

Modello predittivo le massime prestazioni

(corsa-mezzo fondo)

Fisiologia della prestazione sportiva

Università degli Studi di Verona
Scienze Motorie
aa 2012-1013

Il Costo Energetico della Locomozione Umana

**Quantità di Energia Metabolica spesa per
Unità di distanza per avanzare ad una
determinata velocità**

**(kJ km⁻¹; J m⁻¹ kg⁻¹; ml O₂ m⁻¹ kg⁻¹)
(20.9 J = 1 mlO₂ se RQ = 0.96)**

Componenti di C

- **Locomozione umana su terreno in piano**
- $C = C_{NA} + C_{AE}$
- $C = C_{NA} + k' v^2$
- $k' = A C_x (0.5 \rho) \eta^{-1}$
- $C = C_{NA} + A C_x (0.5 \rho v^2) \eta^{-1}$

Componenti di C

- **Locomozione umana su terreno in piano**
 - **C_{NA}**
 - **Lavoro interno**
 - **Attriti**
 - **Lavoro meccanico cardiaco e dei muscoli respiratori**
 - **Contrazioni per mantenere la postura**

Componenti di C - nella realtà

	Corsa	Ciclismo
$k' \text{ (J s}^2 \text{ m}^{-3}/\text{m}^2)$	0.40	0.48
$C_a \text{ (J m}^{-1})$	$0.74 v^2$	$0.89 v^2$
C_d	1.10	0.592
$C_{na} \text{ (J m}^{-1} \text{ kg}^{-1})$	3.86	0.31
$C \text{ (J m}^{-1})$	$289 + 0.74 v^2$	$26 + 0.89 v^2$

PB = 760 mm Hg; T = 20 ° C; MC = 75 kg; St: 175 cm; UR = 50%

Componenti di C

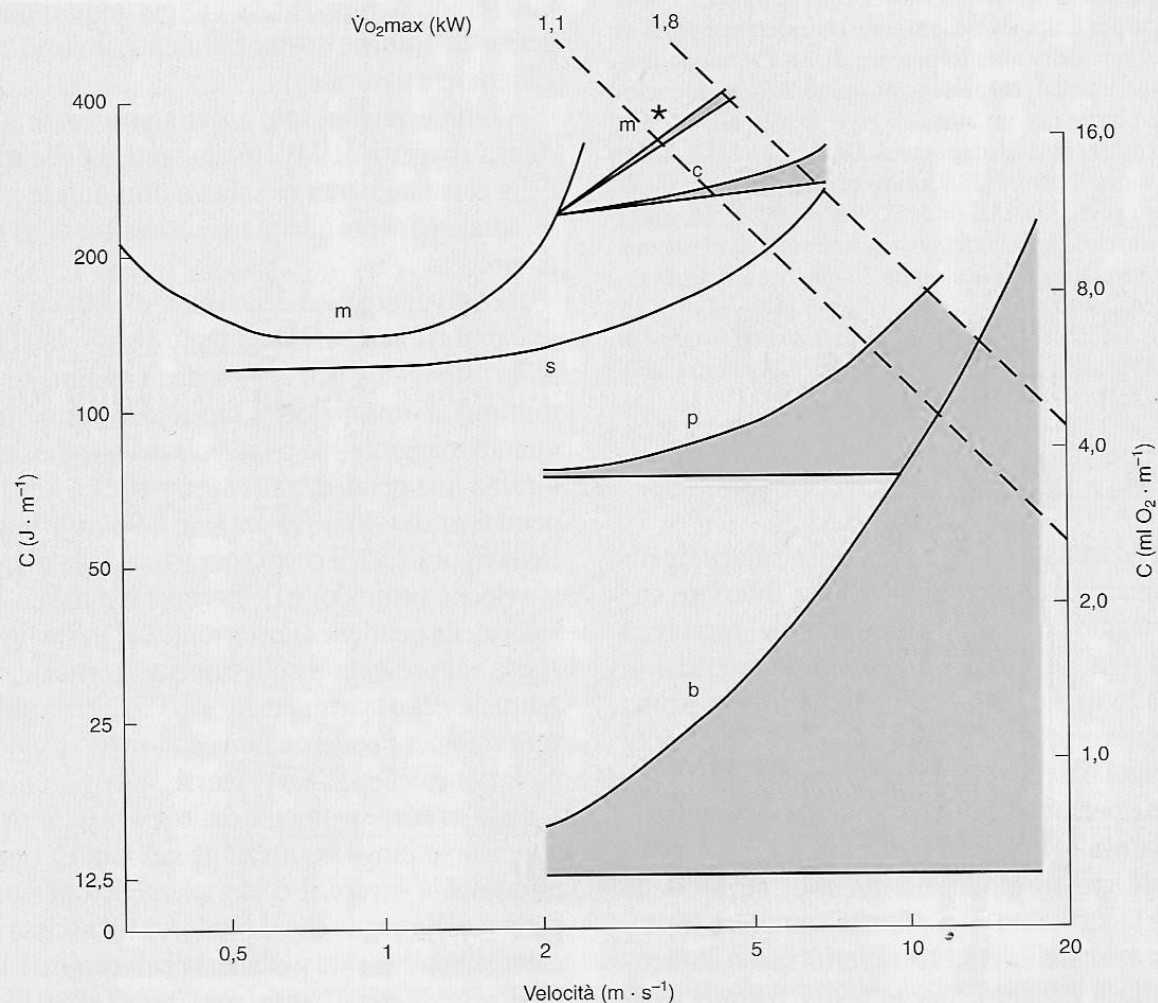
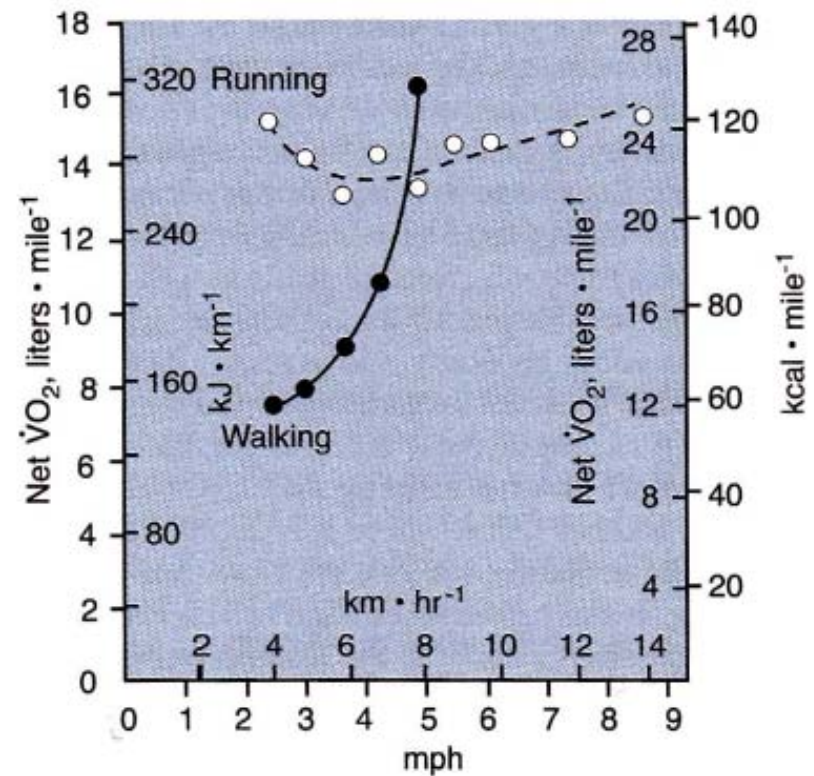


