

Analisi tridimensionale del passaggio dell'ostacolo di atleti top class in gara

Simone Ciacci¹⁻², Franco Merni¹⁻², Gabriella Penitente³,
Rocco Di Michele¹, Francesco Franceschetti²⁻⁴

¹Dipartimento d'Istologia, Embriologia e Biologia Applicata, Università di Bologna (Italia).

²Facoltà di Scienze Motorie, Università di Bologna (Italia).

³University of Abertay Dundee (Scozia).

⁴Centro Universitario Sportivo Bologna (Italia).



Introduzione

Una delle discipline tecnicamente più impegnative ed affascinanti dell'atletica leggera è quella dei 110 ostacoli maschili, specialità in cui si coniugano forza, velocità, ritmo, mobilità articolare e capacità coordinative oltre ad importanti aspetti psicologici dell'atleta. La letteratura scientifica si è pertanto adoperata in modo copioso nell'analisi cinematica e dinamica sia del gesto di superamento dell'ostacolo, analizzando atleti di vario livello in condizioni di allenamento (Mero et al. 1984, Coh et al. 2000, Salo et al. 1998 e 2006) e di gara (Mero et al. 1986, Susanka et al. 1988, Salo et al., 1997, Coh et al. 2004, Ciacci et al. 2007, Shibayama et al. 2009), sia di esercizi tecnici analitici e sintetici (Papadopoulos et al. 1987, Iskra et al. 2001, Rosini et al. 2005), per cercare di fornire all'allenatore un modello di riferimento da seguire nel perfezionamento tecnico del proprio atleta. In specifico i diversi studiosi, in modo concorde, hanno identificato come prioritari ai fini della prestazione i parametri riferiti alla parabola di superamento dell'ostacolo (traiettoria del centro di massa o COM, delta di velocità orizzontale e verticale di questo), il tempo di contatto dell'appoggio (allo stacco prima dell'ostacolo e all'atterraggio dopo questo), la durata della fase di volo sopra all'ostacolo e le distanze lineari tra piede e ostacolo allo stacco e all'atterraggio.

In generale la corretta tecnica di passaggio dell'ostacolo ha lo scopo di ridurre al minimo la fase di volo e di alterare il meno possibile la meccanica del passo di corsa, facendo sì che la velocità del

Tabella 1

AUTORE	ANNO	DISTANZA TO-HS m	DISTANZA HS-FS m	PASSO TOTALE m	DISTRIBUZIONE PARABOLA %
Russo	1971	2.20	1.10	3.30	67-33%
Tidow	1991	2.20	1.30-1.40	3.50-3.60	61/63-39/37%
Grimshaw	1994	2-2.20	1.40	3.40-3.60	55/60%-45/40%
Mero & Luhtanen	1984	2.26	1.24	3.50	64-36%
Mero & Luhtanen	1986	2.18	1.37	3.55	61-39%
		2.13	1.70	3.83	56-44%
McDonald-Dapena	1991	2.12	1.50	3.62	59-41%
Coh et al.	2000	2.31	1.32	3.43	63.7-36.3%
Salo et al.	1997	2.15	1.49	3.64	59-41%
Salo et al.	1998	1.99	1.41	3.40	58.5-41.5%
Coh et al.	2004	2.09	1.58	3.67	56.9-43.1%

COM subisca un rallentamento minimo durante il superamento dell'ostacolo. Per raggiungere questi scopi, l'ultimo passo prima dell'ostacolo viene leggermente accorciato per portare il baricentro davanti all'appoggio (Tidow, 1991): questo accorgimento permette di attaccare l'ostacolo prima dell'estensione dell'arto di stacco. Il risultato finale è che la distanza tra stacco-hs risulta maggiore della distanza hs-atterraggio: nella tabella 1 vengono riportate le misure e le proporzioni della distribuzione della parabola di superamento dell'ostacolo presenti in letteratura.

Per tutti gli autori, comunque, la lunghezza del passo di valicamento dell'ostacolo si colloca su valori compresi tra i 3.40m e i 3.83m.

