

L'andamento della velocità nei 400 m delle atlete e degli atleti di classe mondiale

Stefan Letzelter, Ralf Eggers

1. Introduzione

Nelle gare di velocità femminili i risultati sono fermi da quindici anni. Sia nei 100, sia nei 200, nessuna velocista si è avvicinata ai record mondiali di F. Griffith-Joyner. La situazione è ancora peggiore nei 400 e tempi sotto i 49 secondi sono diventati una rarità. Ad esempio, nei Campionati Mondiali del 1997 e nel 1999 l'australiana C. Freeman con 49.77 e 49.67 è restata circa due secondi al di sotto del record della tedesca orientale M. Koch, stabilito, addirittura nel 1985.

Un'altra direzione hanno preso le gare di velocità maschili. Negli ultimi dieci anni il record sui 100 è stato migliorato più volte e M. Johnson ha migliorato due volte quello dei 200, e con 43.18 ha battuto anche il record sui 400 (43.28) stabilito nel 1988 da B. Reynolds. Un risultato che non permette di parlare di un progres-

so nella disciplina, in quanto, da un lato il miglioramento del record mondiale non è stato eccezionale e dall'altro, globalmente, rispetto al 1988 i tempi non sono diventati più veloci e indicano una stasi, anche se, rispetto alle atlete non si può parlare di regresso.

Dai Campionati Mondiali del 1987, nelle corte distanze vengono rilevati anche i tempi parziali. Ciò ha permesso a Fuchs, Lames (1990) di costruire un modello dell'andamento della velocità sui 100. A ciò hanno fatto seguito, partendo da un'ampia base di dati, Letzelter et al. (2000) con l'analisi dell'andamento della velocità sia degli atleti sia delle atlete, confrontando quelli/e più veloci con i più lenti/e. Letzelter et al. (1995) sono stati anche i primi che hanno pubblicato il diagramma velocità-distanza dei 200 metri. Ma è ancora ampiamente poco chiaro come cambi la velocità dalla partenza all'arri-

vo sui 400, fino a quando aumenti, se e per quanto rimanga ancora costante. Finora l'impostazione della velocità è stata analizzata solo attraverso il tempo a metà gara o attraverso i tempi parziali su tratti di 100 metri. Come sempre nella pratica, (ad esempio, Nett (1969)) è ancora abituale prendere il tempo a metà gara o sui 300 Letzelter (1979), Schaefer (1989) e Letzelter, Steinmann (1990) hanno rilevato le velocità medie per tratti di 100 metri e le hanno valutate per diagnosticare la prestazione. In tutti i diagrammi conosciuti la velocità massima viene localizzata a metà del rettilineo opposto mentre, probabilmente, già molto prima si raggiunge la massima velocità. Già ai 150 metri si può supporre una diminuzione della velocità. Tutti i diagrammi velocità-percorso, sia degli atleti sia delle atlete, dei più rapidi e dei più lenti, mostrano una diminuzione della velocità dal rettilineo opposto al rettilineo finale che rimane quasi costante, se non aumenta. Quanto meno ciò non corrisponde all'esperienza di molti corridori (e allenatori) che ipotizzano nella fase finale sugli ultimi 50, un crollo molto rapido della velocità. Nei Campionati Mondiali del 1997 e del 1999 grazie a tecniche di ripresa televisiva furono registrati i tempi di passaggio ogni 50 metri, raddoppiando così il numero dei tratti analizzati.

Per ognuno degli atleti o per ognuna delle atlete sono così disponibili otto tempi parziali. Ancora non ne è stata realizzata una analisi adeguata. Alcuni dati isolati sono stati presentati da Ritzdorf (1998) e Brueggeman (1998).



2. Lo stato della ricerca

Se si confrontano le velocità parziali degli atleti e delle atlete valutate finora si vede questo andamento: dal primo al secondo quarto della gara la velocità aumenta notevolmente per poi diminuire continuamente, come si ricava dalla valutazione dei Giochi Olimpici del 1972 (Letzelter 1979), da quella dei CM del 1987, dei Giochi Olimpici del 1988 (Letzelter, Steinmann 1990) ed è stato confermato da Schaefer (1989). Il rettilineo opposto viene corso con la velocità media più elevata, mentre quello d'arrivo viene corso con quella minore. Nella curva finale, in

media, la velocità diminuisce abbastanza meno che nel rettilineo finale.

Per quanto riguarda la diminuzione della velocità atleti e atlete non si distinguono significativamente, però gli atleti aumentano molto di più la velocità dalla curva iniziale al primo rettilineo. La maggiore velocità nella prima curva è la causa essenziale del loro guadagno di tempo, poiché questo guadagno si mantiene immutato durante tutta la corsa e solo per questo il distacco aumenta permanentemente.

Il confronto per gruppi di risultati non porta ad un risultato simile a quello tra atleti e atlete. I più veloci, in generale, iniziano

certo più velocemente di quelli più lenti, ma l'aumento della velocità nel rettilineo opposto è quasi della stessa grandezza. Invece, le perdite (di velocità) dipendono dal livello di prestazione: atleti/atlete più lenti calano più significativamente degli atleti/atlete più veloci.

