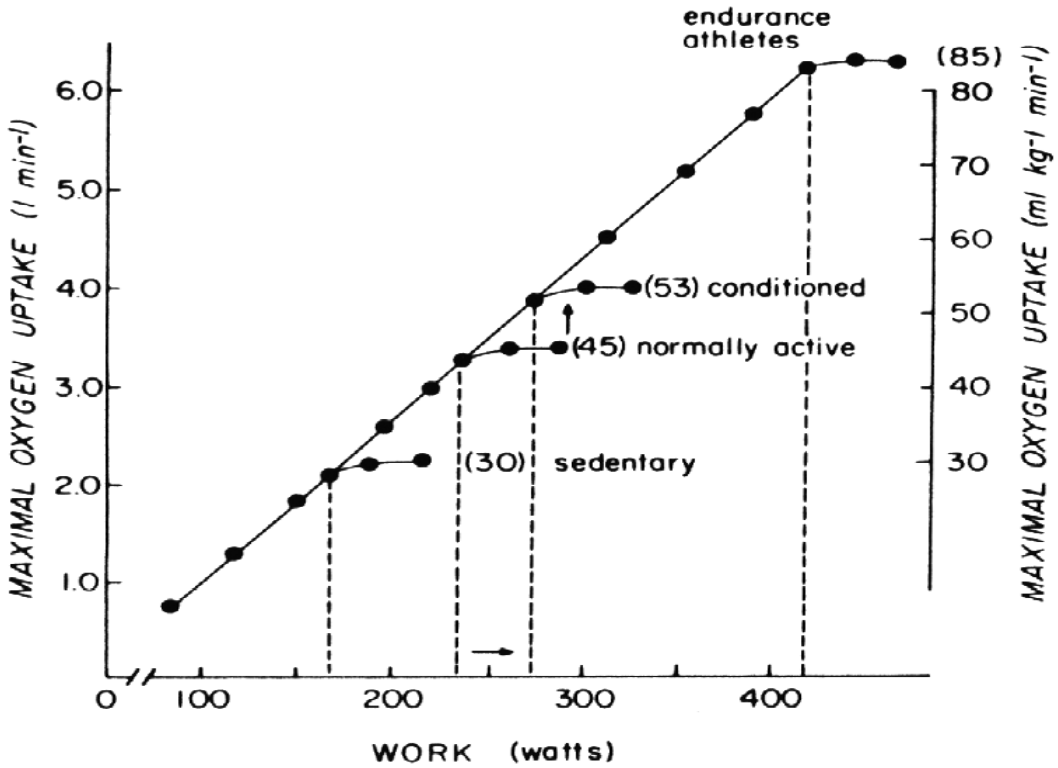
Risposte fisiologiche in diversi sport ciclici

Fisiologia della prestazione sportiva

Università degli Studi di Verona
Scienze Motorie
aa 2012-1013


endurance athletes
(85)
(53) conditioned
(45) normally active
(30) sedentary
MAXIMAL OXYGEN UPTAKE (l min⁻¹)
MAXIMAL OXYGEN UPTAKE (ml kg⁻¹ min⁻¹)
WORK (watts)
0
100
200
300
400
1.0
2.0
3.0
4.0
5.0
6.0
30
40
50
60
70
80

Le caratteristiche fisiologiche non sono le uniche che condizionano il risultato di una gara, ma sicuramente esse contribuiscono in maniera importante.

L’entità del contributo dipende dallo specifico sport.

Fattori fisiologici negli sport

- Impegno cardiaco (esercizio statico vs dinamico)
- Impegno metabolico (aerobico vs anaerobico)
- Muscoli utilizzati (arti inferiori, superiori, tronco)
- Carichi (gravità vs resistenze d'attrito)
- Efficienza meccanica (W/VO_2) [KJoule] (17-26%)
- Stress psicologico

Variabili fisiologiche importanti

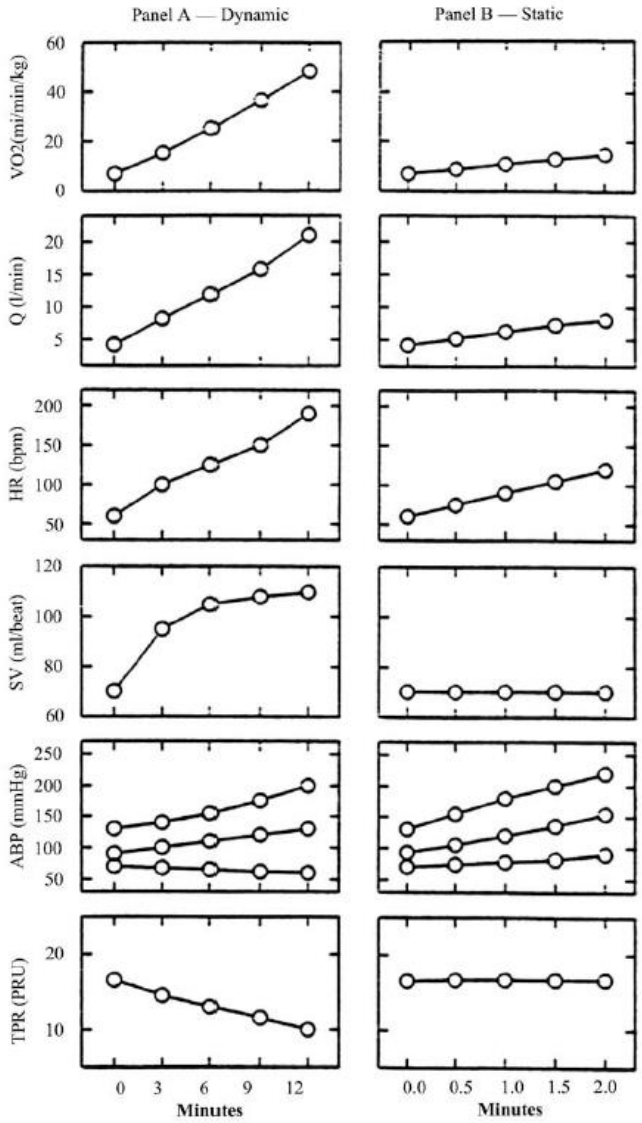
- $V'O_2$ max
  - Assoluto
  - Relativo al peso
- $V'O_2$ medio di gara
- Frequenza cardiaca
  - Massima
  - Media di gara
- Soglia del Lattato
- Lattatemia
- Economia del movimento

$$C = \frac{E'}{v}$$

C= costo energetico; E' = potenza metabolica; v= velocità

Impegno cardio-circolatorio

Differenze tra lavoro dinamico e lavoro statico



- Esercizio dinamico = carico di volume

  aumentano soprattutto il consumo di O_2, la gittata sistolica e la gittata cardiaca.

- Esercizio statico = carico di pressione

  aumentano soprattutto le resistenze periferiche e la pressione arteriosa

Dinamico non è necessariamente aerobico

Statico non è necessariamente anaerobico

Classificazione degli sport

Increasing Static Component	A. Low (<40% Max O_2)	B. Moderate (40-70% Max O_2)	C. High (>70% Max O_2)
III. High (>50% MVC)	Bobsledding/Luge*†, Field events (throwing), Gymnastics*†, Martial arts*, Sailing, Sport climbing, Water skiing*†, Weight lifting*†, Windsurfing*†	Body building*†, Downhill skiing*†, Skateboarding*†, Snowboarding*†, Wrestling*	Boxing*, Canoeing/Kayaking, Cycling*†, Decathlon, Rowing, Speed-skating*†, Triathlon*†
II. Moderate (20-50% MVC)	Archery, Auto racing*†, Diving*†, Equestrian*†, Motorcycling*†	American football*, Field events (jumping), Figure skating*, Rodeoing*†, Rugby*, Running (sprint), Surfing*†, Synchronized swimming†	Basketball*, Ice hockey*, Cross-country skiing (skating technique), Lacrosse*, Running (middle distance), Swimming, Team handball
I. Low (<20% MVC)	Billiards, Bowling, Cricket, Curling, Golf, Riflery	Baseball/Softball*, Fencing, Table tennis, Volleyball	Badminton, Cross-country skiing (classic technique), Field hockey*, Orienteering, Race walking, Racquetball/Squash, Running (long distance), Soccer*, Tennis

Increasing Dynamic Component

Fonte: American College of Cardiology

Sport considerati

- Corsa e marcia
- Ciclismo
- Sci
- Nuoto
- Canoa e canottaggio
- Calcio

CORSA

Corsa di resistenza

- Componente dinamica alta
- Componente statica moderata o bassa
- Contributo dei processi aerobici
  - 800 m: 40%
  - 1.500 m: 65%
  - Maratona: quasi 100%

- Consumo di O_2
  - V'_{O_2} max: 72,3 – 82 ml/min/kg (raggiunto in circa 45 sec)
  - V'_{O_2} medio in gara (a 20km/h): 67 – 71 ml/min/kg

Tempi record nella corsa ?