Altri parametri fondamentali riferiti al COM sono collegati alla sua altezza sopra l'ostacolo ed alla distanza sull'asse orizzontale tra il vertice della sua parabola di valicamento e l'ostacolo stesso. In particolare, riferendosi a quest'ultima variabile, Grimshaw

(1991) afferma come sia fondamentale ridurre al minimo lo spostamento del COM sull'asse verticale, comportamento che non può essere garantito in atleti di statura inferiore ai 180cm. Inoltre, in un confronto tra atleti di élite e non, sempre Grimshaw (1994) afferma come per l'atleta di élite dei 110hs il COM dovrebbe passare a non più di 30 cm sopra all'ostacolo (40 cm per le donne), dato confermato da Salo (27cm, 1998), ma non da Coh (2000) e Mero (1984) che invece identificano un differenziale di altezza maggiore (34 e 32 cm rispettivamente e, addirittura, 45 cm, in un caso specifico riportato da Coh 2004); sempre Mero (1986) evidenzia invece valori più simili (24 cm) a quelli di Grimshaw in 2 atleti top level analizzati durante i Campionati Mondiali di Helsinki del 1983. Interessanti sono i differenti punti di vista offerti dagli studiosi relativamente alla distanza sull'asse orizzontale del vertice della parabola del COM rispetto all'ostacolo: in particolare Grimshaw (1994) dimensiona questa misura in po-

chi centimetri, dato confermato da Mero et al. (1986), che indica tale distanza in 0 e 16 cm per i 2 atleti analizzati, e da McDonald e Dapena (1991), che riferiscono di una distanza compresa tra 3 e 15 cm e da Salo (4 cm, 1998). Lo stesso Mero (1984) analizza invece un atleta di élite che presenta una distanza tra vertice della parabola del COM e l'ostacolo pari a 46 cm, un dato decisamente più elevato rispetto altri studi e più simile ai dati riportati dalla letteratura riferiti alle atlete femminili di alto livello.

La posizione del COM viene valutata anche in relazione alla sua distanza dal piede sull'asse orizzontale al momento dello stacco e dell'atterraggio dopo l'ostacolo. Anche in questo caso la letteratura offre una nutrita serie di dati relativi ad atleti di alto livello; Coh (2004) mostra come in un atleta top class come Colin Jackson la distanza tra piede e COM allo stacco del valicamento dell'ostacolo sia di 38 cm, mentre la stessa misura all'atterraggio sia di 5 cm, dato che trova conferma in

Mero nei 3 atleti analizzati nelle sue ricerche (29/6 cm, 1984 e 32/3 cm e 39/4 cm, 1986) ed in Tidow (1991), che riporta misure inferiori a 20 cm allo stacco e comprese tra 3-11cm all'atterraggio, per atleti top level. Coh (2000) riporta un dato maggiore, 46/15 cm, riferito d'altro canto ad atleti di livello inferiore, dati che trovano conferma anche in Tidow (1991) relativamente alla distanza all'atterraggio (19-29 cm per atleti rispettivamente di basso livello e principianti) per un atleta di medio livello dati sensibilmente maggiori (55/14 cm) rispetto ai top class.

Per quanto riguarda il tempo totale della fase di volo sull'ostacolo gli autori sono concordi nell'identificare per atleti di alto livello valori compresi tra 0.30-0.40s e più precisamente 0.32s per Mero (1984 e 1986), 0.36s per Coh (2004), 0.38s per Salo (1997) e 0.39s (Mero 1986) e 0.395s ancora per Coh (2000).

E' importante sottolineare come la letteratura tenda a raccogliere i dati di superamento di un solo ostacolo, che non risulta il medesimo nei vari lavori: Coh analizza il passaggio sul 4° o sul 5° (rispettivamente 2000 e 2004), Mero il 2° o 3° (rispettivamente 1984 e 1986), McDonald e Dapena (1991) il 5°, Salo et al. (1997) il 3° così come Grimshaw (1994); pochi lavori prendono in considerazione più di un ostacolo e tra questi vanno ricordati Susanka et al. (1988), che si sofferma però prevalentemente su un'analisi ritmica della finale dei Campionati Mondiali di Roma 1987 (frequenze ampiezze dei passi e velocità) e Salo (2006) che si sofferma su un'analisi comparata tra il passaggio del 3° e 9° ostacolo allo

