

ALCUNE CARATTERISTICHE FISIOLOGICHE DELLA MARCIA

ENRICO ARCELLI

Mi propongo di partire da dati teorici per arrivare a considerazioni che riguardano problemi molto pratici della marcia, quali le metodiche di allenamento; tenterò anche di dare un'interpretazione di alcuni aspetti delle metodologie di allenamento dei messicani.

SPESA ENERGETICA NELLA MARCIA - Da valutazioni fatte su marciatori di livello olimpico, in particolare Visini e Zambaldo (1), si può dire che, per velocità comprese fra i 9 e i 15 km/ora, la spesa unitaria nella marcia (cioè quello che l'atleta spende per ciascun chilometro e per ciascun chilogrammo del proprio peso corporeo) è pari a:

$$\begin{aligned} (94 v) \text{ cal/kg.km} &= \\ (18,8 v) \text{ ml/kg.km} & \quad 1) \end{aligned}$$

in cui v rappresenta la velocità di marcia espressa in km/ora. Si tenga presente che nella corsa, invece, la spesa unitaria su atleti di buon livello è (2):

$$\begin{aligned} (875 + 0,185 v^2) \text{ cal/kg.km} &= \\ (175 + 0,037 v^2) \text{ ml/kg.km} & \quad 2) \end{aligned}$$

Dalla *Figura 1* si constata come ad una velocità pari a circa 9,5 km/ora si intersecano le curve della marcia e della corsa: questa è la velocità critica, al di sotto della quale all'atleta costa meno marciare e al di sopra della quale, al contrario, costa meno correre. Siccome è verosimile che molti marciatori abbiano un costo unitario della corsa leggermente superiore a quello dei corridori, è probabile che per la loro velocità critica sia superiore ai 10 km/ora. Nell'individuo normale, non atleta, questa velocità critica è attorno agli 8,3 km/ora (3).

