultima variabile a mostrare una correlazione positiva con le PT è la durata della fase di appoggio sulla tavola ($r = 0,60$), dunque se l'azione di spinta sulle braccia non risulta sufficientemente dinamica viene penalizzata dalla giuria.

Distanza angolare V2. La durata del secondo volo, al III livello, e il tempo impiegato per raggiungere il picco della parabola, sono correlati con le PT, rispettivamente 0,63 e 0,40. Sembrerebbe anche in questo caso che dei tempi di volo più lunghi siano penalizzati dalla giuria. In realtà, anche questo comportamento è da

attribuirsi ad errori commessi nella precedente fase di spinta sulla tavola che interferendo con la dinamicità generale del salto portano ad una valutazione negativa. Le velocità angolari del CM allo stacco e all'impatto sono risultate entrambe moderate, la prima negativa ($r = -0,60$) e la seconda positiva ($r = 0,60$). La variazione della velocità angolare sulla tavola, invece, ha una bassa correlazione positiva ($r = 0,40$).

L'elevato numero di correlazioni, riscontrate tra le variabili cinematiche e le penalità, e i valori spesso elevati, indicano che per il salto YUc anche le fasi di spinta sulla tavola e di secondo volo sono state penalizzate molto. I fattori critici sono rappresentati dalla velocità del CM, in particolar modo dalla componente orizzontale e verticale; e dall'atteggiamento scorretto soprattutto dei gomiti, troppo piegati durante la spinta sulla tavola. Dall'analisi complessiva del modello si può quindi dedurre che le braccia piegate, non sono da considerarsi solo come componente estetico, ma anche come fattore limitante dal punto di vista meccanico. Esso, infatti, condiziona negativamente l'altezza del secondo volo, la compostezza all'arrivo sul tappeto e, la dinamicità generale del salto, aspetti valutati anche dai giudici secondo le indicazioni del Codice dei punteggi. Bisogna inoltre, considerare che errori di tale natura precludono anche la possibilità di incrementare il valore di partenza dell'esercizio eseguendo nel secondo volo un salto giro teso, invece che carpiato.

CONCLUSIONI

Sono di seguito riportate le conclusioni relative alle due parti del progetto, quello relativo all'analisi descrittiva della ribaltata e quello dell'analisi della prestazione di gara dei salti Yurchenko.

CONCLUSIONI RELATIVE AL MODELLO DI PRESTAZIONE

Partendo dalle numerose informazioni relative alla meccanica dei salti volteggio riportate dalla letteratura scientifica, l'analisi descrittiva della ribaltata frontale al volteggio condotta nel seguente studio ha permesso di evidenziare alcuni degli aspetti meccanici che contraddistinguono l'esecuzione sulla nuova tavola rispetto al cavallo per il settore femminile.

I dati analizzati confermano l'ipotesi di McNitt Grey, secondo cui l'esecuzione della ribaltata su un attrezzo tre volte più lungo del cavallo, comporta delle modifiche tecniche nelle fasi che precedono la spinta sulle mani. Nella tecnica attuale, le fasi di primo volo e di spinta sulla tavola hanno una maggiore durata temporale. Risultano incrementati inoltre, la lunghezza del primo volo e lo spostamento verticale verso l'alto del CM sulla tavola. Altre modifiche da attribuirsi all'introduzione della tavola, sono state riscontrate dall'analisi delle velocità del CM. La velocità verticale allo stacco dalla pedana è, infatti, aumentata. Per quanto riguarda la componente orizzontale, anche se si tende a ridurre meno la perdita di velocità orizzontale nella fase di appoggio sulla tavola, le ginnaste entrano nella seconda fase di volo con una velocità orizzontale inferiore rispetto al passato. Particolarmente interessante è la riduzione riscontrata nell'angolo corporeo all'impatto con la tavola. La riduzione riscontrata dal presente studio a livello di questa variabile meccanica, già individuata tra l'altro dalla McNitt Grey come variabile chiave per riuscire a valicare la maggiore lunghezza della tavola, permette di fare interessanti considerazioni sia sugli aspetti cinematici che dinamici. Considerando, il corpo dell'atleta come una leva con il braccio di resistenza tra il punto di appoggio (polso) e il CM, il momento torcente dovuta alla forza di gravità risulta inversamente proporzionale all'angolo d'impatto e di conseguenza si genera una condizione svantaggiosa per lo sviluppo verticale del secondo. Le strategie utilizzate per compensare tale svantaggio meccanico avvengono ovviamente sulla tavola, incrementando la forza di spinta, ma anche allo stacco dalla pedana, incrementando la velocità angolare del CM. La significatività delle relazioni

