

# La marcia e considerazioni sulla relazione velocità-distanza di gara

Stefano Casali

Tecnico Fidal

Hanno collaborato:

Prof. Gaetano Partipilo - Prof. Teodoro Migno

## PREMESSA

Questo lavoro è suddiviso in 2 parti; nella prima (cap. 1, 2 e 3) si affronta il tema della marcia atletica dai punti di vista storico, tecnico e fisiologico, introducendo così il lettore al 4° ed ultimo capitolo, che rappresenta il tema centrale di questo lavoro.

Tale capitolo propone una equazione matematica come relazione fra velocità e distanza di gara nella marcia, che può rivelarsi utile sia al tecnico che all'atleta (Par. 4 e 6).

Premetto che tale equazione, anche se sostenuta da dimostrazioni matematiche e scientifiche, non ha la pretesa di essere inconfutabile e definitiva, ma necessita di ulteriori verifiche con gli studi che, spero, ne seguiranno.

## 1) CENNI STORICI

### ED EVOLUZIONE DELLA MARCIA

Quasi tutti gli sport affondano le loro origini su necessità utilitaristiche (militari, di sopravvivenza, ecc.), anche la marcia non sfugge a questa constatazione, infatti gli spostamenti a piedi sono stati usati per raggiungere zone fertili, per portare messaggi, per esigenze militari, per trasportare elementi di necessità ecc.

La distanza, il terreno, il carico a cui erano soggetti i nostri antenati, erano tali da non permettere un conveniente risparmio energetico negli spostamenti di corsa, per cui si può certamente dire che il primo mezzo di locomozione dell'uomo è stato il cammino (padre della marcia).

Dalle imprese di Fidippide, ma anche dei Cinesi, dei Romani e dei Galli (spostamenti di truppe e messaggeri),

la marcia ha sempre avuto un ruolo fondamentale nella storia.

Bisogna però aspettare il XIII secolo per avere le prime notizie di gare di marcia, in Francia nel 1229 si gareggiava sotto il regno di Filippo VI° di Valois, e la prima gara di cui si conosce il percorso risale al Regno di Carlo VIII° nel 1485, dove si disputarono 140 km sul tratto Semur-Autun-Semur.

Queste prime gare conservarono in parte l'aspetto utilitaristico dei tempi più remoti; infatti le lunghe distanze di gara con velocità al di sotto degli 8-10 km/h rendono il cammino, più conveniente della corsa.

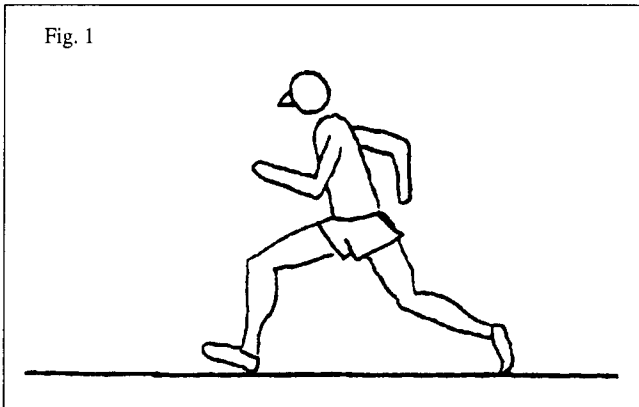
L'esasperazione della distanza raggiunse più tardi livelli incredibili, nei secoli XVIII-XIX si sentì parlare di imprese del tipo: 100 miglia in 23 ore; 640 km in 133 ore; 1000 miglia in 28 giorni; 2000 miglia in 42 giorni; 6000 km da New York a S. Francisco (di Edward Payson Weston).

Forse questi eccessi hanno convinto organizzatori e praticanti, verso la fine del secolo scorso, a ripiegarsi anche sulle corte distanze, meno eclatanti, ma più spettacolari, (il primo Campionato Inglese delle 7 miglia è datato 23 marzo 1866).