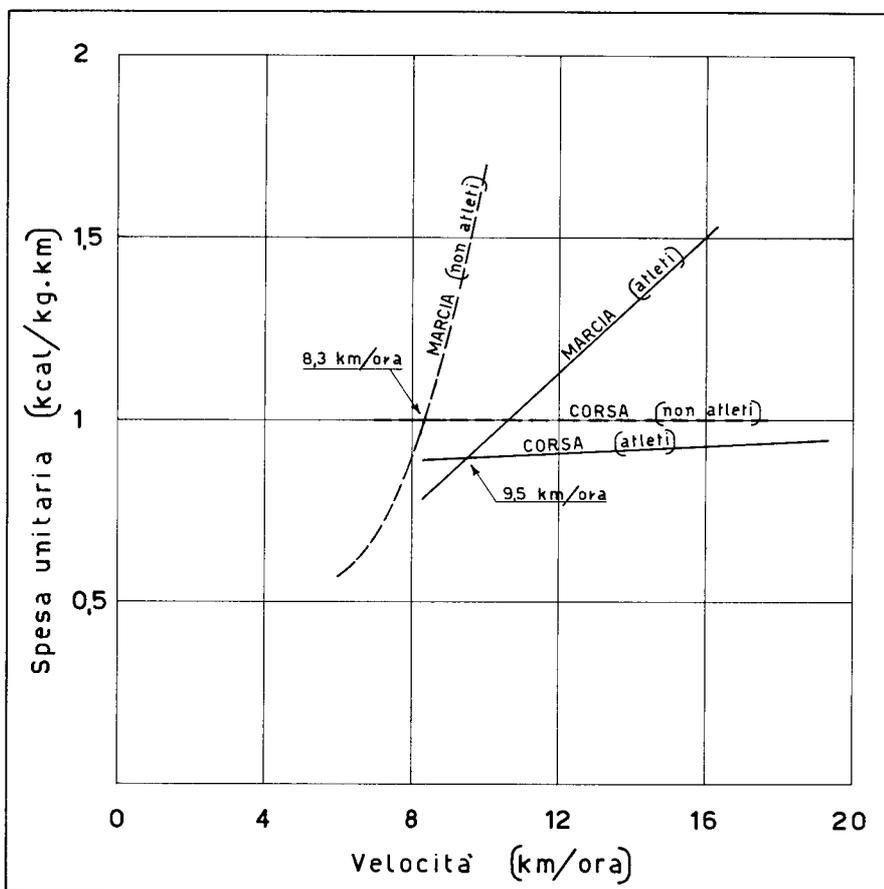


Figura 1 - Spesa unitaria (cioè per ogni chilometro e per ogni chilogrammo del peso corporeo), in funzione della velocità, nella marcia e nella corsa; le linee continue si riferiscono ad atleti di notevole livello prestativo: le linee a tratteggio a individui normali, non atleti. I punti nei quali si incrociano le curve costituiscono i punti critici, quelli al di sotto dei quali si spende meno a marciare e al di sopra dei quali si spende meno a correre.

POTENZA - Un altro valore interessante, oltre a quello della spesa unitaria, è rappresentato dal consumo energetico nell'unità di tempo, un valore questo di potenza. Nelle colonne più a destra della *Tabella 1* vengono appunto riportate le formule per calcolare il consumo energetico in millilitri di ossigeno per chilogrammo di peso corporeo e per minuto (ml/kg.min) e in chilocalorie per chilogrammo di peso corporeo e per ora (kcal/kg.ora). Nella *Tabella 2* vengono elencati quelli che al 26-7-77 sono i primati mondiali su pista delle principali distanze della marcia, cioè i 10, 20, 30 e 50 km; vengono inoltre elencati i primati mondiali dell'ora di marcia e dell'ora di corsa.

Per tutte queste prove vengono calcolate (si veda la *Tabella 3*) la spesa unitaria e il consumo energetico. È interessante confrontare il consumo energetico nell'ora di marcia e nell'ora di corsa: la potenza media nella marcia è di poco più di 19 kcal/kg.ora, mentre nella corsa è superiore alle 20 (così come nell'ora ciclistica); la differenza di potenza è pari a oltre il 5%; se il corridore sviluppasse la stessa potenza del marciatore, il record mondiale, invece degli attuali 20,944 km, sarebbe di 20,075 km. Una spiegazione di questa differenza potrebbe consistere nel fatto che nel gesto tecnico della marcia l'atleta non riesce a esplicitare la sua massima potenza.

TABELLA 1

	spesa unitaria		consumo energetico	
	ml/kg · km	cal/kg · km	ml/kg · min	kcal/kg · ora
marcia	18,8 v	94 v	0,3133 v ²	0,094 v ²
corsa	175 + 0,037 v ²	875 + 0,185 v ²	2,917 v + + 0,000617 v ³	0,875 v + + 0,000185 v ³

Tabella 1 - Per la marcia e per la corsa, vengono indicati, in funzione della velocità v (in km/ora), i valori di spesa unitaria, cioè di spesa per ogni chilometro o per ogni chilogrammo di peso corporeo, e di consumo energetico nell'unità di tempo in atleti di elevato livello nelle rispettive discipline.

TABELLA 2

prova	primatista del mondo cognome (nazionalità)	anno	prestazione ore min sec	velocità km/ora	cfr. con la vel. sui 50 km
10 km	Colin (Messico)	1977	40' 39"	14,760	+ 16,64%
20 km	Bautista (Messico)	1977	1. 23' 32"	14,365	+ 13,31%
30 km	Kannenberg (Germ. Fed.)	1974	2. 12' 58"	13,537	+ 6,78%
50 km	Vera (Messico)	1977	3. 56' 39"	12,677	—
ora di marcia	Kannenberg (Germ. Fed.)	1974	14,241 km	14,241	—
ora di corsa	Hermens (Olanda)	1976	20,944 km	20,944	—

Tabella 2 - Per le prove di marcia dei 10, 20, 30 e 50 km e per le prove dell'ora di marcia e di corsa vengono indicati quelli che il 26-7-77 sono i primati mondiali su pista (o le migliori prestazioni mondiali nel caso dei 10 km e dell'ora di marcia); vengono anche indicati la velocità media (in km/ora) e, per le prime tre prove, le differenze percentuali fra tali velocità e quella del primato mondiale sui 50 km.