L'importanza del rettilineo finale è dimostrata da questo dato: nelle atlete il tempo parziale sugli ultimi 100 m contribuisce per oltre due quinti al vantaggio del gruppo dei migliori sui più lenti, e negli atleti ancora di più, cioè quasi quanto gli altri tre 100 nel loro insieme. Che gli ultimi 100 siano tipici quanto le prime due per i 400 metri quanto i primi

due è statisticamente provato dall'analisi delle correlazioni: nei maschi quasi due terzi delle differenze sui 400 possono essere spiegate con quelle nel terzo o nel quarto tempo parziale, e nelle femmine addirittura quasi tre quarti.

3. La metodica

Nella nostra ricerca abbiamo tenuto conto dei tempi migliori (delle corse più rapide) di undici atleti e di dodici atlete partecipanti alla finale dei Campionati Mondiali 1997 e 1999. Per prima cosa sono stati valutati gli otto tempi parziali sui 50 (da t_1 a t_8) e le rispettive otto velocità medie (da v_1 a v_2) sulla stessa distanza di 50 metri. L'andamento delle velocità è rappresentato come funzione scalare.

Per la valutazione ci siamo serviti dell'analisi della varianza. Anzitutto con semplici analisi della varianza e il successivo confronto per coppie è stato esaminato se le variazioni da un tratto di 50 all'altro sono significative. Se non è così le rispettive distanze non appartengono ad un "tratto con una velocità che rimane quasi costan-

te". Se le variazioni sono valutate come sistematiche, interessano le interrelazioni che informano se le variazioni sono diverse più che casualmente, se sono più marcate nelle atlete che negli atleti e maggiori nei più rapidi (atleti ed atlete) rispetto ai più lenti. Inoltre, è stato determinato statisticamente attraverso le correlazioni dove i più veloci si distinguono dai più lenti. Se le relazioni sono più che casuali, il relativo tempo parziale è "rilevante per la prestazione dal punto di vista empirico-statistico".

4. Risultati della ricerca sui tempi di corsa dei 400 m

Per le finali dei due Campionati Mondiali si sono qualificati undici atleti e tredici atlete (tabella 1) tra i quali tre atleti e cinque atlete due volte, per cui nell'analisi è stata considerata la loro gara più veloce. Poiché l'atleta più debole con 51.37 è rimasta molto lontana dalla penultima e sul rettilineo finale si è chiaramente rassegnata non se ne è tenuto conto.

Le dodici atlete all'arrivo sono separate da più di un secondo

($w = 1,05$). Il distacco tra i dodici atleti è molto maggiore ($w = 1,89$). Ciò, però, non deve essere interpretato come se la classe mondiale tra gli atleti fosse meno equilibrata che tra le atlete. Il distacco molto maggiore è provocato solo da M. Johnson, che è arrivato al traguardo con oltre un intero secondo di vantaggio sul migliore secondo. La sua posizione particolare è confermata anche statisticamente: il record mondiale di 43.18 non è tipico per l'attuale classe mondiale, e si trova al di fuori di qualsiasi ambito di risultati che lo caratterizza. Per questa ragione è legittimo che l'analisi sia realizzata senza tenerne conto. Per questa ragione è stata presa in considerazione la sua vittoria del 1997 con 44.12, in quanto più adeguata al livello attuale di prestazione. Il record mondiale è stato considerato separatamente e confrontato con il tempo della vittoria del 1997, per cui si potrà vedere dove Johnson ha corso più velocemente e meno velocemente.

Non tenendo conto di Johnson, il divario di prestazione nelle femmine è come sempre leggermente più marcato - anche se non più che casualmente - che tra gli atleti, che in media arrivano al traguardo 5.60 prima delle atlete.

Atleti vs atlete

Se si descrive l'andamento della velocità servendosi delle otto velocità medie parziali su 50 metri (figura 1), si rilevano notevoli differenze rispetto alle precedenti abituali linee poligonali per le quattro velocità me-

Tab. 1 - Tempi sui 400 m dei finalisti ($n = 11$) e delle finaliste ($n = 12$) dei 400 nei Campionati Mondiali del 1997 e del 1999

Gruppo	Maschi		
	Tempo (s)	media	$\pm s$
U_{totale}	44,12-45,18	44,51	0,33
U_1	44,12-44,39	44,31	0,10
U_2	44,47-45,18	44,76	0,34
Femmine			
D_{totale}	49,67-50,72	50,19	0,41
D_1	49,67-50,72	50,19	0,41
D_2	50,06-50,72	50,54	0,25

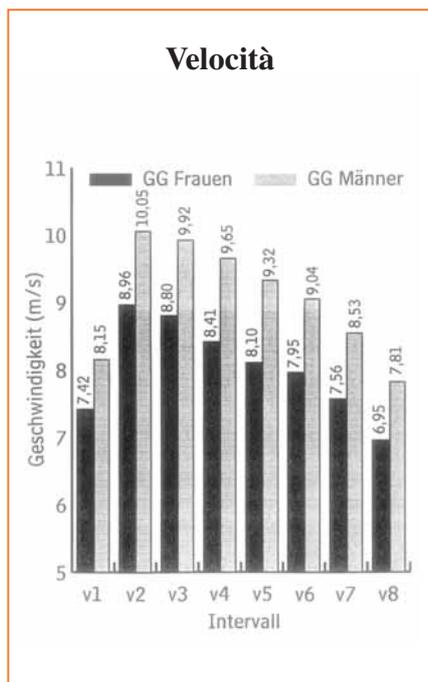


Fig. 1 - Andamento della velocità su 8 tempi parziali di 50 m.

die parziali su tratti di 100 metri. Avere a disposizione il doppio di dati è un vantaggio, perché ciò permette di correggere molte conclusioni errate delle precedenti ricerche. Ciò riguarda, per prima cosa, l'aumento della velocità nella prima curva e, poi, la sua diminuzione sul rettilineo d'arrivo.