Figura 23.1 - Energia spesa per unità di percorso, C ($\text{J} \cdot \text{m}^{-1}$ o $\text{ml O}_2 \cdot \text{m}^{-1}$) in funzione della velocità (m/s) per un soggetto di 70 kg e 175 cm, a livello del mare ($\text{PB} = 760 \text{ mmHg}$) a 20°C , su terreno pianeggiante, in assenza di vento, durante marcia (m), marcia agonistica (m^*), corsa (c), sci di fondo (s, passo spinta, temperatura della neve -3°C), pattinaggio di velocità su ghiaccio (p), ciclismo (b, bicicletta da corsa in posizione abbassata sul manubrio). In ciascun tipo di locomozione, la distanza verticale tra le due curve è la spesa contro la resistenza dell'aria. Nella marcia naturale quest'ultima è così esigua che le due curve coincidono, mentre nello sci di fondo essa non è nota con precisione. Per ulteriori dettagli si rimanda al testo.

Costo energetico della locomozione

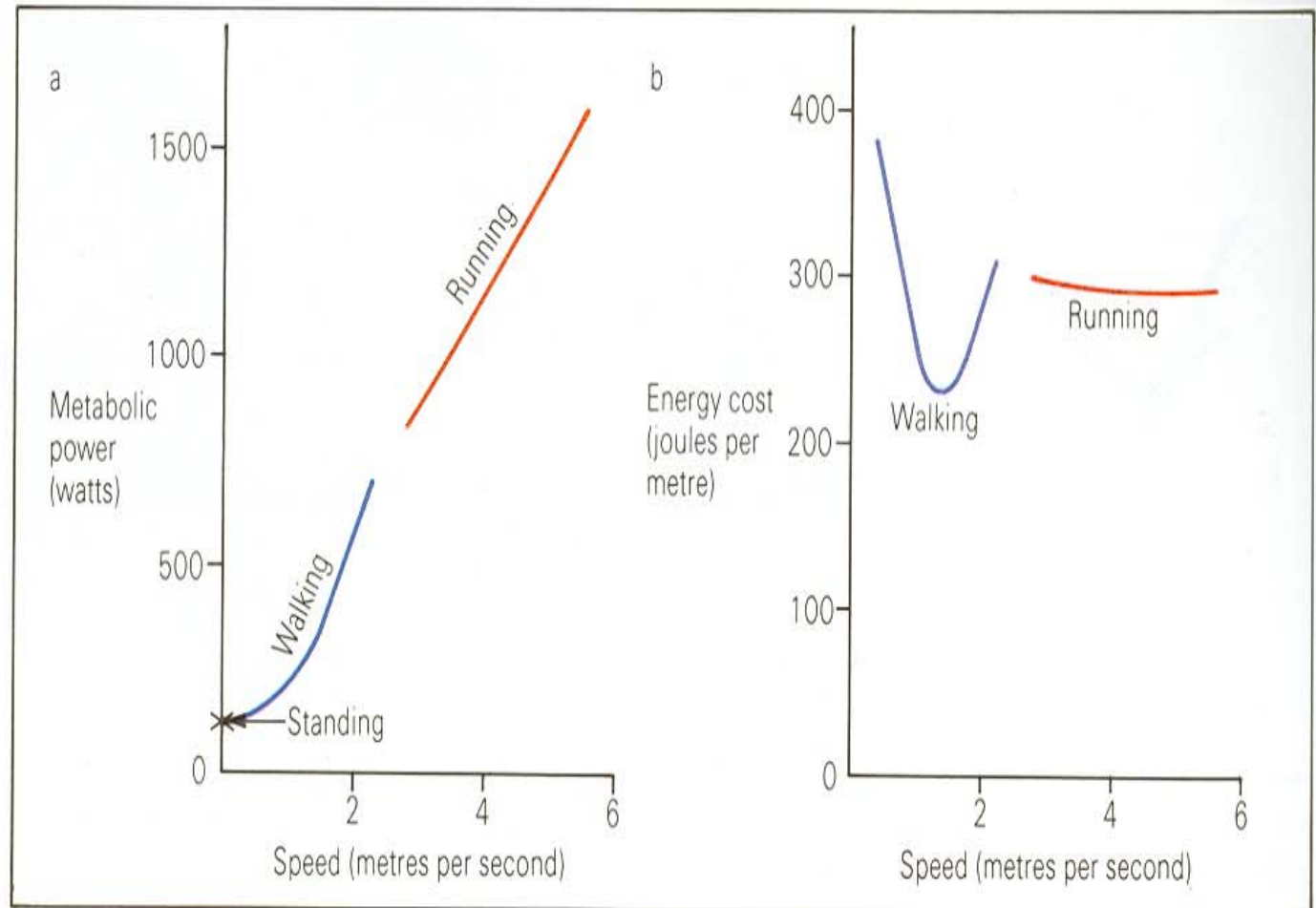
- Corsa: spesa indipendente dalla velocità
- Marcia: spesa crescente con la velocità