TABELLA 3

prova	velocità km/ora	spesa unitaria kcal/kg.km	consumo energetico		cfr. con il consumo en. nei 50 km
			kcal/kg.ora	ml/kg.min	
10 km	14,760	1,387	20,479	68,261	+ 35,57%
20 km	14,365	1,350	19,397	64,657	+ 28,41%
30 km	13,537	1,272	17,225	57,418	+ 14,03%
50 km	12,677	1,192	15,106	50,355	—
ora di marcia	14,241	1,338	19,064	63,545	—
ora di corsa	20,944	0,956	20,026	66,762	—

Tabella 3 - Per le prove di marcia dei 10, 20, 30 e 50 km e per le prove dell'ora di marcia e di corsa vengono indicati, facendo riferimento ai primati mondiali al 26-7-77, la velocità media, la spesa unitaria, il consumo energetico nell'unità di tempo (espresso sia in kcal/kg.ora che in ml/kg.min) e, nell'ultima colonna, per le prime tre prove, le differenze percentuali fra il consumo energetico in tali prove e quello nei 50 km.

L'INTERVENTO DEI VARI MECCANISMI ENERGETICI NELLA MARCIA. - Se consideriamo il consumo energetico degli atleti che hanno compiuto il primato mondiale nelle varie distanze della marcia, constatiamo come, rispetto a quello sui 50 km, esso sia nei 10 km superiore del 35%, nei 20 km del 28%, nei 30 km del 14% (ultima colonna della Tabella 3).

Questa sembrerebbe una constatazione del tutto ovvia: è noto a tutti, infatti, che nelle distanze brevi la velocità del record del mondo è superiore a quella delle distanze più lunghe. Quello che è meno ovvio è il perché questo succeda: quali meccanismi energetici intervengono per consentire, per esempio, che nei 30 km, a livello di primato mondiale o italiano oppure a livello di singolo atleta, la velocità media sia superiore a quella dei 50 km?

Si sa che, per poter lavorare, i muscoli hanno bisogno di ATP; si sa anche che l'ATP può essere prodotto con tre meccanismi l'uno differente dall'altro: quello lattacido, quello lattacido e quello aerobico. Subito si può dire che nelle prove di marcia (tanto più in quelle che abbiamo preso in considerazione) il meccanismo lattacido ha un peso del tutto trascurabile. Rimangono gli altri due meccanismi; ma quello lattacido sembrerebbe pure da escludere: se, infatti, al termine di una prova — soprattutto di 20, 30 o 50 km — andiamo a verificare quanto acido lattico si trova nel sangue e facciamo il confronto con i valori che si hanno a riposo, constatiamo che la differenza è minima; dato che dall'aumento della concentrazione dell'acido lattico che si ha nel sangue in seguito ad uno sforzo, si può calcolare, con una buona approssimazione, quanto ATP si è formato con il meccanismo lattacido, dovremmo arrivare alla conclusione che l'unico meccanismo attraverso il quale si forma ATP nei muscoli del marciatore sia quello aerobico, e che, quindi, non si possa pensare che a determinare la differenza di velocità nelle varie

distanze (e perciò la differenza di potenza) sia il meccanismo lattacido.

Bastano pochi calcoli anche per escludere che siano determinanti fattori come la disponibilità di glucidi o l'equilibrio termico, l'influenza dei quali, in condizioni normali, non può certo spiegare le diverse velocità e potenze delle varie distanze.

PRODUZIONE LOCALE DI ACIDO LATTICO.