tra questa variabile e la maggior parte delle variabili dinamiche di spinta sulla tavola, indicano che la velocità angolare allo stacco dalla pedana è da considerarsi come variabile determinante per i salti volteggi frontali eseguiti sulla tavola.

I valori delle forze riscontrate in questo studio sono risultate abbastanza elevati da raggiungere e, in qualche caso, superare quelli indicati dalla letteratura come soglia di rottura del polso e dell'avambraccio. Proprio per questo, ulteriori ricerche dovrebbero essere condotte per capire come eventuali modifiche nella cinematica esecutiva (es. angolo di impatto sulla tavola) possano ridurre i rischi di infortuni senza interferire con la prestazione.

Lo studio condotto sulle forze coinvolte durante la spinta sulla tavola ha inoltre, messo alla luce una problematica inaspettata inerente alle vibrazioni dell'attrezzo. Sarà dunque opportuno approfondire questa tematica con ulteriori studi, per capire come queste vibrazioni possano interferire con l'azione di spinta e quindi con la performance, ma anche quale ruolo hanno nella dinamica degli infortuni. A tale scopo potrebbe essere utile integrare le informazioni cinematiche e dinamiche del movimento con informazioni relative al movimento della tavola. Posizionando, ad esempio di un accelerometro sull'attrezzo potrebbe essere utili per verificare se le vibrazioni della tavola sono in fase o meno con la spinta esercitata dall'atleta e, capire quindi se la struttura meccanica della tavola possa essere migliorata ulteriormente.

CONCLUSIONI RELATIVE ALLA PRESTAZIONE DI GARA

I modelli deterministici messi a punto in questo studio hanno permesso di individuare, dal punto di vista meccanico, le fasi critiche del movimento in relazione alle penalità di gara e, allo stesso tempo, di capire quali sono le variabili meccaniche limitanti per la prestazione.

Per il salto YUta e YUt, le penalizzazioni assegnate dai giudici nelle atlete di alto livello nazionale sono spiegate minimamente da errori spaziali verticali e orizzontali nella fase di primo volo. Gli errori più gravi sono stati, invece, commessi nella fase di spinta sulla tavola.

Per il salto YUt, il più semplice (valore 4,00 punti), l'insufficiente altezza del CM all'impatto e allo stacco dalla tavola, l'eccessivo tempo di appoggio sulla tavola ed allo stesso tempo, la diminuzione della velocità verticale, insieme ad un insufficiente controllo dell'atteggiamento di volo, sono da considerarsi variabili critiche per l'esecuzione di un buon salto. A queste si aggiungono poi, variabili quali l'angolo delle spalle all'impatto sulla tavola e del gomito allo stacco, che evidenziano come la scorrettezza nell'atteggiamento dei segmenti corporei interferisca non solo sull'estetica ma anche sulla meccanica del salto.

Per migliorare la prestazione del gruppo di atlete che eseguono il salto YUt, bisognerebbe curare maggiormente il potenziamento della parte superiore del corpo per migliorarne la tenuta e, quindi la stiffness all'impatto con la tavola e i tempi di contatto. Oltre, quindi ad un normale lavoro di condizionamento generale sarebbe utile condurre un vero proprio allenamento di tipo pliometrico specifico per gli arti superiori. Congiuntamente alla preparazione fisica specifica è consigliabile per queste ginnaste anche perfezionare la tecnica del flic indietro al suolo.

