

Valutazione della fase di "doppio appoggio" nella marcia attraverso l'analisi della variazione morfologica

*Antonio La Torre, Giampiero Alberti,
Chiarella Sforza, Virgilio F. Ferrario*
Laboratorio di Anatomia Funzionale dell'Apparato Locomotore,
Istituto Superiore di Educazione Fisica della Lombardia,
Università degli Studi di Milano



P. GENOVESI

INTRODUZIONE

Ci si è spesso chiesto come sia possibile coniugare un'espressione tecnica a notevole velocità — quale è la marcia moderna — con le norme assai precise e severe che la disciplinano. La marcia atletica si propone come versione sportivo-agonistica del cammino veloce.

Per poter sostenere andature prossime ai 15 km/h nelle gare sulla distanza dei 20 km, gli atleti ricercano degli adattamenti posturali particolari, esprimono raffinatissime coordinazioni neuromuscolari, capacità di immagazzinamento e riutilizzo dell'energia meccanica da parte dei muscoli (Cavagna e Kaneko 1977, Cavagna e Franzetti 1981, di Prampero 1985, Saibene e Minetti 1992).

Al marciatore moderno è richiesto un equilibrio "mixto-ge" di qualità come forza, grande resistenza e potenza aerobica, rapidità e coordinazione, mobilità articolare (Arceoli 1982 a, b; Assi 1982). Ma le pur grandi qualità fisiologiche e psichiche di un atleta debbono costantemente coniugarsi con una corretta espressione tecnica (Damilano 1992). Nel regolamento IAAF, norma 191, riferita alla marcia, viene sottolineato come "la marcia è una progressione di passi eseguita in modo tale che il contatto con il terreno sia ininterrotto".

Di tutta la sequenza del passo due sono i momenti cruciali: a ogni passo il piede dell'arto avanzante deve venire a contatto con il terreno prima che il piede dell'arto in fase di spinta lasci il suolo (fase definitiva di "doppio appoggio"); durante ogni passo l'arto inferiore di sostegno deve essere raddrizzato, con il ginocchio esteso almeno per un momento e in particolare nel momento in cui il corpo si trova sulla verticale dell'appoggio, e il peso del corpo è direttamente al di sopra del piede che lo sostiene.

Sono queste due norme fondamentali a differenziare nettamente la marcia dalla corsa. Agli occhi dell'inesperto tutti i marciatori sembrano uguali. Tutti muovono le anche, le braccia, gli arti inferiori con grande frenesia. Dov'è la differenza? Come mai atleti con un potenziale fisico simile non si esprimono allo stesso livello? Per cercare di comprendere i tanti perché di un gesto sportivo, la ricerca applicata allo sport è orientata sempre più verso il particolare, verso il piccolo dettaglio, senza per questo perdere di vista il movimento nella sua globalità, così, gesti apparentemente "simili" evidenzieranno differenze non trascurabili. Nello sport di alto livello le distanze tra gli atleti della fascia di eccellenza sono ridottissime.

Un metodo statistico, recentemente sviluppato per l'analisi dei gesti sportivi, permette di quantificare la ripeteribilità di una determinata fase del gesto sportivo caratterizzata dall'articolamento reciproco dei segmenti corporei nello spazio (forma corporea) (Ferrario et al. 1994 a, b; 1995).

del "doppio appoggio" abbiamo cercato di verificare se e come il movimento "disegnato" dallo stesso atleta resta simile o cambia alle diverse velocità; quali sono le differenze e le peculiarità dei movimenti dei marciatori di alto livello che hanno partecipato alla ricerca.

MATERIALI E METODI

Campione

Quattro marciatori di livello nazionale ed internazionale hanno volontariamente partecipato allo studio. Le principali caratteristiche antropometriche e tecniche dei quattro atleti sono riportate nella Tabella 1.

