

# LA TECNICA DI CORSA VELOCE DI CATHY FREEMAN

## UN'ANALISI BIOMECCANICA

### **Milan Coh**

*Facoltà dello Sport, Università di  
Lubjana, Slovenia*

### **Peter Klavora**

*Facoltà di Educazione Fisica e della  
Salute, Università di Toronto, Canada*

### **Profilo dell'atleta**

#### **CATHERINE FREEMAN**

##### **Nata:**

il 16 Febbraio, 1973

##### **Luogo di nascita:**

Mackay, Australia

##### **Residenza:**

Melbourne, Australia

##### **Allenatore/Precedente allenatore:**

Peter Fortune / Raelene Boyle

##### **Società:**

Ringwood AC

##### **Altezza:**

164 cm

##### **Peso:**

52 kg

##### **Gare e personali:**

100 m - 11.24

200 m - 22.25

400 m - 48.63

4 x 400 m - 3:23.81

### **Introduzione**

Cathy Freeman, una discendente degli aborigeni australiani, è divenuta senza dubbio una delle più grandi leggende nelle ultime Olimpiadi di Sydney. La sua corsa finale e la vittoria sui 400m, davanti a più di 100.000 spettatori entusiasti nello stadio Australia, sono entrate per sempre negli annali dell'atletica leggera mondiale. E' stata capace di sopportare la tensione nervosa ed ha giustificato le grandi aspettative del pubblico locale. L'atleta si è preparata in maniera molto accurata per i Giochi Olimpici di Sydney nella stagione preolimpica 1999. Ha partecipato a competizioni in numerose nazioni. Fra l'altro è stata presente al meeting internazionale "Grand Prix - Lubjana 1999" in Slovenia. Ha preso parte ai 200m e si è piazzata terza con il risultato di 23"70. In questo modo si è presentata un'opportunità di studiare la tecnica di corsa di questa eccezionale atleta. L'obiettivo di questo studio è stato quello di stabilire alcuni dei parametri biomeccanici più importanti della sua tecnica di corsa, attraverso l'analisi video tridimensionale.

Il risultato sia nei 200 che nei 400 metri dipende da numerosi fattori. Fra essi quelli fisiologici e biomeccanici sono senza dubbio i più importanti. Dal punto di vista biomeccanico la velocità di corsa è definita dalla frequenza del passo e dalla lunghezza dell'appoggio. I due param-

tri sono reciprocamente interconnessi e definiti nella forma di uno stereotipo motorio individuale. L'efficacia della corsa di velocità dipende proprio da un rapporto ottimale tra i due parametri. Per studiare i parametri cinematici dell'appoggio di Cathy Freeman, abbiamo utilizzato il sistema di analisi video ARIEL 3 - D (Ariel Dynamics inc., USA). Con due videocamere SONY - DSR - 300 PK sincronizzate ad una frequenza di 50 Hz, abbiamo registrato la corsa dei 200m. nella sezione dai 100 ai 120 metri. Le telecamere erano state piazzate ad un angolo di 90 gradi rispetto all'oggetto registrato. Nella procedura dell'analisi biomeccanica è stato digitalizzato un modello di 15 segmenti dell'atleta. La massa e il baricentro dei segmenti e il comune centro di gravità (CG) sono stati calcolati seguendo il modello antropologico (Dempster, 1985). Tutti i parametri cinematici sono stati filtrati con il filtro Buterworh di 7° grado.

### **Risultati dello studio**

Lo scopo fondamentale era quello di stabilire ed analizzare i fattori principali dell'economia della locomozione nella corsa di velocità. Nella procedura dell'analisi tridimensionale cinematica è stato considerato un doppio appoggio di corsa.

I risultati nella Tabella 1 mostrano le caratteristiche cinematiche dell'appoggio della corsa di Cathy Freeman nella sezione tra i 100 e i

120m. In questa competizione l'atleta ha ottenuto il risultato di 23"70. La sua velocità media è stata di 9,44 m/s<sup>-1</sup>, con una frequenza media di appoggi di 3,76Hz ed una lunghezza media del passo di 2,24 metri. La distanza di 200m è stata coperta in 89,16 passi. Il rapporto tra la lunghezza e la frequenza dei passi è strettamente legata all'individuo, essendo condizionata e dipendente dalle caratteristiche morfologiche, dalle abilità motorie e funzionali, e naturalmente anche dal modello tecnico di corsa. Senza dubbio la statura condiziona in maniera significativa la lunghezza del passo. Partendo dalla statura di Cathy Freeman (1,64cm.) possiamo

stabilire il suo indice relativo di lunghezza del passo e l'indice relativo di frequenza del passo. L'indice di lunghezza relativa del passo (IRL= lunghezza del passo/statura) è 1,36, che è ottimale se comparato con altri studi simili su questo aspetto (Cavanagh, Williams, 1982; Brüggemann, Glad, 1980). L'indice di frequenza relativa (IRF = Hz x statura) è di 6.16, che risulta essere un valore sostanzialmente più basso rispetto a quello raggiunto da alcune atleti che sono specialiste della corsa dei 200m. (M. Jones 6.88, P. Thompson 6.79). I tempi medi di contatto raggiungono 101 millisecondi e i tempi medi della fase di volo 146 millisecondi. La relazione

tra le due componenti dell'appoggio di corsa veloce (indice di attività = tempo di contatto/ tempo di volo) è molto favorevole ed evidenzia una biomeccanica razionale del passo. Tuttavia per stabilire una tecnica razionale di corsa non è importante solo il tempo della fase di contatto – che dovrebbe essere il più breve possibile (Mann, Sprague, 1980; Mero, Komi, 1992) – ma soprattutto il rapporto tra la fase frenante e la fase propulsiva che definiscono la fase di contatto. La fase frenante deve essere quanto più breve possibile, ciò dipende dalla distanza orizzontale tra il punto di contatto e la proiezione del baricentro. Nell'atleta questa distanza raggiunge 0,37m.