	Tempi	
Distanza	Uomini	Donne
800m	1:41.73	1:53.28
1500m	3:27.37	3:50.46
3000m	7:25.11	8:08.11
5000m	**12:44.39**	**14:36.45**
10000	26:43.53	29:31.78
21,098 mezza maratona	59:47	1:06.48
42,195 maratona	2:06:50	2:21:06

m/s--- Km/h

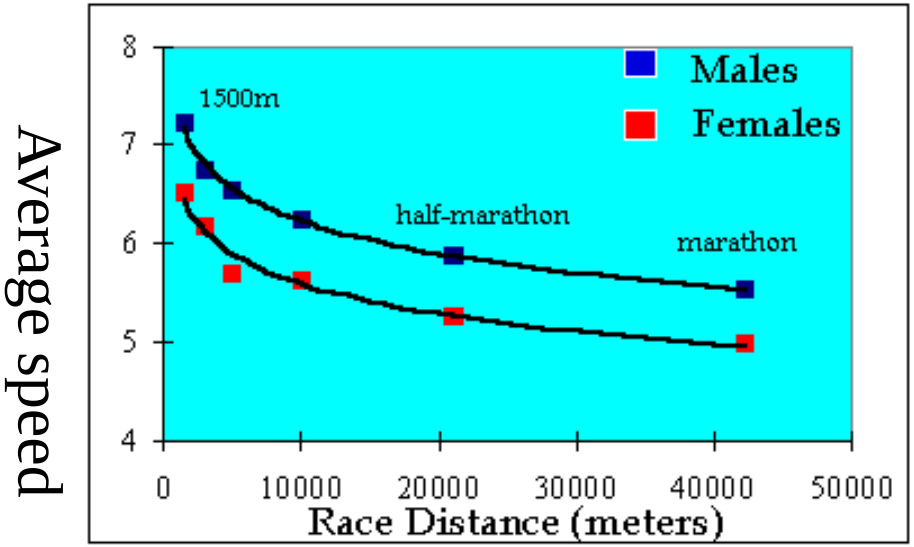
7.86---28.3
7.23---26.0
6.59---23.7

5.85---21.1

Record mondiali inverno 1996

Velocità medie

Distanza	Uomini m/s	Donne m/s
800	7.86	7.06
1500	7.23	6.51
3000	6.95	6.17
5000	**6.74**	**5.70**
10000	6.54	5.64
Mezza maratona	5.88	5.27
Maratona	5.54	4.98



Maschi: $Y = -0.4877 \ln(x) + 10.723$

Femmine: $Y = -0.4453 \ln(x) + 9.69$

Percentuale di $V'O_2$ max

- Corridori ben allenati corrono i 5.000 m a un'intensità che raggiunge il $V'O_2$ max
- Il $V'O_2$ max può essere sostenuto per 15-20 minuti

DISTANZA	% della velocità dei 5000 m	% di VO_2 max
1.500m	110	110*
3.000m	103	103*
5.000m	100	100
1/2 maratona	90	90
maratona	85	85

Tempi previsti

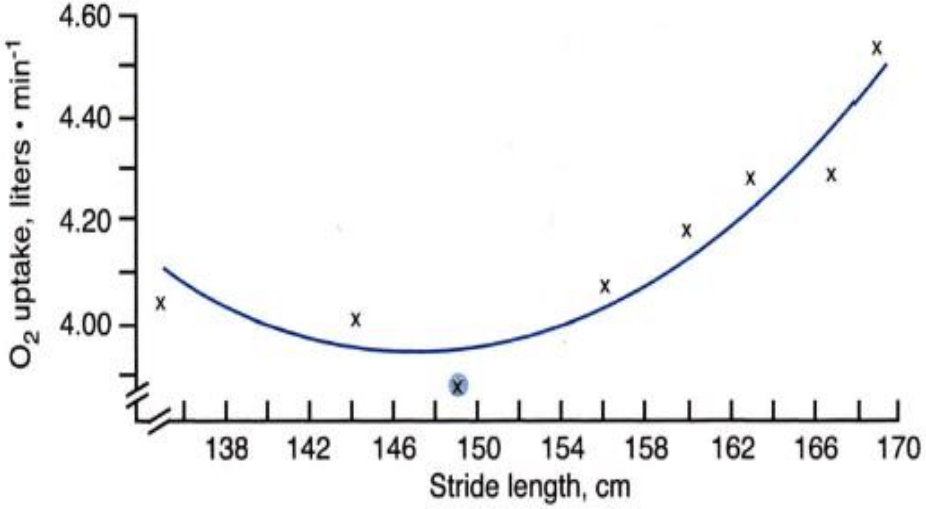
Tempo dei 5000 m (min)	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00
T. prevedibile per:								
1500 m	4:05	4:22	4:38	4:54	5:11	5:27	5:44	6:00
1620 m (1 miglio)	4:24	4:43	5:00	5:18	5:36	5:53	6:10	6:26
3000 m	8:44	9:18	9:54	10:29	11:05	11:39	12:14	12:48
10.000 m	31:35	33:40	35:48	37:53	40:03	42:06	44:12	46:19
1/2 maratona	1:06:59	1:14:59	1:19:43	1:24:22	1:29:12	1:33:45	1:38:27	1:43:09
maratona	2:28:50	2:38:48	2:48:45	2:58:41	3:08:53	3:18:35	3:28:30	3:38:25

La tabella permette di stimare (con approssimazione) la prestazione prevedibile in varie distanze di corsa, conoscendo il tempo dei 5.000 m

Efficienza del passo

Lunghezza ottimale:

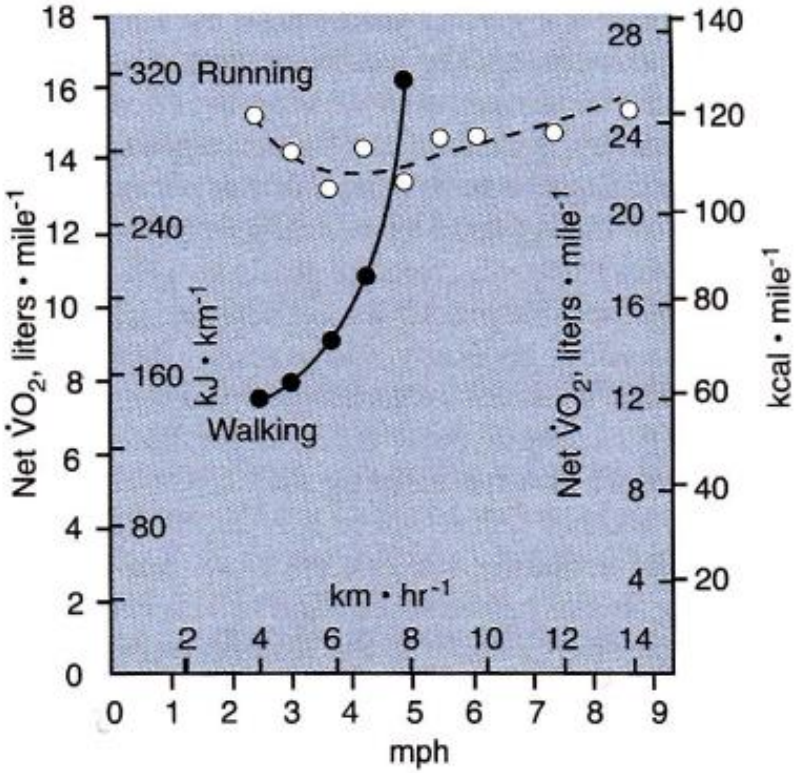
- + velocità +lunghezza
- Lunghe distanze: lunghezza spontanea
- Brevi distanze: passo lungo



