

ALMA MATER STUDIORUM UNIVERSITA' DI BOLOGNA

**Dottorato di Ricerca in
Discipline delle Attività Motorie e Sportive**

XIX ciclo

Sede amministrativa: Università di Bologna

Coordinatore: Prof. Salvatore Squatrito

**Modelli di prestazione
ed allenamento speciale
della velocità in atletica leggera**

Tesi di Dottorato

M-EDF/02 Metodi e didattiche delle attività sportive

Presentata da:
Dott. Ciacci Simone

Relatore:
Prof. Merni Franco

Anno dell'esame finale: 2007

INDICE

CAPITOLO 1	INTRODUZIONE.....	pag. 04
1.1	Cos'è l'esercizio speciale.....	pag. 04
1.2	Lo stato dell'arte.....	pag. 05
1.3	Obiettivi della ricerca.....	pag. 11
CAPITOLO 2	I METODI.....	pag. 12
2.1	Vicon Motion System.....	pag. 12
2.1.1	La calibrazione.....	pag. 13
2.1.2	Acquisizione dati.....	pag. 14
2.1.3	Elaborazione	pag. 15
2.1.3.1.	Il calcolo del COM.....	pag. 16
2.1.4	Report ed esportazione dati.....	pag. 17
2.1.5	Protocollo della ricerca.....	pag. 18
2.2	I soggetti.....	pag. 20
2.3	Procedure: gli esercizi analizzati.....	pag. 21
2.4	Procedure: le analisi statistiche	pag. 22
2.4.1	Studio dell'attendibilità e della validità dei rilevamenti..	pag. 22
CAPITOLO 3	RISULTATI.....	pag. 25
3.1	Esame preliminare sui generi.....	pag. 25
3.2	Dati temporali.....	pag. 27
3.2.1	Timing.....	pag. 29
3.3	Dati cinematici lineari.....	pag. 31
3.3.1	COM sull'asse orizzontale.....	pag. 31
3.3.2	COM sull'asse verticale.....	pag. 33
3.4	Dati angolari.....	pag. 35
3.4.1	Angoli.....	pag. 36
3.4.1.1	Arto in appoggio.....	pag. 36
3.4.1.2	Arto in oscillazione.....	pag. 40
3.4.2	Velocità angolari.....	pag. 43

3.4.2.1 Arto in appoggio.....	pag.	43
3.4.2.2 Arto in oscillazione.....	pag.	44
3.5 Confronto tra dati in “carico” e “scarico”.....	pag.	47
CAPITOLO 4	DISCUSSIONE.....	pag. 48
4.1 Dati temporali.....	pag.	49
4.1.1 Timing.....	pag.	49
4.2 Dati cinematici lineari.....	pag.	50
4.2.1 Spostamenti del COM sull’asse orizzontale.....	pag.	50
4.2.1 Spostamenti del COM sull’asse orizzontale.....	pag.	51
4.3 Dati angolari.....	pag.	51
4.3.1 Angoli.....	pag.	52
4.3.1.1 Arto in appoggio.....	pag.	52
4.3.1.2 Arto in oscillazione.....	pag.	52
4.3.2 Velocità angolari arto in appoggio ed in oscillazione....	pag.	53
CAPITOLO 5	CONCLUSIONI.....	pag. 54
5.1 Analisi delle andature.....	pag.	54
5.2 Considerazioni sul sistema.....	pag.	63
5.3 Possibilità future.....	pag.	64
CAPITOLO 6	BIBLIOGRAFIA.....	pag. 67
Appendice.....	pag.	71

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

1.1 COS'E' L'ESERCIZIO SPECIALE?

“Per speciale si intende l’esercizio che include elementi dell’attività competitiva e azioni che per forma, struttura, carattere delle capacità espresse ed attività dei sistemi funzionali sono simili ad essa (Platonov)”.

“Allenare il movimento e non il muscolo” (Zatsiorsky)

I paradigmi sopra esposti stanno a dimostrare come lo studio delle moderne tecniche di allenamento concordino ormai nell’affermare che l’allenamento speciale sia il più produttivo ai fini della performance (Platonov, Verchoshanskij Zatsiorsky, Weineck). Come speciale s’intende lo strumento di allenamento che cerca di riprendere i parametri che sono propri del gesto di gara, con lo scopo di ottimizzare la prestazione ed eludere i rischi sulla salute che può comportare un esercizio poco correlato con il compito motorio che in realtà l’atleta deve compiere.

Ormai nelle moderne pianificazioni del training, infatti, la fetta di tempo dedicata all’allenamento nei suoi mezzi più generali risulta sempre minore, in quanto viene considerato inutile, se non in taluni casi anche dannoso (Manno), sviluppare elementi che rimangono troppo distanti dai parametri espressi dall’atleta in gara. Questa esigenza si è evidenziata per due motivi: da una parte, negli sport di squadra, i calendari sempre più intensi delle partite lasciano poco tempo per la preparazione atletica, che pertanto, dovrà essere limitata allo sviluppo di componenti specifiche della prestazione; dall’altra, negli sport individuali e soprattutto nell’atletica leggera, si manifesta spesso, nell’ambito di una periodizzazione dell’allenamento, l’esigenza di rendere il più graduale e dolce possibile il passaggio dagli elementi di training quantitativi a quelli qualitativi, prevenendo in tal modo possibili situazioni predisponenti all’infortunio che

trovano terreno fertile proprio in questi microcicli di allenamento in cui l'atleta affronta per la prima volta, dopo mesi di lavoro, prove di intensità elevata.

L'utilizzo quindi degli esercizi speciali offre la possibilità all'allenatore di utilizzare come mezzo di allenamento il gesto di gara, alterandone a piacimento alcune variabili che possano creare adattamenti sia sotto l'aspetto condizionale sia sotto quello tecnico.

La qualità più importante dell'esercizio speciale, cioè l'alta correlazione con l'intensità e le modalità di esecuzione del gesto di gara, ne rappresenta però anche il suo limite applicativo più evidente.

Infatti proprio per la grande capacità di gestione tecnica che richiede eseguire correttamente un movimento altamente automatizzato anche in presenza di elementi esterni che ne alterano l'esecuzione (basta pensare alla difficoltà per esempio nell'eseguire un lancio del martello con l'attrezzo più pesante, senza inficiare troppo la velocità di esecuzione o l'equilibrio nella rotazione), l'esercizio speciale deve essere rivolto ad un atleta evoluto e con delle capacità coordinative e condizionali già consolidate, soprattutto sotto l'aspetto dello sviluppo delle componenti della forza.

Nel caso di questa ricerca si sono invece presi in considerazione alcuni esercizi speciali riferiti alla corsa veloce che non richiedessero particolari competenze tecniche, in modo che fossero eseguibili in modo più o meno corretto da tutti gli atleti coinvolti nella ricerca.

1.2 STATO DELL'ARTE

Lo studio biomeccanico della corsa si è concentrato prevalentemente su una visione quantitativa e qualitativa del gesto di gara. Pertanto esistono numerosi lavori che definiscono con accuratezza i parametri fondamentali per ottimizzare la performance agonistica della corsa veloce, ma non esistono invero ricerche che abbiano studiato i medesimi parametri negli esercizi speciali, che rappresentano la fetta più importante nella pianificazione di un progetto di allenamento.

Sono solo 2 gli articoli in cui la corsa viene in qualche modo confrontata con un esercizio speciale: si tratta della ricerca di Skripko (2003), in cui si parla di corsa a ginocchia alte (skip), che viene confrontata con la corsa su pista e su tapis roulant. La ricerca offre alcuni dati cinematici utili ai fini di questa indagine, ma vuole dimostrare essenzialmente che la corsa su nastro mostra parametri più simili alla corsa su pista rispetto alla corsa a ginocchia alte, ma entrambi risultano essere esercizi troppo distanti dal gesto di gara di uno sprinter e poco correlati con quanto abitualmente viene effettuato in campo di allenamento

La seconda ricerca che indaga corsa e alcuni esercizi correlati ad essa, è quella di Mero e Komi (1994) in cui lo sprint viene confrontato con alcuni esercizi di balzi (successivi ed alternati) e con la corsa balzata: l'analisi però approfondisce soprattutto gli aspetti dinamici ed elettromiografici degli esercizi, offrendo, anche in questo caso, solo alcuni dati cinematici relativi alla corsa balzata come materiale utile per questa ricerca.

In questa indagine, invece, si è voluto approfondire soprattutto gli aspetti relativi alle misure lineari, agli angoli e ad ai dati temporali degli esercizi, per ottenere dei riferimenti importanti sul perché e sul come utilizzarli in allenamento e per ottenere risposte ad ampio spettro su similitudini o differenze con la corsa veloce, non limitatamente solo ad un aspetto di contrazione muscolare.

Diversa è la considerazione da fare in relazione alla letteratura concernente lo studio della corsa: in questo caso lo stato dell'arte offre molto materiale di riferimento e cerca soprattutto di individuare i parametri chiave della performance. Nello specifico gli autori definiscono di fondamentale importanza per la prestazione la giusta interazione tra lunghezza e frequenza dei passi (Donati e Vittori, 1985, Mero & Komi 1986 e 1994, Skripko A. 2001, Coh & Klavara 2001, Corn et Al. 2003, Hunter et al. 2003); il raggiungimento del giusto equilibrio tra questi parametri in relazione

ai dati antropometrici dell'atleta, fornisce la spiegazione principale per la produzione di alti picchi di velocità.

Di uguale importanza viene riconosciuto però il ruolo ricoperto dal tempo di contatto del piede a terra, vero e proprio spartiacque tra buona e cattiva prestazione. I velocisti di buon livello devono presentare valori che vanno dai 90 ai 120 ms (Bosco & al. 1985, Coh, Klavara 2001, Hunter & al. 2003 Ciacci & al. 2005, Coh & al. 2005); in verità gli sprinters di massima eccellenza presentano tutti tempi che si attestano tra gli 85/95 ms. Spesso l'eccessiva lunghezza del tempo di contatto del piede denota una tecnica di corsa poco produttiva (Di Molfetta & al, 2004).

Un altro importante parametro analizzato dalla letteratura è il rapporto tra fase frenante e propulsiva durante la fase di appoggio (Luhtanen & Komi 1980, Coh et al 2005) e tra la fase di appoggio e quella totale del passo. Costituita da appoggio+volo (Coh et al 2005). Entrambi questi rapporti dovrebbero essere regolati da una proporzione approssimativa del 40%-60% (Frenante/propulsiva e contatto/passato). A tale proposito è da considerare che la letteratura definisce in modo differente il momento di passaggio dalla fase frenante a quella propulsiva; Luhtanen & Komi (1980) considerano come momento conclusivo della fase frenante o fase eccentrica l'istante in cui si manifesta il massimo abbassamento del COM (Center of Mass) sull'asse verticale, che viene identificato anche come il massimo caricamento durante il passo. In altre occasioni, per esempio Bosco & Vittori (1985), questo istante d'inversione della forza da eccentrica a concentrica viene associato in maniera meno precisa al momento in cui i due arti si incrociano durante il ciclo del passo, in altri ancora invece nella frazione di tempo in cui la proiezione del COM ricade sopra l'appoggio.

In questo caso ritengo che un'attenta analisi del timing di caricamento delle varie articolazioni dell'arto inferiore e del massimo caricamento del COM possa offrire una chiave di lettura più chiara di quale sia realmente il

momento in cui la fase eccentrica/frenante passa a concentrica/propulsiva (come già indagato da Merni et al. 1992) e quale sia una più reale distribuzione percentuale tra le 2 fasi.

L'ipotesi infatti relativa a questo aspetto è che il punto più basso del COM sull'asse verticale segua un timing diverso rispetto ai valori angolari di massima flessione delle articolazioni dell'arto inferiore, che rappresentano il massimo caricamento di queste e che, probabilmente, rispettano una sequenza diversa rispetto al caricamento del COM e potrebbero offrire una nuova definizione di fase frenante e propulsiva..

Altre variabili analizzate nella letteratura risultano le distanze lineari sull'asse orizzontale tra COM e punta del piede all'appoggio ed allo stacco (Luhtanen & Komi 1980, Coh et al. 2005) e, di conseguenza, lo spazio percorso dal baricentro durante la fase di appoggio e volo.

Gli altri dati lineari riguardano i valori del COM sull'asse verticale in appoggio, in fase di massimo abbassamento, allo stacco ed al punto di massima elevazione (Merni 1992 e Coh & Klavora 2001).

Nel caso dei dati orizzontali del COM, il suo comportamento varia in funzione della velocità di percorrenza, soprattutto per ciò che concerne la fase di volo, e risulta chiaramente il dato più influenzato dai valori antropometrici. Questa considerazione non vale, come vedremo nei risultati, per ciò che concerne l'andamento del centro di massa sull'asse verticale, comportamento che ci spiega, sotto un'altra lente d'ingrandimento, come può essere poco economica una tecnica di corsa in caso di eccessiva escursione del COM (es 11 cm Di Molfetta 2002).

Per ciò che riguarda invece i valori e le velocità angolari dell'arto inferiore, i momenti monitorati dagli studi della letteratura sono le fasi di appoggio, massimo caricamento e stacco, per ciò che concerne l'arto in appoggio, il valore medio di flessione e di velocità angolare nella fase propulsiva. (Merni et al. 1986, Novacheck 1998, Coh et al.2005, Hunter et al. 2001, Coh & Klavora 2001, Stefanyshyn & Nigg 1998). La ricerca

bibliografica che fornisse utili informazioni sui valori angolari del movimento è stata alquanto difficoltosa, dato che molti lavori (scartati poi ai fini di questa ricerca) fornivano angoli di impatto e stacco riferiti ad un generico arto inferiore o, in taluni casi, definivano come angolo dell'arto inferiore quello costituito dal terreno e dalla linea che congiungeva il malleolo del piede in appoggio con il centro di gravità del corpo.

In questa ricerca sono stati presi in considerazione solo angoli riferiti a due segmenti corporei chiaramente definiti, che ci potessero offrire una lettura chiara delle articolazioni dell'arto inferiore, ed i picchi di velocità dell'arto in appoggio in fase propulsiva.

Di particolare importanza per ciò che riguarda i dati angolari risulta anche il comportamento dell'arto oscillante, che viene fortemente condizionato dalla frequenza dei passi, che come abbiamo visto, è uno dei parametri più importanti per spiegare l'ottimale rendimento di velocità.

Per l'arto oscillante la letteratura ci fornisce alcuni dati in flessione (Merni et al. 1986, Novacheck 1998); accanto ai valori in flessione in questo studio sono stati monitorati anche i picchi di flessione e di velocità angolare delle varie articolazioni.

Per la raccolta dei valori angolari è giusto aprire una parentesi di ordine metodologico, anticipando quanto verrà esposto nel capitolo successivo. Infatti la lettura dei dati della caviglia e la ricostruzione di questa in talune prove acquisite ha costituito un percorso delicato e difficile; VICON System, infatti, nel modello base di marker set, prevedeva solo l'uso di 3 marcatori (marker) per il dimensionamento del segmento piede. Con la scomparsa pertanto anche di uno solo di questi 3 markers per pochi fotogrammi, a volte la ricostruzione del piede e del movimento della caviglia risultava alterata e poco credibile. Si è reso necessario pertanto l'inserimento nel marker set di un marcatore aggiuntivo sul V° metatarso, che fornisse un riferimento di riserva per permettere la ricostruzione del piede sempre in modo coerente (Vicon necessita di almeno 3 markers per

ricreare correttamente un segmento corporeo: con 4 markers si è riusciti sempre a “vedere” completamente il piede nel suo movimento).

In conclusione si può affermare che l’analisi della letteratura mostra un’ampia indagine della corsa, sia nell’analisi della partenza dai blocchi, che dell’accelerazione e della fase lanciata a diverse velocità, che vanno dal 40% del massimale fino alla prestazione in gara di sprinter di livello internazionale. Sono proposti dati cinematici lineari ed angolari e variabili dinamiche ed elettromiografiche.

Al contrario nello stato dell’arte rimane molto scarsa l’analisi sugli esercizi di allenamento, che sono di fatto il materiale su cui atleta ed allenatore lavorano quotidianamente per migliorare la prestazione. In particolare gli esercizi speciali rappresentano uno strumento molto fine per il training di alto livello e definirne obiettivi e finalità diventa fondamentale per comprendere e pianificare meglio ogni progetto di allenamento.

Un altro limite dimostrato dalla letteratura, è quello di non avere quasi mai indicato lo stato di forma, per così dire, degli atleti che si sono offerti come soggetti da analizzare nell’ambito di una ricerca. Il livello di allenamento della forza, infatti, risulta un elemento fortemente condizionante la prestazione e, presumibilmente, anche i parametri tecnici della corsa.

1.3 OBIETTIVI DELLA RICERCA

Gli obiettivi della ricerca sono quelli d'indagare gli esercizi speciali scelti e di confrontarli con la corsa lanciata, per definirne le correlazioni.

Pertanto in un primo momento si è cercato di confrontare i dati ottenuti nella corsa lanciata con gli studi presenti in letteratura; successivamente si sono studiati i medesimi parametri nelle esercitazioni speciali scelte per evidenziare alcuni momenti specifici del gesto tecnico.

In particolar modo si cercheranno quali sono i parametri paragonabili e quelli fortemente diversi, per cercare di capire quali variabili possono essere allenate dal singolo esercizio.

Ottenere informazioni esatte sulle 3 andature prese in considerazione, ci può offrire la possibilità di identificare una gerarchia didattica tra gli esercizi stessi e stabilire modelli di riferimento per migliorare le tecniche di allenamento ed offrire pertanto all'allenatore strumenti più idonei allo sviluppo delle componenti del gesto di gara, evitando così esercizi poco utili per la performance e riducendo le possibilità d'infortunio.

Le esercitazioni analizzate sono state valutate sia durante un periodo di importante potenziamento muscolare ("carico"), sia in fase agonistica di alleggerimento del volume dei carichi di lavoro ("scarico"), per cercare anche di capire se il diverso grado di allenamento può incidere e quanto sulle variabili considerate.

Nell'allenamento moderno l'ottimizzazione dei tempi di lavoro e l'intervento analitico sugli elementi della prestazione rappresentano l'unica strada per guidare l'atleta ad esprimere il massimo delle proprie potenzialità tecniche e fisiche: gli esercizi speciali ci offrono le indicazioni corrette per intraprendere e percorrere questa strada.

CAPITOLO 2

I METODI

2.1 VICON MOTION SYSTEM

Per la ricerca è stato utilizzato Vicon Motion System, strumento optoelettronico stereofotogrammetrico per l'analisi tridimensionale del movimento. Vicon Motion System utilizza delle telecamere a raggi infrarossi per identificare dei marcatori riflettenti (markers passivi), che evidenziano dei punti di repere anatomico. Essendo l'obiettivo di ciascuna telecamera circondato da una sorgente di luce IR LED (fotoemettitore infrarosso), quando il raggio infrarosso proveniente da tale sorgente colpisce il marcatore, questo viene riflesso direttamente verso la telecamera che lo interpreta come un punto luminoso all'interno del volume.