È a questo punto che nasce la vera marcia atletica; poiché su queste distanze si ottengono migliori risultati correndo piuttosto che marciando, si è reso necessario un regolamento che diversificasse il gesto della marcia da quello della corsa.

Il contatto ininterrotto sul terreno della marcia, non è ora più sufficiente per distinguerla dalla corsa, (che prevede una fase di volo), infatti il marciatore a queste condizioni sarebbe portato ad usare una locomozione del tutto anomala con baricentro basso e lineare, a passi lunghi e con ginocchia semipiegate, sensibilmente vicina alla corsa e tale da "camuffare" un'eventuale fase di volo, rendendo l'avanzamento comunque molto rapido (vedi fig. 1).

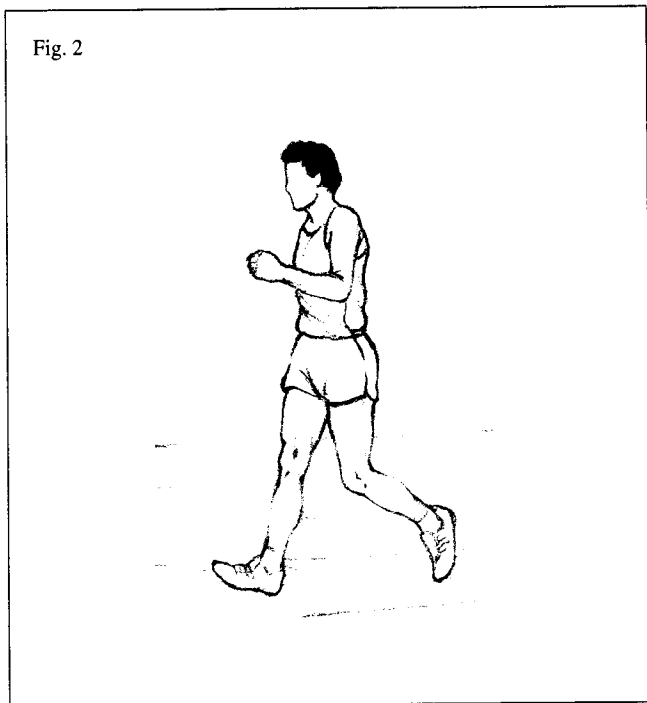
Fig. 1



Per ovviare ciò si è pensato bene di introdurre un'altra regola che è quella di "bloccare" (in piena estensione) il gi-

nocchio al momento in cui l'arto è in appoggio singolo (vedi fig. 2).

Fig. 2



In questo modo si sono rese possibili le gare di marcia sulle brevi distanze, anche se i problemi non si sono del tutto risolti.

Nel corso dei Giochi Olimpici ad esempio, più volte sono state modificate o sopresse le gare di marcia, proprio per le controversie che sorgevano fra i marciatori e i giudici.

Forse è per questo motivo che si adottò all'inizio del 1900 una marcia di tipo "militare"; passo lungo con appoggio sul terreno ad arto perfettamente teso e piede rigorosamente a martello (angolo gamba piede molto chiuso), con un'ampia escursione verticale del baricentro dell'atleta.

Questo modo di marciare è stato ben interpretato dalla Scuola Italiana di cui validi esponenti sono stati Frigerio, Dordoni, Pamich

Negli anni '70 con l'avvento della scuola Tedesca e successivamente di quella Messicana, si giunse ad un miglioramento *tecnico* del gesto con sensibili vantaggi cronometrici.

Quest'ultima in particolare, grazie all'apporto del tecnico Polacco Jerzy Hausleber, è stata particolarmente innovativa.

Caratteristica fondamentale di questa scuola è stata l'accentuazione dei movimenti delle *anche* al fine di limitare le dispersioni verticali del centro di gravità nelle varie fasi del gesto, nonché di aumentare, senza diminuire la fre-

quenza, l'ampiezza del passo.

