

L'intervento del meccanismo aerobico negli 800 metri

Enrico Arcelli¹, Andrea Riboli², Athos Trecroci³

- 1) Professore Associato al Dipartimento di Scienze dello Sport, Nutrizione e Salute dell'Università degli Studi di Milano.
- 2) Laurea Magistrale in Scienza dello Sport, facoltà di Scienze Motorie dell'Università degli Studi di Milano.
- 3) Laurea Magistrale in Scienza dello Sport, facoltà di Scienze Motorie dell'Università degli Studi di Milano.

In questo articolo si parlerà del meccanismo aerobico nella corsa degli 800 metri, in particolare del suo contributo sulla spesa totale per completare la distanza. Si parlerà altresì della differente importanza del meccanismo anaerobico lattacido negli uomini e nelle donne.

Il contributo del meccanismo energetico aerobico sulla spesa totale



Autori	Contributo Aerobico	Contributo Anaerobico
Foss e Keteyian (1998)	35	65
Lamb et al. (1984)	40	60
Astrand e Rodahl (1970)	50	50
Newsholme et al. (1992)	50	50
Ward-Smith (1985)	52	48
Peronnet e Thibault (1989)	57	43
Billat et al. (2009)	57	43
Lacour et al. (1990)	59	41
Scott et al. (1991)	60	40
Spencer et al. (1996)	61	39
Hill (1999)	58 (uomini)	38 (donne)
	62 (donne)	42 (uomini)
di Prampero et al. (1993)	62	38
Spencer e Gastin (2001)	66	34
Duffield et al. (2005)	60 (uomini)	30 (donne)
	70 (donne)	40 (uomini)
Craig e Morgan (1998)	60-73	27-40
Weyand et al. (1993 e 1994)	71 (uomini sprint)	19 (donne fondo)
	76 (uomini fondo)	24 (donne sprint)
	76 (donne sprint)	24 (uomini fondo)
	81 (donne fondo)	19 (uomini sprint)

Tabella 1: Contributo del meccanismo energetico aerobico e del meccanismo energetico anaerobico negli 800 m secondo gli autori indicati nella prima colonna. Sono dapprima riportati i dati con i valori più bassi di intervento aerobico e poi tutti gli altri in ordine crescente.

Sono stati espressi pareri molto differenti su quale sia la percentuale dell'energia derivante dal meccanismo aerobico nella prova degli 800 m dell'atletica leggera. Come si può notare dalla tabella 1, è molto ampio l'ambito dei valori proposto dai vari studiosi: mentre Foss e Kateyan (1998) indicano che tale meccanismo contribuisce soltanto per il 35% la maggior parte degli altri autori fornisce valori sensibilmente maggiori; secondo Weyand et al. (1993 e 1994), il contributo del meccanismo energetico aerobico arriva fino all'81% nel caso delle atlete che praticano il fondo. In un precedente articolo (Arcelli et al., 2008) era stato osservato che anche per i 400 m la letteratura scientifica riportava valori molto diffusi sull'intervento del meccanismo aerobico e si era

cercato di capire da che cosa dipendessero queste opinioni tanto diverse. Si era ritenuto che fossero importanti soprattutto questi fattori: (a) la diversa metodologia di ricerca utilizzata; (b) il fatto che gli atleti testati fossero uomini oppure donne; (c) le caratteristiche da sprinter o da atleti di endurance degli atleti stessi; (d) il diverso livello prestativo dei corridori. Proprio quest'ultimo fattore era risultato essere il più importante. Si cercherà ora di esaminare se anche per gli 800 m valgono le stesse considerazioni.

Le differenze nelle metodiche utilizzate dai vari autori.