scopo di valutare l'effetto di un eventuale affaticamento sulla tecnica di passaggio. Anche Shibayama et al., più recentemente (2009), approfondisce l'analisi tra 2 ostacoli (6° e 7°), ma solo sotto l'aspetto della ritmica dei passi. Sempre in letteratura, la maggioranza dei lavori tende ad analizzare il passaggio dell'ostacolo soprattutto in condizioni di allenamento: degli studi precedentemente citati, solo pochi si riferiscono ad analisi effettuate in condizioni di gara ed ancora meno se si valutano tra queste le gare di altissimo livello (Susanka et al. 1988, McDonald and Dapena 1991, Mero and Luhtanen 1986). Lo scopo di questo lavoro è quello pertanto di comparare gli aspetti cinematici e ritmici del passaggio non solo di 1, ma di 2 ostacoli (9° e 10°) di 2 atleti tra i più forti di sempre nella specialità durante una competizione ufficiale internazionale top level; questo obiettivo include anche la

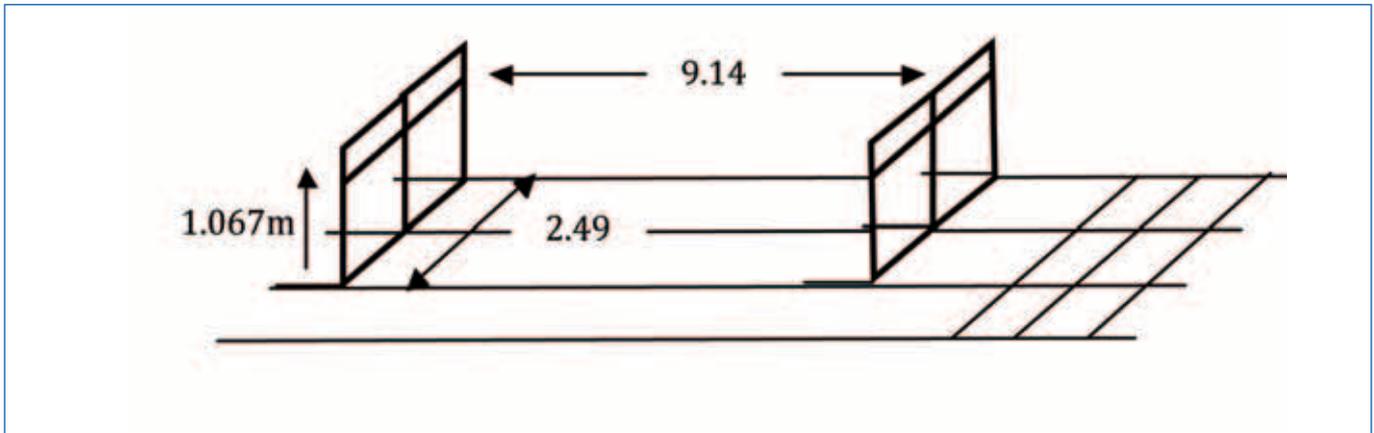
verifica dell'affidabilità del sistema di acquisizione dei dati, la cui collocazione è stata organizzata con l'obiettivo di non essere percepita dall'atleta ed in modalità tali da essere applicabile nel modo più facile e meno invasivo possibile in tutte le competizioni che si desidera filmare.

Metodi

Sono stati analizzati 2 atleti top class dei 110hs durante il Golden Gala di Roma (2005), tappa della Golden League IAAF, il circuito dei meeting di atletica leggera più importanti al mondo. La ricerca è stata effettuata grazie alla collaborazione del Centro Studi della Federazione Italiana di Atletica Leggera (FIDAL) e del Comitato Organizzatore del meeting di Roma. I due atleti acquisiti sono stati: Dominique Arnold (altezza 1.85m, peso 76kg, PB 12"90, 4^a prestazione mondiale di sempre) e Liu Xiang (altezza 1.89m, peso