Costo energetico

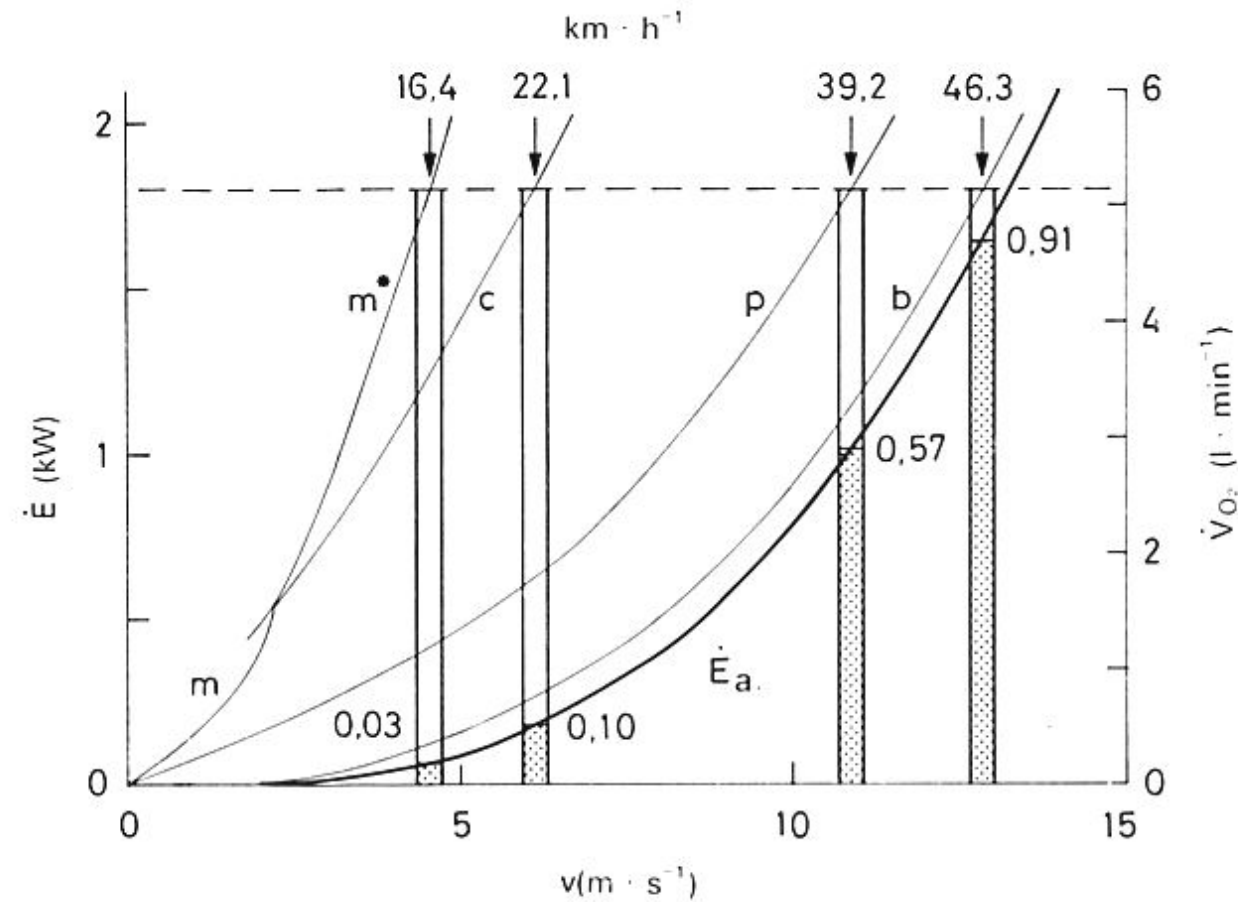
FIG. 5.9 This woman is walking on a moving belt while her rate of oxygen consumption is measured. Photograph by Dr N.C. Heglund, Department of Animal Physiology, University of Nairobi.

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).



Potenza metabolica, C e *top performances*

$$E' = C \cdot v$$



E'_r nelle condizioni massimali

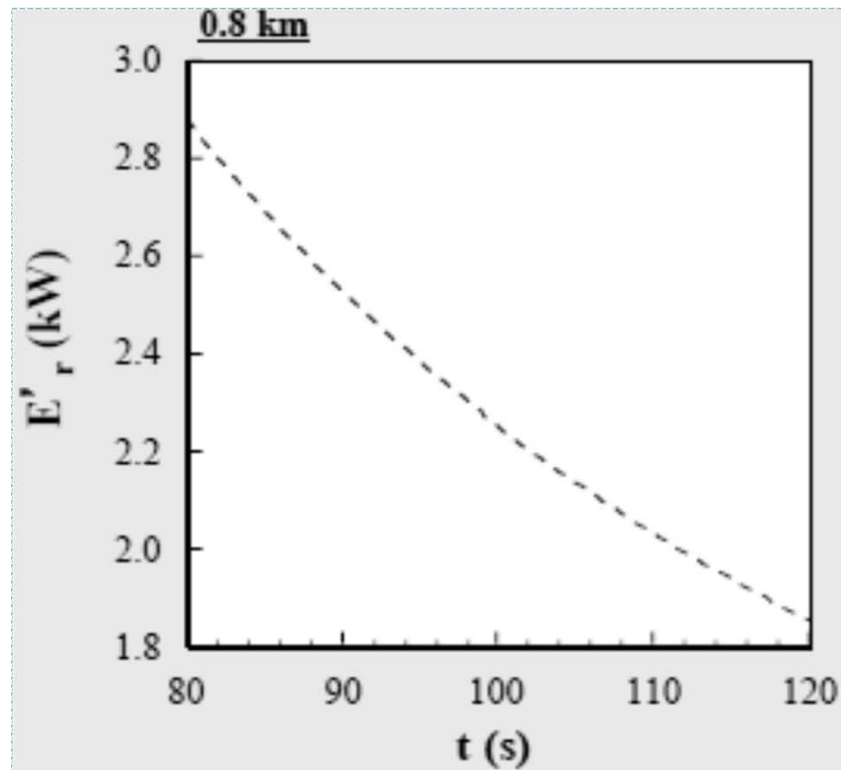
$$E'_{\max} = C v_{\max} = Cr d t_{\min}^{-1}$$