Mediante un'accurata ispezione e/o palpazione, 13 punti di repere sono stati identificati sul corpo dei marciatori come segue: testa; pronasale e trago; arto superiore; processo stiloideo dell'ulna destro e sinistro (polso); olecrano destro (gomito); acromion destro (spalla); tronco; cresta iliaca destra in linea con il grande trocantere); arto inferiore; testa della fibula destra e della tibia sinistra (ginocchio); calcagno destro e sinistro (sulla scarpa), punta del piede destro e sinistro (sulla scarpa) (Fig. 1).

Su ciascun punto è stato poi fissato un bollo adesivo rotondo (diametro 20 mm) rosso. La posizione dei 13 punti di repere è stata accuratamente standardizzata per tutti i marciatori.

Protocollo sperimentale

I marciatori hanno marciato numerose volte lungo distanze prestabilite alle velocità di 9, 10, 11, 12, 13 km/h, seguendo un percorso appositamente tracciato su una pista outdoor che li portava ad ogni giro davanti ad una telecamera. Sul circuito erano stati tracciati punti di riferimento per aiutare i marciatori a mantenere la velocità prestabilita con il giusto ritmo di marcia. Prima di ogni ripresa, la telecamera è stata opportunamente tarata e calibrata sul

Tabella 1 - Marciatori testati in questo esperimento

MARCIATORE	ETA (anni)	ALTEZZA (cm)	PESO (kg)	ALLENAMENTO generale (anni)	ALLENAMENTO specifico (anni)
M.D.	20	177	72	14	6
A.M.	18	175	61	8	6
A.G.	19	180	67	7	5
F.G.	18	178	63	3	2

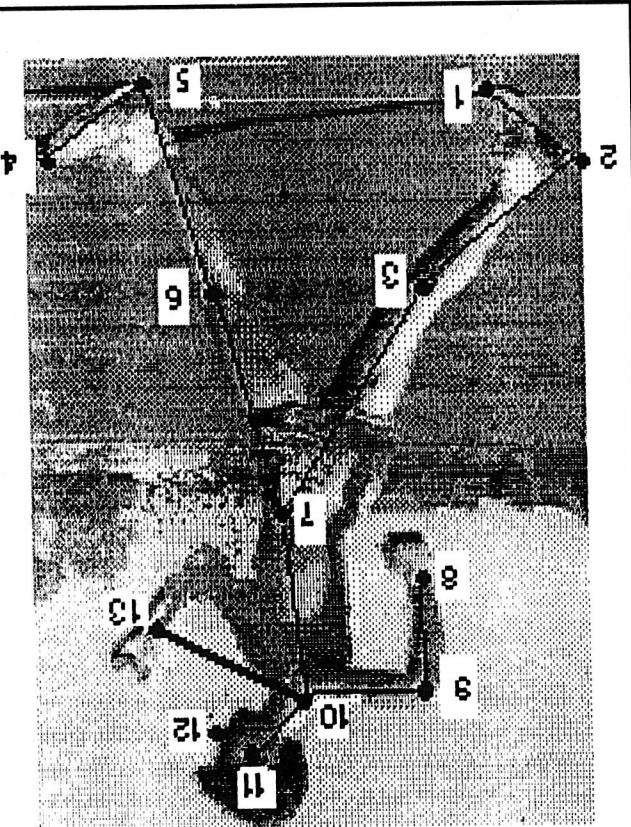
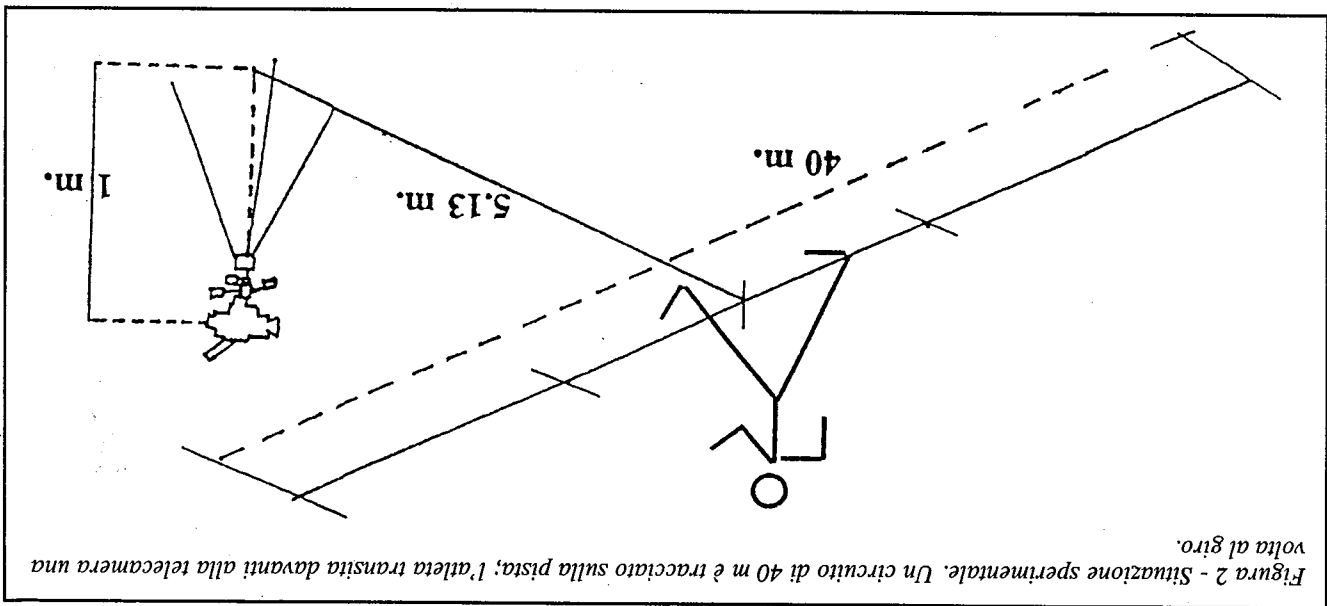