La massima riduzione possibile della fase frenante e quindi il minor impulso frenante della forza di reazione del suolo può essere ottenuta ponendo il piede di stacco vicino alla proiezione verticale del CG sul terreno. Quanto più è grande l'impulso frenante della forza di reazione sul terreno, tanto più pronunciata è la caduta della velocità orizzontale nella fase di contatto nell'appoggio della corsa veloce. In Cathy Freeman la velocità orizzontale al momento del posizionamento del piede della gamba di stacco sul terreno è di 8,77 m/s<sup>-1</sup>, mentre alla fine della fase di contatto, la velocità orizzontale è di 8.87 m/s<sup>-1</sup> (Figura 1). La riduzione della velocità è di 0.10 m/s<sup>-1</sup>, ovvero dell'1,2%, dato che evidenzia una tecnica eccezionalmente razionale della sua corsa veloce. Sulla base di alcuni studi (Cavagna, Komarek, Mazzoleni 1971; Mero, Komi, Gregor, 1992) possiamo stabilire che l'atleta stacca il piede ad un angolo ottimale di spinta, che è di 62,3 gradi. La distanza dell'azione della forza di spinta nella fase di propulsione è di 0.49 m.

La velocità di movimento della gamba libera gioca un ruolo notevole nell'economia di locomozione nella corsa di velocità (Figura 2). Per un

*Tabella 1 - Parametri cinematici dell'appoggio di corsa veloce – Cathy Freeman: 200 m*

<b>Variabile</b>	<b>R</b>
Risultato 200 m (s)	23.70
Velocità (m/s <sup>-1</sup> )	8.44
Vento (m/s <sup>-1</sup> )	+ 1.4
Lunghezza del passo (m)	2.24
Numero passi (N.)	89.16
Frequenza del passo (Hz)	3.76
Angolo di posizionamento della gamba nella fase frenante (gradi)	68.5
Angolo di spinta (gradi)	62.3
Proiezione orizzontale del CG nella fase frenante (m)	0.37
Proiezione orizzontale del CG nella fase di propulsione (m)	0.49
Velocità orizzontale del CG nella fase frenante (m/s <sup>-1</sup> )	8.77
Velocità verticale del CG nella fase frenante (m/s <sup>-1</sup> )	- 0.75
Velocità risultante del CG nella fase frenante (m/s <sup>-1</sup> )	8.80
Velocità orizzontale del CG nella fase di propulsione (m/s <sup>-1</sup> )	8.87
Velocità verticale del CG nella fase di propulsione (m/s <sup>-1</sup> )	0.72
Velocità risultante del CG nella fase di propulsione (m/s <sup>-1</sup> )	8.90
Altezza del CG nella fase frenante (m)	0.97
Altezza del CG nella fase di propulsione (m)	0.98
Distanza dell'azione sul CG nella fase di contatto (m)	0.86
Velocità dell'arto libero nella fase frenante (m/s <sup>-1</sup> )	13.80
Velocità dell'arto libero nella fase di propulsione (m/s <sup>-1</sup> )	14.72
Velocità di presa del piede (m/s <sup>-1</sup> )	5.20
Velocità angolare della coscia nella fase di propulsione (grad/s <sup>-1</sup> )	326.40
Fase di contatto (ms)	101
Fase di volo (ms)	146

efficace appoggio nello sprint, sono di grande importanza la velocità orizzontale del piede dell'arto libero nella fase di contatto ed un'alta velocità di presa nella fase di propulsione. L'arto libero (coscia-gamba-piede) è l'unico segmento che produce la forza propulsiva in avanti nella fase frenante. In Cathy Freeman, la velocità media orizzontale del piede nella fase frenante è di  $13,8 \text{ m/s}^{-1}$ , mentre nella fase propulsiva questa velocità aumenta di  $0,92 \text{ m/s}^{-1}$ . Possiamo quindi stabilire che la forza orizzontale del piede nella fase propulsiva è 1,7 volte maggiore della velocità orizzontale del baricentro. Il raggiungimento di un'alta velocità di presa di contatto attiva del piede che sta dietro verso la proiezione verticale del baricentro è una delle questioni fondamentali della biomeccanica della corsa di velocità. La velocità dell'azione di contatto attiva genera la frequenza del passo e allo stesso tempo permette che vi sia

la minore perdita possibile nella forza orizzontale del baricentro. Un'alta velocità dell'azione di contatto attiva dipende in primo luogo dalla velocità di oscillazione posteriore. Questo lavoro viene eseguito soprattutto dai muscoli ischio-crurali. (Lehmann, Voss, 1998). Nel nostro studio abbiamo stabilito che la velocità massima angolare di oscillazione posteriore dell'atleta è più di  $400 \text{ grad/s}^{-1}$  (Figura 3). La ricerca (Lehmann, Voss, 1997) ha dimostrato che questi valori vanno da 600 a  $800 \text{ grad/s}^{-1}$  negli sprinter che raggiungono velocità massimali da  $10,30$  a  $10,60 \text{ m/s}^{-1}$ .