Il salto YUta, con il valore di partenza maggiore fra i tre salti (5,00 punti), sono risultate critiche diverse variabili relative all'impatto sulla tavola quali, l'altezza del CM, l'angolo corporeo e la velocità angolare. Oltre a queste, l'angolo corporeo allo stacco e l'eccessivo spostamento laterale del CM sulla tavola.

Gli errori di natura tecnica riscontrati in questo gruppo di atlete, sono da attribuirsi più che a carenze di preparazione fisica, ad imperfezioni esecutive che possono dipendere da fattori individuali o dal livello di preparazione tecnica in relazione alla programmazione annuale del calendario agonistico nazionale ed internazionale. Per queste ginnaste l'allenamento sarà finalizzato maggiormente alla cura dei dettagli esecutivi ed alla correzione delle piccole imperfezioni.

Per salto YUc (valore 4,80 punti) le penalità dei giudici sono, invece da attribuirsi ad errori commessi per lo più nella prima parte del movimento. L'eccessivo abbassamento del CM sulla pedana, e di conseguenza l'eccessivo innalzamento dello stesso allo stacco successivo, insieme a scorrettezze sia dell'angolo corporeo che di quello di spalla e anca allo stacco dalla pedana, determinano una forte deduzione del punteggio. Questi errori preliminari,

interferiscono poi, inevitabilmente sull'efficacia della spinta sulla tavola, riducendo notevolmente la velocità risultante allo stacco dalla tavola e determinando ulteriori penalità. L'obiettivo di eseguire un avvitemento completo nella prima fase di volo, comporta delle modifiche nella tecnica di battuta in pedana che rendono questo salto più difficile ed allo stesso tempo più rischioso da un punto di vista tattico-strategico di gara. E' evidente che il valore di partenza riconosciuto dal Codice dei Punteggi per questo salto, inferiore a quello del salto YUta, non rispecchia adeguatamente le difficoltà sia di natura coordinativa che condizionale, richieste. Nel caso specifico delle quattro ginnaste esaminate in questo studio, la scelta di questo tipo di salto si è rivelata non adeguata al loro livello di preparazione e quindi del tutto svantaggiosa da un punto di vista dell'organizzazione tattica della gara.

In fine, anche se il presente studio non ha analizzato in maniera specifica la fase di atterraggio sul tappeto, è evidente il peso di questa fase sia nella valutazione specifica di tutti e tre i tipi di salto, che nella classifica di gara. Per incrementare quindi, la precisione dell'arrivo è importante sia apportare le dovute correzioni a livello delle variabili critiche individuate nelle fasi precedenti, ma anche utilizzare in allenamento, degli esercizi specifici di sensibilizzazione e controllo degli atterraggi.

I risultati dei modelli deterministici sviluppati in questo progetto possono considerarsi prima di tutto, una guida utile agli allenatori in quanto forniscono i criteri fondamentali per delineare in maniera specifica la didattica di questi tre tipi di salto, e per monitorarne il perfezionamento nelle varie fasi di apprendimento.

L'utilizzo di questi modelli potrebbero inoltre, trovare applicazione anche nella stesura ed organizzazione delle griglie di difficoltà del Codice dei Punteggi. Esse possono, infatti, considerarsi come criterio oggettivo su cui basare l'adeguata assegnazione del valore di partenza dei singoli salti e, allo stesso tempo come sistema in grado di assicurare un corretto bilanciamento dei punti tra i vari salti.