Figura 1



82kg, PB 12"88, 2^a prestazione mondiale di tutti i tempi), che, ai Campionati Mondiali di Atletica di Helsinki disputati un mese dopo il Golden Gala di Roma, conquistarono rispettivamente il 4° e 2° posto, mentre nel meeting romano si piazzarono nell'ordine al 1° e 2° posto con il tempo di 13"11 (Arnold) e 13"24 (Liu Xiang). E' stato valutato il passaggio del 9° e 10° ostacolo e l'unità ritmica compresa tra essi, sia in riferimento ai 2 stacchi prima dell'ostacolo che ai 2 atterraggi dopo questo. Per le riprese sono state utilizzate 3 telecamere a 50hz, 2 disposte lateralmente al volume di acquisizione e 1 frontalmente sulla linea di arrivo (fig. 1). La cali-

Tabella 2

TRONCO	ARTO SUPERIORE	ARTO INFERIORE
Testa	Spalla (dx e sn)	Anca (dx e sn)
Tratto dorso-cervicale del rachide	Gomito (dx e sn)	Ginocchio (dx e sn)
Sacro	Polso (dx e sn)	Caviglia (dx e sn)
		Piede (dx e sn)

brazione è stata effettuata considerando le misure note dello spazio compreso tra il 9° e 10° ostacolo della 4^a e 5^a corsia. Per la ricostruzione in 3D degli atleti si è utilizzato il sistema SIMI (Simi Motion System, Unterschleissheim, D.) e sono stati identificati i seguenti 17 punti di repere (Tab. 2):

Il Centro di massa è stato calcolato utilizzando il modello di Dempster (1955).

Risultati

In tabella 3 sono riportati i dati relativi alle distanze durante il superamento del 9° e del 10° ostacolo. Il comportamento di 2 atleti si mo-

Tabella 3

9° HS	DISTANZA ORIZ TO- HS	DISTANZA ORIZ MAX H COM-HS	DISTANZA VERT COM SU HS	DISTANZA ORIZ HS-FS	PASSAGGIO	DISTRIBUZIONE PARABOLA
D. A.	-2,32m	-0,18m	0.31m	1,19m	3,51m	66% 34%
L. X.	-2,27m	-0,19m	0.32m	1,50m	3,77m	60% 40%
10° HS						
D. A.	-2,36m	-0,14m	0.33m	1,21m	3,58m	66% 34%
L. X.	-2,25m	0,27m	0.33m	1,57m	3,81m	59% 41%

TO: Take Off (Piede di stacco). FS: Foot Strike (Appoggio). COM: Center of Mass (Baricentro). HS: ostacolo

stra simile, anche se D.A. “attacca” l’ostacolo da una distanza leggermente maggiore (mediamente 8 cm prima), per atterrare dopo il valicamento sensibilmente più vicino all’ostacolo (1.20 cm in D.A. contro 1.535 cm di L.X. in media). Questa differenza porta ad una fase di volo più corta in D.A. (circa 25 cm più corta) e ad una diversa distribuzione della parabola di superamento dell’ostacolo (66-34%, contro 60-40% di L.X.).

Anche l’altezza del COM sull’ostacolo risulta pressoché identico nei 2 atleti (32 cm e 32.5 cm di media rispettivamente in D.A. e L.X.), mentre la differenza maggiore tra di essi appare nella distanza orizzontale tra la massima altezza della parabola del COM e l’ostacolo: in D.A. mediamente il COM raggiunge la massima altezza 16 cm prima dell’ostacolo, mentre L.X. mostra un valore leggermente maggiore sul 9° ostacolo (19 cm), ma piuttosto diverso sul 10° ostacolo, dato che il vertice della parabola del COM viene raggiunta 27 cm dopo l’ostacolo.

Questo anomalo comportamento di L.X. nel valicamento del 10° ostacolo rispetto a D.A. è osservabile anche dai grafici di figura 2 e 3 (la freccia indica la max h del COM).