L'economia della tecnica dello sprint è fortemente connessa con le oscillazioni verticali del baricentro. Esiste un'ipotesi che in una corsa biomeccanicamente più razionale, le oscillazioni verticali del baricentro siano minori. Nei corridori dei 200m e dei 400m queste oscillazioni sono mino-

ri che negli atleti che corrono i 100m (Ito, Suzuki, 1992). In Cathy Freeman, l'altezza del baricentro all'inizio della fase di ammortizzazione è la stessa di quella della fine della fase propulsiva ( $0,97 \text{ m}$ ). Il punto più alto del baricentro ha luogo nella fase di volo e arriva a  $1,02 \text{ m}$ , mentre il punto più basso del baricentro si verifica nella fase di massima ammortizzazione del ginocchio della gamba di spinta e arriva a  $0,94 \text{ m}$ . La massima oscillazione verticale del baricentro dell'atleta è quindi  $0,08 \text{ m}$ . L'altezza del baricentro nella fase di massima ammortizzazione dell'angolo nel ginocchio della gamba di stacco può essere connessa con un'adeguata e selettiva pre attivazione degli estensori del ginocchio (m. rectus femoris, m. vastus lateralis), che può essere preprogrammato e stimolato dai centri superiori del sistema nervoso centrale. Come conseguenza dell'alta preattivazione, la "stiffness" viene incrementata, permettendo ai muscoli di opporsi efficacemente alla forza della reazione sul terreno nella fase di contatto. Il punto più alto della traiettoria del movimento del baricentro dipende soprattutto dall'angolo di elevazione ( $4,79$  gradi) e dal rapporto tra la velocità verticale ed orizzontale del baricentro alla fine della spinta. La velocità orizzontale del baricentro è anche 12,3 volte più alta della velocità verticale che arriva a solo  $0,72 \text{ m/s}^{-1}$ . Ciò evidenzia che l'atleta si stacca dal terreno ad un angolo ottimale di spinta e che utilizza in maniera molto efficiente la forza dell'impulso di spinta.

Figura 1 – Parametri cinematici dell'appoggio nello sprint  
Cathy Freeman (200m - 23,70s)