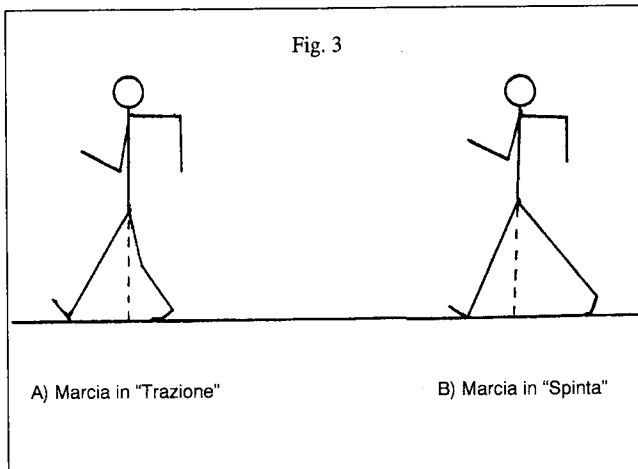
Il tutto è reso possibile grazie agli esercizi di mobilità articolare a livello delle *anche* e al potenziamento di alcuni particolari distretti muscolari (i cosiddetti muscoli limitanti), fino ad allora poco praticato.

I marciatori Messicani (Bautista, Gonzales, Canto ecc.) ottennero grossi risultati anche se, in diverse occasioni, furono oggetto di squalifiche per la facilità di incorrere in sospensione (fase di volo).

La tendenza più attuale, che in parte risolve questo problema, è orientata verso un'azione molto rapida in cui si anticipa la ripresa di contatto al suolo dell'arto libero (oscillante), facendo sì che avvenga più vicino alla perpendicolare dell'atleta.

Questa impostazione tecnica, fin troppo esasperata nella marcia femminile, da poco introdotta, tende a privilegiare l'azione di spinta dell'arto arretrato piuttosto che la "trazione" dell'arto anteriore (vedi fig. 3).

Fig. 3



## 2) TECNICA DELLA MARCIA

La regola 191 del Regolamento Tecnico Internazionale per le gare di atletica, così definisce la marcia: "La marcia agonistica è una progressione di passi eseguiti in modo che sia mantenuto un contatto ininterrotto con il terreno.

Durante il periodo di ogni passo, il piede avanzante di un marciatore deve venire a contatto con il terreno prima che il piede posteriore lasci il suolo; la gamba d'appoggio deve essere tesa (cioè non piegata al ginocchio) almeno per un momento, quando si trova in posizione verticale".

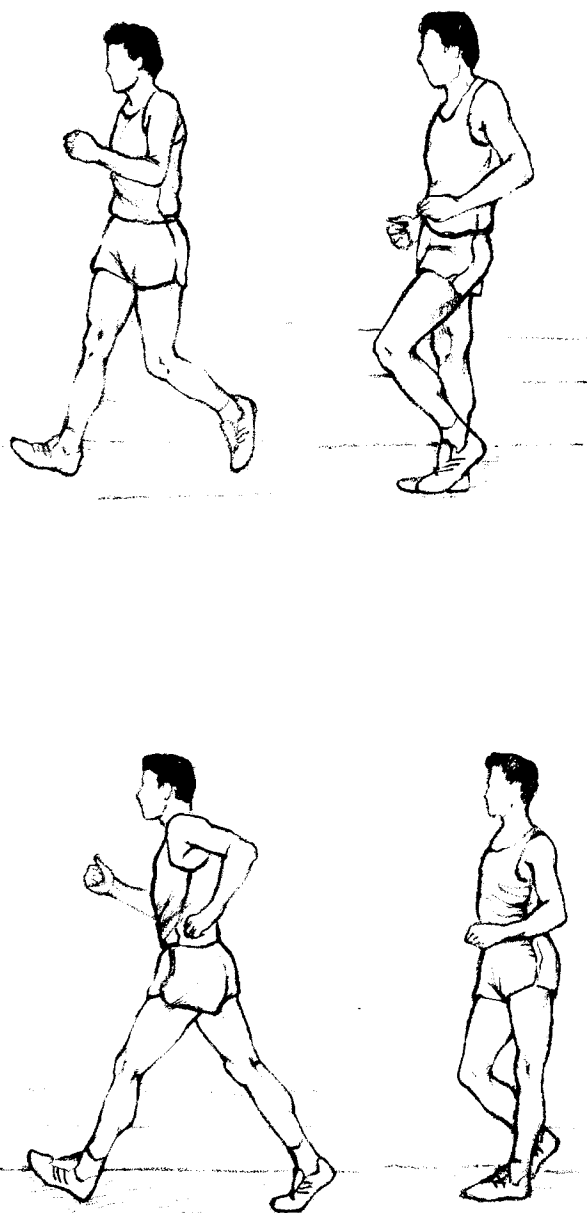
Vi è inoltre una nota aggiuntiva a questa regola in cui si precisa che il contatto iniziale del piede sul terreno deve avvenire con il tallone.