Sono stati vari i criteri seguiti dai diversi studiosi per calcolare l'intervento percentuale del meccanismo

Metodo utilizzato	Autori
Modello matematico	Ward-Smith, 1985 Peronnet e Thibault, 1989 di Prampero et al., 1993
[La-] _b dopo gare di 800 m; aerobico e alattacido su base teorica	Lacour et al., 1990
Deficit di ossigeno durante test su treadmill	Weyand et al., 1993 Spencer, Gastin e Payne, 1996 Craig e Morgan, 1998 Spencer e Gastin, 2001
[La-] _b dopo gare di 800 m + aerobico su treadmill	Hill, 1999
Deficit di ossigeno e [La-] _b in simulazioni di 800 m su pista. Consumo di ossigeno su treadmill	Duffield et al., 2005
Deficit di ossigeno e [La-] _b in gare di 800 m. Consumo di ossigeno in pista	Billat et al., 2009
Criterio non indicato	Astrand e Rodahl, 1970 Lamb et al., 1984 Scott et al, 1991 Newsholme et al, 1992 Foss e Keteyian, 1998

Tabella 2: Metodo utilizzato dai vari autori per calcolare l'intervento del meccanismo energetico aerobico. Con [La-]_b si intende la concentrazione di lattato ematico dopo gli 800 metri.

aerobico nel fornire l'energia per completare gli 800 m (tabella 2). Alcuni ricercatori (Ward-Smith, 1985; Perronet e Thibault, 1989; di Prampero et al., 1993) si sono basati su modelli matematici. Lacour et al. (1990), a loro volta, hanno calcolato la spesa energetica totale misurando negli atleti, subito dopo la gara, il picco di lattato ematico; hanno poi fatto una stima dell'ossigeno utilizzato e dell'energia alattacida in base ai dati della letteratura.

Weyand et al. (1993), Spencer et al. (1996), Craig e Morgan (1998) e Spencer e Gastin (2001), invece, hanno simulato sul treadmill, per ciascun atleta, una gara di 800 m ed hanno usato il metodo suggerito da Medbo et al. (1988) per calcolare il "deficit di ossigeno accumulato" ("accumula-

ted oxygen deficit” o AOD); hanno misurato, insomma, il costo energetico della corsa a varie velocità sottomassimali e, per estrapolazione, il “costo stimato” alla velocità alla quale è stata corsa la prova degli 800 m. A questa velocità la componente aerobica è costituita dal consumo effettivo di ossigeno; la differenza fra il “costo stimato” e il consumo effettivo di ossigeno, invece, rappresenta quello che è definito “deficit di ossigeno accumulato” e corrisponde alle componenti anaerobiche.

Hill (1999) e Billat et al. (2009) hanno valutato il consumo di ossigeno, rispettivamente con un test a velocità costante su treadmill e con un test incrementale in pista; hanno altresì rilevato i valori di lattato ematico al termine di competizioni ufficiali di 800 m per calcolare l'intervento del meccanismo anaerobico lattacido.

La ricerca di Duffield et al. (2005) è stata più complessa; questi autori, infatti, hanno fatto una valutazione sia con il metodo del “deficit di ossigeno accumulato”, sia con quello di Hill (1999), facendo compiere agli atleti un test in pista di 800 m, con la misura diretta del consumo effettivo di ossigeno con il Cosmed K4 e con la rilevazione, subito dopo la prova, del lattato ematico.

Non è noto, infine, il criterio che hanno seguito alcuni studiosi

(Astrand e Rodahl, 1977; Lamb et al., 1984; Scott et al., 1991; Newsholme et al., 1992; Foss e Keteyian, 1998) per definire le percentuali dell'intervento del meccanismo aerobico e di quello anaerobico.