Per quel che riguarda le velocità, e i tempi di volo (Tab. 3), l’unità ritmica presa in considerazione è stata percorsa leggermente più velocemente da L.X. rispetto a

Figura 2

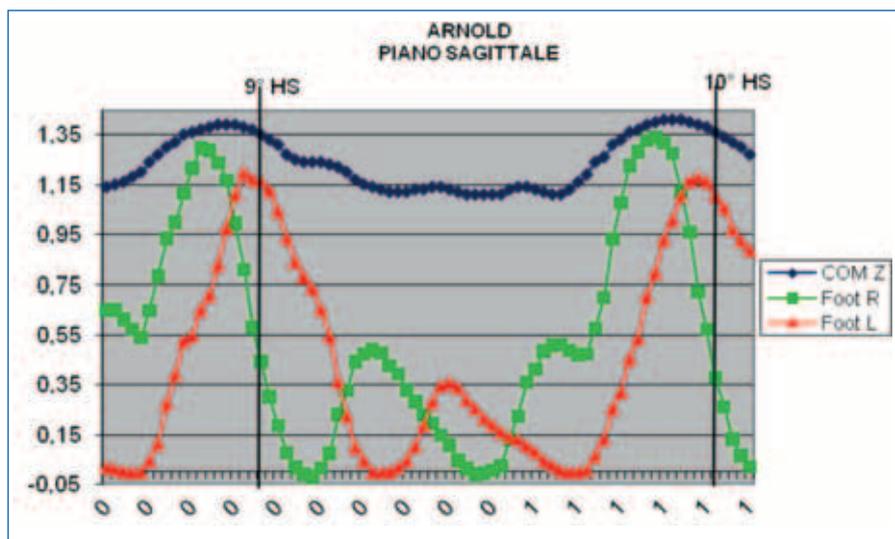
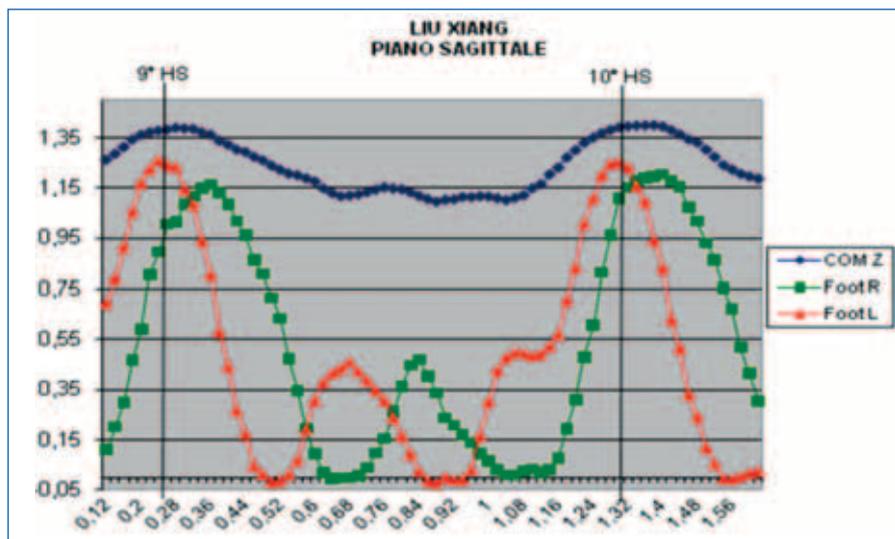


Figura 3



D.A., sia prendendo come riferimento gli appoggi dopo gli ostacoli (FS= foot strike), sia lo stacco prima di questi (TO= take off). Per quanto la velocità in L.X. rimanga lievemente superiore a D.A. esiste, rispetto a questo, una

differenza evidente tra i tempi di valicamento dei 2 ostacoli e tra le distanze percorse dal COM nell’unità ritmica in riferimento sia al FS che al TO. In D.A. infatti in entrambi i casi la misura è molto simile, mentre in L.X. la distanza

Tabella 4

ATLETI	Vel. TO-TO	Vel. FS-FS	Tempo TO-TO	Tempo FS-FS	Volo 1° hs	Volo 2° hs	Dist. COM TO-TO	Dist. COM FS-FS
D.A	8,7 m/s	8,7 m/s	1,04	1,06 s	0,34 s	0,36 s	9,09 m	9,18 m
L.X	8,8 m/s	8,9 m/s	1,00	1,08 s	0,34 s	0,42 s	8,76 m	9,66 m



percorsa dal COM si differenzia molto se si include o meno in tale misura il passaggio del 10° ostacolo, che, come visto in precedenza, risulta anomalo rispetto ad una corretta tecnica di valicamento. A conferma di questa anomalia risulta anche il tempo di percorrenza dell'unità ritmica, che, mentre in D.A. rimane pressoché invariata sia prendendo in considerazione i 2 stacchi che i 2 atterraggi come estremi dell'unità stessa, in L.X. varia di ben 8 centesimi se s'incluse il passaggio errato sull'ultimo ostacolo.