**Il Passo** è l'unità base della deambulazione, la cui misura

è data dalla distanza intercorrente fra l'appoggio del medesimo punto dello stesso piede (es. tallone dx - tallone dx).

Analizzando un singolo arto nell'azione temporale di un passo possiamo evidenziare quattro momenti:

Fig. 4



1°) Momento di spinta (quando il piede sta abbandonando il suolo).

2°) Momento di oscillazione (quando il piede ha abbandonato il suolo e viene riportato in avanti).

3°) momento di appoggio calcaneale (quando il piede riprende contatto con il terreno).

4°) Momento di sostegno (quando tutto il peso del corpo grava sul piede).

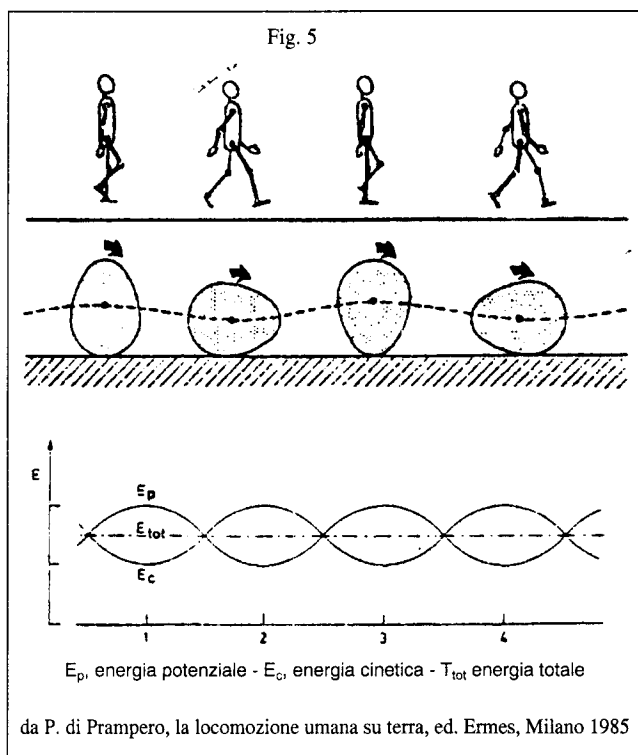
Analizzando i due arti inferiori contemporaneamente, si può dire che sono sfasati tra di loro di 2 momenti, cioè mentre un arto è sul 1° momento (spinta) l'altro è sul 3° momento (appoggio calcaneale), in questo caso in particolare, siamo in un momento di doppio appoggio che è l'unico in cui i due piedi sono in contatto contemporaneo con il terreno.

Credo che sia il bloccaggio del ginocchio al momento di sostegno, che distingue fundamentalmente la marcia dalla normale deambulazione, che chiameremo cammino.

Lo sbloccaggio del ginocchio nel cammino consente per azione del muscolo quadricipite femorale, un maggiore innalzamento del baricentro in modo da ottenere così energia potenziale per la fase successiva del passo.

Possiamo infatti paragonare il modello biomeccanico del cammino, ad un uovo che rotola e nel momento in cui l'uovo è verticale, si ha il massimo di energia potenziale ( $E_p = mgh$ ) e il minimo di energia cinetica ( $E_c = 1/2 mV^2$ ), e viceversa quando è orizzontale (vedi fig. 5).