Figura 1 - Punti di repere identificati sul corpo dei marciatori. Per tutti gli atleti l'arto inferiore in fase di spinta è il sinistro. Lo schema è riferito all'istante di movimento successivamente analizzato (fase di doppio appoggio).
1. punta del piede di spinta (sinistro); 2. calcagno sinistro; 3. ginocchio sinistro (tibia); 4. punta del piede destro; 5. calcagno destro; 6. ginocchio destro (fibula); 7. cresta iliaca destra (in linea con il grande trocantere); 8. polso destro; 9. gomito destro; 10. acromion destro; 11. trago; 12. pronasale; 13. polso sinistro.



UK) che ha consentito la selezione dei singoli fotogrammi e il loro riconoscimento per ulteriori analisi e controlli. Il sistema di calibrazione filmato insieme al movimento ha permesso di tarare le coordinate verticali ed orizzontali di ciascun filmato, ottenendo così dati metrici reali.

Per ciascuno passaggio, è stato analizzato il singolo fotogramma corrispondente alla fase di doppio appoggio (Fig. 1) e la sagoma determinata dalla posizione dei 13 punti di repere corporei è stata digitalizzata. La digitalizzazione è stata effettuata da squadre di due operatori: un operatore localizzava i punti di repere, mentre l'altro ne controllava la posizione. Sono state così ottenute le coordinate cartesiane x, y di ciascun punto di repere nelle diverse ripetizioni del movimento da parte dei quattro marciatori (Fig. 1). Questo fotogramma è stato scelto perché rappresenta un'essere unitivamente individuato sui filmati.

Inoltre, il movimento effettuato in questo istante si sviluppa in genere su di un solo piano, con piccole componenti non complanari. Questa caratteristica è ovviamente essenziale qualora si lavori con una sola telecamera.