A conferma che l'unità ritmica di L.X. risulta non in linea con la prestazione cronometrica di alto livello dell'atleta, viene in soccorso anche il lavoro di Susanka (1988) che indica in un range tra 1.03s e 1.05s (da FS a FS) i tempi dell'ultima unità ritmica dei primi 3 classificati ai Campionati Mondiali di Roma del 1987, che pure mostravano risultati cronometrici finali molto simili, se non superiori (13.21s, 13.29s e 13.38s rispettivamente contro 13.24s), a quello

ottenuto da L.X. al Golden Gala di Roma 2005.

Conclusioni

Nel confronto tra i 2 atleti presi in considerazione si possono osservare comportamenti ben identificabili. D.A. mostra un atteggiamento tecnico nel passaggio degli ostacoli più corretto e standardizzato. I parametri prestativi risultano assolutamente in linea con i descrittori indicati dalla letteratura per gli atleti di alto livello. Questa valutazione va fatta anche per L.X. eccezion fatta per il valicamento dell'ultimo ostacolo (10°) in cui la parabola di volo appare distribuita in maniera scorretta rispetto all'ostacolo. Soprattutto il COM raggiunge il punto più alto della sua parabola 27 cm dopo l'ostacolo stesso, dato che rappresenta un errore tecnico grossolano per un atleta di questo livello.

A parziale giustificazione però di questa anomalia vengono in soccorso 2 osservazioni: la prima è che tale passaggio si verifica sul 10° ostacolo e pertanto l'atleta non deve affrontare altri ostacoli dopo questo valicamento. Se questo errore si fosse presentato con un ostacolo ancora da affrontare, L.X. avrebbe sicuramente fatto fatica a mantenere una corretta ritmica di corsa e avrebbe molto probabilmente compromesso la gara intera.

Ma in questo caso l'errata interpretazione del passaggio potrebbe essere legata alla necessità da parte dell'atleta di concentrarsi sugli ultimi metri di corsa, osservazione che troverebbe anche conforto nel fatto che L.X. si stava giocando il 2° posto nella gara (13.24s contro 13.29s, 13.35s e

13.36s dei piazzati successivi), mentre D.A., ormai certo della vittoria, poteva mantenere un atteggiamento più standardizzato sulla tecnica di passaggio. Questa seconda considerazione porta a pensare che l'interesse dell'atleta fosse quello più che altro di mantenere la massima velocità possibile a prescindere dall'ostacolo, che non rappresentava più un problema allorché oltrepassato; infatti L.X. mostra nell'unità ritmica considerata, una velocità di percorrenza maggiore anche di D.A., che vincerà la gara (8.9 m/s. contro 8.7 m/s).

L'impossibilità per L.X. di raggiungere D.A. nonostante una seppur lieve maggiore velocità, è maturata però nei primi 5 ostacoli di gara, in cui L.X. con ripetuti urti sugli ostacoli durante il valicamento, comprometteva la gara e incrementava il distacco da D.A. Successivamente il recupero di una corretta ritmica di corsa permetteva a L.X. di esprimersi a velocità anche più elevate del vincitore, ma insufficienti per il recupero.

Dal punto di vista metodologico, possiamo affermare che l'utilizzo di SIMI Motion System per l'analisi in 3D delle gare di velocità con gli ostacoli risulta sufficientemente affidabile. La disposizione delle telecamere sulla tribuna ed in fondo al rettilineo di arrivo rappresentano un modo assolutamente non invasivo per effettuare delle acquisizioni su atleti impegnati in gara, che in tal modo possono esprimersi liberamente senza essere distolti nell'attenzione o condizionati da presenze indesiderate di operatori. La possibilità inoltre di calibrare la zona di acquisizione utilizzando le misure note degli ostacoli e dello

spazio tra loro compreso, permette di ovviare al problema di usare per la calibrazione stessa degli oggetti più o meno ingombranti da montare in loco e da posizionare in pista con il rischio di disturbare gli atleti durante il riscaldamento. I limiti del sistema sono da ricercarsi sulla difficoltà di digitazione nel caso di riprese realizzate da molto lontano e, di conseguenza, sulla necessità di verificare l'attendibilità della rico-

struzione intrasoggettiva (la stessa ricostruzione fatta almeno 2 volte dallo stesso operatore) e intersoggettiva (stessa ricostruzione fatta da più operatori).