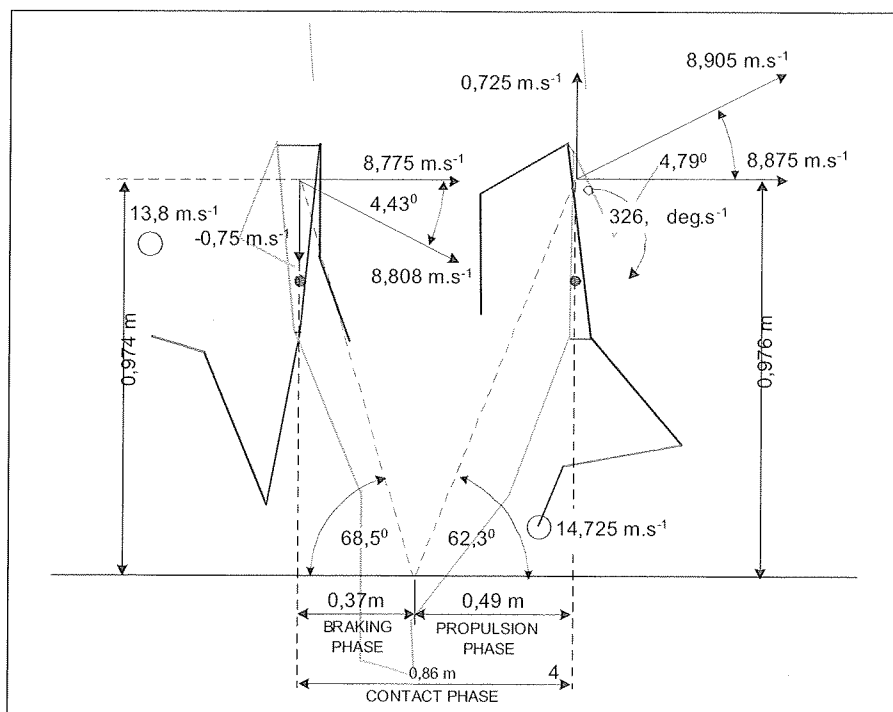
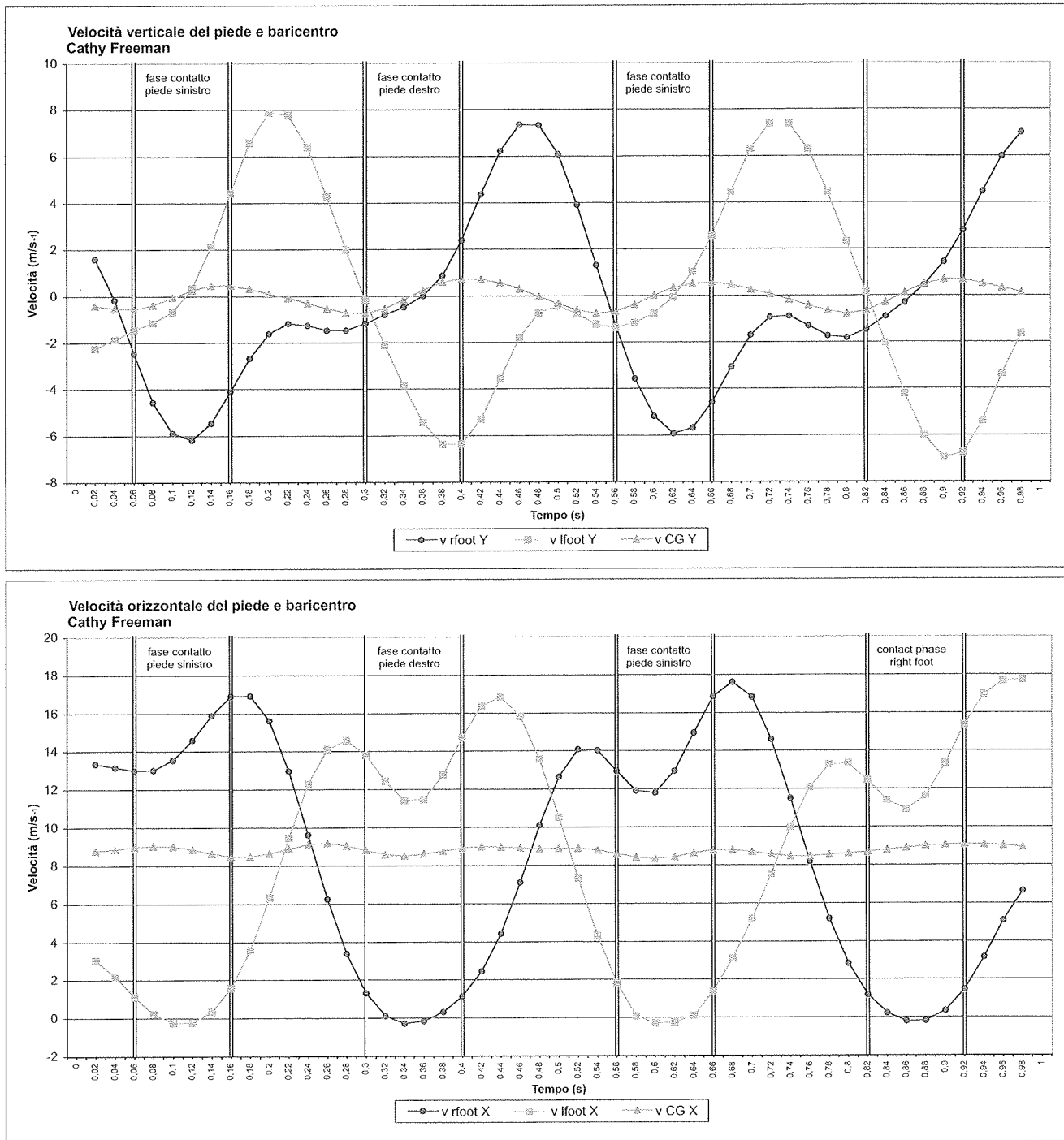


Figura 2 – Velocità verticale e orizzontale del baricentro e del piede nella fase di contatto e di volo - Cathy Freeman (200m - 23,70s)



$v_{CG Y}$  - velocità del baricentro sull'asse Y  
 $v_{rfoot Y}$  - velocità del piede destro sull'asse Y  
 $v_{lfoot Y}$  - velocità del piede sinistro sull'asse Y

$v_{CG X}$  - velocità baricentro sull'asse X  
 $v_{rfoot X}$  - velocità del piede destro sull'asse X  
 $v_{lfoot X}$  - velocità del piede sinistro sull'asse X