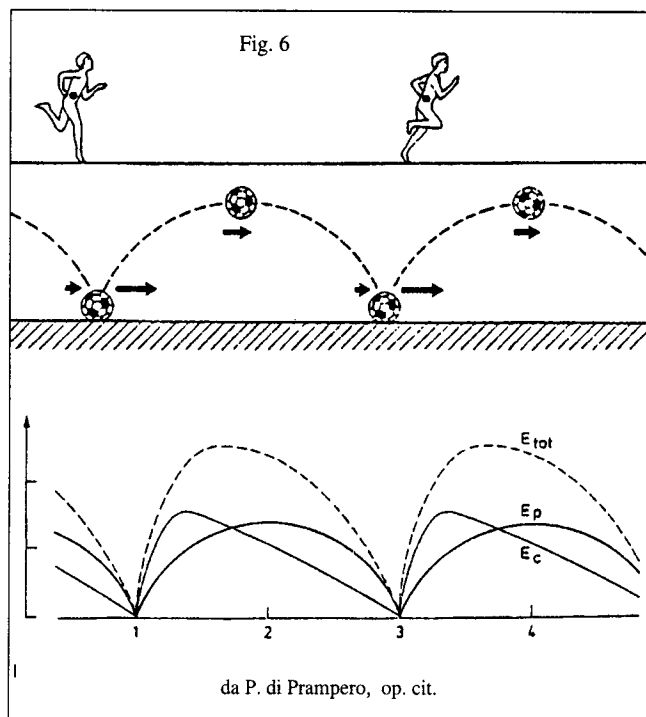
Fig. 5



Per la corsa invece il modello proposto dagli studiosi è di una palla che rimbalza.

Questo sistema si avvale della capacità di tendini e muscoli di immagazzinare e successivamente rilasciare energia elastica.

In questo caso come si vede in figura 6, energia potenziale ed energia cinetica sono in fase:



Ritornando all'esempio dell'uovo che rotola, si può dire che l'energia potenziale, responsabile del movimento dell'uovo da verticale ad orizzontale (caduta), e l'energia cinetica, responsabile del movimento dell'uovo da orizzontale a verticale (risalita); si scambiano continuamente energia e se non esistessero attriti, questo moto potrebbe mantenersi all'infinito.

Cavagna e collaboratori<sup>(1)</sup> studiando il problema hanno introdotto un indice di conservazione dell'energia chiamato *Recupero*, che raggiunge il 100% in un pendolo ideale, mentre è uguale a zero se nessuna trasformazione avviene fra le due forme di energia ( $E_p$ ,  $E_c$ ).

I valori massimi di *Recupero* si riscontrano nel cammino da 4,5 a 6 km/h ( $R \sim 70\%$ ) e non è un caso che proprio a 5 km/h, si è calcolato il minimo di spesa energetica per km (Margaria 1938).

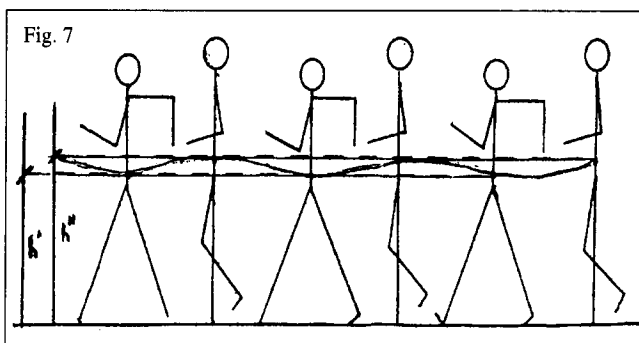
(1) *Atleticastudi*, 5/81, pp. 5-9.

(2) *Atleticastudi*, 5/81, pp. 5-9.