BIBLIOGRAFIA

- Bajin B. (1979) *Goniometric analysis of the push-off phase during 1-1/2 somersault in men's vaulting*. In J. Teraudus and D.B. Daniels (eds), *Science in Gymnastics*, Del Mar: Academic Publishers (1-8).
- Bruggemann G.P. (1984), *Biomechanical analysis of selected vaults on the longhorse*, In J. Teraudus (ed), *Science in Gymnastics*, Del Mar Academic Publishers. (9-4)
- Bruggemann G.P. (1987), *Biomechanics in gymnastics*. In B. van Gheluwe and J. Atha (eds), *Current Research in sports Biomechanics* 25, 142-176.
- Bruggemann G.P. (1994), *Biomechanics of gymnastics techniques*. *Sport Science Review*, 3(2), 79-120.
- Federation International de Gymnastique (2002). *The Code of POints*. Lucerne, Switzerland, Raeber.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Dainis, A. (1979). *Cinematographic analysis of the handspring vault*. *Research Quarterly*, 50(3), 341-349.
- Dainis A. (1981). *A model for gymnastics vaulting*. *Medicine and Science in Sport and Exercise* 13, 34-43
- Davidson, P. L., Mahar, B., Chalmers, D. J., & Wilson, B. D. (2005). *Impact modeling of gymnastic back-handsprings and dive-rolls in children*. *Journal of Applied Biomechanics*, 21, 115-128.
- Dempster W.T. (1955) *Space requirements of the seated operator*. (WADC Technical report 55-159). Wright-Patterson Air Force Base, OH: Wright Air Development Center.
- De Smet, L., Claessens, A., Lefevre, J., & Beunen, G. (1994). *Gymnast wrist: an epidemiologic survey of ulnar variance and stress changes of the radial physis in elite female gymnasts*. *American Journal of Sports Medicine*, 22(6), 846-850.
- Dillman C. J., Cheetham P. J., Smith S. L. (1985). *A Kinematic Analysis of Men's Olympic Long Horse Vaulting*. *International Journal of Sport Biomechanics*, 1, 96-110.
- DiFiori, J. P., Caine, D. J., & Malina, R. M. (2006). *Wrist pain, distal radial physal injury and ulnar variance in the young gymnast*. *American Journal of Sports Medicine*, 10(10), 1-10.
- DiFiori, J. P., & Mandelbaum, B. R. (1996). *Wrist pain in a young gymnast: unusual*

- radiographic findings and MRI evidence of growth plate injury. Medicine and Science in Sports and Exercise, 28(12), 1453-1458.*
- DiFiori, J. P., Puffer, J. C., Mandelbaum, B. R., & Mar, S. (1996). *Factors associated with wrist pain in the young gymnast. American Journal of Sports Medicine, 24(1), 9-14.*
- Dunlavy, J. K., Sands, W. A., McNeal, J. R., Stone, M. H., Smith, S. L., Jemni, M., & Haff, G. G. (2007). *Strength performance assessment in a simulated men's gymnastics still rings cross. Journal of Sports Science and Medicine, 6, 93-97.*
- Elliot B. & Mitchell J. (1991). *A Biomechanical Comparison of the Yurchenko Vault and Two Associated Teaching Drills , International Journal of Sport Biomechanics 7, 91-107.*
- George G.S. (1980). *Biomechanics of Women's Gymnastics*. Englewood Cliff, NJ: Prentice Hall.
- Hall, S. J. (1986). *Mechanical contribution to lumbar stress injuries in female gymnasts. Medicine and Science in Sports and Exercise, 18(6), 599-602.*
- Hay, J. G. (1973). *The biomechanics of sports techniques*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Hopkins (2007), *A new view of statistics*, Internet Society for Sport Science, <http://www.sportsci.org/resource/stats/>.
- Irwin, G., & Mullineaux, R. (2004). *Hip and shoulder coordination during the handspring front somersault on the 4 vaulting "horse" and "table". Proceedings XXIIInd International Symposium on Biomechanics in Sports 2004 Ottawa, Canada: University of Ottawa.*
- Jaric, S. (2003). *Role of body size in the relation between muscle strength and movement performance. Exercise and Sport Sciences Reviews, 31(1), 8-12.*
- Koh, M., Jennings, L., & Elliott, B. (2003). *Role of joint torques generated in an optimised Yurchenko layout vault. Sports Biomechanics, 2(2), 177-190.*
- Koh M., Jennings L. (2007). *Strategies in Preflight for an Optimal Yurchenko Layout Vault , Journal of Biomechanics 40, 1256-1261.*
- Koh M., Jennings L. S. (2003). *Dynamic Optimization : Inverse Analysis for the Yurchenko Layout Vault in Women's Artistic Gymnastics , Journal of Biomechanics 36, 1177-1183.*
- Koh, T. J., Grabiner, M. D., & Weiker, G. G. (1992). *Technique and ground reaction forces in the back handspring. American Journal of Sports Medicine, 20(1), 61-66.*
- Kreighbaum E, (1993) *Biomechanics research in gymnastics: Past, present and future*. In Terauds Juornal, Biomechanics in Sports, Del Mar, Calif, Academic