Figura 3

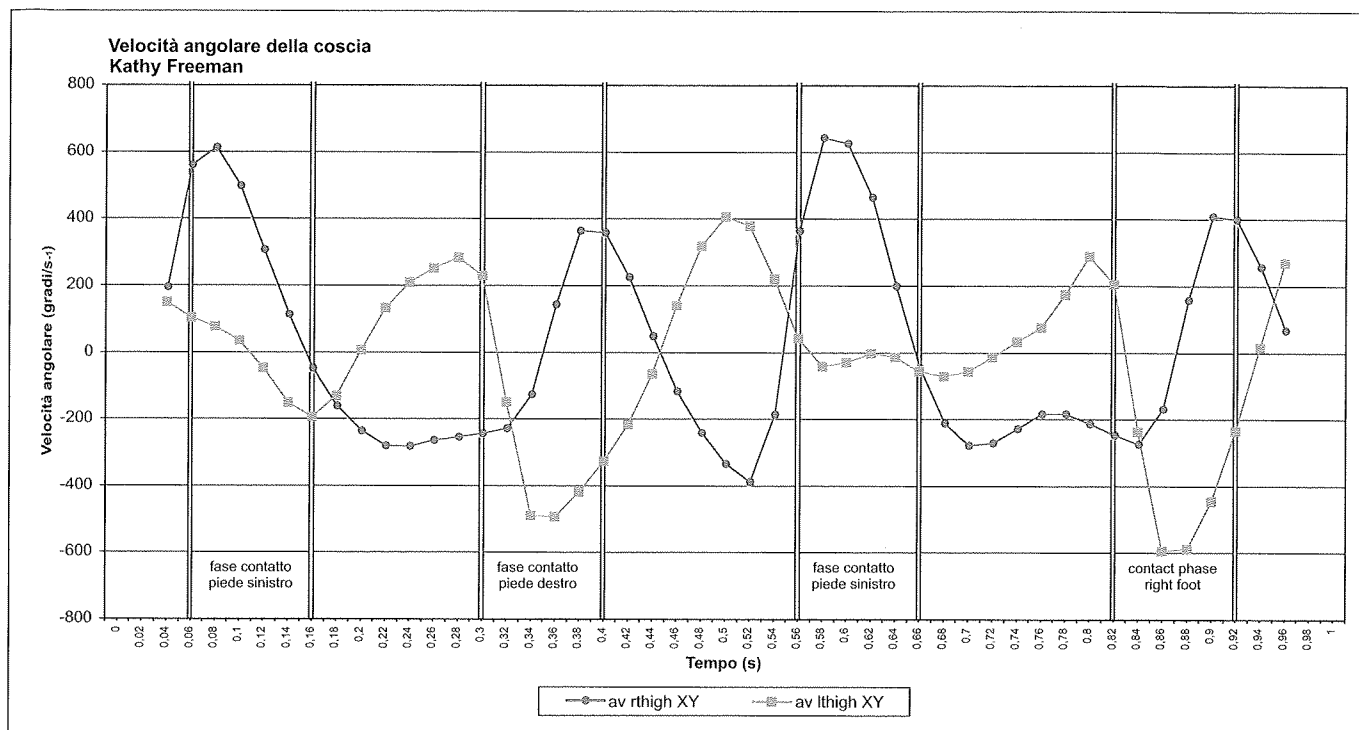


Figura 4

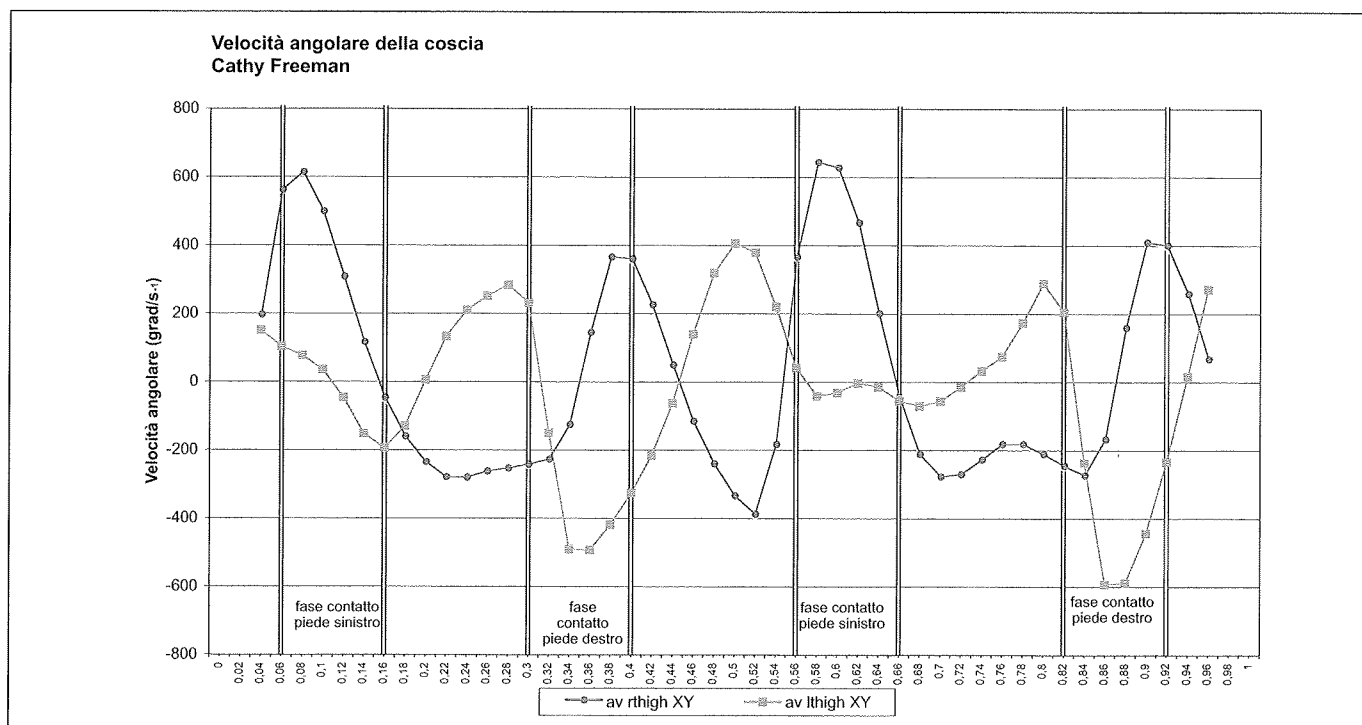