Non è facile capire in quale misura il tipo di ricerca utilizzata de termini negli 800 m un diverso valore riscontrato nell'intervento dei meccanismi energetici. Nell'articolo dedicato ai 400 m (Arcelli et al., 2008), i dati disponibili facevano ritenere che con il metodo del “deficit di ossigeno accumulato” il contributo aerobico risultasse aumentato di qualche punto percentuale. In questo caso, invece, l'unica ricerca nella quale gli stessi soggetti sono stati valutati con due criteri differenti (Duffield et al., 2005) ha dato risultati che, da tale punto di vista, sono contrastanti: come si vede dalla tabella 3, negli uomini, infatti, si ha un valore più elevato nella percentuale aerobica quando è stato utilizzato il criterio della misura della concentrazione del lattato ematico più la stima dell'alattacido (63% contro 60% delle atlete); nelle donne, invece, è successo l'opposto (68% contro 70%). Sembrerebbe, infine, che i valori calcolati attraverso modelli matematici (Ward-Smith, 1985; Perronet e Thibault, 1989; di Prampero et al., 1993) tendano a sovrastimare l'apporto aerobico.

Le differenze fra uomini e donne.

Nella tabella 4 sono riportati i valori percentuali di contributo del meccanismo aerobico per gli uomini e per le donne secondo quattro autori. In tutti e quattro i casi, l'apporto aerobico è sempre maggiore nelle donne. Se, però, come nella figura 1, i dati emersi da queste ricerche (e, per gli uomini, dalle altre ricerche di tipo sperimentale indicate nella tabella 5) sono posti in un grafico nel quale la percentuale del lavoro aerobico è in funzione del tempo impiegato negli 800 m, si nota che, invece, sono gli uomini ad avere una percentuale più elevata del contributo aerobico. Questa apparente contraddizione si spiega con il fatto che quando due atleti, uno di sesso maschile, l'altro di sesso femminile, ottengono negli 800 m l'identico tempo (per esempio 1'58”), la donna ha una maggiore produzione di acido lattico (Arcelli, 1995). Considerando, dunque, che la spesa energetica (espressa in mL.kg⁻¹) è simile in entrambi e che nella donna una maggiore quantità di energia deriva dal meccanismo anaerobico lattacido, la percentuale di lavoro aerobico risulta più elevata nell'uomo. Il contributo aerobico, al contrario, può risultare maggiore nelle donne soltanto quando, come in questi quattro studi, sono molto differenti i tempi degli atleti testati; in essi, infatti, le ottocentiste hanno riscontri cronometrici peggiori di quelli degli ottocentisti di 16,4 s in Lacour et al. (1990), di 30,3 s (sprinter) e di 29,4 s (fondisti) in Weyand et al. (1993 e 1994), di 25,5 s in Hill (1999) e di 25,5 s in Duffield e Dawson (2005).

	Deficit di ossigeno accumulato		Lattato e fosfocreatina	
	% Aerobico	% Anaerobico	% Aerobico	% Anaerobico
Uomini (9)	60,3 ± 9,0	39,7 ± 9	63,4 ± 5,2	36,6 ± 5,2
Donne (2)	70,1 ± 16,2	29,9 ± 16,2	68,6 ± 3,6	31,4 ± 3,6

Tabella 3: Contributo aerobico ed anaerobico calcolato con due diversi metodi da Duffield et al. (2005).

	Tempo sugli 800 m	Contributo aerobico
Lacour et al. (1990), uomini	1'46"59	46,3%
Lacour et al. (1990), donne	2'02"99	52,6%
Weyand et al. (1993 e 1994), uomini	2'01"6 (sprint)	71%
	2'06"9 (fondo)	76%
Weyand et al. (1993 e 1994), donne	2'31"9 (sprint)	76%
	2'36"3 (fondo)	81%
Hill (1999), uomini	2'00"2	58%
Hill (1999), donne	2'25"7	62%
Duffield e Dawson (2005), uomini	2'06"0	60%
Duffield e Dawson (2005), donne	2'31"5	70%

Tabella 4: Contributo percentuale del meccanismo energetico aerobico in corridori degli 800 m di sesso maschile e di sesso femminile, secondo quattro pubblicazioni scientifiche. Nella seconda colonna sono indicati i tempi dei soggetti; nel caso di Weyand et al. (1994), essi sono stati divisi in corridori delle prove di sprint e corridori delle prove di fondo. Per Lacour et al. (1990) i valori del contributo percentuale del meccanismo aerobico- sia per gli uomini che per le donne - sono stati calcolati in base ai dati presenti nella ricerca; questi valori, invece, erano già indicati nelle pubblicazioni degli altri tre autori.