Il marker così rilevato fornisce la mappatura più o meno completa del corpo; l'insieme dei markers ed il protocollo di applicazione sul soggetto da analizzare costituiscono il "marker set", che si basa su una struttura di base che può essere però arricchita con l'aggiunta di altri marcatori detti ridondanti, che hanno lo scopo di adattare il marker set alle esigenze determinate dall'acquisizione che ci si appresta a fare e di fungere da supporto per la ricostruzione dei segmenti corporei qualora dei marcatori del protocollo di base vengano persi o nascosti durante l'acquisizione.

La disposizione del sistema, pertanto, deve prevedere che ogni markers sia ben visibile alle telecamere che, in funzione di come vengono collocate nell'ambiente, definiscono una zona detta "volume di acquisizione", in cui tutti i punti di repere vengono identificati e "letti" dal sistema.

Vicon, per sviluppare il percorso di acquisizione, si avvale di diverse applicazioni software che permettono la gestione, il controllo, l'elaborazione e l'analisi dei dati;:

1-Workstation: controlla la procedura di calibrazione, rilevamento, gestione e ricostruzione dei dati.

2-Polygon: permette l'analisi dei dati, la ricostruzione tridimensionale del movimento e offre la possibilità inoltre di stilare report sull'analisi e di creare delle presentazioni multimediali.

3-Body Builder: viene utilizzato per creare e calcolare modelli biomeccanici.

4-Eclipse Data Management; permette di organizzare i dati in strutture gerarchiche.

La prima fase, preliminare all'acquisizione e all'elaborazione, prevede pertanto la preparazione del sistema tramite la procedura di calibrazione, cioè di "taratura" del volume di lavoro e del soggetto da analizzare.

2.1.1. Calibrazione

La calibrazione è una delle procedure più importanti della fase di acquisizione e necessita di due operazioni preliminari:

- 1- Delimitare sul pavimento lo spazio che si vuole utilizzare evidenziandolo con dei markers;
- 2- Posizionare le telecamere.

Successivamente si avviano le procedure di calibrazione:

- 3- Calibrazione statica:

Attraverso questa procedura si colloca l'origine del sistema di riferimento e l'orientamento dei suoi assi servendosi di un oggetto di calibrazione noto al sistema (L-frame).

- 4- Calibrazione dinamica:

Permette al sistema di calcolare e conoscere la posizione e l'orientamento relativo delle 6 telecamere e si effettua tramite un secondo oggetto di calibrazione (wand) che deve essere mosso all'interno del volume di lavoro per permettere alle telecamere di riconoscere l'oggetto in tutti i punti di questo.

- 5- Calibrazione del soggetto:

Così come per il riconoscimento del volume di lavoro, anche per il soggetto markerizzato si deve procedere alla calibrazione (solo statica), per dare la

possibilità alle telecamere di riconoscere il nuovo elemento che s'introduce all'interno del volume di lavoro. Questa calibrazione avviene con il soggetto fermo in posizione neutra all'interno del volume di acquisizione.

2.1.2 Acquisizione

A questo punto il sistema è pronto per identificare il gesto da compiere. E' necessario premettere che Vicon è nato per l'analisi del cammino, pertanto preparare e adattare le potenzialità del sistema alla "lettura" di un gesto sportivo risulta un'operazione complessa e lunga; solo l'ottimizzazione di queste fasi preliminari permette di ottenere successivamente dei dati coerenti ed utili ai fini della ricerca. Trascurare o commettere errori in queste operazioni iniziali, potrebbe compromettere la validità dell'intera acquisizione. L'utilizzo di Vicon prevede l'acquisizione dei cosiddetti dati grezzi, ossia dei valori delle coordinate di ogni marker che le telecamere acquisiscono in prima istanza su 2 assi dello spazio; successivamente, attraverso algoritmi matematici e procedure di stereofotogrammetria, il sistema è in grado di combinare le immagini bidimensionali provenienti da ciascuna telecamera e di elaborare un'immagine tridimensionale.

Per ottenere i dati dei markers identificativi, ognuno di questi deve essere visto almeno da due telecamere (stereofotogrammetria con risoluzione fino a 300.000 pixel) in tutti i momenti del movimento, movimento che presenta una scansione temporale determinata dalla frequenza di campionamento scelta in fase di acquisizione (frequenza max di 200Herz).

2.1.3 Elaborazione

L'elaborazione comincia con la "labellizzazione" del soggetto che ha compiuto il movimento, ossia dare un'identità ai marcatori che, in base al marker set applicato, si collegano con quelli adiacenti creando una mappatura precisa del corpo in toto. Data la complessità del movimento sportivo, questa etichettatura dei markers deve essere compiuta manualmente anche se, teoricamente, il sistema dovrebbe riconoscere automaticamente i collegamenti tra i marcatori una volta identificati. La

procedura di riconoscimento dei markers può presentare però degli errori di ricostruzione o di identificazione delle traiettorie da parte del sistema, richiedendo pertanto l'intervento di controllo punto per punto da parte dell'operatore.

In questo studio, i cui i movimenti, per quanto ciclici risultavano di complessa interpretazione da parte del sistema, è stato necessario per così dire, "inseguire" le traiettorie tracciate dai marcatori più critici per poterle:

- spezzare nei punti in cui l'intersezione o la vicinanza con altre traiettorie creava confusione;
- "ridisegnare" nei punti con andamento regolare, in cui si presentavano dei piccoli gaps.

Controllata la qualità delle prove e ricostruito il soggetto in modo coerente, il sistema applica un modello di ricostruzione dei punti articolari basato sulle misure antropometriche dei singoli individui acquisiti. In questa fase il soggetto acquista un'identità in termini numerici lineari ed angolari ed ogni punto e segmento acquista un significato relativamente allo spazio ed al volume di acquisizione.

La ricostruzione dei centri articolari ci permette di avere immediatamente una visione qualitativa del movimento dei punti di repere scelti per l'analisi e l'eventuale conferma della correzione di errori o di "buchi" (gap) nelle traiettorie precedentemente effettuata.

A partire, quindi, dai marker a disposizione e, utilizzando il programma di modellizzazione BodyBuilder, è possibile, con l'ausilio dei markers ridondanti, ricostruire tutti quei marcatori del protocollo standard non visualizzati durante l'acquisizione, in modo da ottenere un'immagine tridimensionale del movimento completa sia visivamente che in termini di informazioni numeriche..

La "pulizia" delle traiettorie e la ricostruzione di questi punti tramite l'utilizzo di Body Builder, è un momento dell'elaborazione tanto importante quanto lungo e prevede uno studio preliminare del sistema molto approfondito.

2.1.3.1. Il calcolo del COM

Nell'ambito dell'elaborazione cinematica offerta da VICON, merita un approfondimento la valutazione del COM, ossia del Centro di Massa del corpo.

Dal punto di vista fisico in un corpo solido il baricentro è individuato da un punto fisso che non varia la sua posizione rispetto al corpo.

Il corpo umano, invece, essendo un solido composto da diversi corpi mobili, presenta un baricentro che varia la sua posizione tutte le volte che cambiano le distanze tra i punti che appartengono al sistema, modificandosi in funzione del gesto sportivo che si va ad eseguire (Kollath 1983).

La biomeccanica prende in considerazione il centro di massa sia dei singoli segmenti corporei (baricentro parziale), che dell'intero sistema corporeo (il baricentro totale). L'ubicazione dei baricentri parziali del corpo umano sono stati determinati da vari ricercatori (tra cui Brune, Fischer, Clauser, Carter) anche attraverso ricerche eseguite su cadaveri.

Per identificare, invece, il baricentro totale sono stati messi a punto diverse metodologie di tipo sperimentale, analitico, grafico e anche elettronico.

Considerando come il baricentro vari in funzione della posizione dei vari segmenti corporei ed in seguito all'applicazione di forze esterne (pertanto durante la fase di contatto del piede a terra durante l'appoggio), risulta chiara l'importanza del ruolo del COM per comprendere meglio un gesto sportivo come la corsa veloce in cui la durata, la tipologia e la dinamica dell'appoggio del piede a terra sono i fattori determinanti la traiettoria e la velocità del COM nella successiva fase di volo.

Il sistema VICON, per valutare il COM del corpo, si avvale di una media ponderata dei baricentri dei vari solidi (segmenti) corporei, utilizzando le tabelle antropometriche di Winter, che a sua volta ha utilizzato i calcoli di Dempster (1971).

2.1.4 Report ed esportazione dati

I dati acquisiti e ottimizzati qualitativamente nelle due tappe precedenti, possono essere rappresentati graficamente in report specifici che possano fornire modalità di lettura più immediate e semplici oppure esportati in fogli excel per una visione analitica dei singoli valori numerici.

Sono queste le ultime due tappe della procedura di Vicon; i report di lettura dei dati vengono gestiti tramite Polygon, con cui si possono costruire protocolli di lettura (Template) ad hoc in funzione delle esigenze di ricerca; questi protocolli possono essere applicati automaticamente a tutte le prove di acquisizione effettuate.

Il template rappresenta un insieme di analisi che vengono impostate dall'operatore e costruite come modello di riferimento da applicare alle acquisizioni che si vuole analizzare: in tal modo caricando un template sulla prova da studiare, automaticamente vengono effettuate tutte le indagini precedentemente impostate.

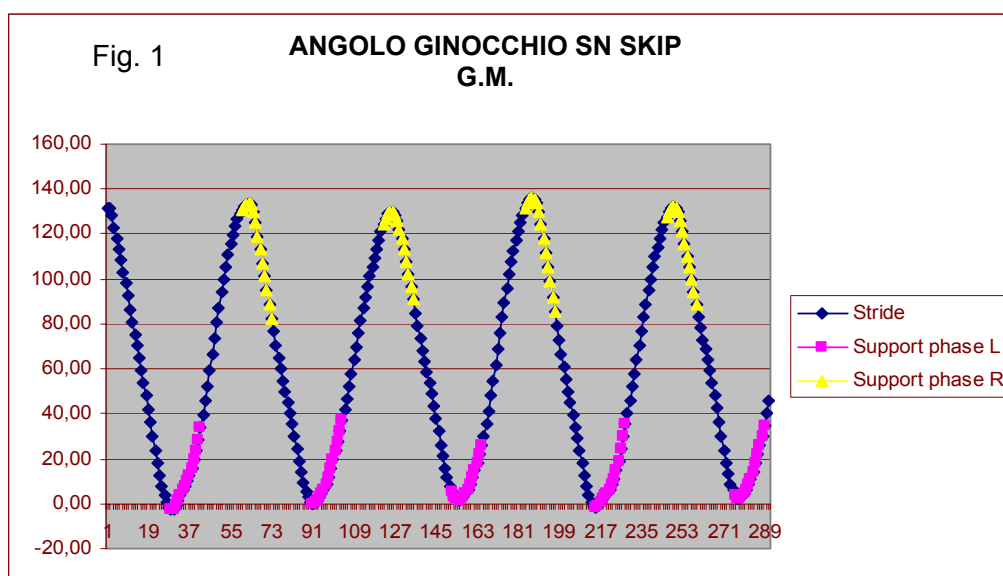
Con questo programma si sono studiati i dati temporali, le velocità lineari ed i valori lineari relativi COM e piedi.

I dati angolari e le velocità angolari, invece, sono state elaborate dai dati analitici dei singoli markers nelle tre dimensioni, che sono stati scaricati da Workstation su fogli di excel. Da qui si è proceduto a creare dei grafici relativi all'andamento degli angoli articolari durante il ciclo di movimento analizzato (goniogrammi) e relativi alle diverse velocità angolari.

La modalità di definizione di questi grafici è risultata innovativa rispetto ai lavori presenti in letteratura, perché in un'unica rappresentazione si sono documentati, per ogni articolazione dell'arto inferiore, la lettura dei dati nella fase di appoggio e durante l'oscillazione, evidenziando però anche il range di movimento effettuato durante l'appoggio controlaterale. Questo tipo di disegno grafico offre con notevole semplicità la lettura

contemporanea di dati numerici, andamento globale dell'articolazione, timing degli eventi e coerenza del movimento angolare.

In figura 1 è riportato il goniogramma dell'articolazione del ginocchio sinistro di G.M., in cui è evidenziato il comportamento dell'angolo durante l'appoggio (traiettoria rosa) e durante l'appoggio controlaterale (giallo) in un ciclo totale del movimento (blu) che, in questo caso, include 5 appoggi.



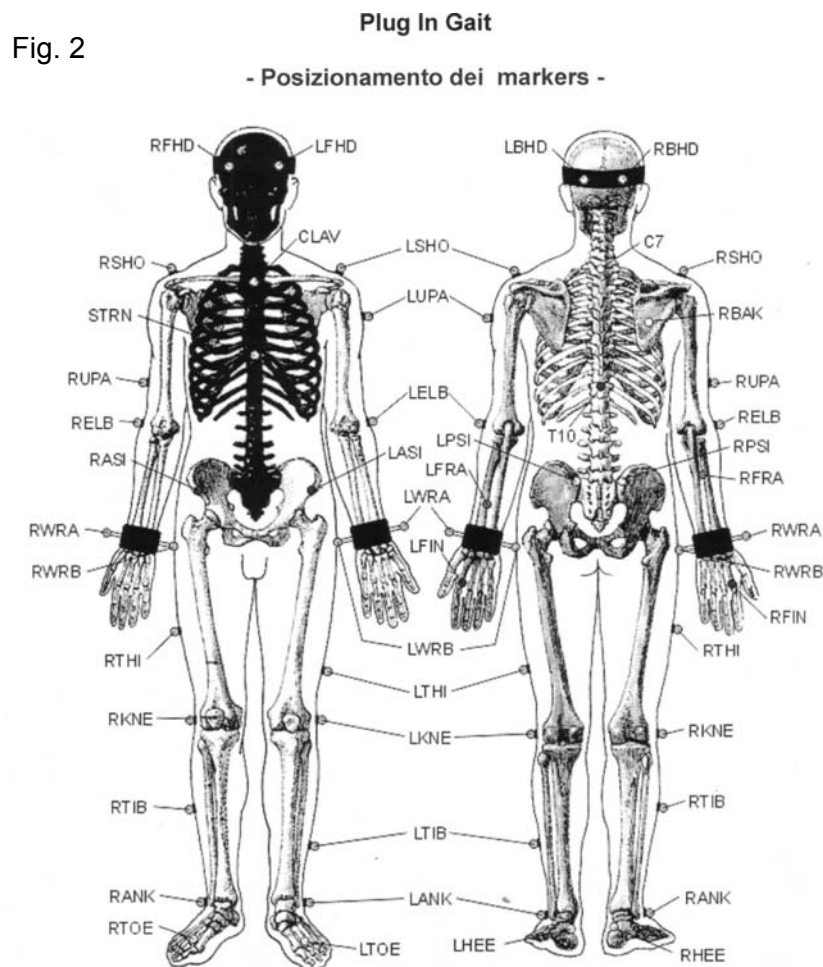
2.1.5 Protocollo della ricerca

In questa ricerca sono state utilizzate 6 telecamere ed in taluni casi 8 nel tentativo di ampliare il volume di acquisizione, che si è normalmente attestato come dimensioni tra i 5m/6m in lunghezza, 1,50m in larghezza, 2m in altezza. La frequenza di campionamento utilizzata è stata di 100 o 150 Hz. la principale novità presentata nell'utilizzo di Vicon in questa ricerca, è costituita dal fatto che le acquisizioni sono state effettuate in pista in modo tale che fosse possibile ricreare l'ambiente di gara. Il sistema non era mai stato all'aperto in nessuna ricerca precedente, ma per gli obiettivi di questo lavoro era indispensabile che l'atleta potesse esprimersi su una pista di atletica ed in situazioni che fossero il più possibile simili a quelle in cui quotidianamente si ritrova durante gli allenamenti.

La difficoltà maggiore nell'esportazione all'aperto del sistema è stato quello di identificare il momento più opportuno per fare le riprese, in quanto, essendo ad infrarossi, le telecamere devono acquisire in presenza

quantomeno di penombra. Pertanto le prove sono state effettuate in orari prossimi al tramonto ed in taluni casi anche a tarda sera con il buio. Per ovviare alle problematiche climatiche (anche se in estate alcuni atleti hanno dovuto effettuare le prove alle ore 22 ed in costume da bagno, per permettere la massima tenuta dei markers e limitare gli artefatti sui valori delle acquisizioni), ogni esercizio è stato effettuato con fase di accelerazione intorno ai 20m, ad intensità submassimale e con la richiesta esplicita fatta agli atleti di compiere un'esecuzione tecnicamente corretta, allo scopo di normalizzare l'esecuzione in funzione della velocità di percorrenza (7/8 metri/sec)

Per quanto riguarda il marker set è stato utilizzato quello definito da Helen Hayes (Fig 2), modifica del modello di base di Davis-Kadaba; i markers utilizzati sono stati 40 da 14 mm. Per avere la certezza di riuscire ad acquisire correttamente il piede in ogni momento del movimento, è stato aggiunto un marker ridondante sul V° metatarso di entrambi i piedi.



2.2 I SOGGETTI

I soggetti che hanno partecipato alla ricerca sono stati 11, 7 uomini (altezza cm 180 ± 4 , peso kg 79 ± 8) e 4 donne (altezza cm 165 ± 3 , peso kg 55 ± 5). Ogni atleta ha effettuato 4 esercizi; ogni esercizio è stato ripetuto 3 volte ed è stata scelta la prova migliore come ricostruzione visiva e per dati elaborati. Gli atleti analizzati sono tutti di livello tecnico medio, eccezion fatta per A.R., atleta della Nazionale Italiana di Atletica Leggera.

Di seguito riportiamo i dati in tabella dei singoli soggetti (Tab. 1)
(Tab 1)

SOGGETTO	SESSO	ALTEZZA cm	PESO	BEST 100M
A.R.	M	183	78	10"40
G.M.	M	174	68	11"90
S.R.	M	185	83	11"40
C.C.	M	182	80	10"90
F.S.	M	182	85	10"95
F.R.	M	180	70	10"70
S.B.	M	177	90	11"80
S.P.	F	167	60	12"30
I.D.	F	161	54	12"00
M.M.	F	165	49	12"45
V.R.	F	165	56	12"50

Accanto al peso ed all'altezza, Vicon richiede anche l'inserimento di altri dati antropometrici, che utilizza successivamente per elaborare il valore del COM. Queste misure sono:

-Lunghezza arto inferiore: misurata dalla cresta iliaca superiore anteriore al malleolo mediale.