Morphological Variation Analysis
(MVA, Analisi della Variazione Morfologica)

Le coordinate x, y dei 13 punti di repere corporei identificati nei 10 passaggi per ciascun marciatore e velocità, sono state processate mediante Analisi della Variazione Morfologica (Morphological Variation Analysis, MVA), ed è stata valutata la relazione fra la ripetibilità del movimento (Morphological Variation Factor) e l'osservanza della regola IAAF 191.

Analisi dei filmati

Una preliminare valutazione qualitativa dei filmati (sono stati scelti 10 passaggi dei 15-18 realizzati per ciascuna velocità da ogni marciatore) ha permesso di verificare per tutti i marciatori e per tutti i passaggi filmati l'osservanza della regola IAAF 191.

I fotogrammi sono stati successivamente elaborati con un analizzatore d'immagini semiautomatico (LAFAL Video Analyzer, Cube srl, Milano, Italia) interfacciato con un PC (IBM PS/PV 6382 466 DX 2/S, IBM, Portsmouth,

punto di passaggio dei marciatori. I passaggi sono stati filmati in condizioni standardizzate (luce, fuoco, distanza telecamera-soggetto), utilizzando una telecamera Sony CCD 800E (Sony, Tokyo, Japan), che lavora a 50 Hz (50 fotogrammi al secondo), la quale era montata su un cavalletto, messi in bolla, con l'asse ottico dell'obiettivo orizzontale. Il piano di ripresa era posto parallelamente al circuito disegnato sulla pista. L'analisi è stata effettuata sul lato destro dei soggetti (piano sagittale). La situazione sperimentale è schematizzata nella Fig. 2.

Un sistema di riferimento, consistente di una squadra con due linee perpendicolari (orizzontale e verticale) di 10 cm ciascuna, è stato inoltre registrato in ciascun filmato. La squadra è stata posta nello stesso piano di fuoco del corpo del marciatore. Questo ha consentito la calibrazione delle coordinate orizzontali e verticali durante la digitalizzazione dei filmati.

Per ogni velocità e marciatore sono stati filmati da 15 a 18 passaggi. Ogni passaggio è stato cronometrato per verificare il rispetto o lo scostamento dalla velocità prestabilita.

MVA valuta la variabilità globale fra le forme ripetute; inizialmente calcola tutte le distanze euclidee (lineari) possibili fra i 13 punti di repere identificati sul fotogramma selezionato in una singola ripetizione (un singolo passaggio davanti alla telecamera).
 Fornisce così

$$[13 \times (13 - 1) / 2] = 78 \text{ distanze.}$$

Le distanze lineari corrispondenti (link) misurate in ciascuna ripetizione sono poi mediate, ed i relativi coefficienti di variazione CV sono calcolati:

$$CV = \text{Deviazione standard/Media} \times 100.$$

I coefficienti di variazione descrivono la variabilità intrinseca di ciascuna distanza e inoltre permettono di confrontare fra loro non solo le distanze omologhe calcolate in atleti con caratteristiche antropometriche differenti, ma anche distanze differenti (fra punti di repere più o meno distanti fra loro) indipendentemente dal loro valore assoluto. Per fornire una valutazione globale della variabilità del movimento, un Fattore di Variazione Morfologica (Morphological Variation Factor, MVF) è poi calcolato come

$$MVF = \text{media dei CV.}$$

MVF è una misura della variabilità globale (per quel gruppo di passaggi a quella determinata velocità), ed indica quanto la modalità di marcia di un atleta sia riproducibile. MVF bassi corrispondono a movimenti molto riproducibili.