Le differenze nell'intervento del meccanismo aerobico in sprinter e in fondisti.

Weyand et al. (1993 e 1994) sono gli unici studiosi ad avere confrontato il diverso contributo che il meccanismo aerobico fornisce, durante la prova degli 800 m, negli sprinter e negli atleti che si dedicano alle prove di fondo. Come si vede dalla ta-

bella 1, negli uomini esso è del 71% per gli sprinter e del 76% per i fondisti, mentre è del 76% nelle atlete dello sprint e dell'81% in quelle del fondo. È del tutto ovvio che questa differenza del 5% fra gli atleti dei due sessi nasca dalle maggiori disponibilità di lattacide e dalla maggior facilità a ricavare energia dal meccanismo

	Tempo sugli 800 m	Contributo Aerobico
Spencer et al (1996)	1'58"	69%
Craig e Morgan (1998)	2'12"	66%
Spencer e Gustin (2001)	1'50"	66%
Billat et al. (2009)	2'09"	57%

Tabella 5: Contributo percentuale del meccanismo energetico aerobico in corridori degli 800 m di sesso maschile, secondo quattro pubblicazioni di tipo sperimentale. Nella seconda colonna sono indicati i tempi dei soggetti sugli 800 m.

aerobico da parte degli atleti delle distanze più lunghe.

Il diverso livello prestativo dei corridori.

I dati della tabella 5 riportano il contributo percentuale del meccanismo energetico per soli ottocentisti uomini in base alle ricerche di Spencer et al. (1996), di Craig e Morgan (1998), di Spencer e Gustin (2001) e di Billat et al. (2009).

Nella figura 1 le percentuali del contributo aerobico stabilite dai diversi studiosi con ricerche sperimentali (quelle della tabella 4 più quelle della tabella 5) sono poste in funzione del tempo sugli 800 m. Come si vede da tale figura, la percentuale aerobica aumenta con l'aumentare del tempo impiegato. Negli uomini, come si è già detto, il contributo aerobico è sempre maggiore di quello delle donne a parità di tempo impiegato. La percentuale di tale contributo, secondo le rette della figura 1, essendo t il tempo impiegato negli 800 m espresso in s, è pari a:

- Percentuale del lavoro aerobico negli uomini = $0,40 t + 15,29$
- Percentuale del lavoro aerobico nelle donne = $0,8 t - 47,85$.

In base a tali formule, nell'uomo che corre gli 800 m in 1'45" la percentuale aerobica è del 57,3% e cresce di circa il 4% per ogni aumento di 10 secondi nel tempo ottenuto sulla distanza; nella donna che impiega 2', invece, l'intervento aerobico copre il 48,15% del totale e sale dell'8% per ogni 10 secondi in più impiegati.

La spesa energetica totale e il contributo del meccanismo aerobico e di quelli anaerobici.

Nella figura 2 (per gli uomini) e nella figura 3 (per le donne) la curva più alta rappresenta la spesa energetica totale per correre gli 800 m (Arcelli e Dotti, 2001). In base ai dati delle due formule indicate sopra, è stata costruita la curva posta subito sotto, quella che indica il contributo aerobico. Sono stati poi calcolati gli interventi alattacido e lattacido. La prima componente (facendo riferimento a Lacour, 1990) è stata considerata pari al 13% del lavoro anaerobico. Dalla componente lattacida (pari all'87% del lavoro anaerobico) è stato calcolato il corrispondente incremento di lattato ematico, tenendo conto che ogni $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ in più di esso nel sangue, secondo di Prampero (1985), corrisponde ad una produzione di energia di $3 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$. Considerando pari a $1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ la concentrazione basale del lattato ematico, è stata costruita la figura 4; in essa viene indicata la concentrazione teorica del lattato ematico, negli atleti dei due sessi, al termine della prova di 800 m.