A parer mio c'è un fattore che può spiegare queste differenze: è l'acido lattico. Ho detto prima che nelle gare di marcia, soprattutto quelle oltre i 10 km, è minima la differenza di concentrazione nel sangue di acido lattico fra prima e dopo la gara; se però consideriamo non l'organismo in toto e consideriamo le cose istante per istante (e non soltanto la differenza fra l'inizio e la fine della prova), possiamo pensare che in alcuni gruppi muscolari ci sia, durante la gara, una certa produzione di acido lattico. Tale acido lattico, comunque, dai muscoli passa nel sangue e, attraverso il torrente circolatorio, arriva a vari organi che, mentre lo sforzo è ancora in corso, lo eliminano (il fegato e i reni prevalentemente lo utilizzano per ricostruire glicogeno; il miocardio e altri muscoli, invece, lo trasformano in acido piruvico e lo ossidano completamente, fino ad acqua e anidride carbonica).

Consideriamo, infatti, quello che succede normalmente nel muscolo: si può dire (Figura 2) che man mano che aumenta l'intensità dello sforzo cui è sottoposto il muscolo stesso, aumenta parallelamente il consumo di ossigeno, per lo meno fino ad un determinato livello; ad un certo punto, quello al quale corrisponde il « massimo consumo di ossigeno » di quel muscolo, infatti, pur aumentando l'intensità dello sforzo, non aumenta più l'ossigeno che viene consumato dal muscolo; per poter aumentare la produzione di ATP e arrivare al livello che consente di far fronte alla spesa necessaria per sostenere quello sforzo,

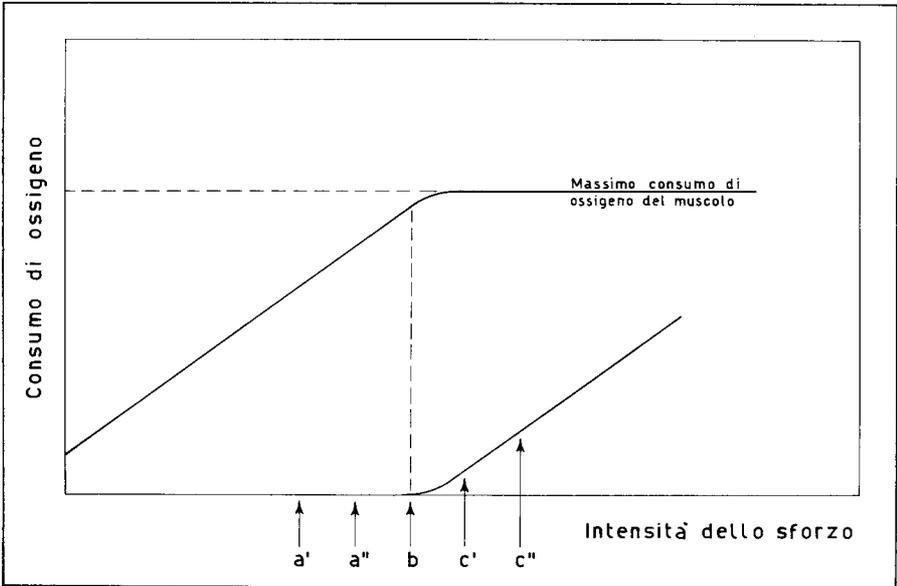


Figura 2 - Consumo di ossigeno di un muscolo al variare dell'intensità dello sforzo al quale è sottoposto: aumentando l'intensità, il consumo di ossigeno continua a crescere, per lo meno fino ad un certo livello, quello che corrisponde al massimo consumo di ossigeno di quel muscolo: aumentando ulteriormente l'intensità dello sforzo, il consumo di ossigeno non cresce più, ma, a partire da un'intensità un po' inferiore a quella alla quale si raggiunge il massimo consumo di ossigeno, inizia a prodursi acido lattico (curva che si stacca dall'ascissa in corrispondenza della freccia b).

il muscolo deve ricorrere al meccanismo lattacido: in corrispondenza del massimo consumo di ossigeno (anzi, un po' prima di arrivare a questo livello, cioè in corrispondenza della freccia b della Figura 2) c'è una piccola produzione di acido lattico.