Corsa a 16 km/h

Costo energetico della locomozione

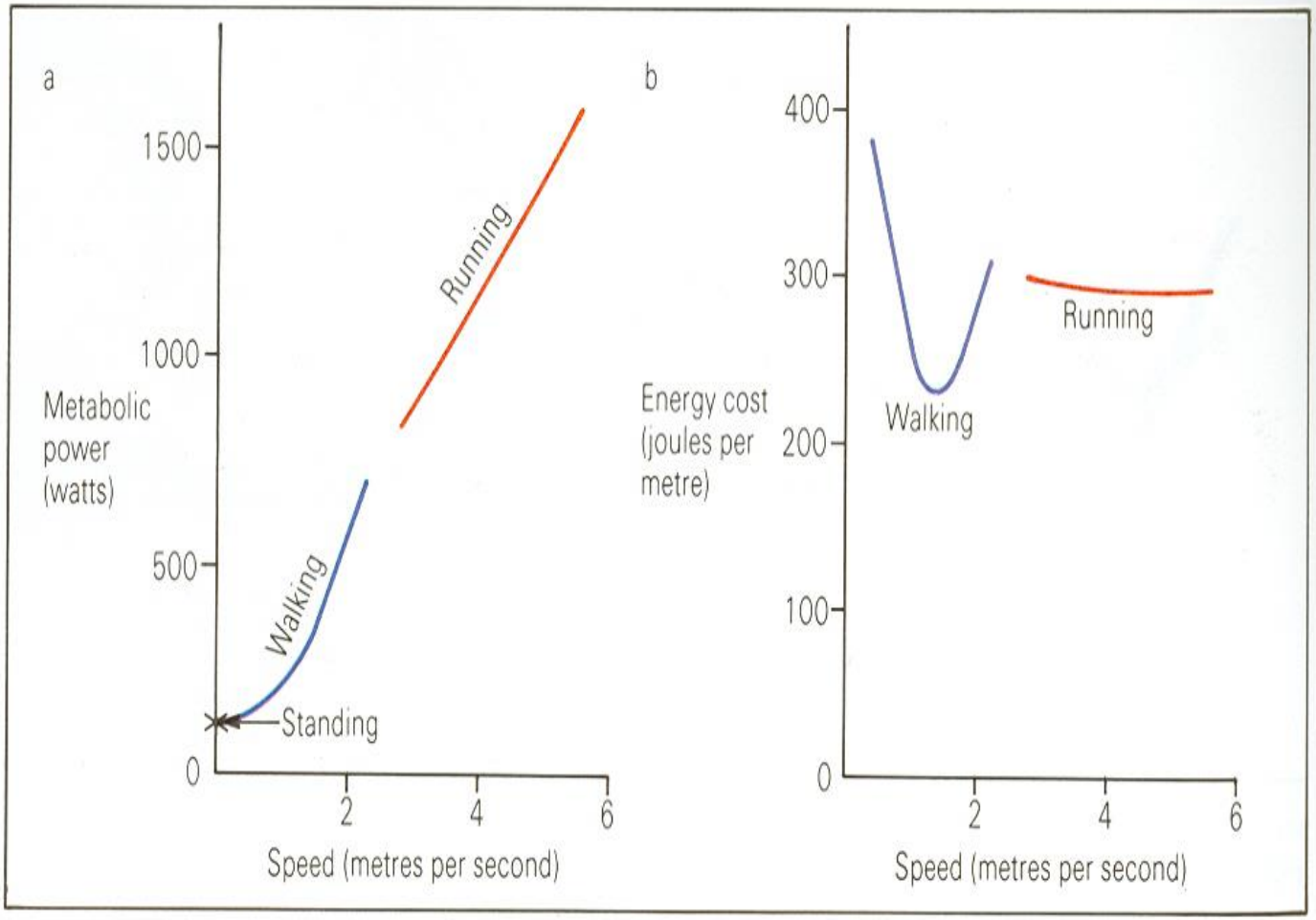
- Corsa: spesa indipendente dalla velocità
- Marcia: spesa crescente con la velocità



Costo energetico

FIG. 5.9 *This woman is walking on a moving belt while her rate of oxygen consumption is measured. Photograph by Dr N.C. Heglund, Department of Animal Physiology, University of Nairobi.*

FIG. 5.10(a) *Power consumption (calculated from oxygen consumption) against speed for men walking and running, from the data of R. Margaria (1976)* Biomechanics and Energetics of Muscular Exercise. *Clarendon, Oxford.* (b) *Energy used per metre travelled (same data).*



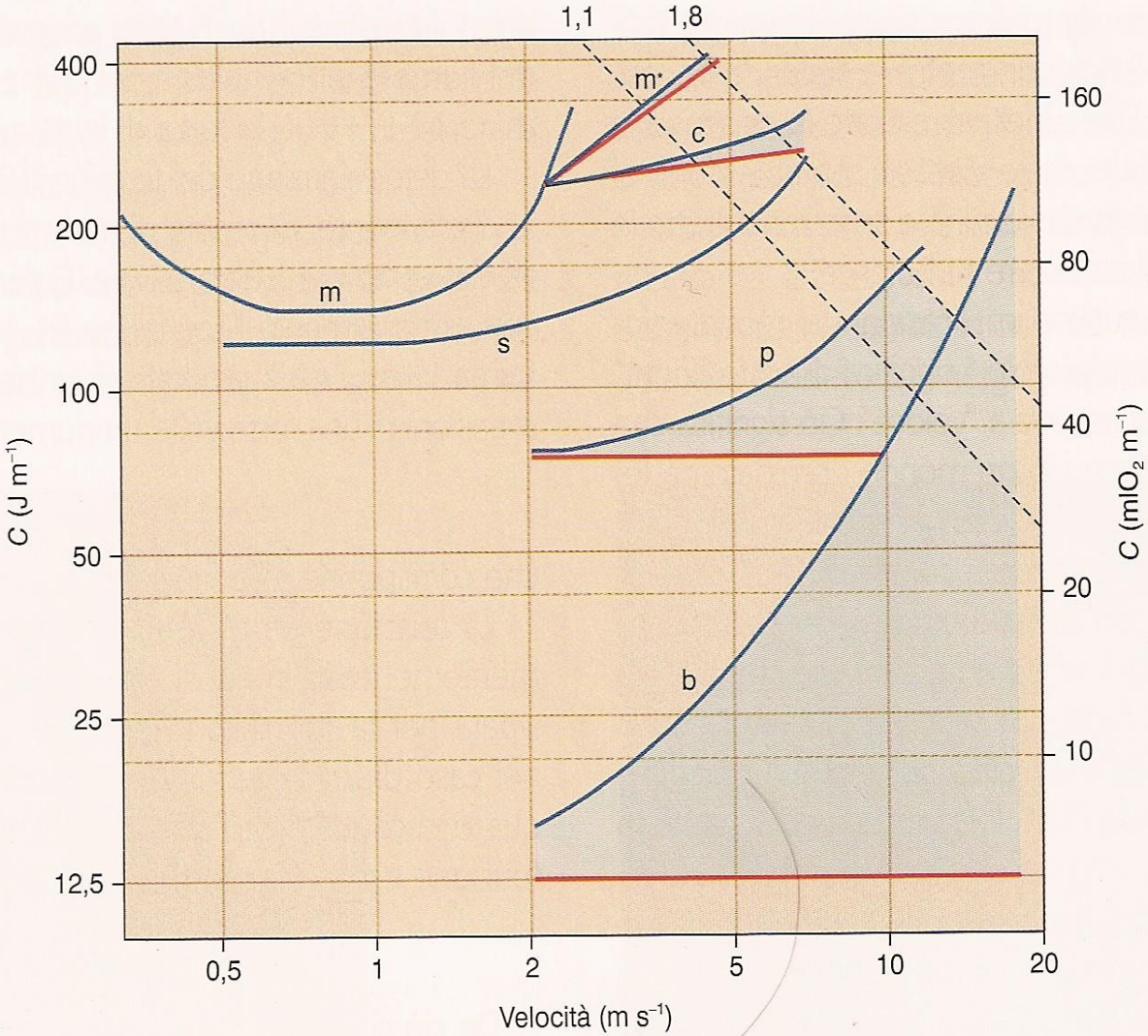


Fig. 1.10 Costo energetico (*C*) per unità di distanza (J m^{-1} o mlO_2 m^{-1}) al di sopra del dispendio energetico di riposo in funzione della velocità in un soggetto di 75 kg, alto 185 cm e a livello del mare durante marcia naturale (m), marcia competitiva (m*), corsa (c), sci da fondo (s, passo alternato), pattinaggio su ghiaccio (p) e ciclismo (b): le curve rosse corrispondono al costo energetico non aerodinamico, quelle blu al costo totale; la distanza tra le due rappresenta il costo energetico aerodinamico, non determinato nello sci da fondo. Le due rette tratteggiate indicano la massima potenza aerobica di un soggetto atletico (1,8 kW) e non atletico (1,1 kW) (ridisegnato da di Prampero, 1985a).