RISULTATI

L'analisi qualitativa dei filmati dimostra che tutti i marciatori rispettano la regola 191 IAAF sia durante l'attacco al suolo dell'arto anteriore, sia nella fase di doppio contatto, sia nella fase di singolo appoggio.
 L'analisi quantitativa della complessa massa di dati attraverso il metodo MVA dimostra una notevole riproducibilità del movimento a tutte le velocità (basso Fattore di Variazione Morfologica, MVF, Tabella 2, vedi pag. seguente). Anche se l'MVF rilevato è stato per tutti basso, la velocità più lenta in questo esperimento (9 km/h) è risultata essere troppo bassa solo per i marciatori M.D. e A.M., ciascuno dei quali ha speso più energia per "frenare" e mantenere la velocità imposta che non per avanzare.
 Inoltre a questa bassa velocità appaiono il più alto numero di variazioni e un numero relativamente alto di movimenti non coordinati, fenomeno che alle velocità più elevate è sostanzialmente scomparso.
 A 9-10 km/h la maggior variabilità riguarda i rapporti segmentari tra tronco e arti superiori; nell'atleta M.D. appare inoltre una variazione nella posizione del capo.

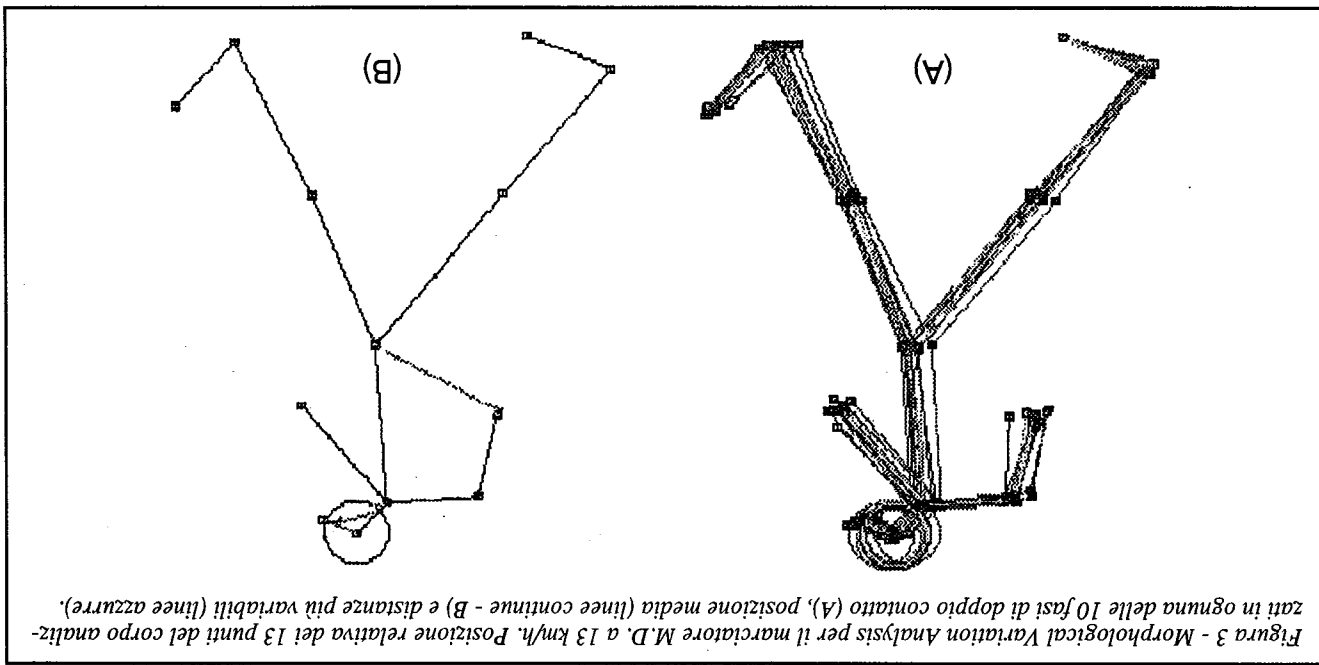
Morphological Variation Analysis
 (MVA, Analisi della Variazione Morfologica)