Diametri articolari di :

-Gomito: distanza tra l'epicondilo e l'epitroclea omerale

-Ginocchio: distanza tra l'epicondilo mediale e laterale del femore

-Caviglia: distanza inter-malleolare

Altre misure valutate con un compasso antropometrico, sono:

- Spessore della mano, misurato all'altezza della III testa metacarpale
- Distanza tra l'acromion e la linea passante per la clavicola

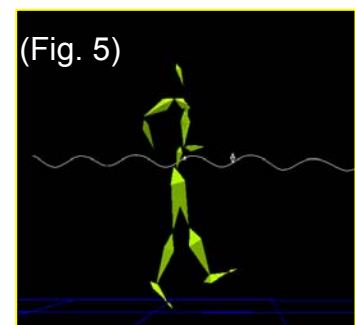
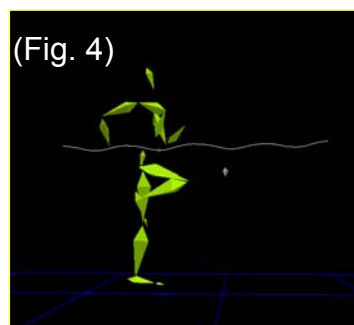
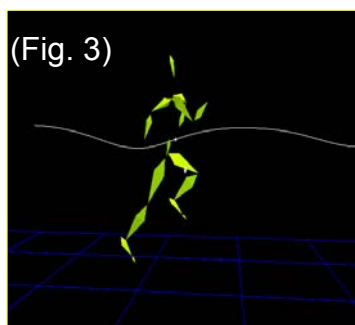
Di seguito in tabella 2 vengono riportati i valori.

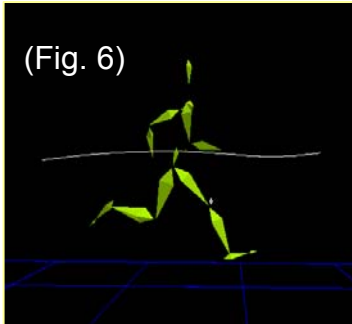
Tab. 2 (le misure sono presentate in cm)

Soggetti	Lunghezza Arto infer.	Diametro Ginocchio	Diametro Caviglia	Diametro Gomito	Spessore Polso	Spessore Mano	Altezza Acromion
A.R.	88	9.9	7.5	7	4	3	3.1
G.M.	83	10	7.2	7.2	3	3	3
S.R.	88	10	8	4	4	3	4.5
C.C.	90	10	8	8.5	3.5	2.5	4.5
F.S.	91	10.4	7.8	9.9	3.8	2.8	4.5
F.R.	85	9	6.9	9	3.5	2.5	4.5
S.B.	83	10.5	8	8	4.8	3.8	6
S.P.	80	9.5	6.2	7.2	3.4	2.6	4
I.D.	79	10	6.5	7.5	3	2.2	4.5
M.M.	78	9	6.5	6.5	3	2.5	2.5
V.R.	78	9	7	6.7	3.5	2.5	3

2.3 PROCEDURE: GLI ESERCIZI ANALIZZATI

Sono stati analizzati 3 esercizi speciali che rientrano nell'abituale pianificazione dell'allenamento di un velocista: la corsa balzata (Fig. 3), in cui viene accentuata la fase di volo, lo skip (Fig. 4), che focalizza l'attenzione sulla gamba oscillante e la frequenza dei movimenti, e la corsa a gambe tese (Fig. 5), il cui scopo è enfatizzare il lavoro dell'articolazione della caviglia in appoggio. Per quanto riguarda lo skip si è chiesto l'esecuzione standard dell'esercizio, cioè con la coscia che sale fino ad essere parallela al terreno.





Gli esercizi suddetti sono stati poi confrontati con la corsa nella sua fase lanciata (Fig. 6), che in letteratura è rappresentata da moltissimi studi e di cui sono stati già identificati i parametri condizionanti la prestazione.

2.4 PROCEDURE: ANALISI STATISTICHE

I dati acquisiti sono stati successivamente elaborati dal punto di vista statistico utilizzando le seguenti procedure:

- 1- per lo studio dell'attendibilità il coefficiente di correlazione lineare con il metodo di Pearson dei minimi quadrati (sistema implementato in excel);
- 2- per studiare le differenze tra corsa ed esercizi speciali sono stati effettuati dei test non parametrici (test di Wilcoxon per dati appaiati) utilizzando il software SPSS. Questo confronto è stato fatto in parallelo tra ogni esercizio e la corsa per tutte le variabili prese in considerazione.
- 3- per lo studio dei soggetti nelle diverse fasi dell'allenamento (fase di potenziamento muscolare e fase agonistica) è stato utilizzato il test non parametrico di Mann-Whitney (Software SPSS).
- 4- per studiare le differenze di genere nelle variabili analizzate è stato utilizzato il test non parametrico di Mann-Whitney (Software SPSS).

2.4.1 Studio dell'attendibilità e della validità dei rilevamenti

In Tab. 3 sono raccolti i dati di attendibilità stimata attraverso il coefficiente di correlazione (R di Pearson) tra le stesse variabili di 3 appoggi consecutivi.

I dati relativi ad un appoggio sono stati confrontati con quello dell'appoggio controlaterale successivo e con quello omolaterale seguente.

Tab. 3

Variabile	Appoggio Omolaterale				Appoggio Controlaterale				%OTTIMO	%BUONO	N.TOT
	Corsa	Balzata	Skip	Tese	Corsa	Balzata	Skip	Tese			
Tempo appoggio	0,835	0,975	0,914	0,872	0,851	0,939	0,941	0,936	100	0,0	8
Tempo volo					0,712	0,873	0,781	0,710	25	75,0	4
Delta COM OR. Ap.St.					0,785	0,967	0,899	0,958	75	25,0	4
Angolo anca app.	0,890	0,916	0,973	0,948	0,999	0,648	0,747	0,924	75	25,0	8
Angolo anca stacco	0,236	0,824	0,771	0,903	0,928	0,955	0,663	0,743	50	37,5	8
Angolo gin. App.	0,968	0,592	0,930	0,960	0,833	0,488	0,841	0,704	62,5	12,5	8
Angolo gin. max car.	0,938	0,433	0,979	0,992	0,963	0,623	0,826	0,495	62,5	12,5	8
Angolo gin. stacco	0,979	0,899	0,796	0,909	0,265	0,448	0,714	0,651	37,5	37,5	8
Angolo cav. App.	0,985	0,607	0,721	0,715	0,374	0,887	0,891	0,318	37,5	37,5	8
Angolo cav. Max. car.	0,850	0,955	0,886	0,467	0,984	0,893	0,830	0,247	75	0,0	8
Angolo cav. stacco	0,908	0,622	0,674	0,907	0,747	0,219	0,793	0,411	25	50,0	8
Angolo gin. oscillante					0,784	0,860	0,690		33,3	66,7	3
%OTTIMO (r > 0,80)	88,9	55,6	55,6	77,8	50,0	58,3	50,0	27,3			
%BUONO (r > 0,60)	0,0	22,2	44,4	11,1	33,3	16,7	50,0	36,4			
NUMERO TOTALE	9	9	9	9	12	12	12	11			

Sono stati considerati ottimi i coefficienti di correlazione superiori allo 0,80 e buoni quelli superiori allo 0,60.

Nelle ultime colonne a destra e righe in basso vengono riportate le percentuali dei coefficienti di attendibilità ottimi e buoni relativi alle singole andature. Solo in pochi casi (13 su 75) il coefficiente di attendibilità non è risultato soddisfacente. La tipologia delle variabili meno attendibili riguarda soprattutto gli angoli e principalmente riferito alla corsa a gambe tese ed alla balzata nell'appoggio controlaterale.

Questa scarsa attendibilità potrebbe trovare giustificazione nel fatto che i due esercizi suddetti sono quelli tecnicamente più difficili da eseguire e pertanto meno automatizzati nel movimento.

I dati invece relativi ai tempi appoggio e di volo, alle distanze percorse dal COM in appoggio ed agli angoli dell'anca presentano una soddisfacente attendibilità.

Per quanto riguarda la validità del rilevamento sono state utilizzate delle analisi dei cluster gerarchiche e non gerarchiche per lo studio dei rapporti tra le variabili nella corsa, corsa balzata e skip. Questa analisi è stata pubblicata (vedi appendice) per esteso negli atti del XXIV International Symposium on Biomechanics in Sports di Salzburg (2006).

Questo lavoro evidenzia le similitudini tra corsa e balzata per ciò che riguarda le distanze lineari orizzontali e tra corsa e skip per quelle verticali.

L'analisi dei cluster ha altresì evidenziato che i 3 esercizi sono comunque piuttosto differenti tra loro:

- Presentano innanzitutto un numero di clusters differente: 4 per lo skip, 3 per la corsa balzata e 2 per la corsa.
- Gli stessi clusters presentano inoltre diversa struttura (componenti differenti in relazione alla cinematica del COM).

Le poche similitudini che i clusters mostrano, sono in riferimento alle relazioni tra variabili.

- Tra skip e corsa:

1. La velocità verticale del COM all'impatto e la differenza in altezza tra impatto e massimo caricamento.

- Tra balzata e corsa:

1. Distanza tra COM e punta del piede all'impatto con la distanza percorsa dal COM sull'asse orizzontale durante la fase d'appoggio.
2. Il tempo di volo con la distanza percorsa dal COM sullo stesso asse durante la fase di volo.

- Tra balzata e corsa:

1. tra tempo di contatto e distanza tra COM e piede al momento dello stacco.

Questo studio statistico ha permesso di identificare le poche variabili simili in questi esercizi che possono essere utilizzate per incrementare la performance nello sprint.

In particolare la corsa balzata offre all'allenatore uno strumento per sviluppare la fase di spinta e la lunghezza del passo; lo skip invece appare come un esercizio funzionale al controllo dell'andamento del COM sull'asse verticale, oltre ad essere un esercizio utilizzato abitualmente per allenare la frequenza dei passi. Risulta però abbastanza chiaro che lo skip sia un esercizio che presenta variabili che lo rendono un esercizio molto distante dai parametri della corsa.

CAPITOLO 3

RISULTATI

3.1 ESAME PRELIMINARE SUI GENERI

Prima di addentrarci nello specifico dei risultati, occorre fare una precisazione riguardo i metodi di valutazione dei dati utilizzati.

Le esercitazioni richieste, compreso la corsa, sono state effettuate da parte degli atleti ad un livello prestativo sub-massimale, con lo scopo esplicitato di eseguire per ogni movimento il gesto tecnico il più corretto possibile grazie a velocità di percorrenza omogenee e controllate.

In questo modo si è per così dire “normalizzato” il gesto tecnico, affrancando la ricerca da possibili differenze dovute al sesso o alla capacità prestativa dell’atleta.

A supporto di questa premessa è stato effettuato su maschi e femmine un confronto su tutte le variabili, che ha sottolineato, come peraltro prevedibile, differenze importanti solo in pochi dati relativi alle distanze percorse dal COM durante l’appoggio sull’asse orizzontale, legato a caratteristiche di tipo antropometrico, e ai valori della fase di volo nella corsa balzata.

Lo stesso controllo è stato effettuato anche sugli angoli articolari ed in tutti i casi non si sono evidenziate differenze significative: l’unico dato che fa eccezione è quello relativo all’angolo del ginocchio nella corsa a gambe tese al momento dell’impatto e del massimo caricamento, dove nelle femmine sembra che l’arto prenda contatto con un atteggiamento più esteso rispetto ai maschi, anche se il range di flessione articolare per raggiungere il massimo caricamento risulta praticamente speculare in entrambi i sessi.

Questa osservazione porta a dire che tali variazioni sono dovute probabilmente più a motivi di ordine tecnico, piuttosto che a diversità collegate al sesso, anche perché la corsa a gambe tese è l’esercizio sicuramente meno standardizzato nella sua esecuzione e meno conosciuto

come mezzo di allenamento, pertanto più influenzabile dalle componenti personali del singolo atleta e dalle sue capacità tecniche.

A ulteriore conferma di questo viene in aiuto lo studio di attendibilità, che mostra coefficienti di correlazione minori nei valori angolari proprio nella corsa a gambe tese.

Comunque nel proseguire l'esposizione dei risultati, laddove necessario, verranno indicate l'eventuali differenze tra sessi in base alle variabili analizzate.

3.2 DATI TEMPORALI

Come già detto nell'introduzione, i tempi di contatto del piede a terra rappresentano un parametro fondamentale ai fini della prestazione. Per un atleta di elite i valori dei tempi si attestano intorno agli 85-95 m/sec, mentre per atleti di medio livello il range si sposta verso i 90-120 m/sec.

All'interno di questo ventaglio di valori rientrano i dati valutati in questa ricerca per quello che riguarda la corsa; i dati temporali di tutti gli esercizi sono riassunti nella tabella 4.

Tab. 4

TEMPI(s)	TC 1	Dev St	TC 2	Dev St	Tempo VOLO	Dev St	TC/Step (%)	D.St
CORSA	0,10	0,01	0,10	0,01	0,15	0,02	41,0	4,2
BALZATA	0,15	0,02	0,15	0,02	0,28	0,04	36,2	4,0
SKIP	0,13	0,01	0,13	0,01	0,14	0,02	48,8	5,2
TESE	0,16	0,01	0,15	0,01	0,19	0,02	45,9	5,2

Wilcoxon test P<0.01 P<0.05

Nella tabella sono riportati i tempi di contatto di 2 appoggi controlaterali (TC1 e TC2) e del tempo di volo tra i due contatti (Tempo volo); insieme a questi valori viene riportato anche il rapporto (TC/Step) tra tempo di contatto e tempo totale del passo (TC+Tempo volo), che dovrebbe collocarsi secondo la letteratura, intorno al 40%.

Come evidenziato dai livelli di significatività del test di Wilcoxon, i tempi di contatto ed i tempi di volo sono più elevati in tutti gli esercizi rispetto alla corsa. In particolare nella corsa balzata si manifesta un tempo di volo molto maggiore che nella corsa e negli altri esercizi; infatti lo scopo dell'esercizio è proprio quello di enfatizzare la fase propulsiva dell'appoggio.

L'unico dato non significativo tra i tempi dei vari esercizi è quello relativo al volo dello skip, che presenta una durata pressoché identica a quello della corsa. Pertanto la frequenza dei movimenti in questo esercizio non è molto diversa da quella della corsa, ma leggermente più bassa.

Nel confronto tra sessi, non si ha nessuna differenza significativa, tranne che nel tempo di volo della corsa balzata (tab 5), che, essendo influenzata da fattori di forza, porta chiaramente a risultati diversi di circa 3 centesimi di secondo sulla sua durata complessiva (0,30 nei maschi contro 0,27 nelle donne).

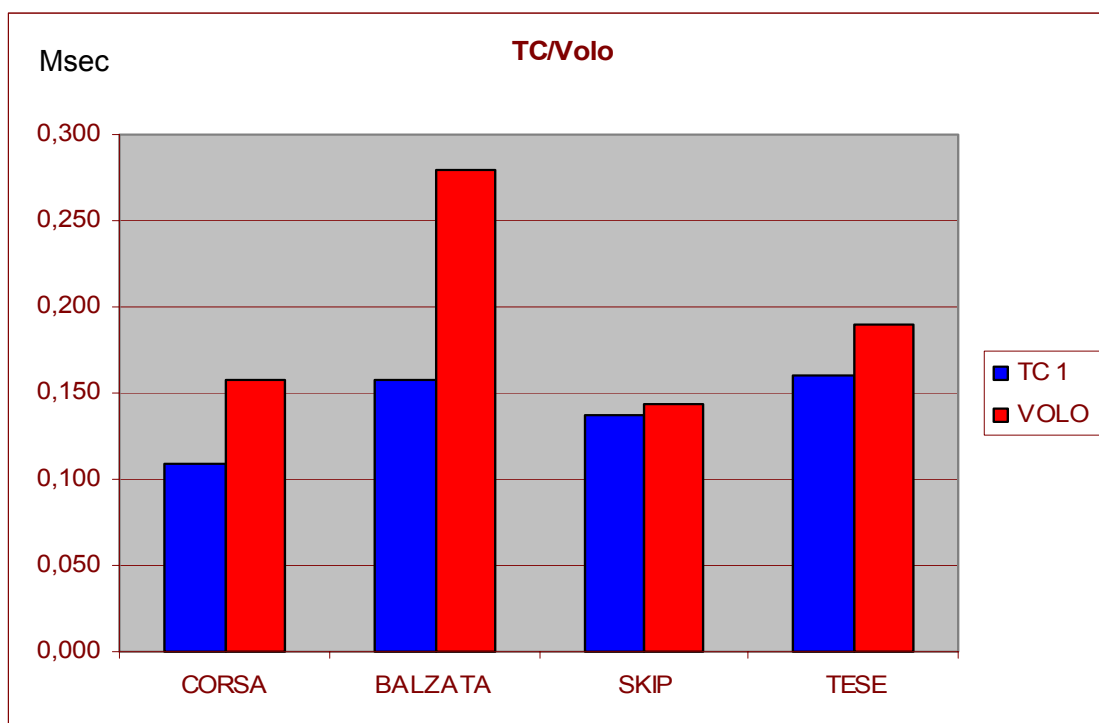
Tab. 5

Medie balzata	TC 1	TC2	T VOLO	TC/Step
Maschi	0,16	0,16	0,30	35,40
Femmine	0,16	0,16	0,27	37,88
			<0,01	<0,02

Il rapporto tra tempo di contatto e step (Tempo di Contatto + Tempo di Volo, fig. 7) negli esercizi risulta molto diverso rispetto alla corsa ed in tutti in modo statisticamente significativo.

Essendo nella corsa balzata tra maschi e femmine diverso il tempo di volo, ma non il tempo di contatto, questa difformità si riflette anche sul rapporto TC/Step, che risulta pertanto anch'esso significativamente diverso tra i 2 sessi. (Tab. 5)

Fig. 7



3.2.1 Timing

Nell'ambito dei valori temporali rientra l'analisi del timing di caricamento. Un importante aspetto infatti della biomeccanica della corsa è la proporzione non solo tra tempo di appoggio e durata totale del ciclo del passo (appoggio + volo), ma anche tra fase eccentrica (o frenante o di ammortizzazione) e concentrica (o propulsiva o di spinta) che, secondo la letteratura, dovrebbe attestarsi con percentuali rispettivamente intorno al 40% per la fase eccentrica e 60% per quella concentrica.

Lo spartiacque dei due momenti viene inteso in letteratura in modi diversi, ma comunque riferito prevalentemente al momento di massimo abbassamento del COM durante la fase di appoggio.

In questo studio si è pensato invece di analizzare anche il massimo caricamento delle articolazioni della caviglia e del ginocchio, che definiscono realmente il momento conclusivo della fase di ammortizzazione dei muscoli degli arti inferiori.

I risultati mostrano interessanti considerazioni sulle differenze di tempo di massimo caricamento che le articolazioni presentano rispetto all'altezza minima raggiunta dal COM. Probabilmente l'abbassamento del baricentro viene anche condizionato dal movimento delle braccia che nella fase di mezzo del contatto (middle support) s'incrociano e si trovano nel punto più basso del loro percorso.