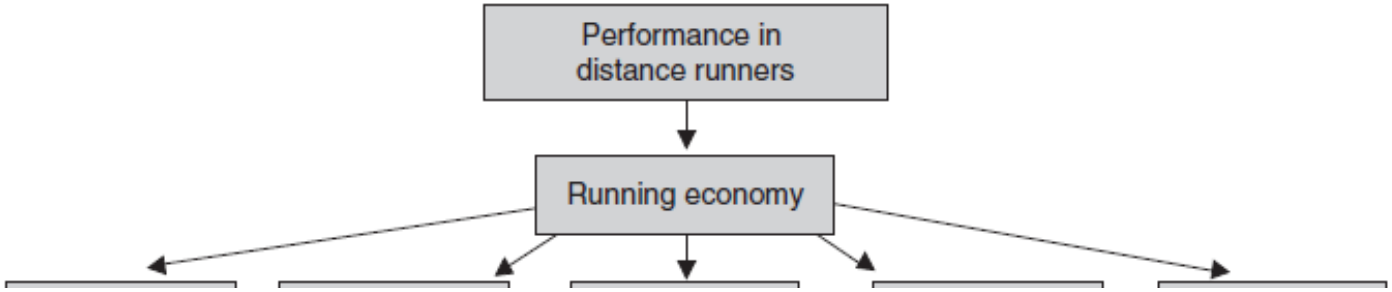


Table I. Biomechanical factors related to better economy in runners[9]

Factor	Description for better running economy
Height	Average or slightly smaller than average for males and slightly greater than average for females
Ponderal index	High index and ectomorphic or mesomorphic physique
Body fat	Low percentage
Leg morphology	Mass distributed closer to the hip joint
Pelvis	Narrow
Feet	Smaller than average
Shoes	Lightweight but well cushioned shoes
Stride length	Freely chosen over considerable training time
Kinematics	Low vertical oscillation of body centre of mass
	More acute knee angles during swing
	Less range of motion but greater angular velocity of plantar flexion during toe-off
	Arm motion that is not excessive
	Faster rotation of shoulders in the transverse plane
	Greater angular excursion of the hips and shoulders about the polar axis in the transverse plane
Kinetics	Low peak ground reaction forces
Elastic energy	Effective exploitation of stored elastic energy
Training	Comprehensive training background
Running surface	Intermediate compliance

Marcia competitiva

- Componente statica bassa
- Componente dinamica alta
- V'_{O_2} max:
  - Atleti medi = circa 65 ml/min/kg
  - Campioni mondiali = circa 75 ml/min/kg
- FC max = 193 bpm

V'_{O_2} sottomassimale = 75% del massimo

Maratona

- Componente statica bassa
- Componente dinamica alta
- $\dot{V}O_2$ max : 70-80 ml/min/kg
- Soglia anaerobica: anche oltre l'85% del $\dot{V}O_2$ max.
- Correlazione tra $\dot{V}O_2$ max e velocità media
- $\dot{V}O_2$ in gara: 82-86% del massimo
- Lunghe durate dipendenti dall'esaurimento del glicogeno
- Altri fattori fisiologici

Corsa di velocità

- Moderate componenti sia statiche che dinamiche
- Forte impegno anaerobico (90% nei 100 e 200 m)
- Lattato 20-25 mM

CICLISMO

Ciclismo - Caratteristiche fisiologiche

- Elevate componenti statica e dinamica
- Costo energetico come quello della marcia con velocità 5 volte maggiori
- $V'O_2$ max: 70-80 ml/min/kg
- Soglia lattato: 85-90 % $V'O_2$ max (sostenuta a lungo durante una gara)
- FC in gara (in pianura) : 51% FCmax

Efficienza nel ciclismo

- Dimensioni corporee:

  Altezza: 180-185 cm (175-180 scalatori)

  Peso: 70-75 kg (60-66 kg scalatori)

  BMI: 22 (19-20 scalatori)

  % massa grassa: 10%

- Resistenza all'aria (aumenta con velocità^2)
- Rapporto superficie/massa (vantaggioso per dimensioni corporee maggiori)[<1]
- Pedalata (compromesso tra aerodinamica e movimenti delle gambe)

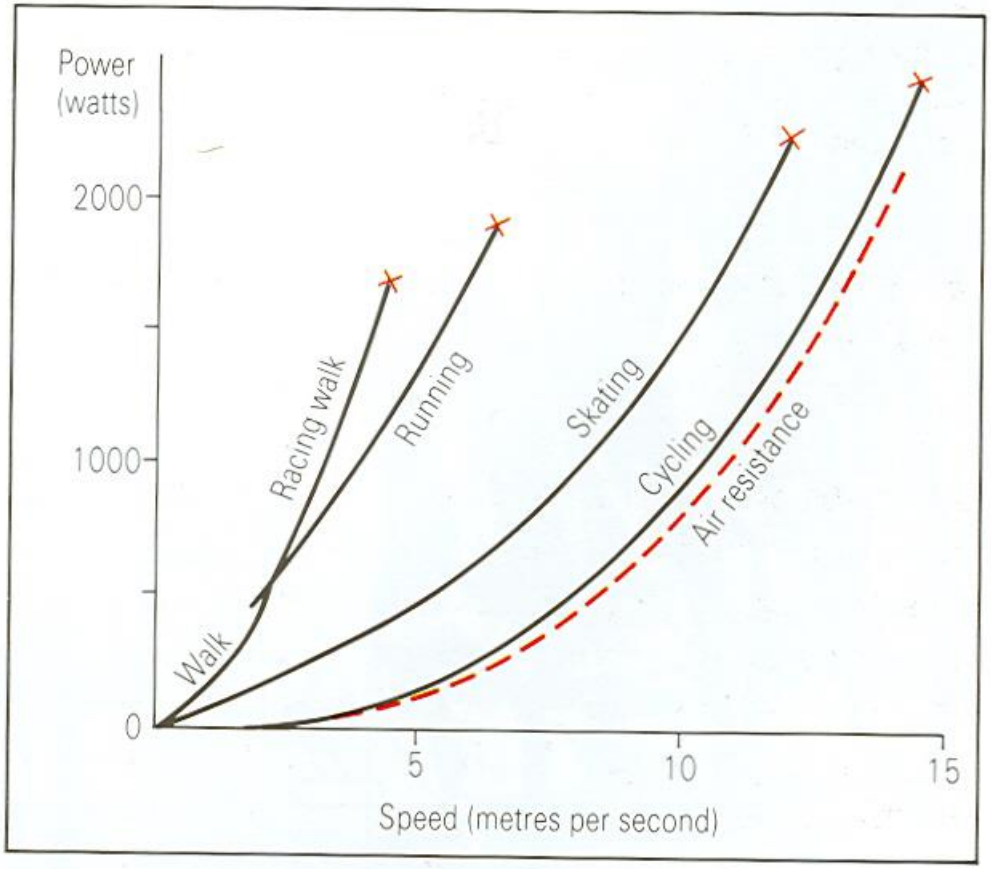


FIG. 8.1 *The metabolic power required for walking, running, skating and cycling, plotted against speed. The graphs have been extrapolated to the world record speeds for 5 kilometre (running) or 10 kilometre races. The broken line represents power required to overcome air resistance. Based on a graph by P.E. di Prampero (1986)* Int. J. Sports Med. **7**, *55–72*.