- * Registrazione del movimento atletico con la telecamera
- * Coordinate di punti di repere selezionati in un singolo momento
- * Calcolo di tutte le possibili distanze fra i punti di repere selezionati
- * Ripetizione dello stesso movimento numerose volte in condizioni controllate
- * Calcolo di media, SD, CV delle distanze omologhe nelle varie ripetizioni
- * MVF: media dei CV di tutte le distanze (misura della variabilità globale, ed indice della riproducibilità di quella sagoma in quell'esercizio)
- * CV esterni all'intervallo $MVF \pm 2 \times SD$: distanze relativamente più o meno riproducibili
- SD: deviazione standard, CV: coefficiente di variazione ($SD/media \times 100$)

Insero n. 1

Rilevazioni	Punti del corpo	C.V.(%)	media (mm)
1	1-8	1.15	1084.32
2	1-11	1.25	1478.36
3	1-12	1.32	1461.666
4	1-10	1.35	1383.016
5	1-9	1.46	1335.858
6	1-13	1.65	1224.227
7	1-3	1.71	476.3364
8	1-5	1.80	586.2038
9	1-7	1.81	943.7866
10	1-6	1.92	677.6086
11	1-4	1.99	810.4828
12	1-2	4.32	277.2266

Tabella 3 - Coefficienti di variazione delle distanze medie fra la punta del piede sinistro (punto 1) e tutti gli altri 12 punti calcolati nell'arteria M.D. a 13 km/h



Marcatori	Velocità in km/h				
	M.D.	227	207	205	314
A.M.	238	247	261	226	243
A.G.	211	212	220	260	273
F.G.	284	309	354	310	308
	9	10	11	12	13

Tabella 2 - Fattore di Variazione Morfologica calcolato in fasi di doppio contatto per ogni atleta alle cinque velocità prese in considerazione.

dalla loro dimensione, e perciò di confrontare marciatori con caratteristiche antropometriche differenti. Non vanno sottovalutati alcuni limiti del metodo emersi in questo lavoro. anzitutto disporre di una sola telecamera ci ha obbligati a considerare necessariamente un solo arto inferiore (sempre lo stesso) nella posizione anteriore, detto anche "arto di attacco", e quindi la valutazione di un solo passo per ogni passaggio.

Ulteriori analisi effettuate con due telecamere potrebbero prevedere la valutazione di due passi consecutivi, e di conseguenza quantificare eventuali differenze nell'arrangiamento corporeo al cambiare dell'arto di spinta (destro o sinistro). Altro problema costituisce il posizionamento dei punti repere sia perché siano il più possibile visibili, sia perché il posizionamento non differisca da soggetto a soggetto. Dai risultati è emerso inoltre con grande evidenza che la prima velocità presa in esame — 9 km/h — era troppo bassa per i marciatori M.D. e A.M., i quali hanno evidenziato un certo disagio sia coordinativo che ritmico ad una velocità troppo lontana dagli abituali standard di allenamento. Cioè, a questa velocità, diventa difficile il rispetto del gesto tecnico e questa è una preziosa indicazione sull'utilità o meno di utilizzare la marcia a bassa velocità tra i numerosi mezzi di allenamento.

Tra gli aspetti positivi i marciatori hanno partecipato al lavoro, con il quale tutti i marciatori hanno partecipato al lavoro, sostenendo che il protocollo seguito e la successiva analisi qualitativa e quantitativa (dei filmati e dei risultati) mostrano in quali particolari la loro prestazione tecnica (e quindi la performance) possa migliorare.

Inoltre, attraverso la M.V.A. si è potuto cogliere la variabilità dell'ampiezza del passo (in 2 marciatori) alla stessa velocità, differenza che non risulta così evidente nell'analisi qualitativa dei filmati.

Questo particolare assume importanza in una specialità ciclica qual è la marcia. Se si pensa soprattutto alla distanza dei 50 km si comprende quanto determinante sia la capacità di "risparmiare" energie, quanto sia necessaria la "ritmicità" armonica e poco dispendiosa dei movimenti (Cavagna e Franzetti 1981; Arcelli e La Torre 1994). L'atleta M.D. non è solo il più forte "organicamente". Forse una delle ragioni del suo grande rendimento sta nella capacità di riproporsi ad ogni passo spendendo il minimo indispensabile.