Si conferma che gli atleti sono superiori alle atlete fin dalla partenza e costruiscono costantemente il loro vantaggio di tempo, ma non anche quello nella velocità. Vengono così contraddette le vecchie teorie:

1. La massima velocità non viene raggiunta solo sul primo rettilineo, ma già prima.
2. La perdita di velocità nella seconda metà della gara non avviene "quasi linearmente". Quella di gran lunga maggiore avviene sul rettilineo finale e nella sua seconda metà è più notevole che nella prima.

La perdita di velocità rispetto alla velocità massima nelle atlete ammonta a 2,01 e negli atleti a 2,24 m/s. Poiché l'interazione tra i tratti della distanza (A2/A8) e il genere comunque non raggiunge il massimo valore casuale, questo risultato non può essere considerato certo. Per prima cosa, però, non deve essere interpretato come se le atlete avessero un migliore resistenza alla velocità degli atleti. Dal punto di vista percentuale, inoltre, con il 22% la diminuzione è quasi identica.

A causa del tempo di reazione e del processo di accelerazione la velocità sui primi 50 è molto minore che successivamente. L'incremento della velocità dalla prima alla seconda parte della prima curva (A1 -> A2) è, rispettivamente, di 1,48 m/s per le donne e 1,90 m/s per gli uomini. Dunque in questi ultimi è molto maggiore. Quanto era già stato stabilito precedentemente nel confronto tra i tempi di passaggio sui primi 100, ha la sua causa già nella seconda parte della curva di partenza. Considerato che l'interazione tra tratti della distanza e genere è più che casuale, anzitutto si deve considerare come accertato che:

nelle gare di 400 di classe mondiale gli atleti fin dalla partenza corrono con una velocità maggiore di quella delle donne e aumentano il loro distacco nella velocità dalla prima alla seconda metà della prima curva.

All'inizio del primo rettilineo, la velocità di corsa sia degli atleti sia delle atlete è solo leggermente, ma ciononostante più che casualmente, minore di prima. Viene così contraddetta l'o-

pinione di molti atleti che si acceleri dall'uscita della curva al primo rettilineo. Si può trattare di una sensazione soggettiva, ma obiettivamente non è così. Con il primo rettilineo inizia *il tratto con velocità decrescente*, decremento che, sia nelle atlete sia negli atleti, prosegue costantemente a partire dai 100. Le irregolarità nei cambiamenti dopo i 150, però, non forniscono un'indicazione chiara sul tipo di andamento della velocità fino a quasi all'entrata nel rettilineo finale. È quasi lineare, mentre poi la velocità diminuisce rapidamente; sul rettilineo d'arrivo di 1,00 m/s per gli atleti, diminuzione alla quale la prima e la seconda metà del rettilineo partecipano in un rapporto 1 a 1,5, mentre per le atlete la diminuzione è addirittura di 1,23 m/s con un rapporto da 1 a 1,4.

Gli otto tempi parziali non contribuiscono tutti nella stessa misura percentuale al vantaggio degli atleti (cfr. figura 2).

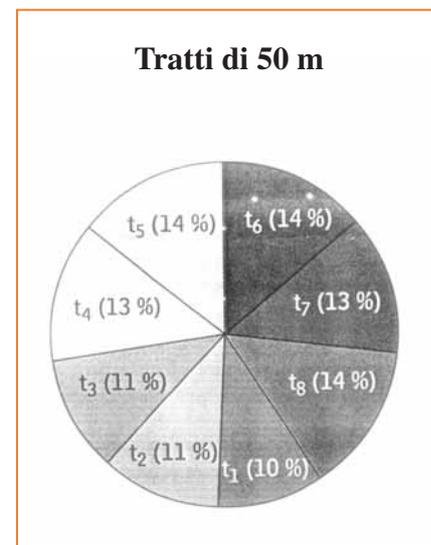


Fig. 2 - Contributo percentuale degli otto tratti di 50 metri al vantaggio dei maschi rispetto alle femmine.



Il minore guadagno si determina nel tratto di partenza con 0,55 secondi (circa il 10%), quello maggiore tra i 200 e i 250 con 0,80 s (circa il 14%). Globalmente, il guadagno di tempo degli atleti per 50 metri, nei primi quattro tratti (da 0,55 a 0,76 s) è minore che nei secondi quattro (da 0,76 a 0,80 s).

Sono interessanti anche le dispersioni nei singoli tratti. La minore variazione dei tempi parziali avviene nella seconda metà della curva, la maggiore nel tratto finale (ultimi 50). Negli atleti ciò è più marcato che nelle atlete. Il volume scarso del campione non permette di provare variazioni eterogenee tra atleti e at-

lete, ma certamente per gli otto tratti della distanza.