Conclusioni

Su quello che è il contributo percentuale del meccanismo aerobico sulla spesa energetica per correre gli 800 m sono state espresse in passato opinioni molto diverse, con estremi fra il 35% (Foss e Keteyian, 1998) e l'81% (Weyand et al. 1993). Alcuni degli autori hanno sostenuto che le percentuali più corrette erano quelle da loro indicate e

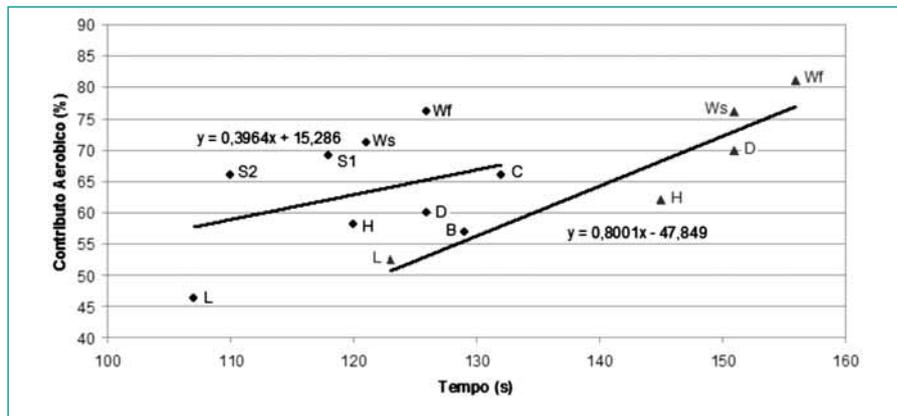


Figura 1: Contributo percentuale del meccanismo aerobico in funzione del tempo sugli 800 m, in s. I quadrati scuri rappresentano i dati riferiti agli uomini, i triangoli quelli delle donne. Le lettere accanto ai simboli si riferiscono alle seguenti pubblicazioni: B = Billat et al., 2009; C = Craig e Morgan, 1998; D = Duffield e Dawson (2005); H = Hill, 1999; L = Lacour et al., 1990; S1 = Spencer et al., 1996; S2 = Spencer e Gastin, 2001; Ws = Weyand et al. (1993 e 1994), atleti dello sprint; Wf = Weyand et al. (1993 e 1994), atleti del fondo.

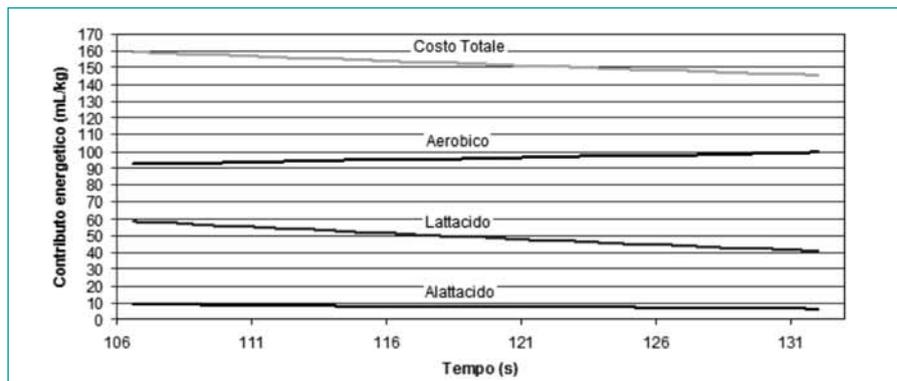


Figura 2: Contributo energetico ($\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}$) dei meccanismi aerobico (seconda curva), lattacido (terza curva) ed alattacido (quarta curva) in funzione del tempo sugli 800 m (in s) per gli uomini. La curva in alto rappresenta il costo totale della prova.