Se pensiamo al marciatore impegnato in gara, possiamo ritenere che i suoi muscoli, per la maggior parte, producano con il meccanismo aerobico tutto l'ATP che ad essi serve, si trovino cioè nella situazione indicata nella Figura 2 con le frecce a' e a''; questi muscoli (che sono per esempio quelli degli arti superiori e la maggior parte di quelli del tronco) avrebbero a disposizione molto più ossigeno di quello che a loro servirebbe per produrre l'ATP necessario per sostenere lo sforzo che fanno, dal momento che l'intensità alla quale lavorano è nettamente più bassa dell'intensità che corrisponde al loro massimo consumo di ossigeno.

I MUSCOLI LIMITANTI - Ci sono alcuni muscoli, invece, che si trovano nelle condizioni che nella Figura 2 sono indicate dal-

le frecce c' e c''; la massa di quei muscoli, secondo me, non rappresenta una percentuale notevole dell'intera massa muscolare; ma poiché producono una certa quantità di acido lattico e, dunque, impediscono al marciatore di mantenere oltre un certo tempo una certa velocità, possono venire chiamati « muscoli limitanti ».

Un marciatore di livello olimpico, quando va a 10 km/ora, ha verosimilmente tutti i muscoli nelle condizioni indicate dalle frecce a' e a''; aumentando la velocità, per esempio fino a 14,5 km/ora, però, alcuni muscoli si mettono a produrre acido lattico in una quantità tale da superare la capacità di smaltimento e da condurre ben presto all'accumulo di acido lattico; ad un certo punto l'atleta sarà costretto a fermarsi o a ridurre notevolmente l'intensità dello sforzo, cioè la velocità di marcia.

A parità di stile e di altri fattori, insomma, l'andar forte nella marcia dipende dalla resistenza locale di alcuni muscoli, cioè dal fatto di avere i « muscoli limitanti » capaci di produrre, nell'unità di tempo, una grande

quantità di ATP, per la maggior parte con il meccanismo aerobico, ma in una certa parte anche attraverso il meccanismo lattacido; tali muscoli, insomma, devono: (1) essere in grado di utilizzare tanto ossigeno (in altre parole devono avere molti mitocondri), ma devono anche (2) saper sopportare concentrazioni elevate di acido lattico e (3) saper smaltire tale sostanza con rapidità. Questa capacità di smaltimento dell'acido lattico, ovviamente, dipende anche da altri organi (fegato, reni, ecc.), dal momento che quando il livello ematico è basso, il passaggio dal muscolo al sangue è più facile.

Nel marciatore allenato e sano, quindi, i fattori limitanti non sono normalmente a livello ventilatorio, a livello cardiaco, a livello circolatorio, a livello ematico: questi organi e apparati vanno considerati come « servizi », dei quali è sì importante l'efficienza, ma che non sono in genere limitanti; lo diventano, per esempio, se un soggetto ha un polmone solo, o se è fortemente anemico, o se il suo cuore non ha un minimo di efficienza; ma non sono certo queste le situazioni che possono venire considerate normali nei marciatori a livello agonistico.

IL MASSIMO CONSUMO DI OSSIGENO DEI MUSCOLI LIMITANTI. - Nella marcia, in definitiva, i fattori limitanti non sono a livello centrale ma periferico.

Quando si voglia far migliorare la prestazione di un marciatore quale deve essere allora l'obiettivo dell'allenamento?

Deve essere quello di agire prevalentemente sui « muscoli limitanti ». Non è importante allora l'obiettivo di aumentare il massimo consumo di ossigeno dell'intero organismo (a meno che sia piuttosto scarso); in genere l'obiettivo principale deve essere quello di aumentare il massimo consumo di ossigeno dei « muscoli limitanti ».

Credo che l'utilità o meno di certi tipi di allenamento debba venire valutata proprio basan-

dosi sulle considerazioni fisiologiche fatte finora.