I più rapidi vs i più lenti

Anche il confronto tra i più rapidi e i più lenti (tabella 2) contraddice le generalizzazioni ricavate dalle analisi dei Giochi Olimpici del 1972 o dei Campionati Mondiali del 1987/Giochi Olimpici del 1988.

Nelle finali dei Campionati Mondiali 1997/1999 non accade che i migliori già dalla partenza fossero in vantaggio. Almeno tra gli atleti, il gruppo peggiore come prestazioni - indietro di 0,45 s al traguardo - in avvio era persino significativamente più rapido dei migliori. Anche nella seconda metà della curva iniziale il gruppo dei più veloci non si trovava in vantaggio, ma era ancora sempre un po' più lento, anche se solo in modo insignificante. Su ambedue i tratti del primo rettilineo le differenze sono ancora minime e solo all'inizio della seconda curva il grano si separa dalla pula e ciò si vede addirittura con molta evidenza dai 250 in poi. I più rapidi allora dapprima debbono compensare il loro svantaggio e poi prendere la testa sul rettilineo d'arrivo.

Nelle atlete si può stabilire un altro comportamento, in quanto in nessun tratto le più lente si trovano in vantaggio rispetto alle più veloci, anche se nel secondo e nel terzo tratto di 50 metri la differenza è ancora scarsa. I vantaggi diventano più che casuali solo dopo i 150, e ad ogni modo appare evidente che il guadagno di tempo per tratto aumenta dal secondo al sesto intervallo. Dove le atlete più rapide guadagnano maggiormente

Tab. 2 - Tempi parziali dei gruppi di prestazione più veloci e più lenti

Tempi	G1 maschi		G2 maschi		G1 femmine		G2 femmine	
	Media	± s	Media	± s	Media	± s	Media	± s
t1	6,21	0,15	6,06	0,11	6,67	0,12	6,72	0,09
t2	4,99	0,05	4,96	0,0	5,58	0,05	5,59	0,08
t3	5,05	0,10	5,04	0,10	5,67	0,07	5,70	0,12
t4	5,18	0,11	5,20	0,04	5,90	0,04	5,99	0,04
t5	5,34	0,09	5,40	0,04	6,10	0,05	6,24	0,09
t6	5,45	0,08	5,63	0,07	6,20	0,09	6,39	0,07
t7	5,79	0,07	5,95	0,15	6,58	0,08	6,66	0,08
t8	67,31	0,18	6,52	0,19	7,16,	0,14	7,25	0,13

è tra i 250 e i 300. Successivamente i distacchi ridiventano minori e quasi si dimezzano.

Mentre nei maschi i tempi parziali che più contribuiscono al vantaggio dei più rapidi sono quelli dal sesto all'ottavo - l'ottavo contribuisce addirittura ad un intero terzo di tale vantaggio - nelle femmine sono il quinto e il sesto. Per quanto riguarda le atlete tutto si decide nella seconda curva, nella quale troviamo le cause principali della vittoria e della sconfitta. Tra i 250 e i 300 si produce il 28% della differenza di 0,70 s tra i due gruppi di atlete.

I due diagrammi delle differenze dei tempi illustrano le differenze dalla partenza all'arrivo (figura 3): gli atleti più veloci passano in testa solo dopo i 250, mentre le atlete più rapide costruiscono il loro vantaggio costantemente, ma non continuamente nella stessa misura.

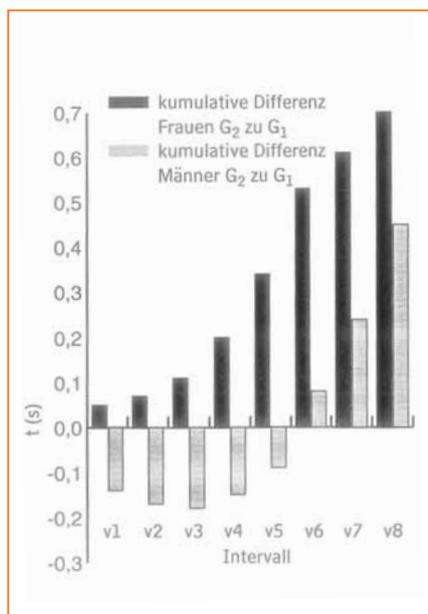


Fig. 3 - Diagramma delle differenze di tempo per caratterizzare la differenza dalla partenza all'arrivo tra i due gruppi di risultati maschili e femminili.



• Se si assumono le differenze tra i gruppi di prestazione come indicatore dell'importanza dei singoli tratti della distanza (tabella 3), ai primi posti negli uomini troviamo il quinto e il sesto che, unitamente, causano quasi la metà delle differenze tra i due gruppi.