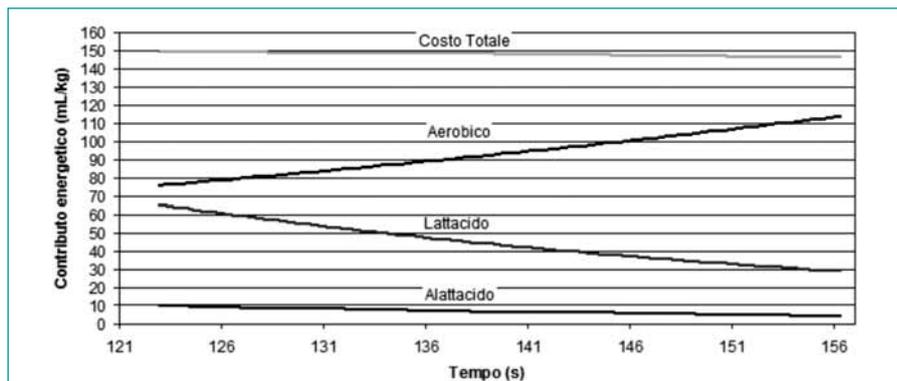


Figura 3: Contributo energetico medio ($\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}$) dei meccanismi aerobico (seconda curva), lattacido (terza curva) ed alattacido (quarta curva) in funzione del tempo sugli 800 m (in s) per le donne. La curva in alto rappresenta il costo totale della prova.