Figura 5

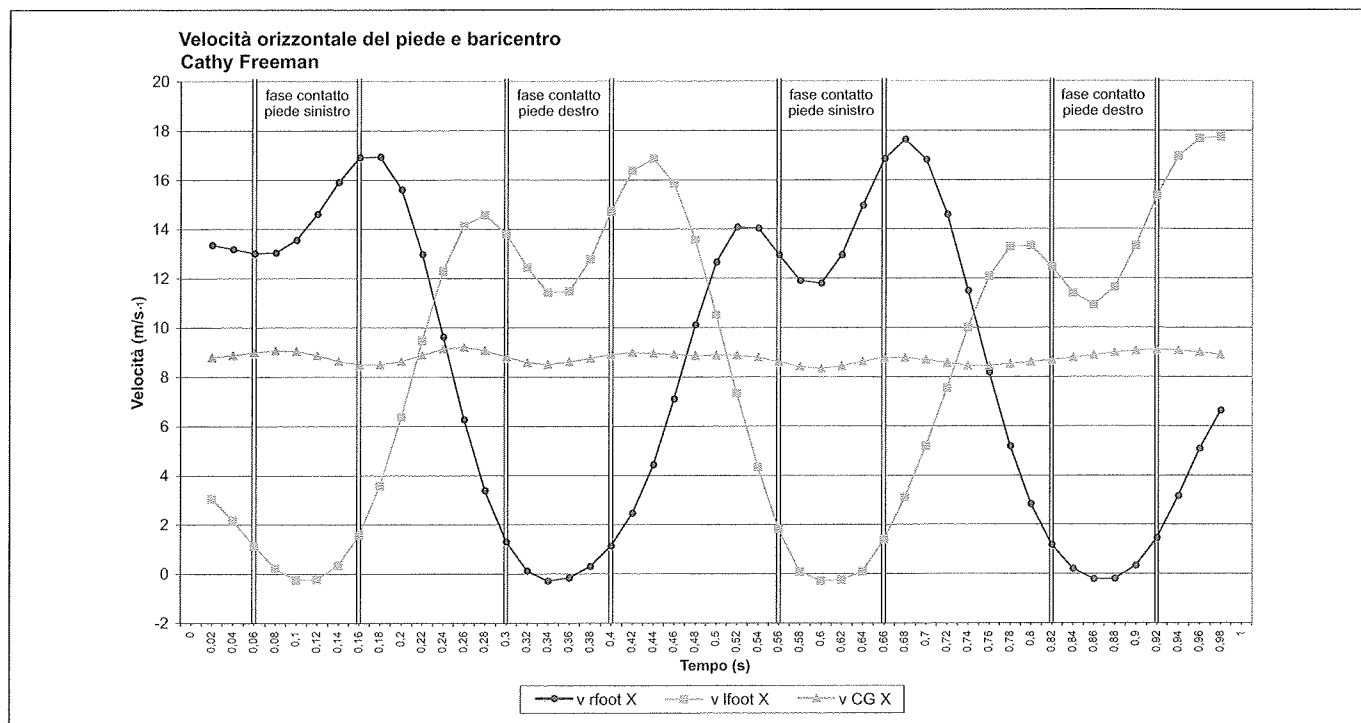
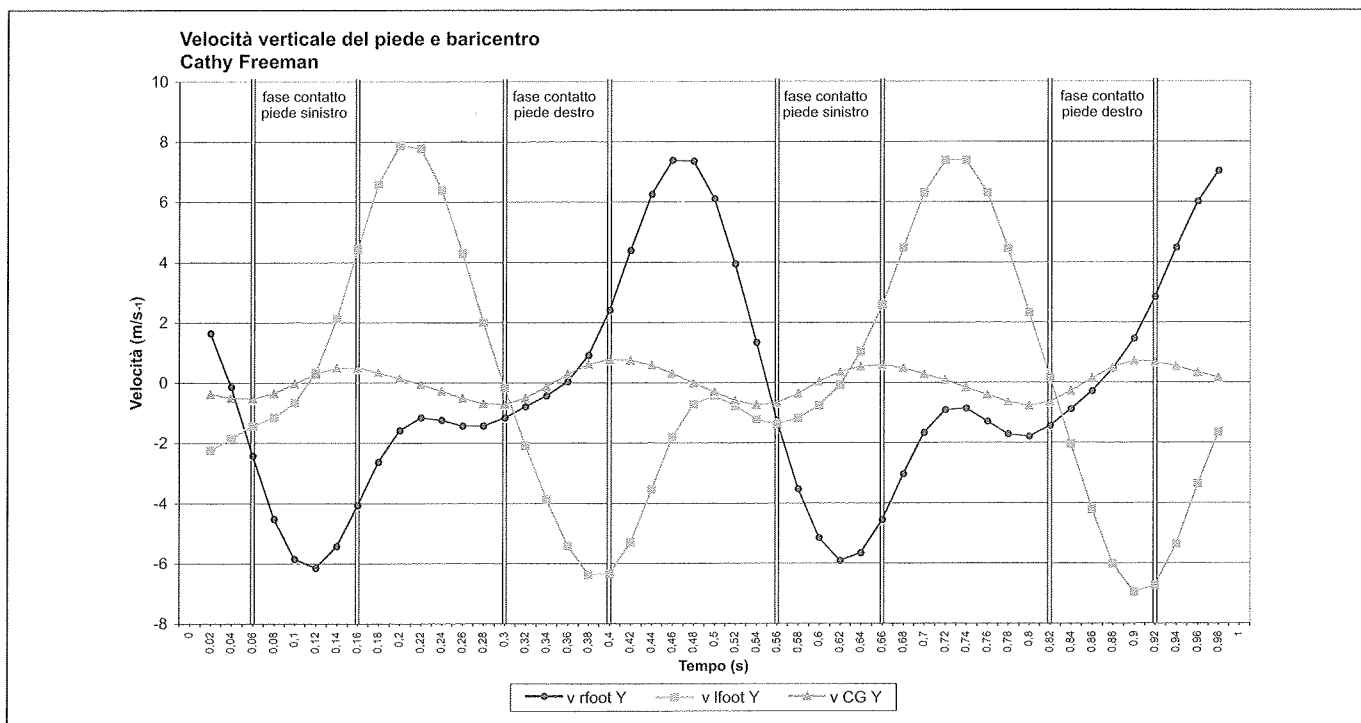