I dati esposti in tabella 6 mostrano il rapporto suddetto (FF= fase frenante, FP= Fase propulsiva) esposto in percentuale rispetto alla durata dell'appoggio, prendendo come riferimento il minimo valore del COM sull'asse verticale ed il grado di massima flessione della caviglia e del ginocchio.

Appare immediatamente chiaro come il massimo caricamento di caviglia e ginocchio abbia un timing diverso rispetto al minimo del COM in tutti gli esercizi.

E' molto interessante inoltre notare come la caviglia mostri un atteggiamento molto simile in tutti gli esercizi. La corsa a gambe tese appare l'esercizio in cui il caricamento della caviglia risulta più ritardato, giustificabile dall'esecuzione tecnica dell'andatura che vuole proprio enfatizzare la sollecitazione della stiffness dei muscoli antigravitazionali.

Per ciò che riguarda invece il ginocchio, la corsa e la balzata presentano dati simili, così come avviene per lo skip e la corsa a gambe tese. Questi due ultimi esercizi mostrano però un caricamento dell'articolazione addirittura antecedente al minimo del COM, unico caso tra quelli analizzati.

Risulta comunque interessante sottolineare come la corsa balzata e la corsa mostrino dati molto vicini tra loro; si può notare come l'abbassamento del COM sia più lento nella corsa balzata rispetto alla corsa, dovuto probabilmente alla maggiore altezza di caduta dalla fase di volo che si verifica nella balzata.

I dati analizzati mostrano comunque significatività alta solo nei dati relativi al COM tra skip e corsa ($p < 0.01$) e tra Tese e corsa nel ginocchio (significatività più debole, $p < 0.05$)

Tab. 6

RAPPORTO FF/FP			
%	COM	CAV	GIN
Corsa	28,3	45,7	41,1
Balzata	33,8	46,0	38,9
Skip	38,4	43,4	33,2
Tese	37,1	48,4	32,6

Nel confronto tra maschi e femmine non si verifica nessuna differenza significativa a conferma che le influenze su questo rapporto possono essere prevalentemente di carattere tecnico.

3.3 DATI CINEMATICI LINEARI

I dati cinematici lineari analizzati sono relativi agli spostamenti del Centro di Massa sia sull'asse orizzontale durante l'appoggio, sia sull'asse verticale durante gli eventi principali del passo (Impatto, Massimo caricamento, Stacco, Massima altezza durante la fase di volo).

I dati raccolti ci offrono così la spiegazione su come si comporta il COM nelle diverse andature ed è possibile studiare così le differenze rispetto ai valori della corsa.

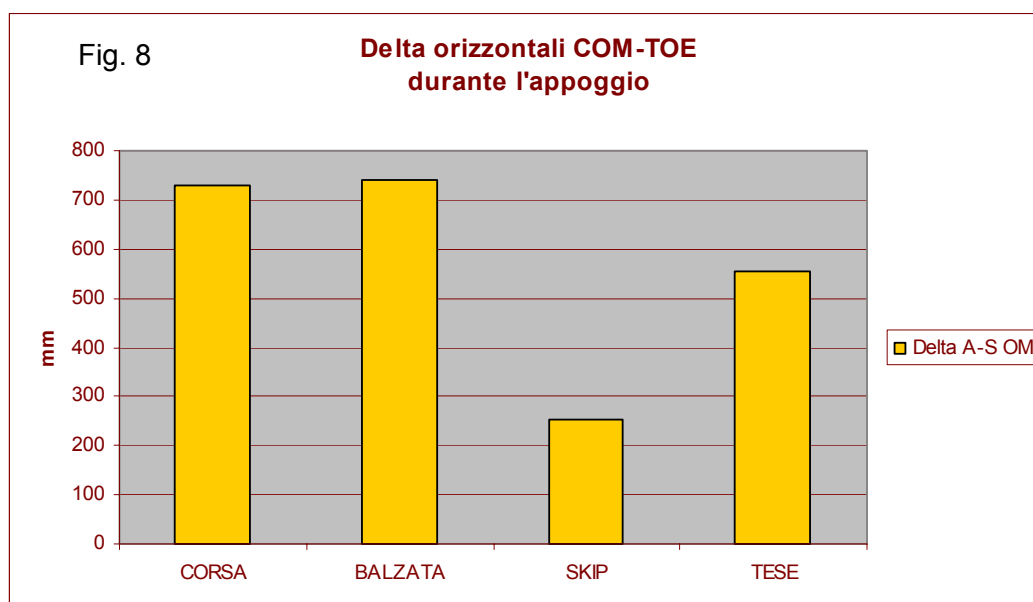
3.3.1 Spostamenti sull'asse orizzontale

Come riportato in tabella 7, il percorso effettuato dal COM durante l'appoggio tra impatto e stacco (delta A-S) trova valori significativamente diversi solo nello skip e nella corsa a gambe tese.

Tab. 7

Distanze in mm	Distanza COM-Piede asse X			
	Delta A-S OM	Dev St	Delta A-S CL	Dev St
CORSA	731	115	728	103
BALZATA	742	96	750	104
SKIP	253	50	250	50
TESE	554	98	576	90

Il COM nella corsa balzata e nella corsa presentano infatti dati molto simili, come ben rappresentato in fig. 8.



Chiaramente i dati orizzontali sono quelli che, sul piano delle differenze tra sessi, dovrebbero presentare differenze maggiormente significative, dato che lo spostamento del COM è direttamente legato alla lunghezza della gamba e pertanto a valori antropometrici: questo accade però solo tra i dati relativi alla corsa balzata, mentre per tutti gli altri esercizi, non sembrano esserci differenze importanti, soprattutto nello skip e nelle gambe tese.

Di seguito riportiamo i valori medi riferiti ai 2 sessi e il valore del test di Mann-Whitney di significatività per la corsa balzata (Tab. 8).

Tab. 8

Medie in mm	Delta A-S	Delta A-S
Maschi	790	793
Femmine	670	686
	<0,01	<0,05

Per Di Molfetta (2004) una errata meccanica di corsa in cui i tempi di contatto sono molto prolungati e la fase di volo troppo accentuata, porta alla variazione proprio di questi parametri e rende la corsa poco economica dal punto di vista energetico e poco efficace dal punto di vista tecnico.

3.3.2 Spostamenti sull'asse verticale

Di grande interesse per una valutazione qualitativa del comportamento tecnico dell'atleta è seguire la traiettoria del COM sull'asse verticale, per evidenziare eventuali spostamenti esagerati sul piano sagittale, segnale inequivocabile di una corsa poco economica ed efficiente. Un andamento infatti troppo evidente della traiettoria del COM indicherebbe che l'atleta disperde parte delle sue energie propulsive in verticale piuttosto che in orizzontale.

La tabella 9 riassume tutti gli spostamenti verticali durante i momenti chiave del ciclo di movimento analizzato:

- Differenza tra l'altezza del COM all'impatto e quella minima durante l'appoggio (delta A-C);
- Differenza tra l'altezza minima, e quella allo stacco (delta C-S)
- Differenza tra l'altezza allo stacco e quella massima nella fase di volo (delta S-H)
- Differenza tra minima e massima altezza (delta C-H)

Osservando la tab. 6 si può vedere che la corsa balzata presenta differenze significative rispetto alla corsa in tutti i delta analizzati, dato che è un esercizio che enfatizza la fase di volo che influenza di conseguenza anche il momento di ammortizzazione dell'arto a terra. Lo skip mostra invece significatività più deboli rispetto alla balzata e presenta i valori più bassi in tutte le variabili esaminate.

L'esercizio di corsa a gambe tese invece presenta dati simili alla corsa soprattutto tra lo stacco e la massima altezza.

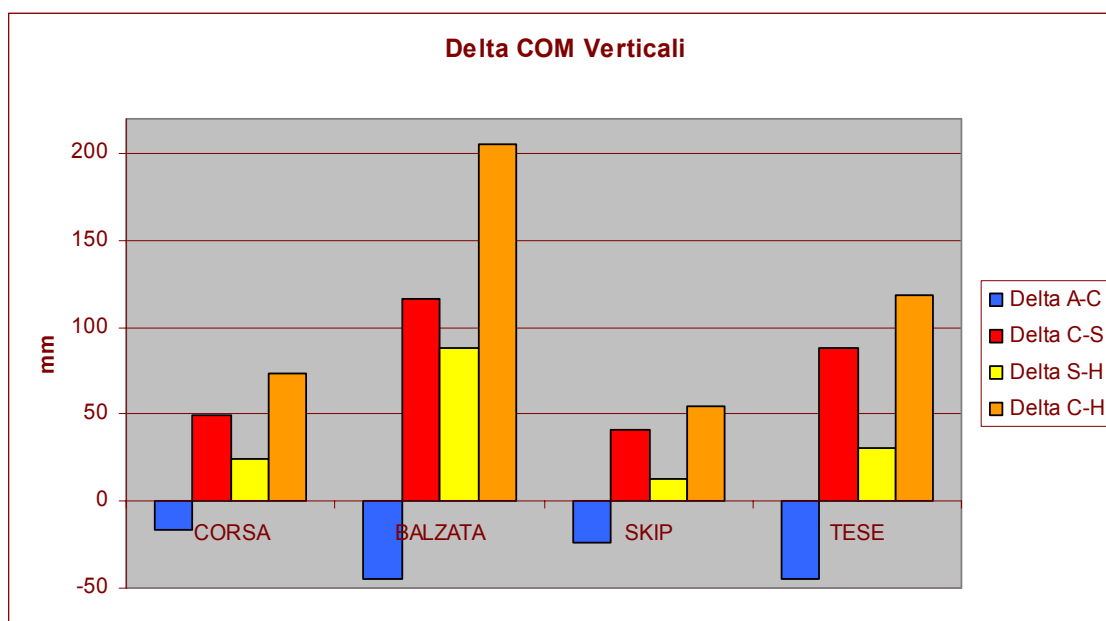
Tab. 9	COM ASSE Z							
Distanze in mm	Delta A-C	Dev St	Delta C-S	Dev St	Delta S-H	Dev St	Delta C-H	Dev St
CORSA	-16,63	9,64	49,22	13,71	24,24	12,17	73,47	15,94
BALZATA	-44,48	21,16	116,88	30,69	87,99	33,40	204,86	57,48
SKIP	-23,83	7,62	41,52	10,56	12,85	6,20	54,38	15,09
TESE	-44,30	11,84	88,08	10,08	30,55	14,77	118,63	17,36

A= Appoggio C= Massimo Caricamento S= Stacco H= Massima Altezza

E' interessante notare come la corsa presenti la discesa del COM minore, probabilmente dovuto alle forti componenti di stiffness attivate.

Quanto detto viene riassunto nel grafico di figura 8, in cui appare abbastanza evidente come il COM nello skip e nella corsa presenti un comportamento simile

Fig. 9



Per ciò che riguarda la differenza tra i sessi, l'unica differenza significativa si ritrova nel dato relativo alla fase di volo della corsa balzata (delta S-H, tab. 7), che, come già visto in precedenza, presentava una differenza statisticamente significativa anche nella sua durata.

Tab. 10

Balzata	Delta A-C	Delta C-S	Delta S-H	Delta C-H
Maschi	-41,51	109,89	74,63	184,52
Femmine	-49,83	127,36	108,02	235,38
	0,50	0,30	<0,05	0,09

3.4 DATI ANGOLARI

I dati angolari acquisiti ci offrono una fotografia sul comportamento delle articolazioni dell'arto inferiore durante i momenti tipici dell'appoggio e della fase di volo.

Come per i dati lineari, anche per gli angoli, i momenti analizzati sono stati l'impatto, il massimo caricamento e lo stacco, nonché la massima flessione durante la fase di oscillazione.

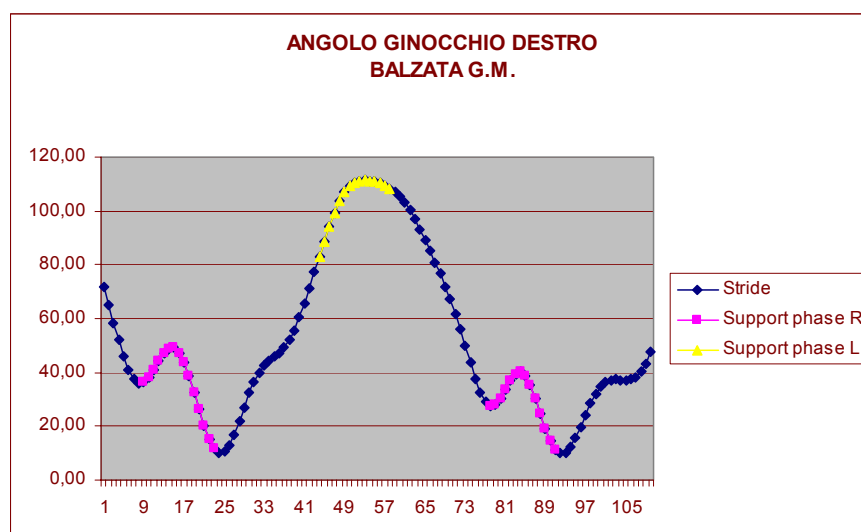
Per l'arto di appoggio sono state anche stimate le velocità angolari in estensione durante la fase propulsiva

Parallelamente ai valori angolari, per l'arto oscillante si è valutata la massima velocità angolare in flessione, limitatamente alle articolazioni dell'anca e del ginocchio.

I dati raccolti sono stati rappresentati in goniogrammi che offrirono in un'unica immagine grafica l'andamento dell'articolazione durante l'intero ciclo analizzato, evidenziando cromaticamente sia il comportamento durante l'appoggio, sia quello durante il contatto controlaterale (Fig. 9).

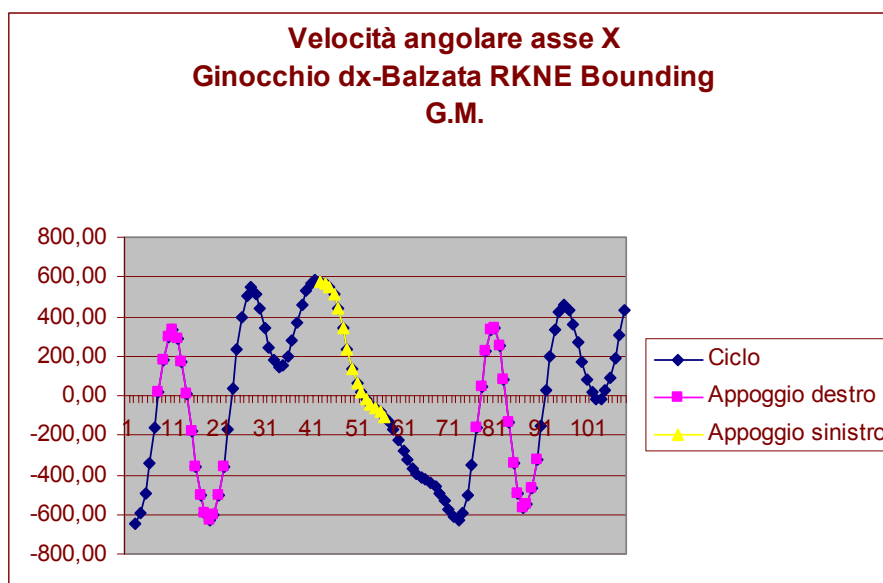
In tal modo ci si è potuti avvalere di una lettura immediata e di facile interpretazione dell'andamento delle curve del goniogramma articolare e, dove l'acquisizione fosse riuscita a raccogliere dati su 2 appoggi omolaterali, di un rapido confronto sulla specularità delle 2 traiettorie.

Fig. 10



Lo stesso tipo di analisi è stato effettuato nei confronti delle velocità angolari (Fig. 11).

Fig. 11



3.4.1 Angoli

Gli angoli presi in considerazione sono quelli dell'arto inferiore durante l'appoggio di destro e di sinistro. Anche in questo caso è stato utilizzato il test di Wicoxon per valutare le differenze significative tra le diverse tipologie di esercizi.

3.4.1.1 Arto in appoggio

Le analisi sono state condotte sulle 3 diverse articolazioni dell'arto inferiore durante l'impatto (A), lo stacco (S) e, dove si presentava, il massimo caricamento (MAX C).

In tabella 11 sono riportati i dati relativi all'articolazione dell'anca.

Tab. 11

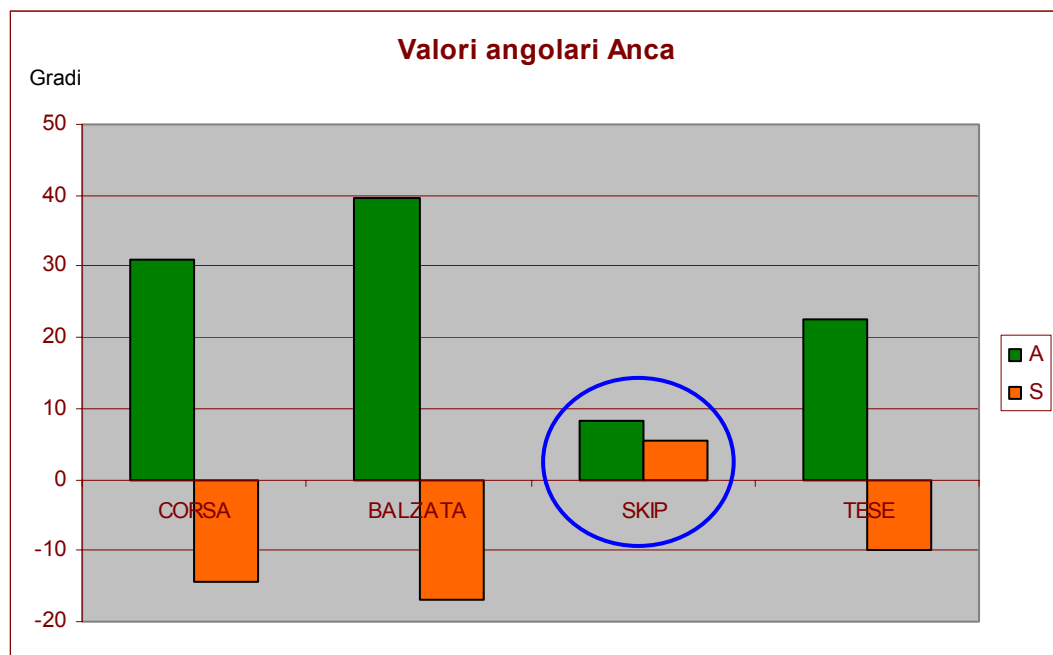
ANGOLI	Anca 1				Anca 2			
	A	Dev St	S	Dev St	A	Dev St	S	Dev St
CORSA	30,9	10,0	-14,5	9,5	32,5	9,4	-13,5	8,7
BALZATA	39,6	7,5	-16,8	9,9	36,5	8,1	-15,2	8,5
SKIP	8,3	8,2	5,5	9,5	9,0	7,5	10,0	8,2
TESE	22,6	6,8	-9,9	11,1	23,0	6,9	-7,8	7,4

I dati mostrano come la balzata presenti valori angolari leggermente superiori rispetto alla corsa. Queste differenze assumono però un dato di significatività solo nel momento dell'impatto, mentre allo stacco si hanno risultati molto simili

Gli angoli durante l'esercizio di gambe tese sono invece leggermente inferiori ed anche in questo caso solo durante l'impatto le differenze si fanno significative.