$$v_{\max} = d t_{\min}^{-1} = E'_{\max} C^{-1}$$

Dove $E'_{\max}$ è la massima potenza metabolica che il soggetto può sostenere ad un livello costante nell'arco di tutta la gara sino al tempo limite t .

Potenza metabolica richiesta

Potenza metabolica richiesta (E'_r) per coprire una data distanza nel tempo t alla velocità $v = d t^{-1}$



- $E'_r = C v = C d t^{-1}$
- $\text{W kg}^{-1} = \text{J m}^{-1} \text{Kg}^{-1} \text{m s}^{-1}$
- $E'_r = f(t)$

Quindi, per ogni soggetto, **il tempo record (velocità)** su una determinata distanza d sarà raggiunto quando la massima potenza metabolica ($E'_{\max}$) sostenibile per tutta la durata dell'evento e la potenza metabolica richiesta per coprire d sono uguali.

Potenza metabolica richiesta partendo da fermo

$$E'_r \text{ (W kg}^{-1}\text{)} = C_r v = C_{NA} v + 0.4 BS v^3 BM^{-1} + 2 v^2 d^{-1}$$

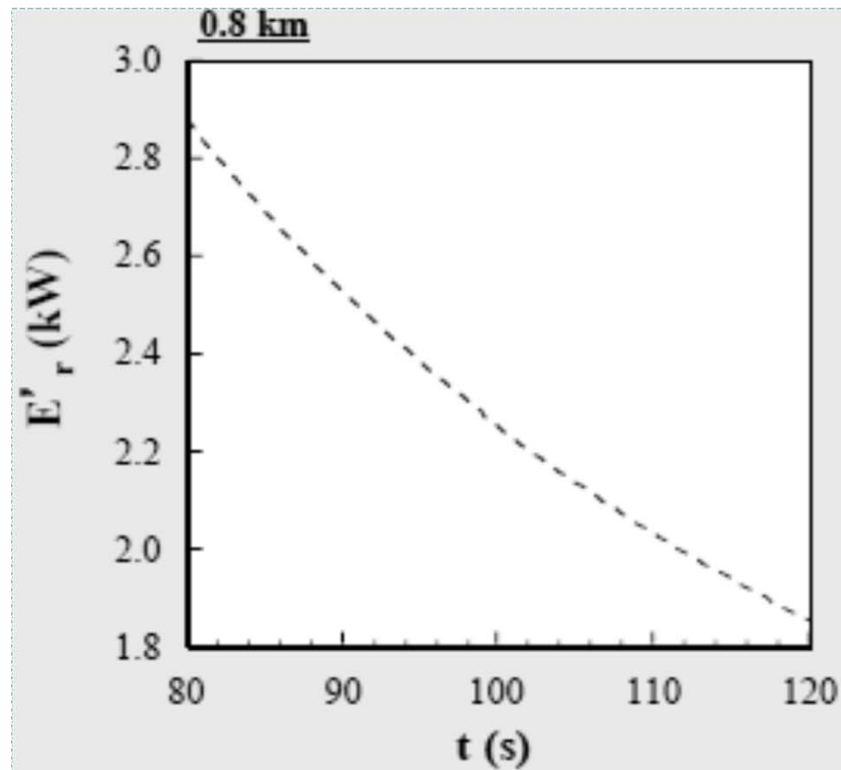
$$E'_r \text{ (W)} = 270 v + 0.72 v^3 + 140 v^2 d^{-1}$$

poichè $v = d t^{-1}$

$$E'_r \text{ (W)} = 270 d t^{-1} + 0.72 d^3 t^{-3} + 140 d^2 t^{-3}$$

Potenza metabolica richiesta

Potenza metabolica richiesta (E'_r) per coprire una data distanza nel tempo t alla velocità $v = d t^{-1}$



- $E'_r = C v = C d t^{-1}$
- $\text{W kg}^{-1} = \text{J m}^{-1} \text{Kg}^{-1} \text{m s}^{-1}$
- $E'_r = f(t)$

La massima potenza metabolica

E' max, i.e. la massima potenza sostenibile ad un livello costante per tutta la durata dell'evento è una funzione decrescente del tempo di esaurimento (t).