I risultati di questo lavoro spiegano la sua maggiore bravura - rispetto agli altri marciatori presi in considerazione - nel far variare di pochissimo la forma complessiva del suo corpo (arrangiamento reciproco dei segmenti corporei) durante il movimento, quale che sia la velocità espressa. I risultati confermano che il gruppo di marciatori studiato ha ben sviluppato la coordinazione neuromuscolare necessaria all'esecuzione di questo particolare schema motorio. Viene confermata inoltre la necessità di un duraturo lavoro-

A 13 km/h la più alta variabilità di tutti i marciatori si è avuta nel rapporto reciproco tra il polso destro (punto di repere 8) e la cresta iliaca destra (punto di repere 7). Il programma ha evidenziato una significativa variabilità tra i marker 4 e 5 nell'atleta M.D. (trattasi della distanza tra il calcagno e la punta del piede destro).

Veramente la distanza anatomica tra questi due punti non può significativamente cambiare durante la marcia. La causa di questa alta variabilità è l'azione di "extrarotazione" del piede destro che l'atleta M.D. compie nella fase di appoggio. Quindi, la posizione del piede rispetto alle possibilità di ripresa della telecamera può cambiare (per esempio con rotazione laterale o mediale) modificando così la proiezione dei due punti repere rispetto al piano della telecamera.

La distanza maggiormente variabile alla velocità di 13 km/h di M.D. e A.M. che sono i marciatori con più anni di pratica e tecnicamente più bravi (del gruppo considerato) riguarda la posizione reciproca della testa (pronasale e tragico) e gli arti superiori, cioè segmenti corporei che hanno relativamente poca influenza sul gesto della marcia (Fig. 3). La padronanza della gestualità tecnica del marciatore M.D. è ben evidenziata dall'analisi dei coefficienti di variazione delle distanze medie fra la punta del piede sinistro (punto di repere 1) e tutti gli altri 12 punti, calcolati mentre l'atleta si esprimeva alla velocità di 13 km/h (Tab. 3). Per contro si evidenzia un'alta variabilità alla stessa velocità in A.G. e F.G., relativa all'ampiezza del passo. F.G. ha iniziato un lavoro tecnico specifico da soli 2,5 anni e non ha ancora acquistato una completa padronanza tecnica del gesto.

DISCUSSIONE

Il metodo MVA non si prefigge una valutazione biomeccanica del movimento. L'idea del metodo è quella di valutare l'aspetto coordinativo neuromuscolare di un atleta, attraverso una misura delle sue capacità di ripetere, uno o più movimenti caratteristici del gesto sportivo (nel presente lavoro la fase di doppio contatto nella marcia) (Ferrario et al. 1994 a, b; 1995).

L'utilità per i tecnici della marcia va oltre la definizione scientificamente rigorosa di un indice di coordinazione neuromuscolare. Si è giunti così a formulare un indice di ripetibilità che è correlato alle "qualità coordinative" dell'atleta e anche al suo stato di forma fisica. Tale indice può essere utilizzato per valutazioni trasversali su atleti diversi, o per seguire in un arco di tempo (periodo di allenamento) le variazioni di espressione gestuale. L'uso della misurazione percentuale della variazione permette di comparare distanze differenti indipendentemente

ro tecnico specifico protratto per diversi anni se si vuol giungere ad una buona padronanza del gesto. Questo metodo può permettere perciò la quantificazione della "maturità tecnica" di atleti con "carriere" atletiche (intese come anni di allenamento) diverse.