Particolarmente interessante appare invece il comportamento dell'anca durante lo skip, che presenta valori completamente diversi rispetto alla corsa ed alle altre andature, mostrando addirittura allo stacco un atteggiamento opposto (Fig. 12)

Fig. 12



In sostanza si può dedurre che durante lo skip l'anca non si estende completamente allo stacco, ma comincia a flettersi alcuni centesimi prima, dimostrando di fatto che con questo esercizio non si stimola la fase di spinta alla fine dell'appoggio. Questo dato trova un conforto tecnico anche nel fatto che il tempo di contatto del piede a terra è piuttosto lungo ed invece quello di volo relativamente breve, con conseguente rapporto TC/Step più elevato di

tutte le altre andature (48%). Considerando che questo rapporto dovrebbe essere del 40% tendente a valori ulteriormente inferiori, si può dedurre che lo skip è l'esercizio che, fra tutti quelli presi in esame, sollecita meno le componenti di spinta.

Proseguendo l'analisi delle articolazioni dell'arto in appoggio, la tabella 12 racchiude i risultati riguardanti il ginocchio.

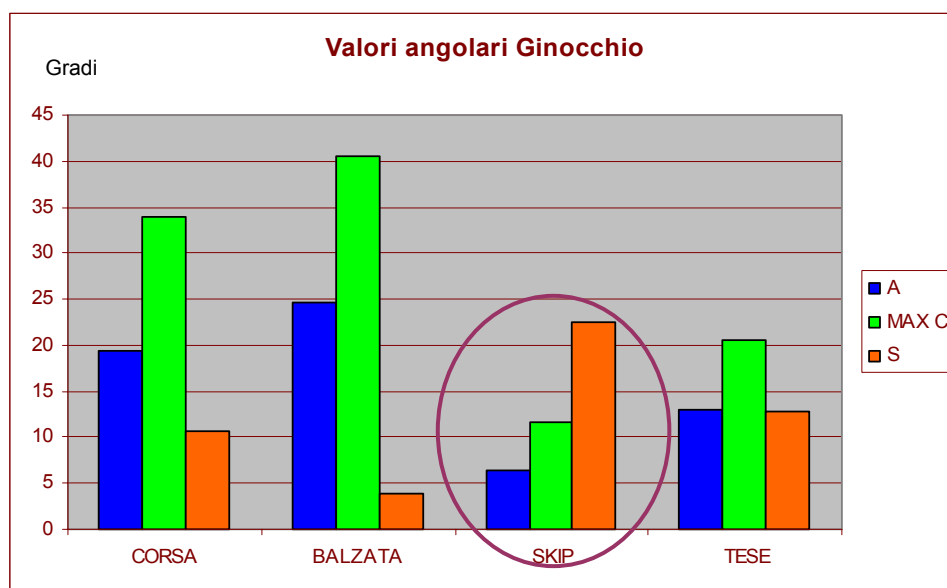
Tab. 12

ANGOLI	Ginocchio 1						Ginocchio 2					
	Valori in gradi	A	Dev St	MAX C	Dev St	S	Dev St	A	Dev St	MAX C	Dev St	S
CORSA	19,4	7,5	33,9	7,7	10,7	8,4	21,9	7,8	37,8	7,2	12,1	8,8
BALZATA	24,7	7,9	40,6	6,9	3,9	9,5	23,5	6,8	34,9	8,3	3,1	8,7
SKIP	6,3	8,3	11,6	9,1	22,5	9,5	7,2	8,0	12,4	6,6	27,2	10,8
TESE	12,9	7,3	20,5	7,2	12,8	9,4	13,7	6,8	22,6	6,9	14,6	9,5

Come per l'anca, ugualmente per il ginocchio lo skip presenta un atteggiamento completamente diverso dalle altre andature, mostrando proporzioni tra gli angoli diverse ed evidenziando anche una minore estensione allo stacco (Fig.13).

Allo stesso modo anche la fase di caricamento risulta diversa dagli altri esercizi: nello skip infatti, solo 7 soggetti presentano un gathering (massimo caricamento) e di valori comunque molto ridotti, quasi si verificasse una "tenuta isometrica" più che un caricamento vero e proprio.

Fig.13



Sempre considerando il ginocchio, si può notare come la balzata presenti tutti i valori più accentuati, soprattutto nell'estensione, mentre la corsa a gambe tese, che mostra rispetto alla corsa le differenze statisticamente più significative all'impatto ed al massimo caricamento, appare anche come l'esercizio che, in fase di stacco, assomiglia maggiormente ad essa.

Ultima articolazione da analizzare risulta la caviglia (Tab.13 e fig 14).

Tab.13

ANGOLI	Caviglia 1						Caviglia 2					
	A	Dev St	MAX C	Dev St	S	Dev St	A	Dev St	MAX C	Dev St	S	Dev St
CORSA	0,8	11,8	23,5	10,0	-21,1	21,5	5,7	6,5	23,1	10,1	-16,6	20,8
BALZATA	4,3	9,1	31,5	8,2	-21,2	6,1	-1,0	8,6	26,6	9,6	-23,2	9,5
SKIP	-13,9	9,8	8,6	6,7	-21,6	8,4	-10,2	9,6	9,3	6,2	-18,6	8,7
TESE	-13,3	7,3	19,6	6,2	-21,0	9,3	-14,7	10,2	17,4	8,9	-25,7	10,8

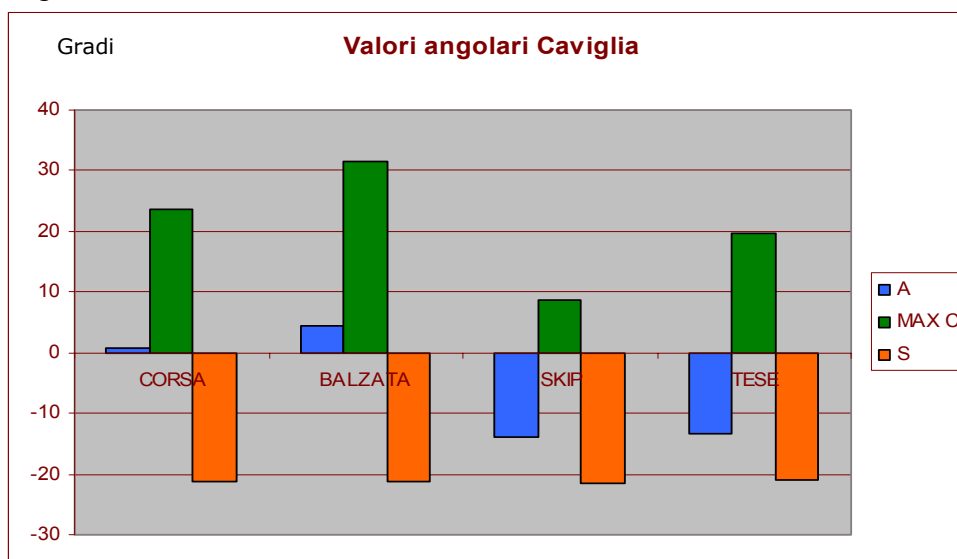
A= Appoggio S= Stacco

L'estensione della caviglia è molto simile tra gli esercizi al momento dello stacco e questo risulta particolarmente evidente soprattutto nei dati della caviglia 1

All'impatto invece l'esercizio a gambe tese e lo skip presentano valori opposti a corsa e balzata. In quest'ultima la caviglia all'impatto si presenta più flessa dorsalmente rispetto a tutti gli esercizi.

Durante la fase di caricamento il comportamento delle gambe tese e della corsa balzata si avvicina verosimilmente a quello della corsa.

Fig. 14



Per ciò che riguarda il confronto tra generi, non si sono verificate differenze significative tra maschi e femmine; come detto all'inizio del capitolo dei risultati.

L'unico valore in cui i due sessi mostrano un comportamento diverso è quello riferito al ginocchio al momento dell'impatto e del massimo caricamento nell'esercizio a gambe tese (tab. 14) e nell'impatto e stacco dello skip (Tab. 14 b)., in cui le donne mostrano un atteggiamento di maggior estensione dell'arto al contatto del terreno

Tab. 14

Gambe tese	Appoggio 1			Appoggio 2		
	Ginocchio			Ginocchio		
Maschi	18,55	25,80	14,57	18,98	27,59	13,84
Femmine	7,60	15,15	13,33	8,41	17,66	15,41
	<0,01	<0,01	0,807	<0,01	<0,02	0,789

Tab. 14 b

Skip	Appoggio 1			Appoggio 2		
	Ginocchio			Ginocchio		
Maschi	10.75		28.66	10.81		34.03
Femmine	0.83		13.59	1.01		17.25
	<0,01		<0,001	<0,05		<0,01

Analizzando però il range di caricamento, i valori dei 2 sessi appaiono pressoché simili (7-9°), pertanto rimane il dubbio che la differenza sia determinata da interpretazioni tecniche personali piuttosto che da reale diversità di genere imputabili alla forza ed alla rapidità..

3.4.1.2 Arto oscillante

I dati dell'arto in oscillazione sono interessanti, perché possono evidenziare esercizi utili per la frequenza del passo, parametro fondamentale ai fini della prestazione.

In tabella 15 sono riportati i valori angolari medi dei picchi in flessione dell'anca dell'arto in oscillazione.

Tab. 15

Medie	ANCA	
	ANG	Dev. St
Corsa	92	8.5
Balzata	105	15.9
Skip	90	11.5
Tese	63	8.8

Come si può vedere, il dato della corsa si avvicina a quello dello skip che mostra comunque valori più bassi.

Per quel che riguarda le altre 3 andature le differenze con la corsa sono notevoli ed anche statisticamente significative.

A fronte di un parallelo tra maschi e femmine le uniche differenze significative sono legate ai valori della balzata e dello skip (Tab. 16)

Tab. 16

Medie	ANCA			
	CORSA	BALZATA	SKIP	TESE
Maschi	93	98	84	64
Femmine	91	116	99	62
		<0.05	<0.01	

In questo specifico caso queste differenze potrebbero essere imputate o ad aspetti tecnici o a fattori legati alla flessibilità dell'anca.

In tabella 17 invece sono riportati i picchi di flessione del ginocchio nella corsa, nella corsa balzata e nello skip; non vengono riportati i valori della corsa a gambe tese in quanto in questo esercizio non si ha flessione dell'articolazione in fase di oscillazione.

Insieme agli angoli viene evidenziato anche il momento di massima flessione del ginocchio in rapporto percentuale rispetto all'intera fase di appoggio controlaterale (T%).

Semplificando, se il picco si presentasse a 0%, significherebbe che sarebbe coincidente con l'impatto del piede a terra, al 100% con lo stacco, come peraltro accade nella corsa balzata.

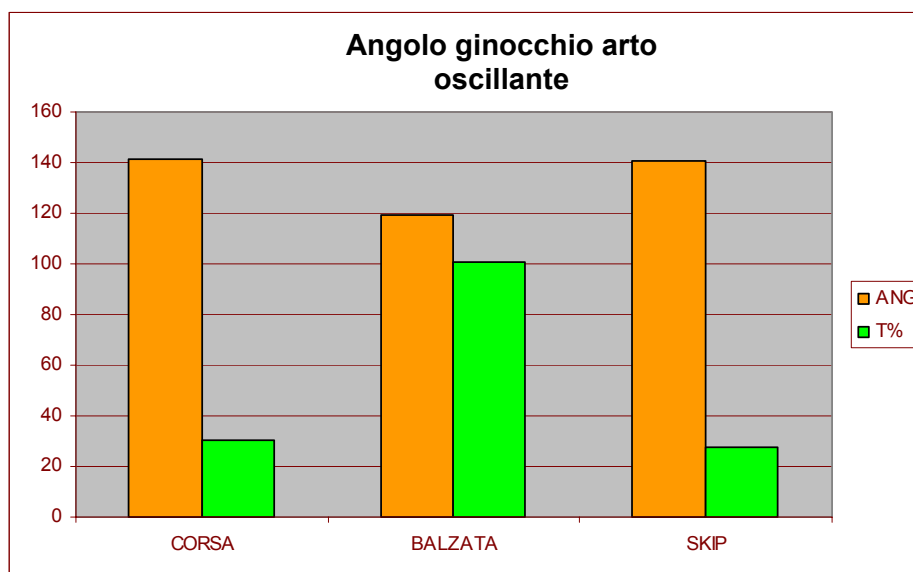
Tab. 17

ANGOLI	Ginocchio				Ginocchio 2			
	Valori in gradi	ANG	Dev St	T%	Dev St	ANG	Dev St	T%
CORSA	142	8	30	13	142	7	35	16
BALZATA	119	13	100	43	120	16	101	43
SKIP	141	8	28	7	142	10	29	6

I dati riportati mostrano che in oscillazione lo skip e la corsa presentano valori angolari praticamente identici, mentre la balzata evidenzia dati di flessione leggermente inferiori.

Per ciò che riguarda il T%, nella corsa balzata il picco di flessione è vicino come valore medio allo stacco, mentre negli altri 2 esercizi è più vicino all'impatto; in questo tipo di analisi appare evidente la similitudine tra skip e corsa. (Fig.16)

Fig. 16



Per quanto concerne la distinzione tra generi, i dati significativi si hanno solo sui dati angolari dello skip (Tab.18) e sul timing della balzata (Tab. 19). Per quest'ultimo dato, però, si pensa che la differenza non sia tanto dettata da aspetti di ordine sessuale, ma piuttosto da fattori tecnici.

Infatti le donne analizzate, per background sportivo (anzianità di allenamento) e standard prestativo, si presentavano mediamente di livello superiore agli uomini; dal canto loro, tra i maschi, proprio gli atleti più preparati tecnicamente mostravano risultati simili a quelli delle ragazze.

Si deduce pertanto che sul timing della corsa balzata incida soprattutto la fluidità coordinativa, che, come afferma Meinel, concorre all'affinamento dell'esecuzione tecnica.

Tab. 18

SKIP	GINOCCHIO 1		GINOCCHIO 2	
	ANG	T%	ANG	T%
Maschi	144	29	146	30
Femmine	136	26	134	27
	<0,05	0,628	<0,05	0,549

Tab. 19

BALZATA	GINOCCHIO 1		GINOCCHIO 2	
	ANG	T%	ANG	T%
Maschi	115	81	115	78
Femmine	127	140	128	142
	0,134	<0,015	0,174	<0,003

3.4.2 Velocità angolari

3.4.2.1 Arto in appoggio

Per quanto riguarda l'arto in appoggio in fase propulsiva è interessante notare come lo skip (Tab. 20) sia l'unico esercizio che invece di presentare una velocità di estensione nelle articolazioni dell'anca e del ginocchio, evidenzia una fase di flessione nella fase terminale dell'appoggio (unico valore di velocità positivo).

Per ciò che concerne le elaborazioni statistiche è interessante notare che, mentre l'anca nella corsa in rapporto alle altre andature, mostra significative differenze in tutti i confronti (con $p < 0.01$), il ginocchio mostra significatività solo nelle relazioni in cui entra in gioco lo skip, che appare così, come nel comportamento angolare, del tutto atipica come esercizio.

Tab. 20

	GINOCCHIO		ANCA	
	Vel ANG	Dev. St	Vel ANG	Dev. St
Corsa	-693	195	-743	137
Balzata	-617	150	-565	117
Skip	665	113	386	106

3.4.2.2 Arto in oscillazione

Per ciò che riguarda la velocità angolare in flessione durante la fase di oscillazione, è stato preso in considerazione il massimo valore in gradi/sec. Questo parametro può essere di aiuto per interpretare similitudini tra esercizi per ciò che concerne la frequenza dei passi

In tabella 21 sono riportati i dati di corsa, balzata e skip: chiaramente anche per le velocità angolari non si è preso in considerazione la corsa a gambe tese in cui non si presenta flessione né del ginocchio né dell'anca in fase di oscillazione

Tab. 21

MAX VELOCITA' ANG	Ginocchio		Anca	
Valori in Gradi/sec	VEL	Dev St	VEL	Dev St
CORSA	1085	251	956	143
BALZATA	772	199	712	118
SKIP	907	141	629	128

La tabella mostra che la corsa presenta le velocità angolari più elevate; la balzata i valori più bassi per il ginocchio, mentre lo skip per l'anca.

L'elaborazione statistica (Test di Wilcoxon) ci mostra che vi sono differenze significative tra il ginocchio della corsa e della balzata (<0.01) ed ugualmente tra ginocchio della corsa e ginocchio dello skip (<0.01).

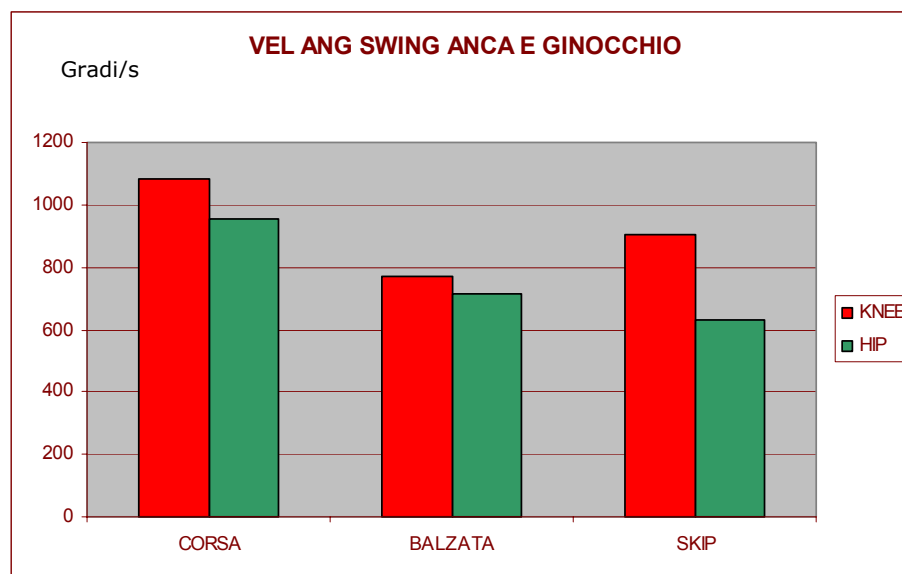
Anche tra valore del ginocchio nello skip e nella balzata la significatività si attesta su $p < 0.01$.

Riguardo all'anca, la corsa presenta significative differenze sia con la balzata (<0.01) che con lo skip (<0.001), in cui si ha il massimo valore di p.

Non risultano significative le differenze tra anca della balzata e dello skip e tra i valori di 2 appoggi omolaterali nella corsa sia per l'articolazione del ginocchio, che per quella dell'anca.