$$E'_{\max} = f(t)$$

Potenza metabolica sostenibile

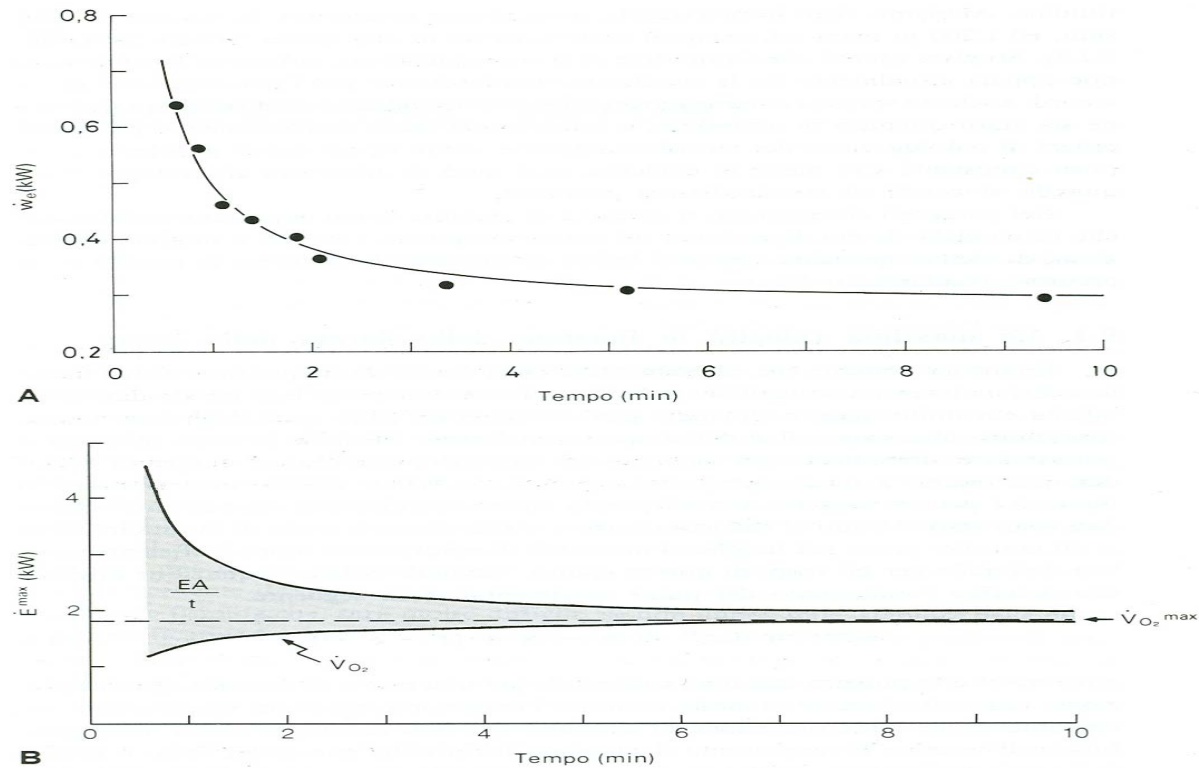


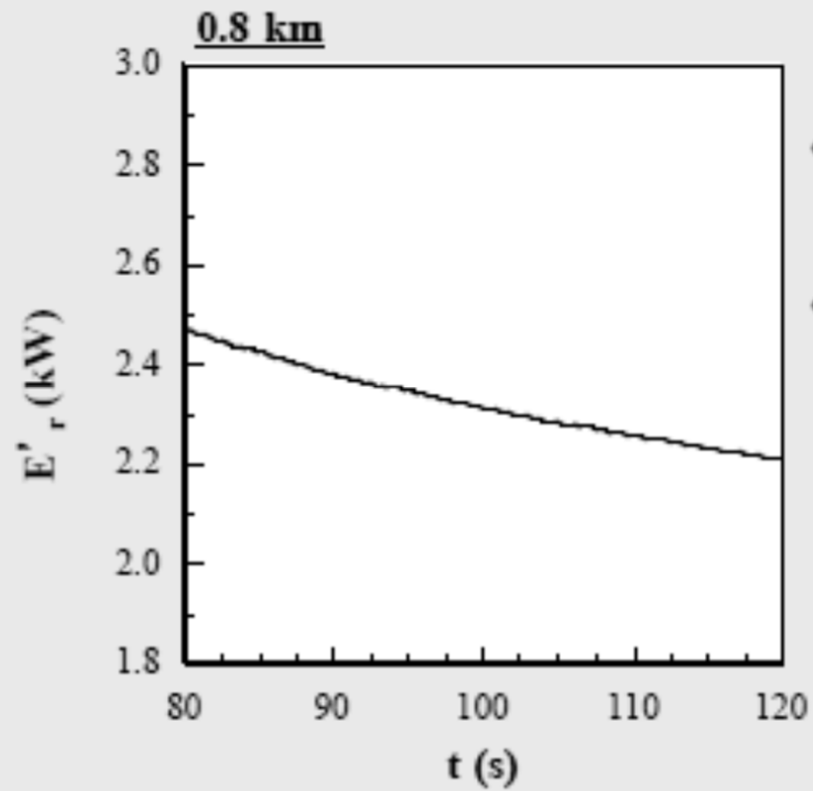
Fig. 9.1 **A**) Potenza massima sostenibile al cicloergometro ($\dot{w}_e$, kW) in funzione della durata dell'esercizio (min). La funzione che interpola i punti sperimentali è descritta da: $\dot{w}_e = 0,273 + 16/t - (0,273/t) \cdot (1 - e^{-t/\tau})$, dove $\dot{w}_e$ è in kW, t in s e $\tau = 10$ s (da Wilkie 1980). **B**) Massima potenza metabolica sostenibile ($\dot{E}^{max}$, kW), in funzione della durata della prova al cicloergometro (min) in un atleta di alto livello. La linea tratteggiata indica la potenza corrispondente al massimo consumo di O_2 ; la curva inferiore, la potenza media effettivamente sostenuta sulla base dei processi ossidativi. La distanza verticale tra la curva superiore e quella inferiore rappresenta quindi la potenza dovuta ai meccanismi anaerobici (lattacidi e alattacidi).

$$v'_{max} = (EA \cdot t - 1 + MPA - MPA \cdot \tau \cdot (1 - e^{-t/\tau}) \cdot t - 1) / C$$

La massima potenza metabolica

- **$E'_{\max} = F \cdot \text{MPA} + \text{AnS } t^{-1} - F \cdot \text{MPA } t (1 - e^{-t/\tau}) t^{-1}$**
(Modified from Wilkie D. R., 1980)
- MPA: Massima Potenza Aerobica; proporzionale a $V'O_{2\max}$;
- AnC: Massima quantità di energia ottenuta dal completo sfruttamento delle fonti energetiche anaerobiche (Capacità lattacida ed alattcida);
- t: Costante di tempo con la quale è raggiunto $V'O_{2\max}$ nei muscoli all'inizio del lavoro muscolare: 24 s (Binzoni et al., *J. Appl. Physiol.* 1992).
- F: frazione di MPA sostenibile durante lo sforzo