Pensiamo, per esempio, alla corsa continua che alcuni marciatori fanno in inverno: se il ritmo è lento, può servire per la resistenza generale; ma anche con lo sci di fondo o con la marcia stessa si può allenare la resistenza generale. Se la corsa viene effettuata a ritmo più sostenuto, ad un ritmo in cui ci sia una certa produzione di acido lattico, può servire ad abituare l'organismo in toto ad alte concentrazioni di acido lattico e, soprattutto, ad allenare quegli organi (fegato, reni, miocardio) che sono deputati alla eliminazione di tale sostanza dall'organismo; ma si può ottenere di allenare tali organi anche facendo marcia continua ad andatura variata, a fartlek, con tratti più veloci nei quali ci sia una sensibile produzione di acido lattico e tratti più lenti in cui tale produzione è minima o nulla, e l'organismo è impegnato a smaltire l'acido lattico prodotto nei tratti più veloci. A parer mio, insomma, la corsa — anche nel primo periodo preparatorio — non deve costituire un mezzo di allenamento al quale dedicare una fetta considerevole della propria preparazione. Ritengo, al contrario, che anche d'inverno il marciatore non debba abbandonare la marcia a ritmi agonistici (cioè con i « muscoli limitanti » che lavorano ad intensità indicate con c' e c'' nella *Figura 2*) per più di alcune settimane.

I VANTAGGI DELL'ALTITUDINE. - Se siamo a livello del mare, quando il sangue per i polmoni, l'emoglobina in esso contenuta si combina per il 98% con l'ossigeno; se siamo a 1000 metri sul livello del mare, questa percentuale cala di poco; la percentuale è solo un po' più bassa, è all'altitudine di Città del Messico (2250 m). A 3000 m, invece, l'emoglobina non combinata con l'ossigeno è sensibilmente superiore. A questa quota, perciò, i muscoli sono molto « affamati » di ossigeno; per i « muscoli limitanti » questo è un sistema per metterli nelle

condizioni di allenarsi in maniera peculiare; è vero che stando a quell'altitudine per un periodo di alcune settimane succedono tante altre cose (per esempio aumenta il numero dei globuli rossi e la quantità di emoglobina), ma il fenomeno più importante ai fini del miglioramento delle prestazioni credo che sia la conseguenza, a livello delle fibre, di questa fame di ossigeno che si verifica nei muscoli in generale e in quelli limitanti in particolare; se facessimo un prelievo di un pezzettino di muscolo, sono sicuro che si vedrebbe che la permanenza (e l'allenamento) a 3000 metri di quota determina, dopo un certo tempo, un sensibile aumento di enzimi mitocondriali nei « muscoli limitanti ». Credo che sia questa la ragione per la quale i marciatori messicani vadano ad allenarsi a Toluca, cioè appunto a 3000 metri di altitudine.

I messicani, inoltre, anche quando sono a Città del Messico, fanno molte ripetizioni ad andature alle quali, vedendo le cose dal mio punto di vista, c'è sempre una produzione locale — sia pure limitata — di acido lattico.

Nell'allenamento dei migliori marciatori ritengo, in definitiva, che sia utile anche un allenamento specifico di questi gruppi muscolari che più di tutti hanno importanza nel determinare la possibilità prestativa. Tommaso Assi, attraverso il circuit training, ha proprio cercato di intervenire in maniera particolare per allenare forza e resistenza di alcuni muscoli; egli ha lavorato in questo senso presso i marciatori dei Carabinieri di Bologna e nella sua relazione ci parlerà delle sue esperienze.

BIBLIOGRAFIA

- 1) DI PRAMPERO P.E., MOGNONI P.: Comunicazione personale.
- 2) ARCELLI E.: « Spesa energetica nelle varie prove di corsa piana », *Atletica Leggera*, n. 197, Milano 1976, pagg. 43-44.
- 3) MARGARIA R.: « Fisiologia muscolare e meccanica del movimento », Biblioteca della EST, Mondadori,