In tutti i casi le velocità del ginocchio sono comunque più elevate di quelle dell'anca (Fig. 17).

Fig. 17



I dati si riferiscono al massimo picco di velocità in flessione, che rivela anche note interessanti rispetto al timing dell'appoggio controlaterale. Tale picco nella corsa infatti si presenta durante il contatto a terra del piede opposto per quanto riguarda l'anca, e prima di questo nell'articolazione del ginocchio.

Nella corsa balzata invece il picco sia dell'anca che del ginocchio si presentano durante l'appoggio controlaterale (CL), mentre nello skip si presenta per entrambe le articolazioni sempre prima di questo (Tab 22)

Tab. 22

Quando si presenta il picco di velocità ?:	ANCA	GINOCCHIO
CORSA	durante CL	prima CL
BALZATA	durante CL	durante CL
SKIP	prima CL	prima CL

Come si può vedere, lo skip presenta un atteggiamento più simile alla corsa nel ginocchio come timing, ma, come precedentemente visto, non come valore di velocità; viceversa la balzata mostra un comportamento opposto, cioè un timing simile alla corsa nell'anca, che però presenta un valore di velocità molto più bassa.

Per quello che riguarda le differenze tra sessi, l'unica differenza significativa tra le velocità dell'arto in oscillazione nelle diverse andature, si riscontra nel comportamento del ginocchio nello skip ($p < 0.001$). Anche in questo caso si pensa che la diversità sia dovuta prevalentemente ad aspetti di interpretazione tecnica piuttosto che da differenze di genere.

In tutti gli altri dati il comportamento tra maschi e femmine risulta abbastanza simile.

3.5 CONFRONTO DATI IN “CARICO” E “SCARICO”

L’ultima analisi confronta i dati ottenuti dagli atleti in 2 diversi periodi della pianificazione dell’allenamento: il periodo di potenziamento (“carico”) e quello agonistico (“scarico”).

Nel primo caso l’allenamento privilegia gli aspetti quantitativi relativamente al condizionamento della forza muscolare, quelli cioè relativi al volume, e nel secondo quelli qualitativi, cioè legati all’intensità.

In tabella 23 è riportata l’elaborazione statistica relativa ad alcune variabili per i 4 esercizi.

Tab. 23

Variable	Corsa		Balzata		Skip		Tese	
	carico	scarico	carico	scarico	carico	scarico	carico	scarico
Tempo appoggio (s)	0,105	0,110	0,154	0,159	0,129	0,144	0,155	0,161
Tempo volo (s)	0,158	0,152	0,270	0,269	0,156	0,137	0,194	0,190
Angolo anca app. (Gr)	32,4	31,1	37,9	37,8	5,7	11,4	22,9	22,3
Timing Ang. Gin. Oscil. (%)	39	28	91	107	26	30		
Angolo gin. oscillante (Gr)	138	145	115	125	140	143		
Delta caricamento bar.(cm)	-1,2	-2,0	-3,3	-5,6	-2,1	-2,6	-4,2	-4,7
Delta or. bar. Appoggio (cm)	69,6	75,8	77,9	71,7	27,9	22,7	58,9	57,4
Test di Mann-Whitney	p < 0,05							

L’esercizio in cui si manifestano maggiori differenze tra i 2 periodi è lo skip. L’elemento che caratterizza tali variazioni, probabilmente, è il condizionamento della stiffness.

La variabile invece che sembra più influenzata è l’angolo di flessione del ginocchio oscillante, che nella corsa e nella balzata presenta in fase di carico valori di flessione meno evidenti.

CAPITOLO 4

DISCUSSIONE

Come detto nei capitoli introduttivi, la letteratura non offre lavori di riferimento per gli esercizi speciali della corsa, soprattutto per ciò che riguarda i dati cinematici.

Gli unici casi in cui si analizzano esercizi speciali della corsa sono quelli di Mero & Komi (1994) e Skripko (2003), ma come già affrontato in premessa propongono pochi dati confrontabili con quelli sviluppati in questa ricerca.

In particolare Skripko analizza la corsa e lo skip su nastro per verificare le similitudini con la corsa su pista; pertanto i dati temporali e cinematici dello skip non possono essere confrontati con quelli ottenuti in questa ricerca.

Nello specifico, però, i pochi dati confrontabili con il lavoro di Skripko e con quello di Mero & Komi, presentano risultati sostanzialmente in accordo per ciò che riguarda i tempi di contatto nella corsa e la proporzione tra fase frenante e fase propulsiva, mentre differiscono nei tempi di volo (0,13 in Mero, 0,135 in Skripko, 0,15 in questa ricerca), probabilmente per la diversità della velocità di percorrenza (9 m/sec circa nei 2 lavori in letteratura, contro 7-8 m/sec) e, soprattutto per la ricerca di Mero, anche per la migliore capacità di performance degli atleti.

Stessa considerazione si deve fare riguardo al confronto tra le corse balzate: in Mero & Komi le velocità di percorrenza sono molto alte (intorno agli 8 m/sec), mentre in questo studio tale velocità si attesta intorno ai 5 m/sec. Questa differenza evidente di velocità porta ad una successiva diversità dei tempi di contatto e di volo, che nel lavoro di Mero & Komi risultano più brevi in entrambe le fasi (rispettivamente 0,12 sec contro 0,15 sec e 0,17 sec contro 0,28 sec)

Probabilmente i dati così diversi tra i 2 studi mostrano che gli atleti hanno una modalità d'interpretazione tecnica molto diversa dell'esercizio.

4.1 DATI TEMPORALI

Per quello che riguarda invece i lavori presenti in letteratura sulla corsa, si possono condurre diversi confronti con i dati ottenuti da questa ricerca. Rispetto alla letteratura (Merni et al., Mero 1994, 1986, Coh 2001, 2004) i tempi di contatto della corsa sono in linea con gli atleti di alto livello, mentre i tempi di volo si collocano su valori leggermente più alti (0,130 Mero 1994, 0,137-0,146 Coh, 2005 e 2001).

Conseguentemente anche il rapporto TC/Step risulta inferiore ai dati riportati in letteratura (47-48% Coh 2005).

Di Molfetta (1994) giustifica l'errata meccanica di corsa con i tempi di appoggio troppo lunghi (0,17 sec) e con una durata della fase di volo troppo enfatizzata (0,20 sec); la ricerca di Di Molfetta però ha come soggetto un solo atleta. Effettivamente però in questo caso anche il rapporto tra fase di appoggio e durata del ciclo appoggio + volo (46%) non rispetta la proporzione 40%-60%.

4.1.1. Timing

Per ciò che riguarda il timing di caricamento, i dati ottenuti sulla corsa in questa ricerca sono in linea con la letteratura (41% contro il 40% di Coh 2004) per quello che riguarda i rapporto tra tempo di appoggio e tempo totale dello step (tempo di appoggio/tempo di volo), mentre analizzando la stessa proporzione tra tempo di ammortizzazione e tempo di spinta in questa ricerca i dati ottenuti sono in disaccordo con lo stato dell'arte, se, come in letteratura, si costruisce la proporzione valutando come fine del caricamento il punto più basso della traiettoria del COM.

In questo caso infatti la proporzione in questo studio risulta di 30% e 70%, contro il 40%-60% della letteratura.

Questa ricerca ha però evidenziato che il minimo valore sull'asse verticale del COM non corrisponde, come sequenza temporale, alla massima flessione delle articolazioni dell'arto inferiore, soprattutto della

caviglia e del ginocchio, che si ritiene sia l'effettivo momento d'inversione della fase frenante in quella propulsiva.

Si pensa infatti che la fine della fase eccentrica o di ammortizzazione dell'appoggio non debba essere legata ad una lettura della traiettoria del COM (Luhtanen 1980) o ancor più sommariamente ad un ipotetico punto di unione tra le 2 cosce durante l'appoggio (Bosco e Vittori 1985), ma che in verità sia necessario collegarla al momento in cui la caviglia e, soprattutto, il ginocchio terminano il caricamento (Merni et al. 1992).

Solo infatti quando le suddette articolazioni cominciano ad estendersi inizia dal punto di vista muscolare la contrazione eccentrica dei gruppi che saranno responsabili della propulsione e dello stacco.

Alla luce di queste considerazioni, andando a considerare i momenti dei vari caricamenti angolari rispetto al minimo valore in altezza del baricentro, si può notare che la caviglia ed il ginocchio concludono la loro fase di gathering (massimo caricamento) successivamente al momento in cui si manifesta il valore minimo sull'asse verticale del COM.

4.2 DATI CINEMATICI LINEARI

4.2.1 Spostamenti del COM sull'asse orizzontale

Questi dati trovano conforto in letteratura in Coh 2005, mentre Hunter 2004, identifica misure leggermente maggiori (80 cm ca)

Anche Coh in altri 2 lavori (2000 e 2001) mostra valori maggiori su questo parametro (86 cm), anche se in uno di questi la sua ricerca si riferiva ad un'unica atleta e di livello eccellente, dato che si trattava della campionessa olimpica dei 400m di Sidney 2000 Cathy Freeman, quindi dalle caratteristiche tecniche uniche.

La diversità nello spostamento del baricentro rispetto ai dati della letteratura si manifesta proporzionalmente sia nella distanza tra piede e proiezione del COM all'impatto del piede a terra, sia tra la stessa proiezione ed il piede allo stacco di questo,

Questo dato risulta influenzato soprattutto dai dati antropometrici.

4.2.2 Spostamenti del COM sull'asse verticale

Altre variabili analizzate nella letteratura riguardo al COM riguardano il suo spostamento sull'asse verticale durante le fasi di impatto, massimo caricamento, stacco e massima altezza durante la fase di volo (Merni et al. 1992, Coh et Klavora 2001, Coh et al. 2005)

Il comportamento del centro di massa sull'asse verticale ci può spiegare, sotto un'altra lente d'ingrandimento, come può essere poco economica una tecnica di corsa in caso di eccessiva escursione del COM, come afferma Di Molfetta (2002) che indica nell'escursione di 11 cm del COM dell'atleta analizzato, un segnale di eccessiva dispersione della spinta verso l'alto.

In questo studio sono state ricercate le differenze in altezza tra impatto e massimo caricamento, tra questo e stacco e tra stacco e massima altezza. I dati sono confrontati da quelli presenti in letteratura (Merni et al. 1992, in questo caso i valori sono relativi ai passi di rincorsa in un salto triplo)

4.3 DATI ANGOLARI

Per ciò che riguarda lo studio cinematico degli angoli, bisogna premettere che la letteratura non ha offerto molti appoggi al tipo di analisi approfondito in questo studio.

In questa ricerca infatti si è pensato di dimensionare i valori angolari delle varie articolazioni per studiare analiticamente il comportamento di caviglia, ginocchio ed anca nei momenti tipici dell'appoggio.

La ricerca bibliografica ha mostrato invece che molti lavori (scartati poi ai fini di questa ricerca) fornivano angoli di impatto e stacco riferiti ad un generico arto inferiore o, talvolta, definivano come angolo dell'arto inferiore quello creato dal terreno e dalla linea che univa piede in appoggio e COM del corpo.

Questo tipo di analisi offre informazioni più utili forse sulla proiezione del corpo, piuttosto che sul comportamento reale dell'arto inferiore e delle sue articolazioni.

In questa ricerca sono stati presi in considerazione solo angoli riferiti a due segmenti corporei chiaramente definiti, che ci potessero offrire una lettura chiara delle articolazioni dell'arto inferiore.

Di particolare importanza per ciò che riguarda i dati angolari risulta anche il comportamento dell'arto oscillante, che viene fortemente condizionato dalla frequenza dei passi, che come abbiamo visto, è uno dei parametri più importanti per spiegare l'ottimale rendimento di velocità.

4.3.1 Angoli

4.3.1.1 Arto in appoggio

Valutando analiticamente le singole articolazioni possiamo notare che il range di movimento dell'anca in appoggio nella corsa è in accordo con i dati di Hunter (2004).

Anche il ginocchio mostra dati confortati da quelli presenti in letteratura: Merni (1986) e Novacheck (1998), che mostrano analisi singole delle diverse articolazioni e confermano i valori relativi al ginocchio durante l'appoggio.

Anche la caviglia mostra un comportamento che sia Novacheck (1998) che Stefanyshyn e Nigg (1998) confermano nei loro lavori.

In quest'ultimo i dati sono pressoché coincidenti con quelli ottenuti in questa ricerca (0° all'impatto, 20° al massimo caricamento, -20° allo stacco); per velocità superiori agli 8 m/sec, però, i 2 studiosi definiscono dati leggermente diversi (rispettivamente -10° , 10° , -30°).

In questo studio essendo però la velocità media di percorrenza degli atleti intorno ai 7,5 m/sec si ritiene giusto doversi confrontare con la prima serie di dati

4.3.1.2 Arto in oscillazione

Anche per quanto concerne l'angolo del ginocchio della gamba in oscillazione i dati studiati di massima flessione sono perfettamente in linea con la letteratura (Merni 1986 e Novacheck 1998).

4.3.2 Velocità angolari arto in appoggio ed oscillazione

Gli studi presenti in letteratura sono indirizzati prevalentemente all'analisi di valori medi di velocità angolare.

Lo studio della gamba oscillante rimane complessa e non sono molti i lavori che prendono in considerazione il suo studio cinematico, nonostante alcuni abbiano proposto anche modelli teorici matematici per valutarne l'influenza sulla prestazione (Knuesel et al 2005).

Comunque per l'arto in appoggio si trovano dati relativi alle fasi di flessione/caricamento ed estensione/propulsione (Merni 1986, Coh 2000, 2001, 2005), mentre per l'arto oscillante si tende ad analizzare un dato medio di velocità.

In questa ricerca si è voluto invece considerare il picco di velocità in estensione per quanto riguarda l'arto in appoggio, e quello in flessione per l'arto in oscillazione.

In tal modo si è voluto cercare di trarre una spiegazione anche sull'eventuale influenza che poteva fornire la componente di forza rapida sull'esecuzione del gesto.

CAPITOLO 5

CONCLUSIONI

5.1 Analisi delle andature

Gli obiettivi della ricerca erano quelli d'indagare le differenze tra la corsa e gli esercizi speciali utilizzati più frequentemente nell'allenamento del velocista.

Per dimostrare la validità dei dati rilevati è stato effettuato un confronto con quelli della letteratura; questo confronto è stato compiuto soprattutto riguardo alla corsa, dato che per gli esercizi speciali non esiste una fornita documentazione letteraria.

Come suddetto, il confronto con la letteratura ha confermato la validità dei dati ottenuti relativamente alla quasi totalità delle variabili; alcuni dei parametri discordanti sono imputabili a differenze di prestazione degli atleti analizzati o al metodo di rilevamento alcune volte diverso, altre volte male definito dagli autori.

Per quel che riguarda l'attendibilità dei dati, questa è risultata buona ed in certi casi ottima per i dati temporali e per quelli spaziali del COM.

In relazione ai dati angolari, invece, non si è riscontrato lo stesso buon livello di attendibilità soprattutto per quanto riguarda gli esercizi speciali.

Questo dato può essere spiegato non come errore metodologico o del sistema di rilevamento, ma come un comportamento tecnico molto variabile dei soggetti negli appoggi degli esercizi speciali.

Infatti questi risultano sicuramente meno automatizzati e standardizzati rispetto alla corsa.

A conferma di questa ipotesi, vengono in aiuto le elaborazioni statistiche sui dati angolari della corsa, che presentano, contrariamente agli esercizi speciali, una buona attendibilità.

L'importanza dell'esercizio speciale è nota a tutti i metodologi sportivi in quanto offre l'opportunità di sviluppare in modo ottimale e specifico le componenti della prestazione

Per un allenatore pertanto capire quali sono i punti comuni e le differenze tra la corsa e gli esercizi speciali diventa di fondamentale importanza per la pianificazione di un corretto e funzionale programma d'allenamento.

Pertanto ogni esercizio dovrà mostrare caratteristiche comuni e non con le specialità di sprint e dovrà essere utilizzato per sviluppare alcune determinate variabili specifiche.

Qui di seguito si riportano sinteticamente per ogni esercizio le similitudini e le differenze rispetto al gesto della corsa:

PUNTI COMUNI:

CORSA BALZATA

- 1- Distanza percorsa dal COM durante la fase di appoggio;
- 2- I valori angolari dell'anca allo stacco, del ginocchio all'impatto e della caviglia all'impatto ed allo stacco;
- 3- Il picco di velocità angolare in estensione del ginocchio in fase di appoggio.

SKIP

- 1- Il tempo di volo;
- 2- Il comportamento del COM sull'asse verticale in fase di appoggio;
- 3- L'angolo della caviglia allo stacco;
- 4- Gli angoli del ginocchio dell'arto in oscillazione.

GAMBE TESE

- 1- Valori angolari del ginocchio allo stacco;
- 2- Valori angolari della caviglia nel massimo caricamento ed allo stacco.

DIFFERENZE

Nei risultati sono state riscontrate le seguenti differenze statisticamente significative tra corsa ed i singoli esercizi speciali.

CORSA BALZATA

- 1- Il tempo di contatto;
- 2- Il tempo di volo;
- 3- La proporzione tra durata dell'appoggio e dello step (appoggio + volo);
- 4- I parametri lineari verticali del COM;
- 5- Il comportamento del ginocchio e della caviglia al massimo caricamento e dell'anca all'impatto;
- 6- I valori angolari dell'arto in oscillazione;
- 7- Il picco di velocità angolare in estensione dell'anca in appoggio;
- 8- I picchi di velocità angolare in flessione dell'arto oscillante.

SKIP

- 1- Il tempo di contatto;
- 2- La proporzione tra durata dell'appoggio e dello step (appoggio + volo);
- 3- Le distanze lineari del COM durante l'appoggio;
- 4- I parametri angolari dell'anca e del ginocchio;
- 5- Gli angoli all'impatto della caviglia;
- 6- Le velocità angolari dell'arto in appoggio;
- 7- Le velocità angolari dell'arto oscillante.

GAMBE TESE

- 1- Parametri lineari del COM;
- 2- Il tempo di contatto;
- 3- Il tempo di volo;

- 4- La proporzione tra durata dell'appoggio e dello step (appoggio + volo);
- 5- Gli angoli dell'anca all'impatto;
- 6- Gli angoli del ginocchio all'impatto e caricamento;
- 7- Gli angoli della caviglia all'impatto.

Alla luce di queste considerazioni per ogni esercizio speciale si possono identificare degli obiettivi specifici da raggiungere e da programmare in funzione delle necessità dell'allenamento.

CORSA BALZATA

Risulta l'esercizio più adatto ad allenare la spinta dello stacco; la richiesta nell'esecuzione di amplificare la fase di volo costringe l'atleta ad una maggiore cura nell'estensione di tutte le articolazioni dell'arto inferiore.

In tal modo l'esercizio risulta sicuramente utile più degli altri all'allenamento delle componenti di forza rapida soprattutto dei muscoli estensori dell'anca.