Tab. 3 - Correlazioni tra gli otto tempi parziali e il tempo finale sui 400 m

Tempi	Maschi	Femmine
t ₁	- 0,27	0,41
t ₂	- 0,27	0,35
t ₃	- 0,26	0,24
t ₄	0,10	0,72 s.s.
t ₅	0,48	0,78 s.s.
t ₆	0,72 s.s.	0,74 s.s.
t ₇	0,87 s.s.	0,50
t ₈	0,77 s.s.	0,47

Questo dato viene sostenuto solo parzialmente se si assume il criterio della correlazione statistica, in quanto il settimo tempo parziale si trova incontestabilmente al primo posto, seguito dall'ultimo e dal terzultimo, mentre il quinto, che provoca

comunque più di un quinto della differenza globale tra i due gruppi di prestazione, rimane chiaramente indietro. Il rapporto con il tempo finale, inoltre, è insignificante, ma in esso ad ogni modo si deve tenere conto dello scarso volume del campione. L'importanza del tratto tra i 300 e i 350 è messa in evidenza dal fatto che quasi tre quarti delle differenze sui 400 metri possono essere spiegate con quelle in questi 50, rispetto a solo circa il 20% nel tratto tra i 200 e i 250.

Il risultato del confronto tra i gruppi viene confermato dalle correlazioni tra i primi quattro tempi parziali e il tempo finale, in quanto sono del tutto non significative. In nessuno di questi quattro tratti gli atleti più veloci al traguardo si distinguono da quelli più lenti, e in nessun modo si riesce a capire chi sia arrivato per primo al traguardo. Invece, in base al settimo tempo parziale si può stimare molto bene il tempo finale, come si può constatare dal minore errore standard di valutazione $s_e = \pm 0,16$.

• Per quanto riguarda il confronto dei gruppi di prestazione nelle atlete, appare evidente la sorprendente importanza del quinto e del sesto tempo parziale, in quanto, nell'insieme provocano quasi metà delle differenze sui 400 metri, come è espresso anche dal coefficiente di correlazione. Il quinto tempo parziale precede, nel catalogo delle priorità, il sesto; la differenza tra i due per quanto riguarda la grandezza della loro influenza è scarsa, come pure è scarsa quella rispetto al quarto tempo parziale. Contrariamente

a quanto avviene negli atleti il settimo e l'ottavo tempo parziale hanno meno peso sul risultato, le correlazioni sono chiaramente più minori che negli atleti e chiaramente meno elevate delle correlazioni con il tempo finale sui 400 di quelle dal quarto, quinto e sesto tempo parziale. Una concordanza assoluta con il confronto tra i gruppi si trova nel fatto che i tempi parziali fino a 150 metri non sono correlati significativamente con il tempo finale. Come avviene nel confronto tra i gruppi, per quanto riguarda l'entità della loro influenza sul risultato finale nella gerarchia degli otto tempi si trovano all'ultimo posto. Fino alla metà del secondo rettilineo non si può capire chi sarà in vantaggio al traguardo, mentre se si prendono in considerazione il tempo parziale tra 200 e 250, si può stimare molto bene il tempo finale, in quanto l'errore standard di valutazione è solo di $s_e = \pm 0,24$.

Distribuzione delle forze della corsa e calo di velocità

Quale sia la grandezza della distribuzione delle forze nella gara, ma anche quanto sia enorme la dispersione delle capacità di sprint, anche a livello di classe mondiale, si vede dai tempi sui primi 50 metri, nei quali troviamo un differenza fino a mezzo secondo. Poiché è da escludere che gli atleti possano presentare differenze di questa grandezza nelle loro capacità in partenza e nell'accelerazione - si tratta di quasi l'8% - in ogni caso se ne può dedurre che vi sia

un'impostazione molto diversa della corsa da parte degli atleti e delle atlete. Ciò porta a chiedersi se quegli atleti e quelle atlete che corrono con un impegno notevole fin dalla partenza e quindi si trovano in testa nel tratto finale non paghino poi nel tratto finale questa loro elevata velocità iniziale.

A questa domanda si può rispondere confrontando i tempi parziali dei primi (t_1) e degli ultimi (t_8) 50 metri. Così, ad esempio, Johnson - solo settimo dopo 50 metri - nella fase finale, cioè negli ultimi 50 metri fu più veloce di 0,14 rispetto alla stessa distanza in partenza, mentre J. Thomas - di gran lunga il più veloce all'inizio della gara - negli ultimi 50 m fu più lento di 0,57. I confronti individuali, però, non servono a nulla per le generalizzazioni. Per questa ragione, da un lato è stato determinato il rapporto tra il primo e l'ultimo tempo parziale e dall'altro è stato esaminato se si

può provare che, a causa dell'affaticamento, la diminuzione del tempo negli ultimi 50 degli atleti del gruppo più veloce, formato questa volta in base ai tempi parziali sui primi 50 metri, sia maggiore di quella degli atleti che sono stati inizialmente più lenti.

Nelle atlete, con $r = -0,09$ è quasi da escludere una correlazione tra il primo e l'ultimo tempo parziale. Le atlete che in partenza hanno più accelerato fino ai 50 metri, negli ultimi 50 metri non perdono più di quelle che hanno iniziato più lentamente. Negli atleti con $r = -0,37$ la correlazione è leggermente più elevata, ma pur sempre non significativa. La spiegazione può essere che la perdita di velocità provocata dalla fatica non è causata solo dal tempo iniziale, ma in essa vi ha un ruolo anche il risparmio di forze all'inizio della gara.

Un quadro completamente diverso è fornito dal confronto tra gruppi estremi (figura 4).