Publishers, 193-208.

- Kwon Y. H., Frotney V.L., Shin I.S. (1990). *3-D Analysis of Yurchenko Vaults Performed by Female Gymnasts During the 1988 Seoul Olympic Games* International Journal of Sport Biomechanics 6, 157-176.
- Li S. (1998), *Main technical analysis of the motion trajectory influencing the horse-vaulting movement*. ISBS '98. International Symposium on Biomechanics in Sports, 1, 171-174.
- Liebling, M. S., Berdon, W. E., Ruzal-Shapiro, C., Levin, T. L., Roye, D., & Wilkinson, R. (1995). *Gymnast's wrist (pseudorickets growth plate abnormality) in adolescent athletes: findings on plain films and MR imaging*. American Journal of Radiology, 164, 157-159.
- Major, J. A., Sands, W. A., McNeal, J. R., Paine, D. D., & Kipp, R. (1998). *Design, construction, and validation of a portable one-dimensional force platform*. Journal of Strength and Conditioning Research, 12(1), 37-41.
- Mandelbaum, B. R., Grant, T. T., & Nichols, A. W. (1988). *Wrist pain in a gymnast*. The Physician and Sportsmedicine, 16(1), 80-84.
- Mandelbaum, B. R., & Teurlings, L. (1991). *The gymnast's wrist pain syndrome*. FIG Scientific/Medical Symposium Proceedings, 1(1), 34-36.
- McNitt-Gray J, Mathiyakom W, Requejo P, Costam K (2000), *Position of Gymnast Relative to the Vaulting Horse During Postflight*, University of Southern California, USA. coachesinfo.com
- Miller, D. I., & Nissinen, M. A. (1987). *Critical examination of ground reaction force in the running forward somersault*. International Journal of Sport Biomechanics, 3(3), 189-206.
- Mitchell, W. (1988). *The upper extremity in gymnastics*. Forum, 5(12), 1-2.
- Myers, E. R., Hecker, A. T., Rooks, D. S., Hipp, J. A., & Hayes, W. C. (1993). *Geometric variables from DXA of the radius predict forearm fracture load in vitro*. Calcified Tissue International, 52(3), 199-204.
- Nattiv, A., & Mandelbaum, B. R. (1993). *Injuries and special concerns in female gymnasts*. The Physician and Sportsmedicine, 21(7), 66-67,70,73-74,79-84.
- Nelson R.C., Gross T.S., Street G. M. (1985). *Vaults Performed by Female Olympic Gymnasts: A Biomechanical Profile*, International Journal of Sport Biomechanics 1, 111-121.
- Panzer, V. P., Bates, B. T., & McGinnis, P. M. (1987). *A biomechanical analysis of elbow joint forces and technique differences in the Tsukahara vault*. T. B. Hoshizaki, J. H. Salmela, & B. Petiot Diagnostics, treatment and analysis of gymnastic talent (pp. 37-46). Montreal, Canada: Sport Psyche Editions.
- Plagehoef S. (1971), *Patterns of human motion. A cinematographic analysis*.

- Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliff, New Jersey, 21-27.
- Pontrelli G. & Di Liddo A.(2000) *Modelli matematici:i tanti volti della realtà. Archimede* 2, 79-85.
- Prassas S. & Gianikellis K. (2002), *Vaulting Mechanics*, Applied Proceedings of XX International Symposium on Biomechanics in Sports-Gymnastics. Department of Sport Science, University of Extremadura, Caceres, Spain.
- Prassas S. (1999) *Biomechanical research in gymnastics: what is done, what is needed*. Applied Proceedings of XVII International Symposium on Biomechanics in Sports – acrobatics (1-10).
- Prassas, S., Kwon, Y.-H., & Sands, W. A. (2006). *Biomechanical research in artistic gymnastics: a review*. Sports Biomechanics, 5(2), 261-291.
- Requejo P. S., McNitt-Gray J.L., Flashner H. (2002). *Flight Phase Joint Control Required for Successful Gymnastics Landings* , Medicine & Science in Sports & Exercise, 34.
- Sands, W.A. (1981). *Beginning gymnastics*. Chicago, IL: Contemporary Books.
- Sands, W.A.(1984). *Coaching women's gymnastics*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Sands W. A. (1985). *A Cinematographic Analysis of the Front handspring to Front Somersault* , The Australian Journal of Science and Medicine in Sport , 8-14.
- Sands W.A., Caine D.J. & Borms J. (2003) *Scientific Aspect of women's gymnastics*. Karger .
- Sands W.A. & McNeal J.R. (2000) *Some guidelines on the transition from the old horse to the new table*. Techique 22, 22-23.
- Seeley, M. K., & Bressel, E. (2005). *A comparison of upper-extremity reaction forces between the Yurchenko vault and floor exercise*. Journal of Sports Science and Medicine, 4, 85-94.
- Spadaro, J. A., Werner, F. W., Brenner, R. A., Fortino, M. D., Fay, L. A., & Edwards, W. T. (1994). *Cortical and trabecular bone contribute strength to the osteopenic distal radius*. Journal of Orthopaedic Research, 12(2), 211-218.
- Takei, Y. (1989). *Techniques used by elite male gymnasts performing a handspring vault at the 1987 Pan American Games*. International Journal of Sport Biomechanics, 5(1), 1-25.
- Takei, Y. (1990). *Techniques used by elite women gymnasts performing the handspring vault at the 1987 Pan American Games*. International Journal of Sport Biomechanics, 6(1), 29-55.
- Takei Y. (1991a). *Comparison of blocking and post-FL techniques of male*

- gymnastics performing the 1988 Olympic compulsory vault. International Journal of Sport Biomechanics 7, 371-391.*
- Takei Y. (1991b) *A comparison of techniques used in performing the men's compulsory gymnastic vault at the 1988 Olympics. International Journal of Sport Biomechanics 7, 54-75*
- Takei Y. (1992). *Blocking and Postflight Techniques of Male Gymnasts Performing The Compulsory Vault at the 1988 Olympics , International Journal of Sport Biomechanics 8, 87-110.*
- Takei Y. & Kim E. J. (1992), *Techniques used in performing the handspring and salto forward tucked vault at the 1988 Olympic Games. International Journal of Sport Biomechanics 6, 111-138.*
- Takei, Y. (2002). *Comparison of on-horse mechanical variables between two handspring vaults performed by elite gymnasts. Medicine & Science in Sports & Exercise, 34(5), S32.*
- Takei Y., Blucker E.P., Nohara H., Yamashita N. (2000). *The Hecth Vault Performed at the 1995 World Gymnastics Championships : Deterministic Model and Judges' Scores , Journal of Sport Science 18, 849-863.*