Anche i valori angolari di anca e caviglia allo stacco e la velocità angolare del ginocchio in fase di spinta sono elementi che si offrono bene ad essere sviluppati tramite la corsa balzata.

Considerando anche che la balzata obbliga l'atleta a ricadere dalla fase di volo da un'altezza maggiore che nella corsa, la si può considerare un esercizio utile per allenare la stiffness nella componente della forza, considerando che i dati raccolti dimostrano che la caviglia prende contatto a terra con un angolo già leggermente in flessione e la sollecitazione all'impatto è più violenta data l'altezza di ricaduta.

Se da una parte la balzata può allenare la componente di forza della stiffness è altresì vero che non può migliorare il tempo di contatto, che rimane troppo più lungo che nella corsa.

Allo stesso modo la balzata risulta un esercizio poco utile per allenare i valori dell'arto in oscillazione: sia gli angoli che le velocità angolari infatti sono profondamente diversi dalla corsa.

Anche la massima flessione del ginocchio si colloca mediamente alla fine dell'appoggio controlaterale, quindi seguendo un timing molto diverso rispetto alla corsa (picco più vicino all'impatto).

Inoltre una successiva analisi (tab. 24) condotta differenziando atleti evoluti e principianti (in base ad anzianità di training e livello prestativo), mostra addirittura che tale picco si presenterebbe ben oltre lo stacco controlaterale (che corrisponderebbe al 100%).

Tab 24

Balzata	T% GIN 1	T% GIN 2
Evoluti	133	130
Principianti	55	47

Il valore medio del T% nella corsa balzata dei principianti dimostra che l'errore tecnico o una carenza di forza rapida porta ad assimilare l'esecuzione della balzata a quello della corsa, che presenta lo stesso picco intorno al 30-35%.

SKIP

Lo skip si presenta come un esercizio decisamente diverso dalla corsa. Gli unici parametri in cui questo esercizio può produrre effetti positivi sul training sono quelli relativi all'arto oscillante.

Gli angoli, le velocità angolari ed il momento in cui il picco di massima flessione del ginocchio in oscillazione si presenta rispetto all'appoggio controlaterale sono molto simili a quelli della corsa.

Anche gli spostamenti del COM sull'asse verticale sono in linea con quelli della corsa; questa variabile offre una lettura sul controllo del baricentro in relazione all'oscillazione della coscia.

Viceversa, in quasi tutte le altre variabili analizzate, lo skip si mostra molto differente dalla corsa.

Sicuramente in allenamento è inutile utilizzare questo esercizio per tutto ciò che concerne la fase di appoggio. I tempi di contatto infatti sono più lunghi di quelli della corsa, mentre quelli di volo sono molto simili; pertanto anche la frequenza dei passi risulta diversa da quella della corsa.

Così come gli aspetti temporali del contatto, anche gli angoli dell'arto in appoggio presentano valori e comportamenti totalmente diversi dalla corsa.

Lo skip, infatti, è l'unico esercizio in cui l'anca inizia a flettersi prima dello stacco. Anche l'esercizio a gambe tese presenta un angolo di caricamento e di stacco più simile a quello della corsa.

Parimenti agli angoli, anche le velocità angolari del ginocchio e dell'anca in appoggio mostrano valori opposti sia alla corsa che alla corsa balzata.

Questi 2 risultati mostrano in sostanza come durante l'appoggio non vi siano interventi importanti di forza dei muscoli coinvolti nella fase propulsiva dell'appoggio. Pertanto lo skip risulta un esercizio che non sembrerebbe influenzare la stiffness.

L'obiettivo per cui lo skip si presta come strumento di training è quello pertanto di allenare prevalentemente il comportamento dell'atleta in fase di volo; il movimento dell'arto in oscillazione, il tempo di volo e il controllo del baricentro risultano infatti le uniche variabili in cui corsa e skip mostrano un comportamento simile.

CORSA A GAMBE TESE

La corsa a gambe tese risulta l'esercizio meno standardizzato nelle pianificazioni dell'allenamento e pertanto meno usato dagli atleti.

L'analisi condotta in questa ricerca mostra che comunque, nonostante molte variabili siano discordanti con quelle della corsa, in alcuni aspetti si

assimila a questa offrendosi come un esercizio molto utile per sviluppare alcuni aspetti specifici.

In particolare la corsa a gambe tese appare molto adatta ad allenare la fase di stacco del piede a terra.

Se infatti la corsa balzata enfatizza questa fase, la corsa a gambe tese sembra ripeterla con modalità molto simili a quella della corsa. Pertanto gli angoli di caricamento e stacco della caviglia ed il percorso sull'asse verticale del COM dallo stacco alla massima altezza della parabola di volo sono assimilabili a quelli della corsa e rappresentano un target specifico da allenare con questo esercizio.

Inoltre, osservando i dati temporali di appoggio e volo, si può vedere che entrambi i dati nelle gambe tese sono superiori a quelli della corsa.

Il tempo di appoggio è sensibilmente più lungo (0,15 sec contro 0,10 sec), così come la fase di volo (0,19 sec contro 0,15 sec della corsa); questa diversità nella velocità del contatto è probabilmente dovuta al fatto che la fase di ammortizzazione è pressochè tutta a carico della caviglia, dato che il ginocchio rimane bloccato, e questa maggiore sollecitazione del lavoro del piede può produrre un'espressione di forza reattiva (stiffness) maggiore che determina la successiva fase di volo più lunga.

In sostanza la corsa a gambe tese si propone come una via di mezzo tra la corsa balzata e la corsa ed offre un valido strumento per allenare la componente di forza relativa alla stiffness.

Proprio l'altra componente della stiffness, e cioè la rapidità del "rimbalzo" del piede a terra, risulta il punto debole di questo esercizio, che pertanto non può servire ai fini del suo miglioramento.

Ugualmente a questa carenza, anche la distanza percorsa dal COM in fase di appoggio risulta molto diversa da quella della corsa, così come i valori angolari dell'anca in fase di impatto.

In modo inaspettato invece i valori del ginocchio in fase di appoggio, per quanto diversi da quelli della corsa, mostrano rispetto a questa un comportamento più simile di quello evidenziato dallo skip, che, intuitivamente sul campo, sembrerebbe decisamente più affine alla corsa.

DIFFERENZE TRA GENERI

Come anticipato nella premessa ai risultati, l'indagine statistica non ha evidenziato grandi differenze significative nelle variabili analizzate tra maschi e femmine.

Gli unici dati diversi giustificabili con la differenza sessuale sono i tempi di volo della corsa balzata e le misure lineari orizzontali del COM.

Anche in quest'ultimo caso rimane il dubbio che le differenze siano dovute più alle diversità antropometriche che a quelle di genere.

I dati comunque dove si riscontrano le maggiori differenze sono:

- 1- angoli del ginocchio all'impatto e massimo caricamento delle gambe tese e all'impatto e stacco dello skip (valori nelle femmine di maggior estensione nelle diverse fasi);
- 2- timing del picco di massima flessione del ginocchio oscillante rispetto all'appoggio controlaterale nella corsa balzata (nelle donne dopo lo stacco controlaterale T%=140% ca; negli uomini durante l'appoggio controlaterale T%=80% ca);
- 3- Massima flessione del ginocchio in oscillazione durante lo skip e dell'anca nello skip e nella balzata (maggiori nelle donne che negli uomini).

Per quanto riguarda il punto 1, si pensa che la difformità dei risultati tra maschi e femmine sia determinata soprattutto dalla tipologia di interpretazione tecnica dell'esercizio. In breve le donne impattano per terra con l'arto inferiore più disteso, comportamento tecnico visibile anche nell'esecuzione degli altri esercizi, in cui però non si sono riscontrate differenze significative.

Per il punto 2 (cioè il timing di caricamento), come esposto nei risultati, si ritiene che la diversità dei dati sia dovuta ad un aspetto di capacità tecnica e coordinativa. Il gruppo di atlete donne, infatti, si presentava più preparato tecnicamente e di livello prestativo migliore.

Confrontando infatti successivamente gli stessi valori degli atleti divisi per background atletico (anzianità di allenamento e livello prestativo), si è potuto notare quasi una sovrapposibilità dei valori (femmine T%=140%, atleti evoluti misti T%=130%)

Per quello che riguarda invece la differenze riscontrate nei picchi di massima flessione dell'arto in oscillazione nello skip e nella balzata, ci può essere certamente una motivazione di esecuzione tecnica, ma rimane comunque il dubbio che questa, per così dire, maggiore libertà d'azione dell'arto libero, possa essere determinata effettivamente da una maggiore flessibilità dell'anca nella donna (Merni et al. 1981).

Un'ultima considerazione va fatta sul confronto tra "carico" e "scarico", che ha mostrato come l'esercizio più sensibile alle variazioni di condizione della forza sia lo skip, che varia significativamente sia il tempo di contatto, che quello di volo (più breve il primo, più lungo il secondo in riferimento al periodo di scarico).

Questo dato fa pensare che sia dovuto ad una maggiore capacità di espressione della stiffness, che in questo esercizio si esprime meglio in condizioni di carico.

In conclusione si può affermare che questa ricerca ha determinato che nessuno degli esercizi studiati può essere assimilato in toto alla corsa.

Ciascuno dei movimenti esaminati però può essere scelto per sviluppare ed allenare alcuni specifici parametri di questa.

Considerando i risultati ottenuti si è potuto definire che sia per difficoltà esecutive, sia per le componenti che entrano in gioco nell'espressione del gesto, lo skip, in una ipotetica progressione didattica,

debba essere collocato prima della corsa a gambe tese che, a sua volta, precederà la balzata.

Anche in un'ideale pianificazione dell'allenamento, lo skip risulta un esercizio che coinvolge poche variabili della corsa e, pertanto, dovrebbe essere usato meno degli altri 2 esercizi nel periodo agonistico.

Rimane comunque da dire che le andature prese in esame costituiscono esercizi speciali non completamente correlati allo sprint; è vero infatti che, probabilmente, l'esercizio migliore per la corsa risulti proprio la corsa stessa alterata solo in pochi parametri, come per esempio l'ampiezza e la frequenza dei passi.

5.2 Considerazioni sui metodi di rilevamento

Sembra opportuno fare una riflessione anche sui pregi e limiti manifestati dal sistema utilizzato per le analisi.

In questa ricerca infatti è stato compiuto per la prima volta un passo importante nell'ambito dell'applicazione di Vicon al gesto sportivo: il sistema è stato trasferito sul campo di gara, là dove l'atleta trova le condizioni uguali a quelle in cui si esprime quotidianamente in fase di allenamento.

L'impostazione di Vicon sulla pista di atletica leggera è stato considerato un prerequisito indispensabile perché l'esecuzione del movimento fosse eseguita in condizioni ottimali per l'atleta.

Tra i pregi del sistema, sicuramente risulta la buona flessibilità mostrata da Vicon riguardo ai tempi di collocazione sul campo delle telecamere e di definizione corretta del volume di lavoro.

L'acquisizione dei dati è risultato invece un processo più complesso: la necessità per le telecamere ad infrarossi di lavorare in condizioni di penombra, se non addirittura di buio, costringe l'operatore e l'atleta a lavorare in orari di tarda serata. Si è provato anche di effettuare le rilevazioni

su piste al coperto (indoor), ma, comunque, per ottenere acquisizioni coerenti, è stato necessario procedere ad artificiose e difficoltose coperture delle fonti luminose.

Diversamente dall'acquisizione, di più immediata utilizzazione si è mostrato la gestione dell'elaborazione dei dati ed il controllo delle procedure di ricostruzione e verifica della qualità dei file.

Il limite principale di Vicon risulta proprio però l'impossibilità di applicare il sistema in condizioni ufficiali di gara, data la presenza dei markers (inaccettabili per qualsiasi atleta che si appresta soprattutto ad una gara di velocità) e di un complesso insieme di cavi per l'installazione delle telecamere.

Allo stesso modo, per ricreare un volume di lavoro di circa 10 metri di lunghezza, utile per estrapolare ulteriori analisi relative alla corsa veloce, sarebbero necessarie almeno 10/12 telecamere, che, però, richiederebbero un intervento estremamente complesso di operatori esperti dell'installazione.

In fase di acquisizione, inoltre, essendo Vicon Motion System nato per l'analisi del cammino, cioè di un gesto relativamente facile da identificare per le telecamere, risulta piuttosto difficile da parte del sistema il riconoscimento corretto dei movimenti molto rapidi di alcuni segmenti, soprattutto piede e caviglia.

Esiste comunque la possibilità di ricorrere a markers ridondanti, per avere qualche riferimento in più che possa, in fase di elaborazione, aiutare a ricostruire meglio solidi corporei non riconosciuti durante l'acquisizione; aggiungere però dei marcatori in più in zone piccole di superficie come il piede o la caviglia, aumenta sensibilmente la difficoltà di successo dell'acquisizione, che spesso dovrà essere scartata per la perdita durante l'esecuzione di qualche marcatore collocato sulla scarpa.

5.3 Possibilità future

Lo studio condotto in questa ricerca ha evidenziato la possibilità di nuovi spunti da sviluppare in futuri lavori.

Sicuramente sarebbe interessante integrare gli aspetti cinematici e temporali analizzati con dati dinamici rilevabili con le pedane di forza. In tal modo si potrebbe ampliare il confronto con la letteratura che risulta ricca di indagini di questo tipo.

Allo stesso modo può essere molto interessante dedicare un'attenzione approfondita al comportamento di alcune variabili nell'arco di un'intera stagione agonistica di un gruppo di atleti. Un'analisi longitudinale di questo tipo comporterebbe notevoli difficoltà organizzative, ma potrebbe offrire ulteriori chiavi di lettura in relazione alle esercitazioni prese in esame in questa sede.

Sempre in relazione alla corsa veloce si potrebbe sottoporre a studio una nuova serie di esercizi speciali che si riferiscono strettamente alla velocità: corsa ampia, corsa frequente, esercizi di supervelocità (corsa in discesa o con elastico) e corsa con sovraccarichi sono solo alcuni degli esempi di esercizi che rientrano nelle abitudini dell'allenamento di atleti evoluti nell'atletica leggera.

Questo tipo di studio si presta bene anche all'analisi del caso singolo, come perfezionamento della tecnica di ogni specifico gesto.

Questo obiettivo esula dagli scopi della ricerca, ma si è visto che può essere utile sia per l'allenatore che per l'atleta come feedback a posteriori o anche immediato rispetto al rilevamento compiuto.

Un'analisi per così dire "clinica" del soggetto potrebbe essere utile nella prevenzione degli infortuni ed anche nella comprensione delle conseguenze di questi sul gesto tecnico.

In questo studio per esempio sono stati notati comportamenti e situazioni meritevoli del conforto di uno studio mirato ad hoc.

- Per esempio in A. R. sembra esserci una forma di atteggiamento “claudicante” (parametri cinematici e temporali) nell’esecuzione degli esercizi, dovuti forse a qualche dolore non comunicato o a simmetrie non percepite. L’atleta però, dopo 2 mesi dallo studio, deve interrompere il processo di allenamento per un infortunio da sovraccarico alla coscia.
- S.P. ha mostrato evidenti problemi di “tenuta” sul piede destro (cioè di stiffness del piede in appoggio), che proveniva da un infortunio teoricamente risolto e dimenticato.
- I.D. e M.M. in tutte le prove di corsa hanno manifestato valori angolari di eccessiva estensione all’impatto, comportamento tecnico scorretto che potrebbe indurre ad una “frenata” troppo evidente all’impatto del piede a terra.

Si precisa che quelle sopra indicate sono solo considerazioni di ordine personale, che non sono suffragate da dati o da elaborazioni statistiche, ma sono frutto di una lettura della ricerca “incrociata” con l’esperienza maturata come allenatore e vogliono solo rappresentare degli spunti di analisi e discussione, che indubbiamente la ricerca ha avuto il merito di evidenziare e che un protocollo di lavoro adatto potrebbe individuare come oggetto di analisi.

Come si può vedere questa ricerca ha aperto scenari nuovi ed interessanti che offrono numerosi spunti di lavoro da approfondire; l’obiettivo ultimo comunque deve essere sempre quello di offrire a chi lavora sul campo degli strumenti che ottimizzino l’allenamento e diano garanzie di successo ad allenatori ed atleti, procedendo in quel percorso di arricchimento scientifico che deve diventare sempre di più patrimonio proprio di chi lavora nel mondo dello sport.

BIBLIOGRAFIA

1-Bosco C., Vittori C., Matteucci E. "Considerazioni sulle variazioni dinamiche di alcuni parametri biomeccanici nella corsa", *Atleticastudi* 2, pp.147-154 (1985)

2-Ciacchi S., Merni F. & Lobietti R., "3-D Analysis of the speed run and some special training exercises", *Proceedings of IASK Conference, Rimini, 9/2005* pp 253-255

3-Coh M., Dolenc A. & Jost B. "Kinematic, Kinetic and Emg Characteristics of the Sprint Stride of top Female Sprinters" *www.coachesinfo.com* 2/2005

4-Coh M., Jost B., Kampmiller T., Stanko S., "Kinematic and dynamic structure of the sprinting stride", in Biomechanical characteristics of technique in certain chosen sports *University of Ljubljana, Faculty of sport Institute of Kinesiology* , pp 169-176, 2000

5-Coh M., Klavora P., "La tecnica di corsa di Cathy Freeman-Un'analisi biomeccanica" *Atletica Studi*, 1/2 pp 29-36, 2001

6-Coh M., Tomazin K., Smajlovic N., "Caratteristiche cinematiche delle velociste durante la fase di accelerazione e la fase di massima velocità" *Atletica Studi*, pp 24-31, 2004/4, 2005/1-2

7-Corn R.J. & Knudson D. "Effect of Elastic-Cord Towing on the Kinematics of the Acceleration Phase of Sprinting" *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(1), pp.72-75 Feb 2003

8-Davies R.B., Ounpuu S., Tyburski D. & Gage J.R. "A gait analysis data collection and reduction technique" (1991) *Human Movement Science* 10 pp.575-587

9-Di Molfetta D., Mancini N. "L'analisi biomeccanica fotogrammetrica come strumento di valutazione funzionale nella corsa", *Atletica Studi*, 4 pp 17-30, 2004

- 10-Donati A., Vittori C. "La ritmica della corsa veloce", *Atleticastudi* 6, 1985, pp.525-538
- 11-Hunter J.P., Marshall R.N. & McNair P.J. "Interaction of Step Length and Step Rate during Sprint Running" *Medicine and Sciences in Sport and Exercise*, 36(2), Sept. 2003
- 12-Knuesel H., Hartmut G., Seyfarth A. "Influence of swing leg movement on running stability" *Human Movement Science* 24, pp. 532-543, 2005
- 13-Kollath E. "Zum Einfluss einzelner Körpersegmente auf die vertikale Abfluggeschwindigkeit des KSP beim 100m Hürdenlauf" *Leistungssport*, pp. 37-43, 4/1983
- 14-Korneljuk A. "Basi scientifiche dello sviluppo della velocità di corsa" *Atleticastudi*, 6, pp.23-29 (1981)
- 15-Luhtanen P., Komi P. V., "Force-, power- and elasticity-velocity relationship in walking, running and jumping" *European Journal of Applied Physiology* 44 (3): 279- 289, 1980.
- 16- Madella A, Mantovani C., "Metodologia ed insegnamento dell'atletica leggera" in *Le basi scientifiche dell'allenamento. a cura di* (editors) *Centro Studi & Ricerche FIDAL, Publisher Federazione italiana di atletica leggera*, pp. 212-233, 2005
- 17-Manno R. "Aspetti generali dell'allenamento della forza" in *Le basi scientifiche dell'allenamento in atletica leggera a cura di* (editors) *Centro Studi & Ricerche FIDAL, Publisher Federazione italiana di atletica leggera*, pp. 155-181, 2005
- 18-Mc Donald C., Dapena J., "Linear kinematics of the men's 110-m and women's 100-m hurdles races", *Medicine and science in sports and exercise* 23, pp. 1382-1391, 1991.