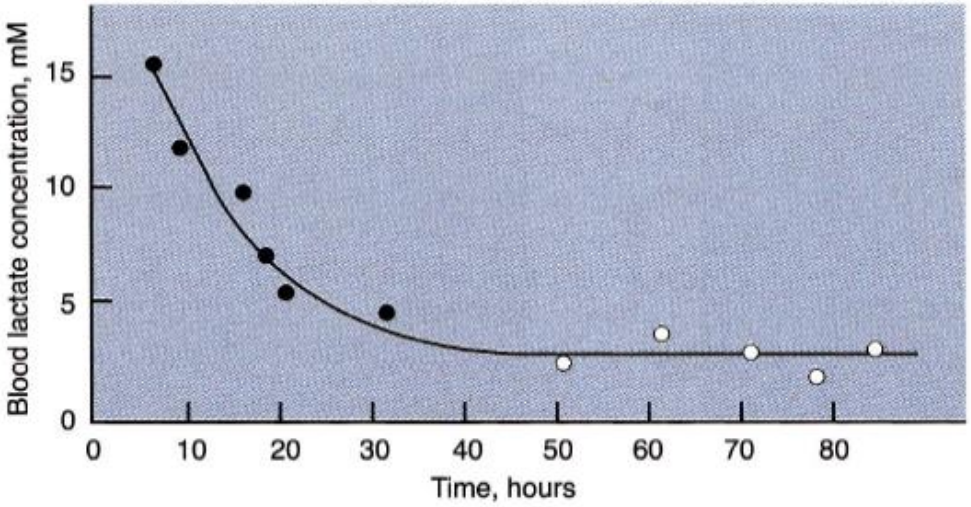
SCI

Sci di fondo

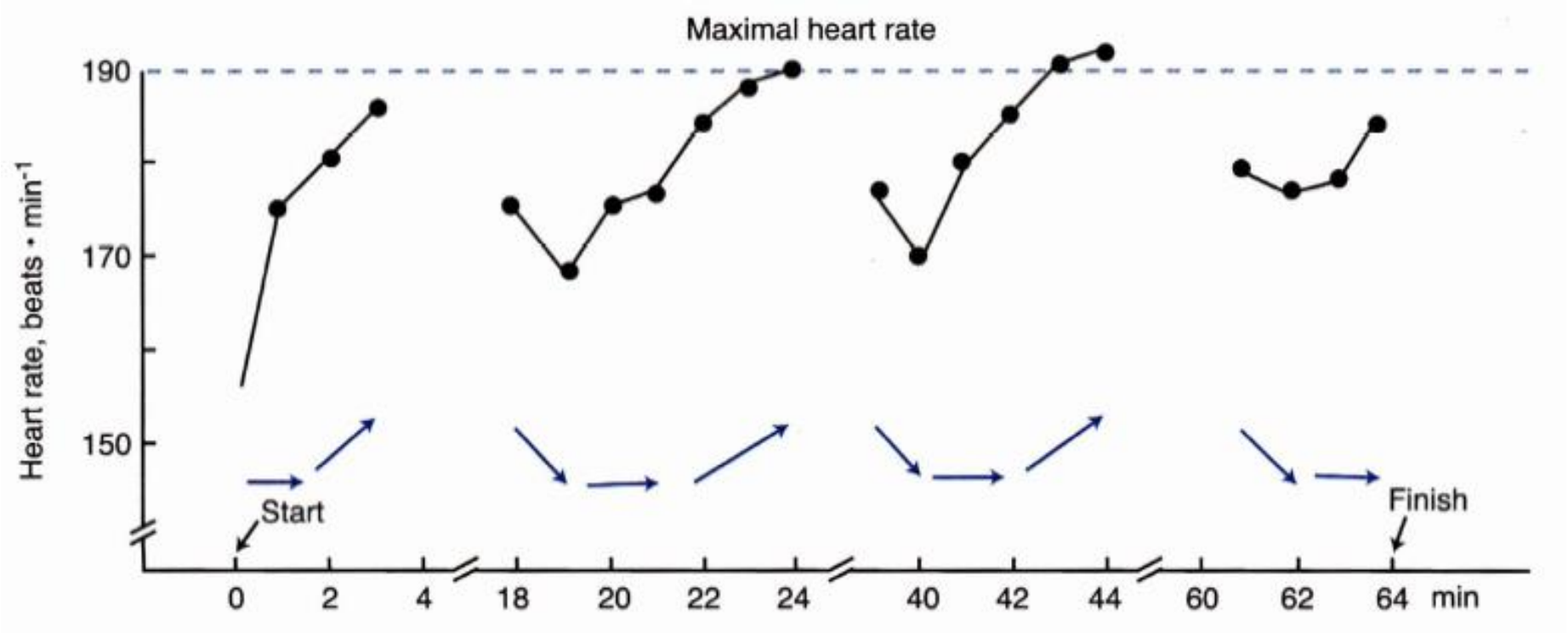
- Componente dinamica alta
- Componente statica: da media a bassa secondo la tecnica
- Impegno aerobico molto elevato
- $V'O_2$ max: fino a 93 ml/min/kg
- $V'O_2$ medio in gara: 83,6% di $V'O_2$ max:

Sci di fondo 2

- Adattamenti cardiovascolari
  - GCmax > 40 L/min
  - GS > 200 ml
- Lattatemia
  - LT: 85%
  - Incremento iniziale poi stabilizzazione
  - Scarso valore predittivo



Inclinazione del terreno



Uso degli arti superiori

- Composizione dei muscoli delle gambe:
  - Fibre di tipo I: 62-75%
  - Fibre di tipo IIa: le rimanenti
- Contributo delle braccia:

  dal 10% (passo alternato)

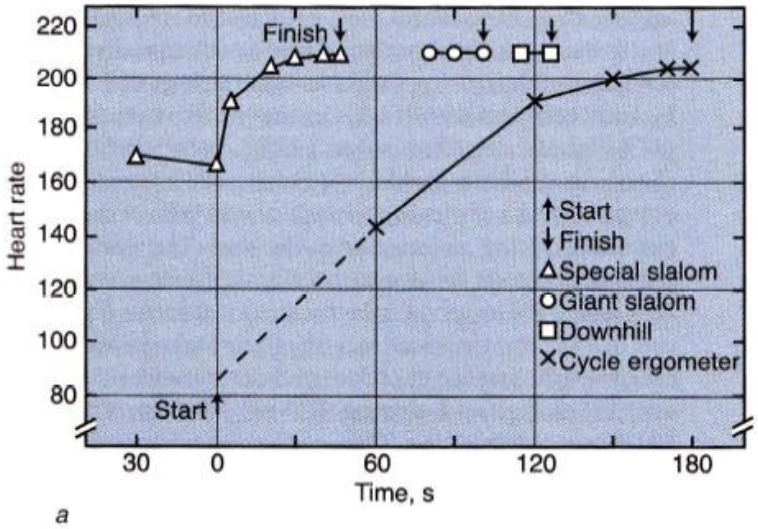
  al 100% (doppia spinta)
- $\dot{V}O_2$ delle braccia: 85% di quello di tutto il corpo

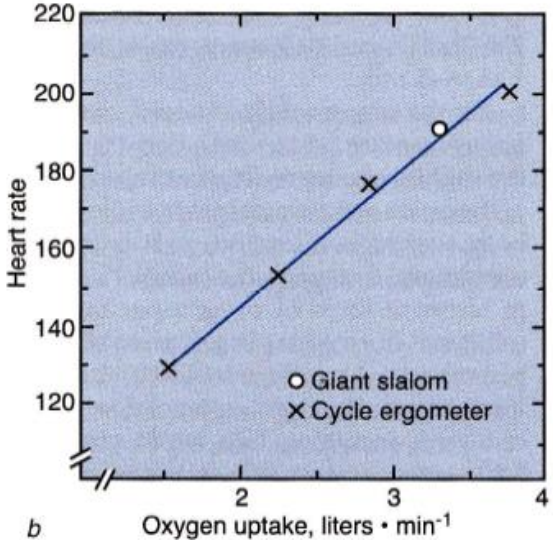
  (60% nella popolazione comune)
- Relazione positiva tra velocità e Fmax delle braccia