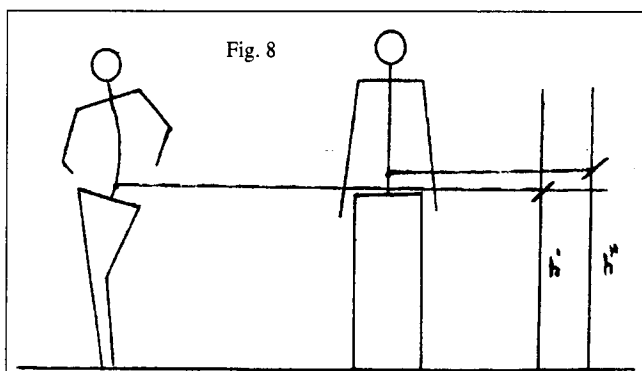
Se da un cammino a 4-5 km/h aumentiamo lentamente la velocità "sfumando" progressivamente verso la marcia, a livello di escursione verticale del centro di gravità, otteniamo i seguenti risultati:<sup>(2)</sup> a 6-7 km/h il baricentro raggiunge la massima ampiezza di escursione ( $\sim 8$  cm nel cammino e 3,8 nella marcia), oltre queste velocità diventa difficile camminare in maniera ortodossa, in quanto essendo limitata la lunghezza degli arti inferiori e quindi la lunghezza del passo, da un certo momento in poi, per aumentare la velocità occorre aumentare la frequenza dei passi e quindi la velocità di passaggio da massima energia potenziale a massima energia cinetica, ciò avviene con lo spostamento verticale del baricentro.

Tale spostamento, nell'innalzamento può essere velocizzato aumentando la spinta, ma nell'abbassamento, dipende soltanto dall'accelerazione di gravità, diminuire questo tempo significa portare il baricentro meno alto; si avrebbe così una camminata "radente" a gambe semipiegate.

Nella marcia atletica invece non potendo piegare il ginocchio come da regolamento, si cerca di mantenere il baricentro più lineare possibile, sfruttando l'inclinazione laterale del bacino; si può ben vedere nella fig. 7 che il centro di gravità (localizzato verso la III-V vertebra lombare)



tende ad alzarsi quando la gamba è sulla verticale del busto e abbassarsi nella fase del doppio appoggio, ma dalla fig. 8 è visibile come l'inclinazione laterale del bacino possa limitare questa oscillazione.



Nel marciatore evoluto verso i 10-11 km/h si ha il minimo di escursione del G.d.G. (~1 cm), oltre queste velocità il meccanismo di compensazione (con l'inclinazione laterale del bacino), non è più sufficiente e il C.d.G. inizia di nuovo ad aumentare di escursione.

L'aumento della escursione del baricentro, correlato con l'incremento della velocità implica (in base alle considerazioni fatte precedentemente) l'aumento della lunghezza del passo, infatti superata la velocità di 13-14 km/h si assiste ad una piccola fase di volo, e da questo momento in poi le due forme di energia (Ep, Ec) sono in fase, il recupero si riduce a zero e il moto è mantenuto totalmente dal lavoro muscolare (come nella corsa).

La velocità di 14 km/h circa, secondo alcuni studi, risulterebbe quella "limite" oltre la quale s'incorrerebbe nella sospensione.

Tuttavia l'espedito tecnico relativo all'accentuazione dell'azione di spinta dell'arto posteriore (vedi cap. precedente), nonché una notevole mobilità articolare a livello del bacino, può permettere ad atleti molto dotati, di marciare, anche per distanze di 20 km, a velocità superiori ai 15km/h, con un gesto tecnico apprezzabile.

### 3) ASPETTI FISIOLOGICI DELLA MARCIA

#### 3-1 - Metabolismi e sistemi energetici

Per produrre energia l'uomo utilizza tre sistemi: Aerobico (S.A.), Anaerobico Lattacido (S.A.L), Anaerobico Alattacido, (S.A.A).

**Il sistema Aerobico (S.A.)** utilizza una "miscela" di Glucidi (zuccheri) e Lipidi (grassi), combinati all'ossigeno apportato dall'ambiente esterno.