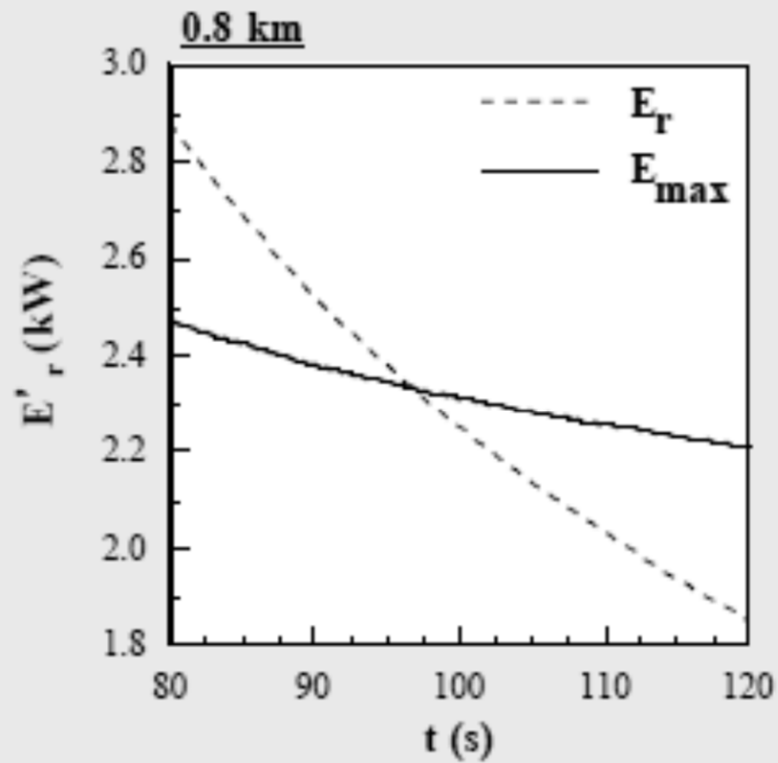
$$E'_{\max} = f(t)$$



- $\text{MAP} = 1.8 \text{ kW}$

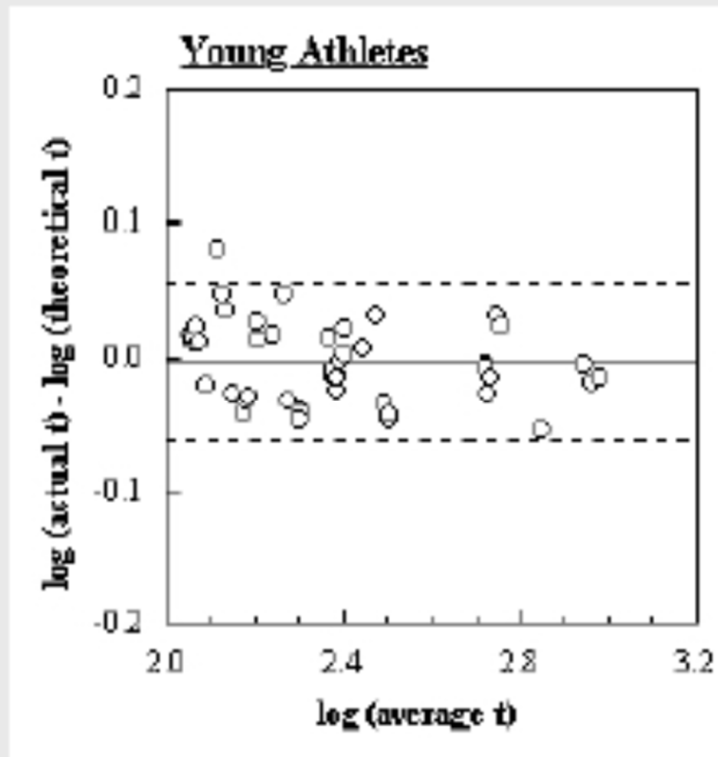
- $\text{Ans} = 100 \text{ kJ}$

Calcolo del tempo record



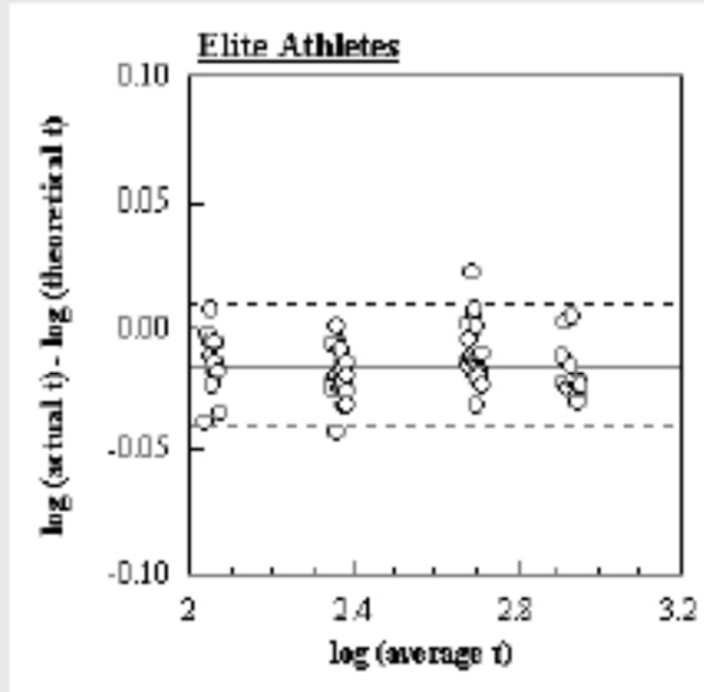
- $E'_r f(t) = E'_{\max} f(t)$

Performances teoriche e reali



- $BPT_{act}/BPT_{theor} = 0.995 \pm 0.071$;
- $BPS_{theor} = 1.15 BPS_{tact} - 0.9$;
 $r^2 = 0.77$;
- $BPT_{error} = 5.9 \%$