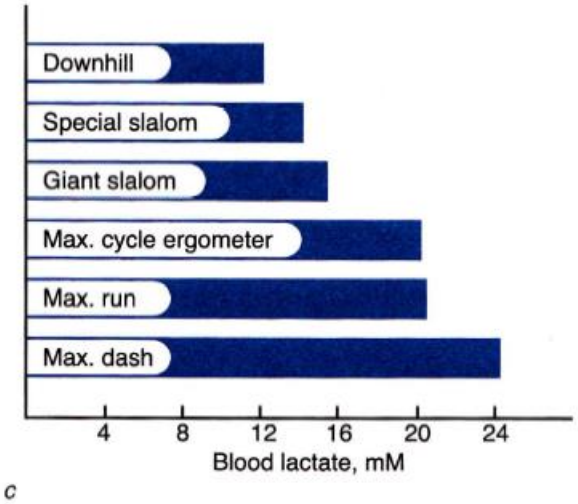
Sci alpino

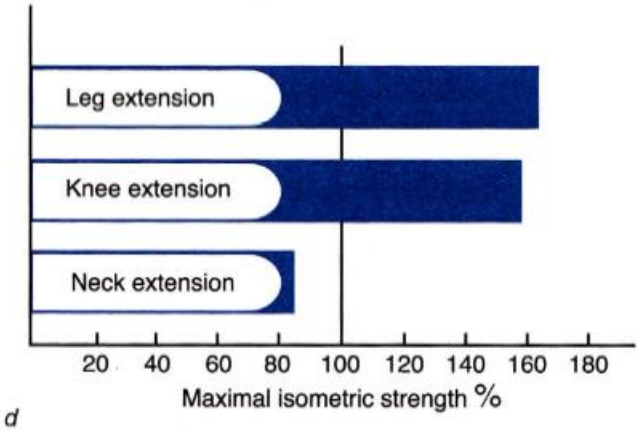
- Componente statica alta
- Componente dinamica moderata
- $V'O_2$ max: circa 66 ml/min/kg
- Lattatemia: 20-24 mM
- Elevata forza isometrica

Sci alpino


Heart rate
220
200
180
160
140
120
100
80
Finish
Start
30
0
60
120
180
Time, s
Start
Finish
Special slalom
Giant slalom
Downhill
Cycle ergometer
a


Heart rate
220
200
180
160
140
120
2
3
4
Oxygen uptake, liters • min-1
Giant slalom
Cycle ergometer
b


Downhill
Special slalom
Giant slalom
Max. cycle ergometer
Max. run
Max. dash
4
8
12
16
20
24
Blood lactate, mM
c

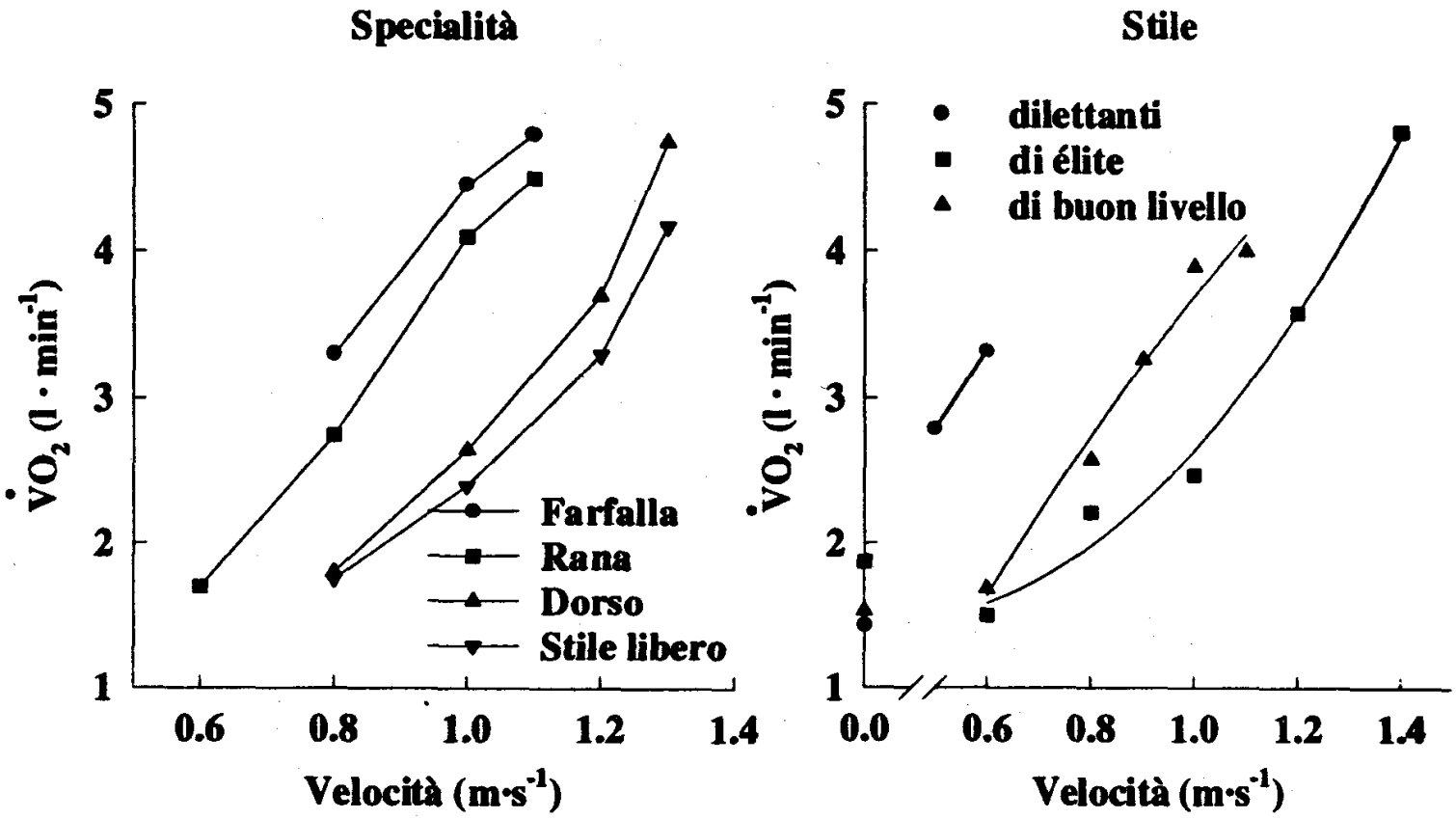

Leg extension
Knee extension
Neck extension
20
40
60
80
100
120
140
160
180
Maximal isometric strength %
d

NUOTO

Caratteristiche fisiologiche del nuoto

- Componente dinamica elevata
- Componente statica moderata
- $\dot{V}O_2$ max: fino a 4-5 L/min
  Dipendente dallo stile
- Concentrazione di lattato: 10,3 mM
- FCmax relativamente bassa

Relazione tra $\dot{V}O_2$ e stile di nuoto



Respirazione nel nuoto

- V'_E/ V'_{O2} max: 27,5 L/min
- Capacità vitale ridotta del 10%
- Volume di riserva espiratorio ridotto (meno di 1 L)

Cause della relativa inefficienza respiratoria:

  - Compressione del torace
  - Ritmo respiratorio sincronizzato

tuttavia:

- PaO_2 nella norma fisiologica

Efficienza del nuoto

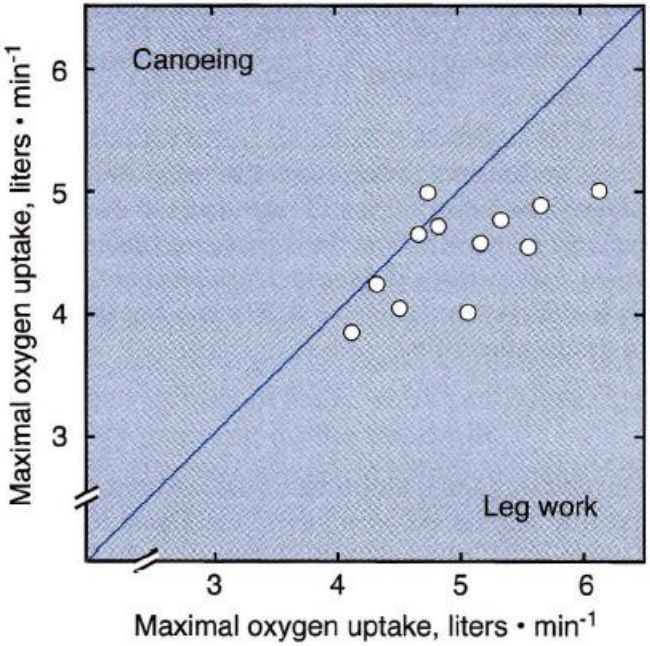
- Dimensioni corporee
- Spinta delle braccia vs spinta delle gambe
- Attrito dell'acqua
- .....