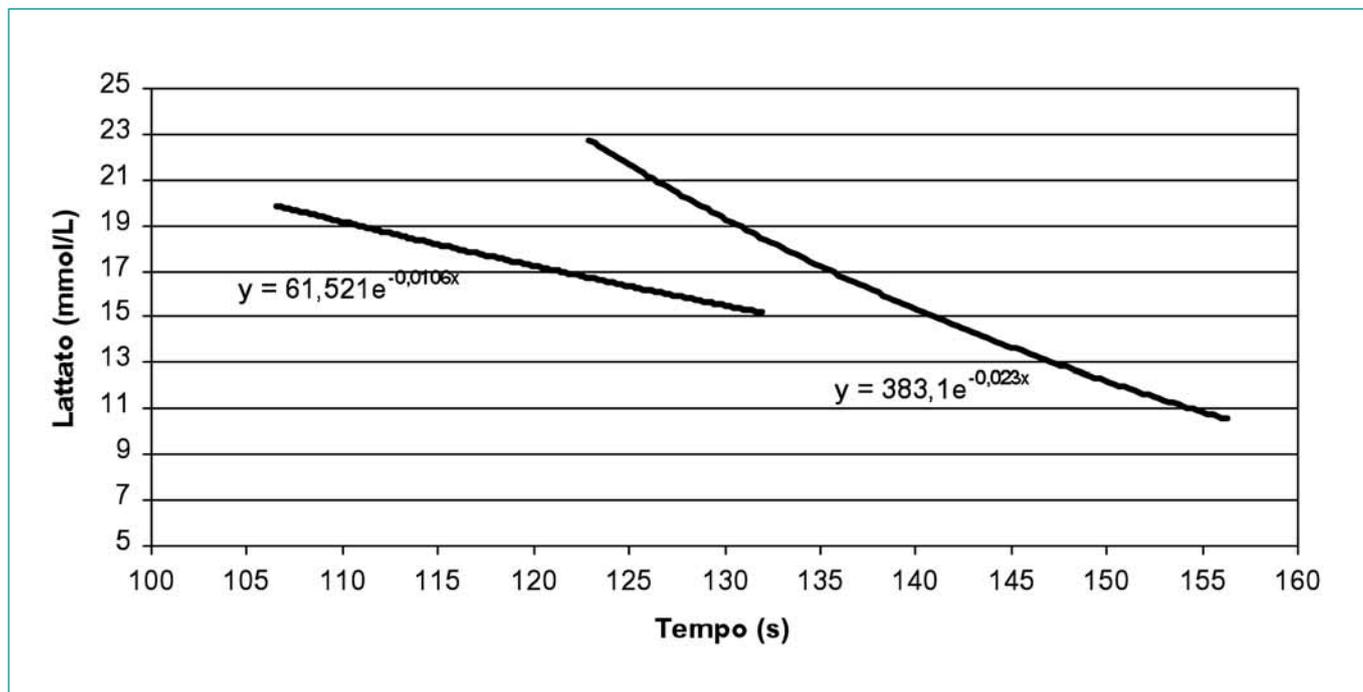


Figura 4: Concentrazione media di lattato ematico alla fine degli 800 m, in funzione del tempo ottenuto (in s), negli uomini (curva scura) e nelle donne (curva chiara).

che, dunque, non erano attendibili quelle di altri studiosi che avevano proposto percentuali lontane dalle loro. Soltanto pochi studiosi hanno cercato di capire il perché di questi valori così difforni. Weyand et al. (1993 e 1994), in particolare, hanno ritenuto che fosse importante l'attitudine dei soggetti testati; è risultato che quelli più portati alle prove di fondo hanno una percentuale aerobica di circa il 5% maggiore di quelli più dotati per le prove di sprint. Duffield e Dawson (2005), invece, hanno voluto verificare se fosse la metodica della ricerca a portare a valori divergenti; non sono state trovate differenze significative fra i due criteri adottati con gli stessi atleti.

Nel presente articolo, invece, si è cercato di dimostrare che il fattore quantitativamente più importante – come già constatato da Arcelli et al. (2008) con riferimento alla prova dei 400 m - è costituito dalla

prestazione cronometrica ottenuta dagli atleti: quanto maggiore è il tempo registrato, infatti, tanto più elevata è la percentuale dell'energia derivata dal meccanismo aerobico. Ogni aumento di 1 secondo nel tempo ottenuto negli 800 m, infatti, fa salire la percentuale aerobica di quasi lo 0,4% negli uomini e di circa lo 0,8% nelle donne.

Alla luce di ciò, tende a perdere di significato quanto affermato da alcuni autori (Weyand et al., 1993; Hill, 1999; Duffield e Dawson, 2005) secondo i quali le donne utilizzano una percentuale maggiore di energia aerobica. Questa loro conclusione, infatti, era originata soltanto dal fatto che i due gruppi di atleti da loro confrontati avevano prestazioni sugli 800 m molto differenti, con i tempi delle atlete sensibilmente peggiori (da 25,5 secondi a 30,3 secondi) rispetto a quelle degli uomini (si veda la ta-

bella 4). La figura 1 indica chiaramente che per risultati cronometrici uguali sono gli uomini a ricavare mediamente una percentuale di energia superiore (oltre il 10%) rispetto a quelli delle donne.

In questo articolo sono state anche proposte due formule (una per gli atleti, l'altro per le atlete) con le quali calcolare qual è mediamente la percentuale dell'intervento del meccanismo aerobico in funzione del tempo ottenuto sugli 800 m. La figura 4, infine, indica qual è la concentrazione ematica media di lattato negli ottocentisti e nelle ottocentiste al termine della gara. Sia per quello che riguarda la percentuale del lavoro aerobico, sia per quanto concerne la concentrazione ematica di lattato, ad ogni modo, ci sono certamente differenze fra un atleta e l'altro, in primo luogo in rapporto alle attitudini individuali e al tipo di allenamento sostenuto.