Performances teoriche e reali



- $BPT_{act}/BPT_{theor} = 0.966 \pm 0.01$;
- $BPS_{theor} = 0.91 BPS_{tact} - 0.4$; $r^2 = 0.86$;
- $BPT_{error} = 3.9 \%$

Determinanti fisiologici delle prestazioni

Quantificare il peso relativo dei fattori fisiologici:

(MPA, An, C)

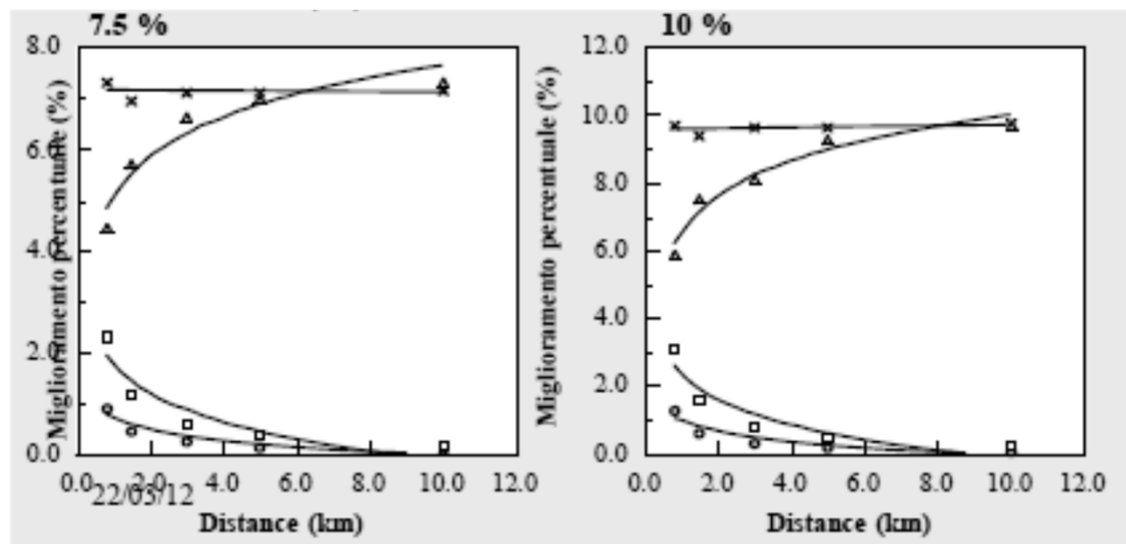
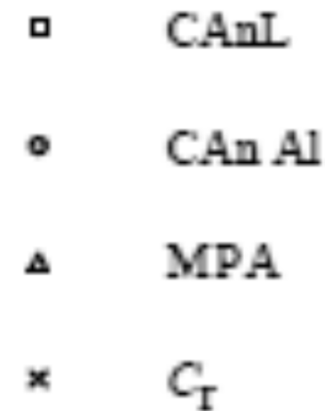
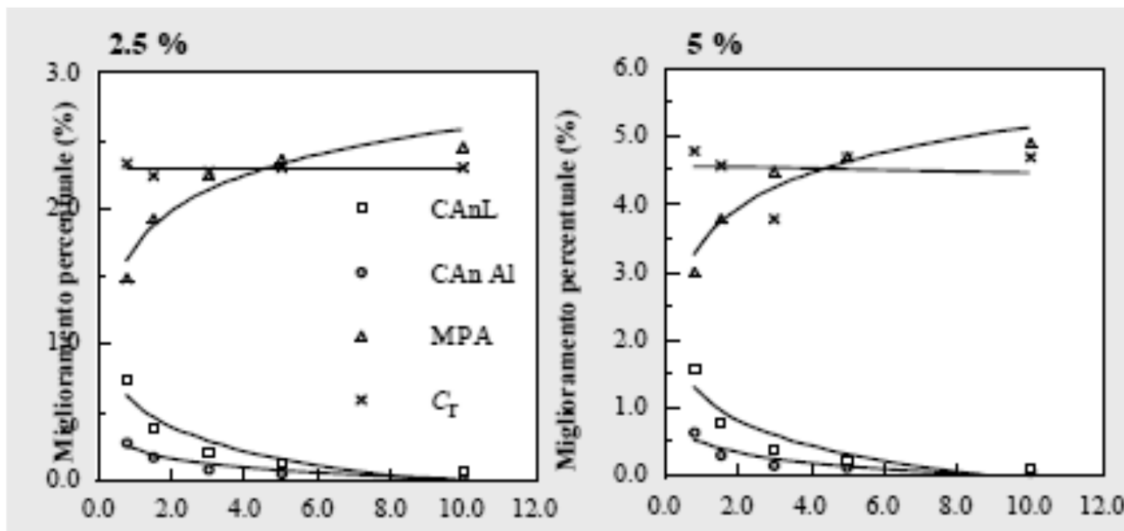
che condizionano la prestazione.

Analisi di sensibilità

Per ogni distanza d:

- **$BPT_0 = f(MAP_0, An_0 \text{ and } C_0)$**
- **dove MAP_0 , An_0 and C_0 definiscono i valori basali delle variabili di un dato soggetto e saranno assunte essere uguali a quelle di un atleta di élite**
- **Mantenendo costanti, per esempio, An_0 and C_0 , BPT può essere calcolato in funzione di t per diversi valori di $MAP_0 \pm \Delta MAP_p$**
- **Questa procedura è ripetuta di volta in volta per tutti le variabili fisiologiche che determinano BPT in modo da ottenere la variazione percentuale di BPT (BPT_i/BPT_0 , %) quando una variabile è modificata indipendentemente dalle altre.**