L'energia prodotta da questo sistema è assai elevata e consente di protrarre sforzi per ore e anche per giorni (se di deboli entità), ma la sua potenza è limitata da diversi fattori:

- 1) trasporto di O<sub>2</sub>, dall'ambiente al torrente ematico, e da questo ai tessuti;
- 2) dalla capacità dei tessuti di trasformare O<sub>2</sub>, Glucidi e Lipidi in Energia (nei Mitocondri);
- 3) dal ritardo di intervento di questo sistema (si pensi che se da una situazione di riposo si inizia a correre, occorrono diversi secondi, prima che il S.A. inizi ad adattarsi alla nuova situazione).

I limiti di potenza e rapidità di intervento del sistema aerobico sono compensati da quello anaerobico.

**Il sistema Anaerobico Alattacido (S.A.A)** è il più rapido e il più potente, ma la sua energia è molto limitata, infatti tale metabolismo è in grado di "coprire" interamente uno sforzo massimale per la durata massima di 6-7 secondi.

**Il sistema Anaerobico Lattacido (S.A.L)** possiede invece un'energia più elevata, uno sforzo di questo tipo può essere protratto molto più a lungo e la sua durata varia notevolmente col variare dell'intensità dello sforzo ( $\uparrow$  Intensità =  $\downarrow$  Durata).

Questo sistema produce come metabolita acido lattico (nel torrente ematico e nel muscolo) che è un "indice di fatica" a livello muscolare.

La produzione del lattato dipende dalla durata e dall'intensità di intervento del S.A.L.

La marcia, essendo uno sport di resistenza, quindi con alti dispendi di energia a velocità relativamente basse, utilizzerà prevalentemente il sistema aerobico, anche se già da una ventina di anni ci si è soffermati sulla sensibile produzione locale di acido lattico, imputabile ad alcuni gruppi muscolari detti Limitanti<sup>(1)</sup>.

È invece più recente la scoperta che il metabolismo anaerobico lattacido (del Creatin fosfato) funzionerebbe come vettore universale dell'energia dai centri di produzione (mitocondri e citoplasma) ai siti in cui viene utilizzata (miofibrille muscolari)<sup>(2)</sup>.

Da queste ultime righe si capisce come non si possano separare totalmente questi tre sistemi energetici, ma vi sia interazione fra essi, pur nella prevalenza di uno rispetto agli altri.

#### 3.2 - Concetto di Soglia Anaerobica

Se un soggetto corre o marcia ad una velocità tale per cui la potenza sviluppata sia maggiore della massima potenza che può sviluppare il sistema Aerobico, oltre a questo (che sarà sempre impegnato al massimo), interviene anche quello anaerobico lattacido, con una sensibile produzione e quindi accumulo di acido lattico.

Per Soglia Anaerobica intendiamo quindi quel valore di potenza oltre il quale si inizia ad accumulare acido lattico, cioè quando l'acido lattico che si riesce a smaltire nell'unità di tempo è inferiore a quello che viene prodotto. In genere per utilità pratica questa potenza viene espressa come velocità.

La velocità di soglia può essere calcolata facendo correre, marciare, pedalare, (a seconda dei casi) il soggetto, a velocità crescente, ed effettuare ad ogni velocità un piccolo prelievo per la misura della concentrazione del lattato nel sangue.

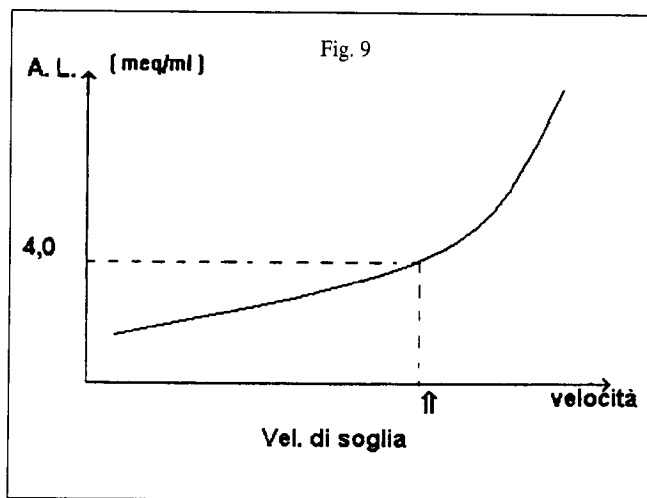
Quando la concentrazione del lattato raggiunge le quattro millimoli per millilitro (secondo Mader)<sup>(3)</sup>, allora il valore

(1) E. Arcelli, *Atleticastudi*, 10-11/1977, pp. 7-8.