Per il futuro risulta interessante poter approfondire l'analisi cinematica comparata in condizione di gara degli atleti top level, confrontandone il comportamento mostrato nel 3°, 4°, 5° ostacolo (dove si dovrebbero ottenere le velocità di punta) con quello evi-

denziato invece sul 9° e 10°, al fine di capire se e quanto può incidere l'affaticamento sulla tecnica di passaggio e per offrire anche una chiave di lettura tecnica relativa al risultato ottenuto dagli atleti in quella specifica gara. In tal modo si otterrebbero anche delle ulteriori importanti informazioni per creare un modello tecnico-ritmico di riferimento per gli atleti di livello inferiore.

Bibliografia

Ciacci S., Merni F., Franceschetti F., Penitente G., Di Michele R. *3D analysis with SIMI motion during a 110m hurdles race*. Book of Abstracts of the 12th annual Congress of ECSS, 2007, p. 599

oh M., Jost B., Skof B. *Kinematic and dynamic analysis of hurdle clearance technique*. Proceedings of XVIII ISBS Conference, 2000

oh M., Zvan M., Jost B. *Kinematic model of hurdle clearance technique*. Proceedings of XXII ISBS Conference, 2004, pp. 311-314.

Grimshaw P.-Marar L.-Salo A.-Longden B.-Vernon J. Biomechanical analysis of sprint hurdles. *Athletics coach*, 1994, 28 (4), pp. 10-12.

Iskra J., Rygula I. The optimization of training loads in high class hurdlers. *Journal of Human Kinetics*, 2001, 6, pp.59-72.

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 ex-*

ercise, 1991, 23, pp. 1382-1391

Merni F., Rossini S., Ciacci S. Confronto tra passaggio completo ed esercizi tecnici negli ostacoli attraverso l'analisi cinematica. *Athletica Studi*, 2005, 1, pp. 32 - 44

Mero A., Luhtanen P. A biomechanical analysis of top hurdling. *Modern Athlete and Coach*, 1984, pp. 3-6

Mero A., Luhtanen P. Biomechanische Untersuchung des Hürdenlaufs während der Weltmeisterschaften in Helsinki. *Leistungssport*, 1986, 16 (1), pp. 42-43.

Papadopoulos C., Giavroglou P., Saralidis P., Tsarouchas L. *The Effects of Shortening the Distance between Hurdles during Training*. Proceedings of V ISBS Conference, 1987, pp. 112-121.

Russo G. *Scuola centrale dello sport: le corse ad ostacoli*. 1971.

Salo A., Grimshaw P. An Examination of Kinematic Variability of Motion Analysis in Sprint Hurdles. *Journal of Applied Biomechanics*, 1998, 14, pp.

211-222.

Salo A., Grimshaw P., Marar L.3 - D biomechanical analysis of sprint hurdles at different competitive levels. *Medicine and science in sport and exercise*, 1997, 29(2), pp. 231-237.

Salo A., Scarborough S. Changes in Technique within a Sprint Hurdle Run. *Sports Biomechanics*, 2006, 5(2), pp. 155-166.

Shibayama K., Fujii N., Ae M. *Kinematical analysis of 110 hurdles - Focusing on the step length*. Proceedings of XXVII ISBS Conference, 2009.

Susanka P., Miskes G., Millerova V., Dostal E., Barak F. Time analysis of the sprint hurdle events at the II World Championship in Athletics. *New Studies in Athletics*, 1988, 2, pp. 51-74

Tidow G. Model technique analysis sheets for the hurdles. Part VII: high hurdles. *New Studies in Athletics*, 1991, 2, pp. 51-66.