CONCLUSIONI

Approfondendo le ricerche si potrà pervenire ad importanti risultati in ordine a:
 * una minuziosa VERIFICA TECNICA, sempre più necessaria e indispensabile per atleti di alto livello, che marcano a velocità prossime ai 15 km/h per 20 km;
 * indicazioni utili per le correzioni più importanti o sulle cause neuromuscolari della rottura della corretta gestualità tecnica;

* una valutazione sulla cosiddetta "fase di volo" (sospensione), assenza cioè del "doppio contatto" imposto dalla norma;
 * una possibile strada per la valutazione del costo energetico della marcia collegando questo metodo ad altre valutazioni (funzionali, biomeccaniche);
 * una verifica della variazione della tecnica in seguito a particolari allenamenti (condizioni di stanchezza);

* l'analisi delle differenze tra atleta e atleta nella fase cruciale del "bloccaggio" (sostegno) sul singolo arto, dalla quale dipende in misura considerevole la prestazione. Ad esempio la durata di questa fase è strettamente connessa all'efficacia della spinta. L'indagine andrebbe compiuta su entrambi gli arti inferiori, destro e sinistro, con almeno due telecamere;
 * l'eventuale analisi sulle posizioni degli arti inferiori nella fase di spinta. Quest'indagine si collega alla precedente. Dalla ricerca potrebbero evidenziarsi differenze percentuali, squilibri muscolari o di efficacia tra un arto e l'altro.

BIBLIOGRAFIA

ARCELLI E.: Il costo energetico della marcia. *Atti. Studi*, 3, pp. 17-20, 1982 a;
 ARCELLI E.: Per una preparazione del marciatore basata su criteri fisiologici. *Atti. Studi*, 3, pp. 21-24, 1982, b;
 ARCELLI E., LA TORRE A.: La gara dei 50 km di marcia: spesa energetica e origine dell'energia. *Atti Studi*, 3, pp. 215-218, 1994;
 ASSI T.: Considerazioni sulla metodologia di allenamento del marciatore di alto livello. *Atti Studi*, 3, pp. 47-52, 1982;
 CAVAGNA G.A., KANEKO M.: Mechanical work and efficiency in level walking and running. *J. Physiol*, London, 268, pp. 467-481, 1977;

CAVAGNA G.A., FRANZETTI P.: Mechanics of competition walking. *J. Physiol*, London, 268, pp. 243-251, 1981;
 DI PRAMPERO P.E.: La locomozione umana su terra, in acqua, in aria. Fatti e teorie. Edt-Emmes, Milano, pp. 81-88, 1985
 DAMILANO S.: La Marcia (pp. 113-128). *Manuale dell'Allenatore - FIDAL Centri Studi & Ricerche Luglio/Dicembre 1992*;
 FERRARIO V.F., SFORZA C., ALBERTI G., MAURO F.: Quantitative assessment of body shape during the standing long jump test. *Proposal a new method. J. Biomech* 1994 a: 27;
 663;
 FERRARIO V.F., SFORZA C., LA TORRE A., MICHIELON G., MAURO F.: The double contact phase of the race-walk evaluated by the Morphological Variation Analysis. *Proc. 2nd World Congr. Biomechanics*, Amsterdam, 1994 b: I: 256;
 FERRARIO V.F., MICHIELON G., SFORZA C., MAURO F., MIANI A.: Analisi della Variazione Morfologica: un nuovo metodo per quantificare la ripetibilità dei movimenti sportivi. *Coaching & Sport Science Journal*: in corso di pubblicazione (1995);
 SAIBENE F., MINETTI A.E.: Aspects of the energetics and the mechanics of human locomotion. *Proceedings of the 10th symposium of Int. Society of Biomech.* in Sports Edt-Emmes, Milano, pp. 307-314, 1992.

GLOSSARIO

CV: Coefficiente di variazione (SD/media*100)
 DIGITALIZZARE: procedimento per ottenere le coordinate cartesiane dei punti dell'immagine interessati
 FRAME: Fotogramma
 MVA: Analisi della Variazione Morfologica
 MVE: Fattore di Variazione Morfologica
 MORFOMETRIA: misurazione della forma
 SD: Deviazione Standard

Indirizzo dell'Autore
 Antonio La Torre
 Via Puricelli Guerra, 209
 20099 S.S. Giovanni (Milano)