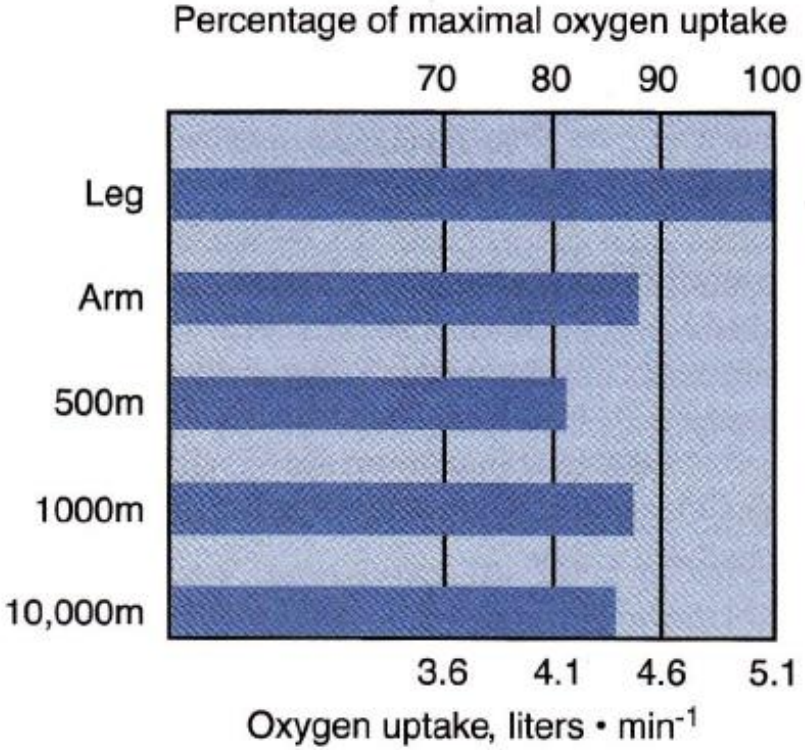
CANOA

Canoa - Caratteristiche fisiologiche

- Componenti statica e dinamica entrambe alte
- $V'O_2$ max: 4,7-6,1 L/min
- Frequenza cardiaca:
  - Max, raggiunta nella seconda metà della gara
  - Media, circa 96-98% della max
- Elevata potenza aerobica nelle braccia

Canoa - Potenza aerobica nelle braccia

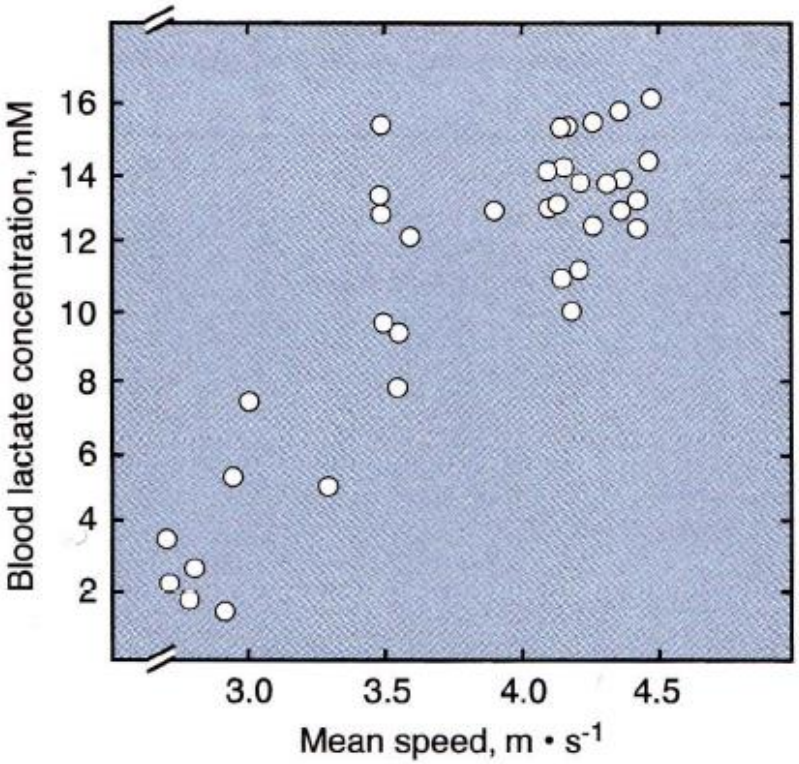




Tesch et al. 1974

Canoa - Lattatemia

- Lattatemia:
  - $\dot{V}O_2$ max raggiunto solo in gare lunghe (1000 m)
  - La lattatemia dipende dalla durata della gara e dalla velocità media



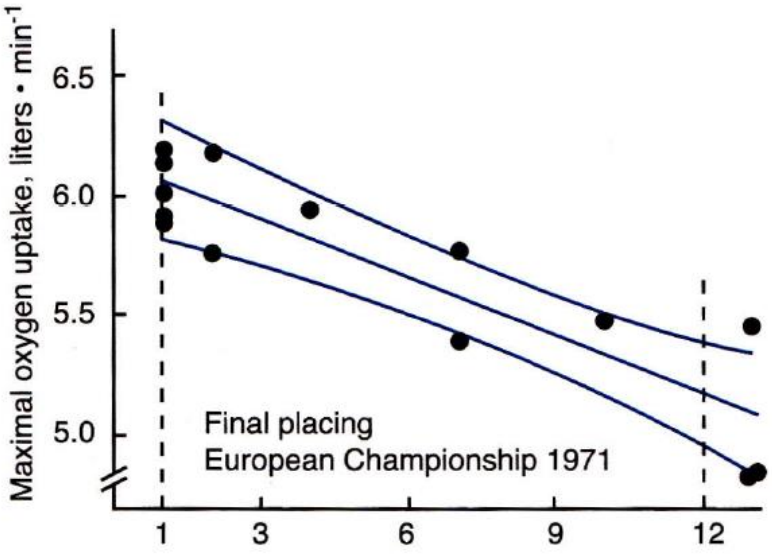
CANOTTAGGIO

Canottaggio. Caratteristiche fisiologiche

- Componenti statica e dinamica entrambe alte
- $\dot{V}O_2$ max: intorno a 6 l/min
- $\dot{V}O_2$ medio cresce con la velocità[2,4]

Correlazione positiva tra $\dot{V}O_2$ max dell'equipaggio e posizione in classifica

Tecnica di gara e $\dot{V}O_2$



Efficienza nel canottaggio

- Dimensioni corporee:

  Altezza: 194,1 cm M - 178,6 cm F

  Peso: 88,1 kg M - 73,6 kg F

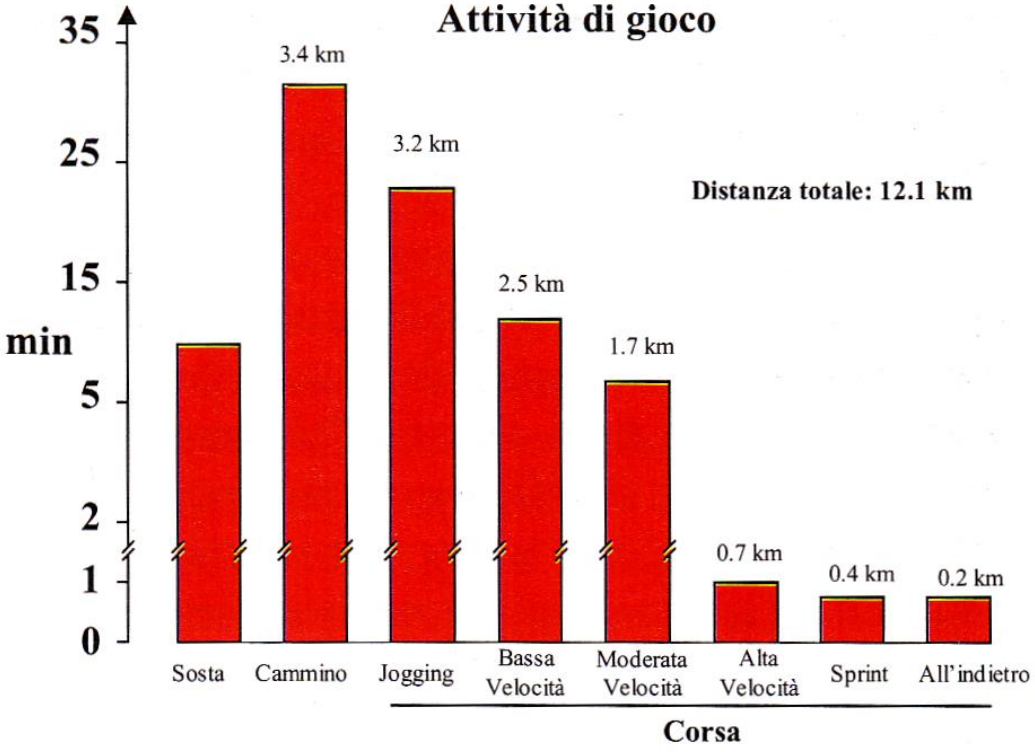
  % MG 8,7% M - 15,4% F

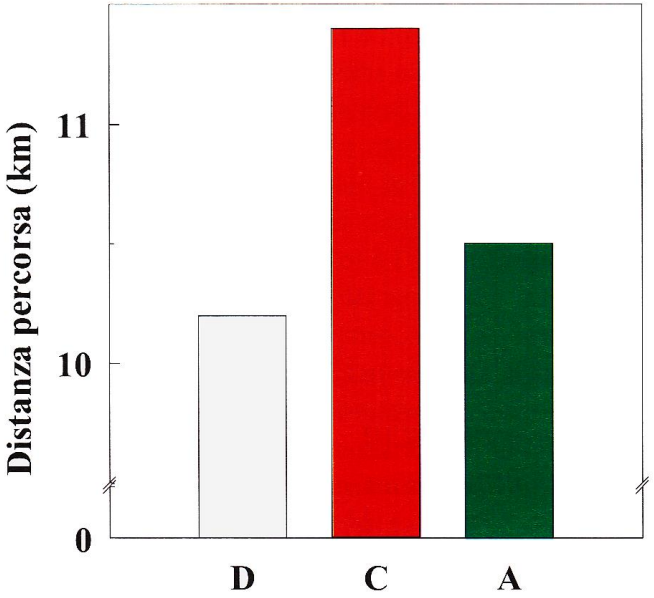
- Contributo anaerobico: 20% (12% nella donna)
- Lattatemia: 14-18 mM
- Composizione muscolare:
  - Fibre di tipo I: 70-85%
  - Fibre di tipo IIa: le rimanenti
- Necessità di una forza ottimale
- Tecnica di gara

CALCIO

Calcio - Distanze percorse in una partita

- Distanza media percorsa in una partita: 10-12 km





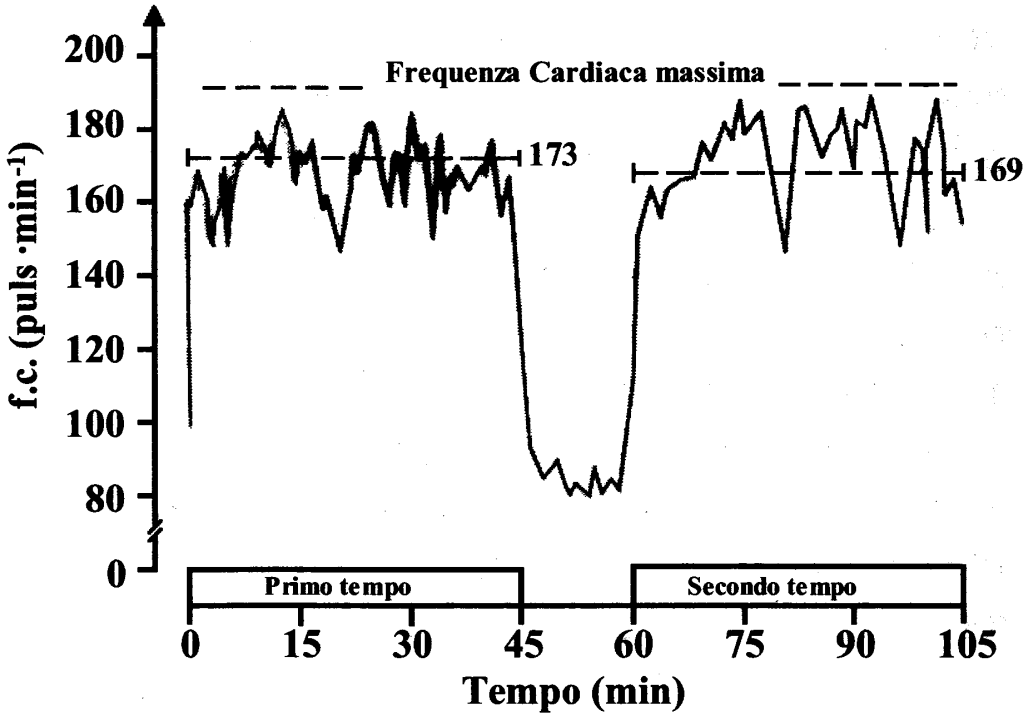
Calcio - Caratteristiche fisiologiche

- Componente statica bassa
- Componente dinamica alta
- Contributo aerobico: 80%
- $V'O_2$ max: 60-70 ml/min/kg (consigliato 65)
- Poca differenza tra i ruoli

Livello	$V'o_2max$
Nazionale	63.0
Professionisti	69.2
Giovanile elite	68.8
Serie B	52.1
Regionale	50.0
Giovanile	48.4

Calcio – Caratteristiche cardio-circolatorie

- FC a riposo: 48-52 bpm
- FC max: 187-193
- FC media in gara:
  - 1° tempo: 173
  - 2° tempo: 169



- GS a riposo: 100 ml
- Moderato aumento delle cavità ventricolari

Capacità anaerobica e forza

- Lattato in gara: da 4 a 9,5 mM/L
- Prove ad esaurimento in laboratorio: 14 mM/L

- Correlazione prestazione-forza poco chiara

Concentrazioni di lattato (mM/L)

	1° tempo	2° tempo
Livello I	9.5	7.0
Livello II	8.0	6.0
Livello III	5.5	4.5
Livello IV	4.5	4.0

Calcio - Efficienza

- Scarsa importanza delle caratteristiche somatiche
  - Altezza 175-180 cm
  - Peso 70-75 kg
  - Mass Grassa 10-12%
- Composizione dei muscoli:
  - 45-60% FT
  - 40-55% ST
- Riserve di glicogeno
- Disidratazione

Letture

Per approfondire questi argomenti, consultare:

- Cerretelli P. Fisiologia dell'esercizio. Soc. Edit. Universo – Roma 2ª ed. 2001. **Cap. 3**.
- Åstrand P-O, Rodhahl K, Dahl HA, Strømme SB. Textbook of work physiology. 4a ed. Human Kinetics 2003. **Cap. 16**.
- Mitchell JH et al. 2005 Classification of sports. *Journal of American College of Cardiology 45: 1364-1367.*
- *Philo U. Saunders*,1,2 *David B. Pyne*,1 *Richard D. Telford*3 and *John A. Hawley*2**Factors Affecting Running Economy in Trained Distance Runners** Sports Med 2004; 34 (7): 465-485