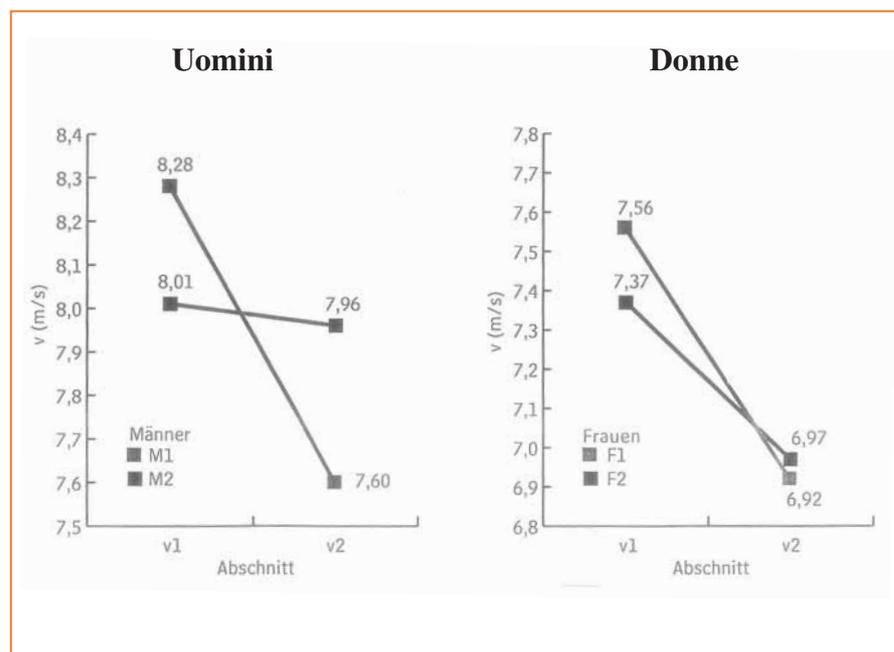
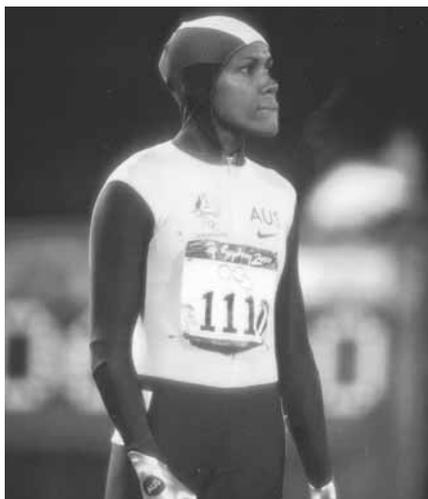


Fig. 4 - Velocità medie parziali nei primi e negli ultimi 50 nei gruppi estremi formati in base ai tempi sui primi 50



Mentre la metà degli atleti più veloci all'inizio della gara corre in modo da guadagnare 0,20 rispetto ai più lenti, negli ultimi 50 metri avviene il contrario. La metà precedentemente più lenta ora guadagna 0,25, ovvero qualcosa di più di ciò che aveva perso in partenza. Tra le atlete, il vantaggio della metà delle atlete più veloci nei primi 50 è di 0,17. Negli ultimi 50 il tempo della metà delle atlete più lente in partenza è di 0,05 minore. Una differenza chiaramente più bassa che negli atleti. Il confronto tra i gruppi, dunque, diversamente dal coefficiente di correlazione, attesta una maggiore perdita di tempo da parte degli atleti e delle atlete che avevano iniziato più rapidamente.

Confronto intraindividuale: gare più rapide e più lente

Ogni quattrocentista sa che la tattica di corsa cambia da corsa a corsa, soprattutto per il cambiamento delle condizioni esterne. Prestazioni simili possono essere ottenute con impostazioni diverse del ritmo di gara (figura 5). Ad Atene e a Sivi-

glia Cathy Freeman ha corso quasi nello stesso tempo e all'arrivo la differenza fu solo di 0,10. Quasi doppia fu, invece quella sui primi 50 metri: 6,56 a Siviglia contro 6,77 ad Atene. Ma, nel 1999, fu più veloce anche nei successivi 50 nel 1999, facendo registrare ai 100 un vantaggio di tre decimi. Due di essi li perse tra i 150 e i 250 metri. Alla fine fu di nuovo leggermente più rapida su altri due tratti, per perdere negli ultimi 50 ancora una volta 0,13 s più di due anni prima.

Ancora più chiaro risulta il confronto quando la differenza tra due corse è maggiore, come in quelle di M. Johnson che a Siviglia giunse sul traguardo 0,94 prima che ad Atene. Se si fa una lista delle differenze per tempi parziali si comprende convincentemente dove sia stato migliore: solo leggermente nei primi due tratti, notevolmente di

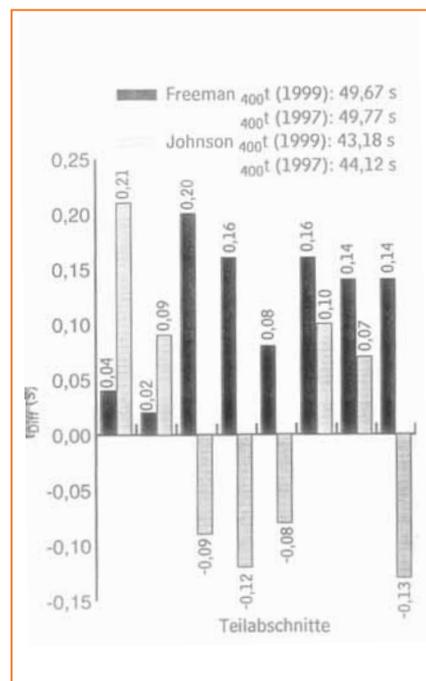


Fig. 5 - Perdita del vantaggio ottenuto.

più sui successivi, in rettilineo. All'inizio dell'ultima curva il guadagno di tempo era leggermente minore, ma rimane molto costante per ogni tratto.