- 19-Meinel K. "Teoria del movimento" *Società di Stampa Sportiva Roma*, 1984
- 20-Merni F., Balboni M., Bargellini S., Menegatti G. "Differences in males and females in joint movement range during growth" *Karger Basel, Medicine sport, Vol. 15, pp.168-175 (1981)*
- 21-Merni F., Coppini L., Magenti L., "Il bambino e la corsa", *SDS,6, pp.43-53, 1986*
- 22-Merni F., Coppini L., Cicchelli A, Madella A., "A biomechanical analysis of triple jump", *Biolocomotion: a century of research using moving pictures Promograph, pp.323-338, 1992.*
- 23-Mero A. "Force-Time Characteristics and Running Velocity of Male Sprinters during the acceleration Phase", *Research Quarterly, 59 (2), pp. 94-98, 1988*
- 24-Mero A., Komi P. "Emg, Force and Power Analysis of Sprint-Specific Strenght Exercises" *Journal of Applied Biomechanics,10, pp. 1-13, 1994*
- 25-Mero A., Komi P. "Force- ,Emg, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters" *European Journal of Applied Physiology 1986 (55), pp.553-561*
- 26-Novacheck T. F., "The biomechanics of running", *Gait and Posture, 7, pp. 77-95, 1998*
- 27-Platonov V. N., "Fondamenti dell'allenamento e dell'attività di gara" *Calzetti e Mariucci, 2004*
- 28-Rodano R. "Valutazione biomeccanica del piede in atletica leggera", *Atletica Studi, 1, pp 9-17, 1995*
- 29-Skripko A. "Die Stütz- und Flugphase im Lauf und Laufübungen" *Leistungssport, 33(2), pp.45-47, Mar 2003*

30-Stefanyshyn D. J., Nigg B.M., "Dynamic angular stiffness of the ankle joint during running and sprinting", *Journal of applied Biomechanics*, 14, pp. 292-299, 1998

31-Tabakin R.D. & Vaughn L.C. "A comparison of 3d gait model based on the Helen Hayes marker set" *Proceedings of 6th International Symposium 3d analysis of human movement pp98-101 (Southafrica 01/04/2000)*

32-Verchoshanskij Y. "La preparazione fisica speciale" *SDS, CONI 2001*

33-Vittori C. et al., "Caratteristiche generali dell'approccio alle discipline del settore velocità ed ostacoli nell'età giovanile" *Atleticastudi*, pp. 99-101, 1994

34-Weineck J., "L'allenamento ottimale", *Calzetti e Mariucci, 2001*

35-Winter D. A. "Biomechanics and motor control of human movement" *Wiley-Interscience Publication (1990)*

Appendice

CLUSTER ANALYSIS OF SPEED RUN, BOUNDING RUN AND SKIPPING EXERCISES.

Ciacchi S., Merni F.

Faculty of Exercise and Sport Sciences, University of Bologna, Italy

The purpose of this study is to find analogies and differences among 3 different skills: speed run and two special exercises (bounding run and skipping).

Three correlation patterns have been created, each for one of the 3 skills, every pattern takes origin by multivariate analysis (cluster analysis), using the same 12 variables.

All these variables (spatial, temporal and kinematic) are relative to the **Center of Mass (COM)**.

Eight athletes were analyzed and the system used to get the data was the Vicon Motion System (3D optoelectronics system).

The analysis has shown that only few variables of the 3 patterns are correlated in the same way, these few variables must to be taken into consideration to develop the running performance through these special exercises.

KEY WORDS: speed run, special exercises, 3d analysis, center of mass, cluster analysis.

INTRODUCTION

Special exercises have some biomechanical parameters very similar to the race movement. It is very important for the coach to find special exercises to develop some basic aspects of the run, like the leg push (bounding run) or the movement frequency (skipping). The speed run is the most studied movement in the track and field; there are a lot of researches about the run, but only few of them (Mero, Komi 1994, Ciacchi, Merni 2005, Coh M. et al. 2005) regard the special exercises. The special exercises, if well carried out, are very important to improve the performance and to restrict the injuries.

AIM

The purpose of this study is to find analogies and differences among 3 different skills: speed run and two special exercises (bounding run and skipping).

The second target is to have a satisfactory comprehension of the biomechanics of the speed run and of the special exercises by means of multivariate analysis for this reason a hierarchical and not hierarchical cluster analysis will be used.

METHODS

Eight athletes were analysed: 6 male (181±7 cm high and 77±8 kg weight) and 2 female (164±3 cm high, and 57±3 Kg weight) of middle level performance (personal 100m 11.01±0.60 s for men, and 12.15±0.14 s for women), each athlete performed nine trials.

A Vicon Motion System 460 optoelectronics system with a sampling frequency of 100 Hz and a resolution of 300000 pixel has been used, the system were composed of 6-8 video-cameras.

To get the data a marker set of Helen-Hayes model (Davies and others 1991, Tabakin and Vaughn 2000) have been used with 36 markers of 14 mm.

Data have been recorded during 3 phases: foot strike, gathering and take off. The COM and the toe coordinates have been evaluated in these phases, as suggested from: Skripko 2003, Hunter et al. 2003 and Corn et al. 2003.

Two couple of horizontal distances (along the x axis) have been calculated: the distance COM-toe and the space covered from COM, respectively during the contact and the flight phases.

Three height differences (along the vertical z axis) concerning the COM have been calculated during these following phases: foot strike, gathering, take off and maximal height during fly. The horizontal COM velocity (along X axis) was analysed at foot strike; instead vertical COM velocity was measured at foot strike and take off.

One cycle of movement was considered from foot-strike of the first support to the same of the second one (one step).

In the table 1 it's possible to see the variables analysed for each movement and their description.

Tab 1

VARIABLE	DEFINITION	DESCRIPTION
C-TFS	Com-Toe Foot Strike (cm)	Distance between Com and Toe at foot strike
C-TTO	Com-Toe Take Off (cm)	Distance between Com and Toe at take off
CXSP	COM on X axis at Support Phase(cm)	Distance covered by Com along X axis during all support phase
CXFL	COM on X axis at Flight phase (cm)	Distance covered by Com along X axis during flight phase
ConT	Contact Time (s)	Time of support phase
FliT	Flight time (s)	Time of flight phase
VxFS	Velocity on x axis at Foot Strike (m/s)	Horizontal Velocity of Com at foot strike
VzFS	Velocity on z axis at Foot Strike (m/s)	Vertical Com Velocity of at foot strike
VzTO	Velocity on z axis at Take Off (m/s)	Vertical Com Velocity at take off
Δ FS-GA	Δ Foot Strike-Gathering (cm)	Differences of COM on vertical axis between Foot Strike and Gathering
Δ GA-TO	Δ Gathering-Take Off (cm)	Differences of COM on vertical axis between Gathering and Take Off
Δ TO-MH	Δ Take Off-Max Heigh (cm)	Diff. of COM on vertical axis between Take Off and Maximal High

CLUSTER ANALISYS

The clusters analysis are standardized procedures helpful to assemble in subsets (clusters) variables correlated among them, but not with the other ones, belonging to other distinguished clusters.

The information got with such classification methods, hierarchical and not, can be defined with better precision and in a less equivocal way, than other methods like the factorial analysis.

The non-hierarchical analysis starts from correlation matrix and therefore:

- 1- Underline the higher correlation for every column.
- 2- Find the row with the higher correlation and write the variable name connected with a line to other underlined row values, and then find other rows with correlated variables.
- 3- Characterize other rows, which, if not related with the previous ones, form other clusters.
- 4- Restart from point 2 until the exhaustion of all the variables

For the hierarchical cluster analysis were used SPSS 14.0 procedure. This was adapted to identify relatively homogeneous groups of variables based on selected characteristics, using an algorithm that starts with each variable in a separate cluster and combines them.

RESULTS

For each variables the Average (AV), the Standard Deviation (DS), the Maximum (MAX) and Minimum (MIN) value have been calculated (Tab. 2):

Tab 2

VARIABLE	SPEED RUN				SKIP				BOUNDING RUN			
	AV	DS	MAX	MIN	AV	DS	MAX	MIN	AV	DS	MAX	MIN
C-TFS	21.66	6.10	29.13	11.11	4.74	4.12	13.39	0.38	20.78	8.36	34.05	10.06
C-TTO	54.31	6.44	62.39	44.09	15.31	3.88	19.92	9.01	51.65	10.62	66.64	37.64
CXSP	78.03	9.23	89.60	65.78	19.94	9.05	27.24	0.88	74.98	18.54	95.97	48.98
CXFL	126.72	22.36	155.27	102.55	28.33	8.60	44.35	15.13	152.41	36.69	212.72	103.45
ConT	0.10	0.01	0.11	0.08	0.13	0.01	0.15	0.11	0.14	0.02	0.17	0.12
FliT	0.15	0.02	0.18	0.13	0.16	0.02	0.19	0.14	0.26	0.04	0.34	0.20
VxFS	8.18	0.83	9.82	7.07	1.75	0.37	2.37	1.29	5.28	0.99	6.73	4.09
VzFS	-0.65	0.21	-0.41	-0.99	-0.64	0.17	-0.39	-0.87	-1.24	0.39	-0.77	-1.99
VzTO	0.77	0.10	0.92	0.62	0.55	0.12	0.81	0.41	1.39	0.38	2.10	0.95
Δ FS-GA	1.55	1.18	3.20	0.37	2.37	0.84	3.36	0.98	3.92	2.18	9.09	2.02
Δ GA-TO	3.94	1.37	6.95	2.74	4.00	0.95	5.45	2.80	9.88	4.01	15.70	4.32
Δ TO-MH	3.63	3.08	10.80	1.29	2.20	1.29	5.23	1.34	8.74	3.41	14.80	4.80

In the average data of the horizontal distances (C-TFS, C-TTO, CXSP and CXFL), the speed run is more similar to bounding run than skipping. On the contrary the skipping is more similar to speed run relatively to velocity data, except for the VxFS (these data are very different in all exercises).

Data values concerning the COM movement along the vertical axis (Δ FS-GA, Δ GA-TO, Δ TO-MH) are similar between skipping and speed run, except in Δ GA-TO.

Skipping and speed run are similar relatively the flight time, instead the skipping and the bounding run are similar for the contact time.

DISCUSSION

There are 2 cluster in the not hierarchical analysis for the speed run. The first one include 2 variables: VzFS and Δ FS-GA. The correlationship between these variables is very high (0.93).

The second cluster is more articulate than the first: the relationship higher is between C-TTO and FliT (0.80). The flight's variables are grouped on the right side of the cluster; on the contrary, the support's variables are placed on the left side

The hierarchical cluster analysis confirm the same clusters.

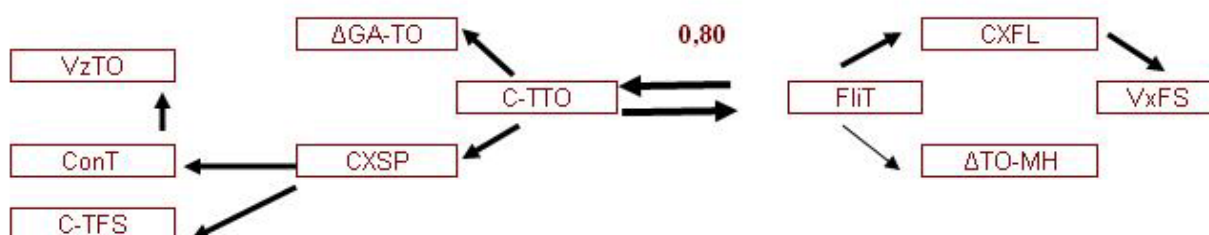


Fig. 1.

In bounding run the cluster are 3: in the first one the higher correlation is between CXSP and C-TTO (0.97). Both the cluster analysis show the same results: the first cluster groups the support's variables with also horizontal and vertical velocity at foot strike.

The second cluster assembles the differences of the COM movement along the vertical axis (z) in the three moments of the support phase and the vertical velocity at take off too.

The third cluster groups the variables of the flight phase. In the hierarchical analysis this cluster is connected with the second one (Fig.2).

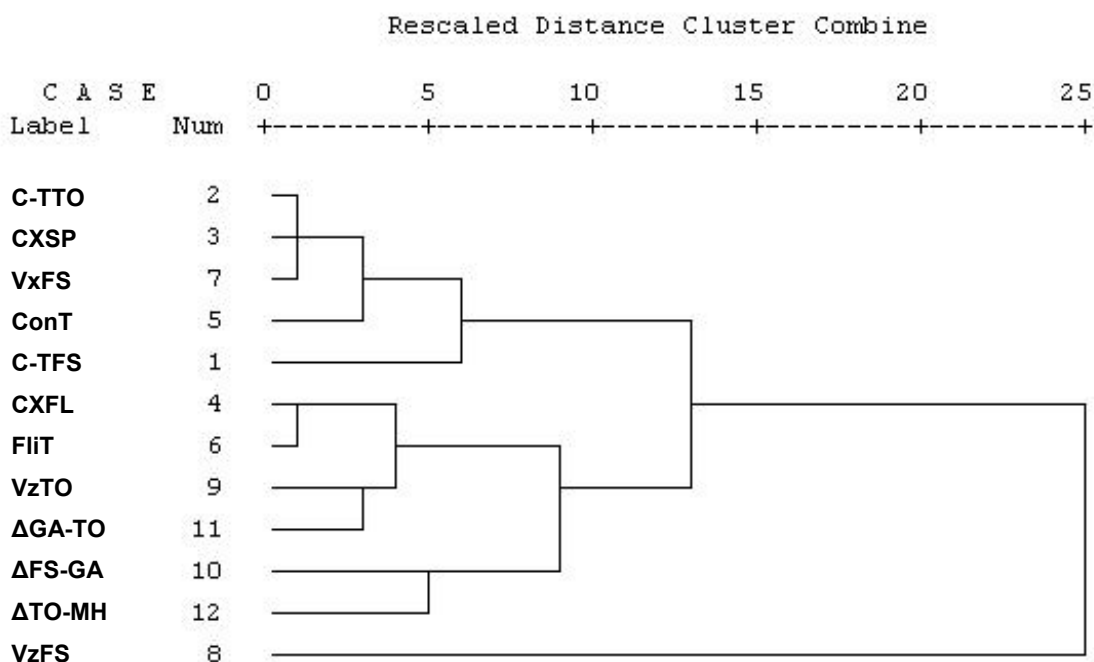


Fig.2.

In the skipping exercise there are four clusters with following variables:

- 1- The horizontal variables (space and velocity) during the flight and support phase with vertical COM displacement during push off.
- 2- Vertical velocity at foot strike and vertical COM movement at gathering time. This cluster is the same of the one found firstly relatively the speed run.
- 3- The flight's variables (time and high) with vertical velocity at take off. In hierarchical analysis, this cluster is connected with the number one.
- 4- Contact time and distance COM-TOE at take off.

CONCLUSIONS

The descriptive statistics show some variables with similar average values, in the speed run and in the bounding run (spatial horizontal variables). The skipping has instead some analogies with the vertical spatial variables of running.

The cluster analysis shows that the 3 skills are very different

- there are different clusters numbers: 4 for skipping, 3 for bounding run and 2 for running.
- these clusters have also different structures (different components relatively to the kinematics data of COM).

Cluster analysis show only few analogies, concerning the variables' relationships:

- relatively to running and skipping, the Vertical COM Velocity at Foot Strike (VzFS) and COM height Differences (between Foot Strike and Gathering = Δ FS-GA).
- between bounding run and running:
 3. Distance COM-TOE at FS with the distance covered of COM on the x axis during the support
 4. Flight Time with the same distance covered of COM during the flight time.
- bounding run and skipping have a similar relationship between Contact time and distance COM-TOE at take off (0.91 in bounding run, 0.82 in skip exercise).

This statistic study allows to specify the few variables that are similar in these skills and can be useful to increase the performance of the running.

Especially the bounding run can help the coach to develop the push off and to train the step length; skipping instead seem to be interesting only for the values of COM along vertical axis.

The skip is usually used to train the movements frequency but it's useful consider that has contact time values similar to bounding run ones, but bigger than running.

Skipping appears a very different skill compared to running, considering the kinematics data of COM, for these reason, we're actually studying the kinematics variables of the different body segments (upper and lower limbs).

REFERENCES

- Ciacchi S., Merni F. & Lobietti R., "3-D Analysis of the speed run and some special training exercises", *Proceedings of IASK Conference, Rimini, 9/2005* pp 253-255
- Coh M., Dolenc A. & Jost B. "Kinematic, Kinetic and Emg Characteristics of the Sprint Stride of top Female Sprinters" *www.coachesinfo.com 2/2005*
- Corn R.J. & Knudson D. "Effect of Elastic-Cord Towing on the Kinematics of the Acceleration Phase of Sprinting" *Journal of Strength and Conditioning Research, 17(1), pp.72-75 Feb 2003*
- Davies R.B., Ounpuu S., Tyburski D. & Gage J.R. "A gait analysis data collection and reduction technique" (1991) *Human Movement Science 10 pp.575-587*
- Hunter J.P., Marshall R.N. & McNair P.J. "Interaction of Step Length and Step Rate during Sprint Running" *Medicine and Sciences in Sport and Exercise, 36(2), Sept. 2003*
- Mero A. & Komi P. "Emg, Force and Power Analysis of Sprint-Specific Strength Exercises" *Journal of Applied Biomechanics, 10, 1-13 1994*
- Skripko A. "Die Stütz- und Flugphase im Lauf und Laufübungen" *Leistungssport, 33(2), pp.45-47, Mar 2003*
- Tabakin R.D. & Vaughn L.C. "A comparison of 3d gait model based on the Helen Hayes marker set" *Proceedings of 6th International Symposium 3d analysis of human movement pp98-101 (Southafrica 01/04/2000)*