Figura 6



HOR						VER			KOTNAHTE			TT [m/s]					
št.sl.	t [s]	v rfoot X	v lfoot X	v CG X		v rfoot Y	v lfoot Y	v CG Y	av rhigh XY	av lhigh XY		19 -v TTX	20 -v TTY	21 -v TTXVZ		s TTY	
št.sl.	t [s]														0	0	
1	0													1,029	-219,412	219,412	
2	0,02	13,325	3,05	8,75		1,6	-2,25	-0,425				8,75	-0,425	8,76	1,022	-150,074	150,074
3	0,04	13,15	2,175	8,825		-0,175	-1,85	-0,55	191,708	150,074		8,825	-0,55	8,842	1,012	-102,699	102,699
4	0,06	12,975	1,125	8,95	900	-2,475	-1,45	-0,575	557,77	102,699		8,95	-0,575	8,969	1	-77,084	77,084
5	0,08	13	0,225	9,025		-4,575	-1,15	-0,4	610,358	77,084		9,025	-0,4	9,034	0,989	-35,267	35,267
6	0,1	13,525	-0,25	9		-5,9	-0,675	-0,075	494,816	35,267		9	-0,075	9	0,984	46,576	-46,576
7	0,12	14,575	-0,225	8,825		-6,2	0,35	0,25	303,978	-46,576		8,825	0,25	8,829	0,986	151,205	-151,205
8	0,14	15,875	0,35	8,6		-5,475	2,125	0,45	111,445	-151,205		8,6	0,45	8,614	0,994	194,758	-194,758
9	0,16	16,875	1,575	8,45	900	-4,125	4,425	0,45	-50,896	-194,758		8,45	0,45	8,466	1,004	130,446	-130,446
10	0,18	16,9	3,575	8,45		-2,675	6,6	0,3	-165,135	-130,446		8,45	0,3	8,459	1,012	-6,156	6,156
11	0,2	15,575	6,35	8,6		-1,625	7,875	0,1	-239,492	6,156		8,6	0,1	8,601	1,016	-132,785	132,785
12	0,22	12,95	9,475	8,85		-1,2	7,775	-0,1	-283,092	132,785		8,85	-0,1	8,852	1,016	-209,609	209,609
13	0,24	9,6	12,3	9,1		-1,275	6,4	-0,325	-284,561	209,609		9,1	-0,325	9,114	1,012	-251,281	251,281
14	0,26	6,225	14,125	9,175		-1,475	4,3	-0,55	-266,635	251,281		9,175	-0,55	9,202	1,003	-283,083	283,083
15	0,28	3,35	14,575	9,025		-1,475	2	-0,725	-258,152	283,083		9,025	-0,725	9,061	0,99	-230,403	230,403
16	0,3	1,275	13,8	8,775	900	-1,2	-0,175	-0,75	-246,774	230,403		8,775	-0,75	8,808	0,974	150,341	-150,341
17	0,32	0,075	12,45	8,55		-0,825	-2,1	-0,55	-232,192	-150,341		8,55	-0,55	8,568	0,96	490,584	-490,584
18	0,34	-0,325	11,425	8,475		-0,475	-3,875	-0,175	-129,732	-490,584		8,475	-0,175	8,48	0,952	493,645	-493,645
19	0,36	-0,2	11,475	8,575		0	-5,425	0,25	139,641	-493,645		8,575	0,25	8,582	0,953	419,042	-419,042
20	0,38	0,275	12,775	8,725		0,875	-6,375	0,575	361,872	-419,042		8,725	0,575	8,745	0,962	326,422	-326,422
21	0,4	1,1	14,725	8,875	900	2,375	-6,35	0,725	356,309	-326,422		8,875	0,725	8,905	0,976	216,128	-216,128
22	0,42	2,425	16,375	8,95		4,35	-5,3	0,7	221,641	-216,128		8,95	0,7	8,978	0,991	63,195	-63,195
23	0,44	4,4	16,85	8,925		6,225	-3,55	0,55	45,008	-63,195		8,925	0,55	8,942	1,004	-140,419	140,419
24	0,46	7,075	15,85	8,875		7,35	-1,8	0,275	-120,326	140,419		8,875	0,275	8,879	1,013	-318,322	318,322
25	0,48	10,075	13,575	8,825		7,325	-0,725	-0,05	-243,891	318,322		8,825	-0,05	8,825	1,015	-405,41	405,41
26	0,5	12,625	10,525	8,85		6,075	-0,45	-0,35	-337,504	405,41		8,85	-0,35	8,857	1,011	-378,867	378,867
27	0,52	14,05	7,325	8,85		3,9	-0,775	-0,625	-391,932	378,867		8,85	-0,625	8,873	1,001	-220,798	220,798
28	0,54	14	4,325	8,75		1,3	-1,225	-0,775	-188,118	220,798		8,75	-0,775	8,787	0,986	-41,331	41,331
29	0,56	12,925	1,825	8,575	900	-1,3	-1,375	-0,7	362,242	41,331		8,575	-0,7	8,605	0,97	42,307	-42,307
30	0,58	11,875	0,075	8,375		-3,575	-1,175	-0,4	640	-42,307		8,375	-0,4	8,385	0,958	31,471	-31,471
31	0,6	11,775	-0,29	8,3		-5,2	-0,75	0	624	-31,471		8,3	0	8,3	0,954	2,84	-2,84
32	0,62	12,925	-0,25	8,4		-5,95	-0,075	0,325	462,68	-2,84		8,4	0,325	8,407	0,958	14,254	-14,254
33	0,64	14,925	0,1	8,6		-5,7	1,025	0,5	196,82	-14,254		8,6	0,5	8,615	0,967	55,924	-55,924
34	0,66	16,825	1,4	8,75	900	-4,6	2,575	0,55	-49,081	-55,924		8,75	0,55	8,767	0,978	71,571	-71,571
35	0,68	17,6	3,1	8,75		-3,075	4,475	0,45	-215,331	-71,571		8,75	0,45	8,762	0,989	56,451	-56,451
36	0,7	16,8	5,175	8,65		-1,7	6,3	0,25	-281,137	-56,451		8,65	0,25	8,654	0,996	14,687	-14,687
37	0,72	14,575	7,55	8,525		-0,95	7,375	0,05	-274,415	-14,687		8,525	0,05	8,525	0,999	-32,785	32,785
38	0,74	11,475	10	8,425	-0,9	7,375	-0,2	-232,201	32,785			8,425	-0,2	8,427	0,998	-74,873	74,873
39	0,76	8,15	12,075	8,425	-1,325	6,3	-0,45	-186,407	74,873			8,425	-0,45	8,437	0,991	-172,969	172,969
40	0,78	5,15	13,275	8,5	-1,75	4,45	-0,675	-186,064	172,969			8,5	-0,675	8,527	0,98	-288,669	288,669
41	0,8	2,8	13,325	8,575	-1,825	2,325	-0,8	-216,006	288,669			8,575	-0,8	8,614	0,964	-204,771	204,771
42	0,82	1,15	12,475	8,65	900	-1,475	0,15	-0,675	-249,426	204,771		8,65	-0,675	8,679	0,948	237,805	-237,805
43	0,84	0,175	11,4	8,75	-0,925	-2,05	-0,325	-277,835	-237,805			8,75	-0,325	8,758	0,937	593,155	-593,155
44	0,86	-0,25	10,925	8,85	-0,325	-4,225	0,1	-171,874	-593,155			8,85	0,1	8,851	0,935	588,879	-588,879
45	0,88	-0,225	11,625	8,95	0,425	-6,025	0,475	154,45	-588,879			8,95	0,475	8,963	0,941	444,3	-444,3
46	0,9	0,3	13,325	9,025	1,425	-6,975	0,675	405,25	-444,3			9,025	0,675	9,05	0,954	234,939	-234,939
47	0,92	1,425	15,35	9,075	900	2,8	-6,75	0,65	396,976	-234,939		9,075	0,65	9,098	0,968	-15,283	15,283
48	0,94	3,125	16,95	9,05	4,45	-5,375	0,5	254,186	15,283			9,05	0,5	9,064	0,98	-271,201	271,201
49	0,96	5,05	17,675	8,975	5,975	-3,375	0,3	63,814	271,201			8,975	0,3	8,981	0,988	-447,436	447,436
50	0,98	6,6	17,75	8,875	7	-1,65	0,125					8,875	0,125	8,878	0,992	0	0
51	1													0,993			