In ambedue le gare Johnson ha raggiunto la sua velocità massima tra i 50 e i 100 metri che solo in questo tratto era superiore ai 10 m/s. Mentre nel 1997, alla fine rallentò di 0,22 m/s, due anni più tardi diminuì solo di 0,04 m/s, mantenendo quasi la sua massima velocità di corsa e ciò gli ha permesso di perdere meno tempo nei corrispondenti tratti successivi, riuscendo così a costruire ininterrottamente il suo vantaggio rispetto al 1997.

5. Discussione

Tre risultati della ricerca sono nuovi:

1. i quattrocentisti e le quattrocentiste di classe mondiale raggiungono la massima velocità non nel primo rettilineo, ma già nella prima curva.
2. La velocità diminuisce già sul primo rettilineo.
3. La diminuzione della velocità nella seconda metà della gara non avviene linearmente ed è molto marcata soprattutto negli ultimi 50 metri.

Queste correzioni derivano dal dimezzamento della lunghezza dei tratti per i quali si sono potute stabilire le velocità medie, cioè dal *metodo* di ricerca.

Ma non soltanto esso determina un'ulteriore contraddizione dei vecchi risultati: tra gli atleti e le atlete di classe mondiale i più forti non partono più velocemente come suggeriscono vecchi da-

Tab. 4 - Massime velocità medie parziali su tratti di 50 m in diverse distanze brevi

Disciplina	Maschi		Femmine	
	Risultato	V _{max} (m/s)	Risultato	V _{max} (m/s)
100 m	10,00	11,42	11,00	10,24
200 m	20,07	10,85	21,98	9,93
400 m	44,51	10,05	50,19	8,96

ti (Letzelter 1972; Schäfer 1989 e Letzelter, Steinmann 1990). Le ragioni di ciò sono chiare: tutte le precedenti analisi hanno confrontato gruppi di prestazioni che erano diverse tra loro molto di più dei 0,45 (maschi) o 0,70 (donne) dell'analisi dei Campionati Mondiali del 1997 e del 1999. Così, ad esempio, nei Giochi Olimpici del 1972 il distacco tra i gruppi di prestazione era comunque di 1,29 s (uomini) o persino 1,62 s (donne). Se si tiene conto non soltanto dei finalisti e delle finaliste, il dislivello dei risultati è ancora maggiore. Nei Campionati del Mondo del 1997 e del 1999 i primi sono separati dagli ottavi di 1,06, mentre nella ricerca sui Giochi Olimpici del 1972 di 2,90. Nelle donne ad un range di variazione di 1,15 se ne contrappone uno di 3,5. Che sia dimostrabile come non vi fosse equilibrio tra gli atleti e le atlete scelti nelle precedenti ricerche è provato inoltre da varianze eterogenee.

In gruppi omogenei come i finalisti dei Campionati Mondiali, nel tratto iniziale i migliori non sono ancora in testa, mentre quando vi sono maggiori differenze nella capacità di prestazione gli atleti o le atlete più veloci accelerano più intensamen-

te, e quindi conducono la gara già nella prima curva.

Ad ogni modo resta aperta la domanda di *quando* si raggiunge la massima velocità: all'inizio, al centro o alla fine dell'intervallo tra i 50 e i 100 metri? Oppure, addirittura leggermente prima? In questo caso è utile considerare l'andamento della velocità sui 200 (tabella 4) e, in particolare, il confronto tra i primi e i secondi 50 metri.

Vi sono molte ragioni per pensare, quindi, che la massima velocità al più tardi venga raggiunta dopo i 50. Questa ipotesi è sostenuta anche dal fatto che la massima velocità è chiaramente inferiore a quella dei 100 e 200. Sia sui 100 (Letzelter et al. 2000) sia sui 200 (Letzelter et al. 1995) il tratto con la massima velocità inizia già o prima del limite dei 50 e sui 200 al 43° metro (maschi) o al 36° metro (donne). Se si considera che la massima velocità sui 400 è notevolmente inferiore, non esiste alcuna prova che il tratto di accelerazione positiva sia più lungo che sui 200, anche se si ammette che su una distanza di lunghezza doppia atleti e atlete non partano fin dall'inizio con un impegno pieno.