Bibliografia

- Arcelli E. (1995) *Acido lattico e prestazione*. Cooperativa Dante editrice, Vigevano.
- Arcelli E. e Dotti A. (2001) *Mezzofondo veloce: dalla fisiologia all'allenamento*. Federazione Italiana di Atletica Leggera, pag. 141.
- Arcelli E., Mambretti M., Cimadoro G. e Alberti G. (2008) The aerobic mechanism in the 400 meters. *New Studies in Athletics*, 2: 15-23, b.
- Astrand P.-O. e Rodahl K. (1970) *Textbook of work physiology*. McGraw-Hill Company, New York.
- Billat V., Hamard L., Koralsztein J.P. e Morton H. (2009) Differential modeling of anaerobic and aerobic metabolism in the 800-m and 1,500-m run. *Journal of Applied Physiology*, 107, pp. 478-487.
- Craig I.S. e Morgan D.W. (1998) Relationship between 800-m running performance and accumulated oxygen deficit in middle distance runners. *Medicine & Sciences in Sports & Exercise*, 30 (11): 1631-1636.
- di Prampero, P.E. (1985) *La locomozione umana su terra, in acqua e in aria*. Edi-Ermes editore, Milano.
- di Prampero P.E., Capelli C., Paggiaro P., Antonutto G., Giradis M., Zamparo P. and Soule R.G. (1993) Energetics of best performances in middle distance running. *Journal of Applied Physiology*, 74(5), pp. 2318-2324.
- Duffield R. e Dawson B. (2003) Energy system contribution in track running. *New Studies in Athletics*, 4, pp. 39-44.
- Duffield R., Dawson B. e Goodman C. (2005) Energy system contribution to 400metre and 800-metre track running. *Journal of Sports Sciences*, 23, pp. 299-307.
- Foss M.L. e Kateyan S.J. (1998) *Fox's Physiological Basis for Exercise and Sport*, 6th edition, Dubuque, McGraw-Hill. Citati da Hill (1999).
- Hill D.W. (1999) Energy system contributions in middle distance running events. *Journal of Sports Sciences*, 17, pp. 477-483.
- Lacour J.R., Bouvat E. e Barthélémy J.C. (1990) Post-competition blood lactate concentration as indicators of anaerobic energy expenditure during 400m and 800-m races. *European Journal of Applied Physiology*, 61, pp.172-176.
- Lamb D.R. (1984) *Physiology of exercise*. MacMillan Publishing Company, New York, second edition.
- Medbo J.I., Mohn A.C., Tabata I., Bahr R. e Vaage O. (1988) Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. *Journal of Applied Physiology*, 64, pp. 50-60.
- Newsholme E.A., Blomstrand E., McAndrew N. e Parry-Billing M. (1992) *Biochemical causes of fatigue and overtraining*, in "Endurance in Sport", by R.J. Shephard & P.-O. Astrand (editors), Blackwell. Londra.
- Peronnet F. and Thibault G (1989) Mathematical analysis of running performance and world records. *Journal of Applied Physiology*, 67(1), pp. 453-465.
- Scott C.B., Roby F.B., Lothman T.G. e Bunt J.C. (2001) The maximal accumulated oxygen deficit as an indicator of anaerobic capacity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 23, pp. 618-624. Citati da Spencer and Gastin (2001).
- Spencer M.R., Gastin P.-B. e Payne W.-R. (1996) Energy system contribution during 400- to 1500-m running. *New Studies in Athletics*, 11, pp. 59-65.
- Spencer M.R. e Gastin P.-B. (2001) Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33, pp.157-162.
- Ward-Smith A.J. (1985) A mathematical theory of running, based on the first law of thermodynamics, and its application to the performance of world-class athletes. *Journal of Biomechanics*, 18(5), pp. 337-349.
- Weyand P.G., Cureton K., Conley D. e Sloniger M. (1993) Percentage anaerobic energy utilized during track running events. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25, S105.
- Weyand P.G., Cureton K.J., Conley D.S., Sloniger M.A. e Liu Y.L. (1994) Peak oxygen deficit predicts sprint and middle-distance track performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26 (9), pp. 1174-1180.