## Bibliografia

Bruggemann G.P., Glad B. (1990) Time analysis of the sprint events. Scientific research project at the games of the XXXIV Olympiad - Seoul 1988 - final report. *New Studies in Athletics*, suppl.

Cavagna G.A., Komarek L., Mazzoleni S. (1971) The mechanics of sprint running. *Journal of Physiology*; 217, pp. 709-721.

Cavanagh P.R., Williams K.R. (1982) The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running. *Medicine and Science in Sport Exercise*, 14(1), pp. 30-35.

Dempster W.T. (1985) Space requirements of the seated operator. WADC Technical Report, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, pp. 55-159.

Ito A, Suzuki M. (1992) The mens 100 metres. *New Studies in Athletics*, n. 4, pp. 47-52.

Lehmann F., Voss G. (1997) Innovationen fuer den Sprint und Sprung: "ziehende Gestaltung der Stuetzphasen - Teil 1. *Leistungssport*, n. 6, pp. 20-25.

Lehmann F, Voss G. (1998) Innovationen fuer den Sprint und Sprung: "ziehende Gestaltung der Stuetzphasen - Teil 2. *Leistungssport*, 1, pp. 18-22.

Mann R, Sprague P. (1980) A kinetic analysis of the ground leg during sprint running. *Research Quarterly for exercise and sport*, n. 51, pp. 334-348.

Mero A, Komi P.V., Gregor R.J. (1992) Biomechanics of Sprint Running. *Sport Medicine*; 13(6), pp. 376-392.

<http://sydney.nbcolympics.com/bios>