Un ulteriore indizio che il tratto di accelerazione positiva fini-

sce prima del limite dei 50 metri è la differenza tra i due tempi parziali del primo e del secondo tratto della curva di partenza, $Dt = t_1 - t_2$ (s), che nei 400 è minore che nei 200. Mentre i finalisti dei Campionati Mondiali del 1987 hanno corso il secondo quarto 1,27 (uomini) e 1,25 (donne) più velocemente del primo, nei 400 questa differenza è 1,16 (uomini) e 1,11 (donne). Sui 200 la velocità media parziale nella seconda parte della curva negli uomini è di 2,31 m/s maggiore che nella prima parte, sui 400 metri è solo di 1,90 m/s, e nelle donne 1,89 contro 1,48 m/s. La relazione tra le velocità parziali e la velocità massima sui 100, 200, 400 è mostrata nella tabella 5.

Tabella 5 - Velocità parziali nei primi 50 m (A_1) in percentuale rispetto al tratto con velocità massima

Distanza	Maschi	Femmine
100 m	71,0	78,8
200 m	87,1	80,0
400 m	81,1	83,3

In base alle precedenti ricerche, e dalla pratica delle competizioni, è noto che l'impostazione del ritmo di gara varia individualmente da atleta ad atleta. Ciò si vede anche nel risparmio nei primi 200 e vale anche se si tiene conto delle differenze nelle capacità di sprint. Così il vincitore di Monaco, V. Matthews ($t_{400} = 44,6$) in confronto al suo record sui 200 si è risparmiato di 0,5 (Letzelter 1979), mentre M. Johnson con 21,22 è stato quasi due secondi più lento che in occasione del suo record sui 200 metri.

6. Conclusione

Rispetto alle analisi precedenti basate sulle velocità parziali su tratti di 100 metri, l'analisi dei Campionati Mondiali del 1997 e del 1999, basata sulle velocità parziali su tratti di 50 ha prodotto nuove conoscenze. Nella classe mondiale la massima velocità non si raggiunge solo sul primo rettilineo, ma già a metà della prima corsa. Inoltre, la velocità di corsa

diminuisce già dopo 100, dapprima leggermente poi maggiormente dopo i 200. Eclatante è soprattutto la perdita di velocità negli ultimi 50. A livello di classe internazionale non avviene che le migliori atlete e i migliori atleti si trovino in testa fin dalla partenza, cioè partano più velocemente. La selezione avviene solo nella seconda curva, dove si decide la gara. Gli atleti sono in vantaggio sulle atlete fin dalla partenza, mentre

dopo la prima curva gli uomini non si distinguono dalle donne per quanto riguarda la diminuzione della velocità. La maggiore capacità di prestazione degli atleti rispetto alle atlete sta nella forza di scatto e nella rapidità di sprint, non nella resistenza alla velocità. Già in partenza la loro accelerazione è maggiore, e ciò si evidenzia soprattutto in maggiore un guadagno dalla prima alla seconda parte della curva iniziale.

Bibliografia

- Brueggemann G. P., Koszewski D., Mueller H., (1999) Biomechanical research report Athens 1997, Oxford.
- Fuchs P., Lames M., (1990) Mathematische Modellierung des Wettkampfverhaltens im Sprint, *Leistungssport*, 20, 5, 35-41.
- Letzelter M., (1979) Zur theorie del 400 m-Laufs, Hochem.
- Letzelter M., (2002) Erfolgskontrolle als Pinzip: Wie valide ist die aktuelle Wettkampfdiagnostik im Sprint, in: Krug J., Minor H. J. (a cura di), *Trainingsprinzipien - Fundament der Trainingswissenschaft*, Colonia.
- Letzelter M., Steinmann W., (1990) Zur Tempogestaltung beim 400-m-Lauf der Maenner und Frauen, *Die Lehre der Leichtathletik*, 29, 2 e 3.

- Letzelter M., Letzelter H., Fuchs P., (1995) Geschwindikeitsgestaltung beim 200 m-Lauf, in: Boehmer D., Mueller N. (a cura di), *Leben in Bewegung. Festschrift zur Emeritierung von Prof. Dr. H. Hamann*, Niederhausen.
- Letzelter M., Letzelter S., Fuchs P., (2000) Prioritaetenkatalog der Sprintfaehigkeit in der Weltklasse, *Leistungssport*, 30, 6, 56-62.
- Ritzdord W., *Leichtathletik-WM* (1998) 1997 Athen: Biomechanische Unteersuchungen 400 m-Lauf, *Die Lehre der Leichtathletik*, 37, 17.
- Schaefer W., (1989) Zu leistungsstrukturellen Elemente der 400-m-Wettkampfleistung und ihrer komplexen trainingsmethodische Realisierung, *Die Lehre der Leichtathletik*, 28, 13 e 14.

Traduzione di Mario Gulinelli da LEISTUNGSSPORT n. 6/2003, titolo originale: GESCHWINDIGKEITSVERLAUF UEBER 400 m IN DER WELTKLASSE.

Gli Autori: Stefan Letzelter, Insegnante incaricato di atletica leggera dell'Università di Mainz, Campione Tedesco sui 400 m nel 1998, dal 1998 rappresentante degli atleti nella Federazione tedesca di atletica leggera, dal 2002 facente funzione di Presidente del Consiglio degli atleti nella Federazione tedesca degli sport e membro del Comitato olimpico tedesco; Ralf Eggers, diplomato in scienza dello sport e collaboratore dell'Università di Mainz, come nuotatore vice campione d'Europa, Campione e recordman nazionale, allenatore. Indirizzo degli Autori: Stefan Letzelter, Suedring 285, 55128, Mainz