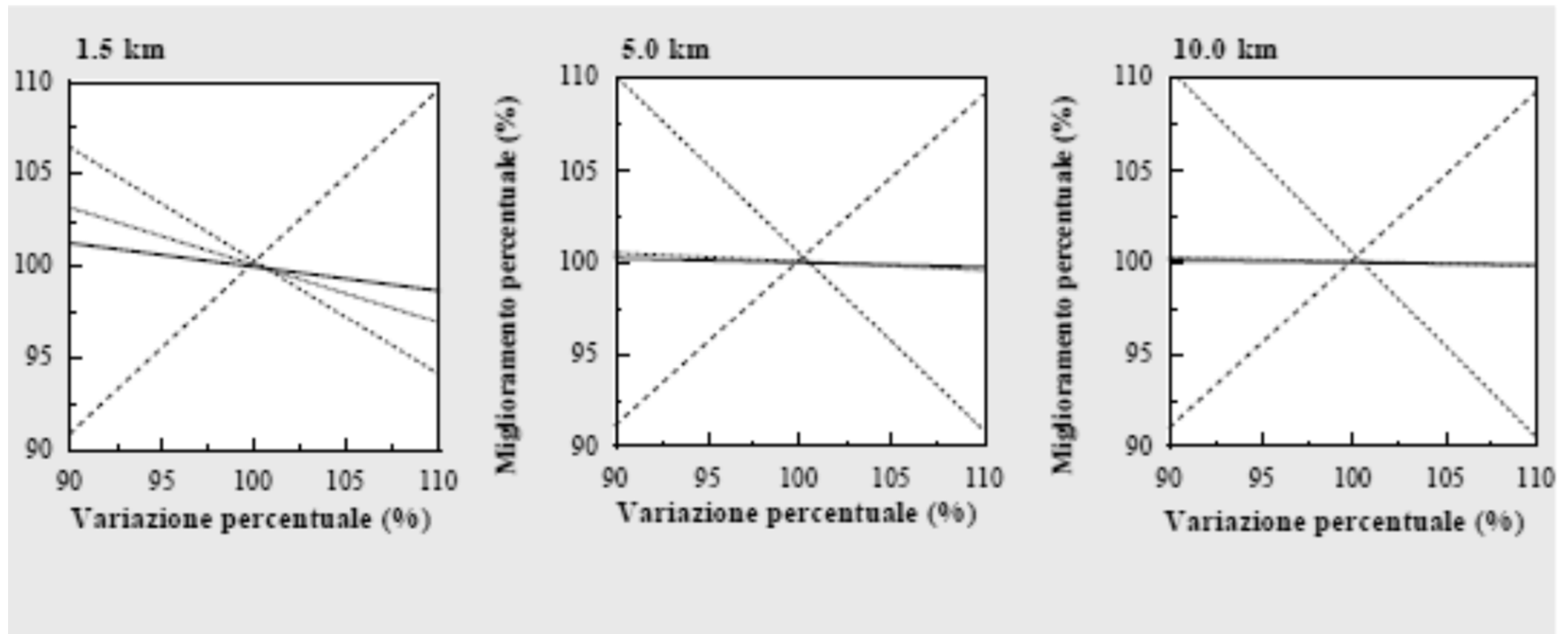
Fattori e distanza



22/05/12

Miglioramento percentuale

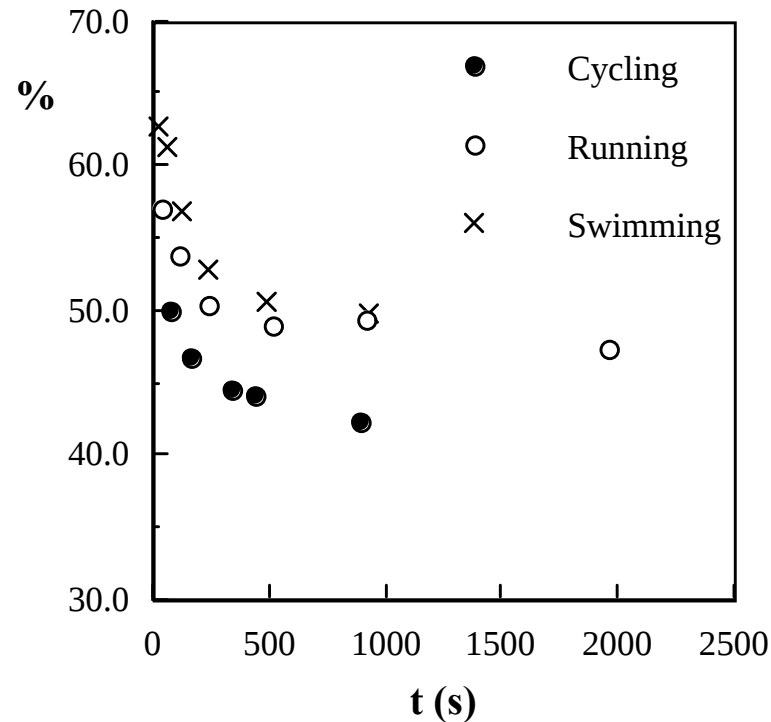
CAn Al	————
CAn L	
MPA	-----
C_r	-----



Peculiarità del peso di C

Il peso di C nel determinare le prestazioni record è pressochè indipendente dalla potenza metabolica.

Prevalenza del peso di C



A prescindere dalla velocità, le modificazione di BPT (best performance time) causate esclusivamente dalle variazioni di C spiegano da sole il 50 % delle variazioni di BPT quando tutte le altre variabili (MPA, AnAIC, AnLC) vengono modificate contemporaneamente della stessa percentuale

Bibliografia

- *di Prampero PE, Capelli C, Pagliaro P, Antonutto G, Girardis M, Zamparo P, Soule RG. **Energetics of best performances in middle-distance running.** J Appl Physiol 74: 2318 - 2324, 1993.*
- *Capelli C, Schena F, zamparo P, Dal Monte A, faina, M, di Prampero PE. **Energetics of best performances in trach cycling.** Med Sci Sports Exerc. 30: 614 - 624, 1998.*
- *Olds TS, Norton KI, Craig NP. **Mathematical moel of cycling performance.** J Appl Physiol 75: 730 - 737, 1993.*
- *Capelli C. **Physiological determinants of best performances in human locomotion.** Eur J Appl Physiol 80: 298-307, 1999.*
- *Ferretti G e Capelli C. **Dagli Abissi allo Spazio,** edi-ermes, Milano, 2009, Cap.1.*