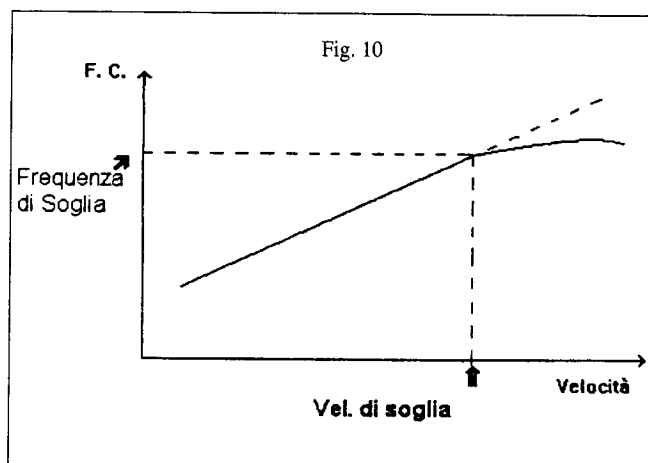
(2) J.V. Verchoshanskij, *Sds rivista di cultura sportiva*, anno XI, n. 27, pp. 33-45.

(3) A. Mader, *Sportacti, sportm*, pp. 27-80-112/1976.

di velocità corrispondente indicherà la velocità di soglia (vedi fig. 9).



Esistono altri sistemi per calcolare la velocità di soglia, ma il più usato in ambiente sportivo è senza dubbio quello ideato dal Prof. Conconi, che consiste nel misurare la frequenza cardiaca (ritenuta direttamente proporzionale all'intensità del lavoro aerobico), aumentando progressivamente la velocità di percorrenza del soggetto. Dai valori ottenuti di velocità e frequenza cardiaca corrispondente, si può costruire un grafico, (vedi fig. 10).



Questa curva presenta una certa linearità fino ad un valore in cui si "spezza", cioè con l'aumentare della velocità, la frequenza cardiaca non aumenta più, (o lo fa in maniera ridotta).

Ciò significa che il metabolismo Aerobico sta funzionando al massimo e l'energia in più è fornita dal sistema Anaerobico.

Le coordinate del punto in cui la retta si "spezza", indicheranno la velocità e la frequenza cardiaca di soglia.

Conoscere i propri valori di Soglia Anaerobica è molto importante per chi pratica sport di resistenza, esiste infatti una forte correlazione fra i primati personali e la velocità di soglia dell'atleta.

Nella marcia e nella corsa si tende ad attribuire empiricamente alla velocità di soglia il valore di velocità media di una massima prestazione sull'ora, in caso di atleti molto resistenti come M. Damilano e O. Pizzolato<sup>(4)</sup>.

Penso che tale valore possa essere ridotto a 30' (o anche meno), in caso di atleti specialisti mezzofondisti o comunque non allenati o non predisposti alle lunghe distanze.

Anche in altri sport di resistenza come il ciclismo, tale correlazione è stata verificata (vedi tabella).

Tabella 1 - CICLISMO

Atleta	Frequenza Cardiaca	Velocità di Soglia	Migliore prestazione 25 km	Velocità media 25 km
F.C.	176	40,5	37'09"9	40,39
B.J.	181	40	37'48"7	39,63
B.T.	162	40,8	38'09"3	39,28
B.A.	180	43	35'31"1	42,19
D.M.	172	42,4	35'33"4	42,19
M.L.	186	41,7	37'18"8	40,16
C.M.	175	41,9	35'35"	42,11

(da Ciclismo Scienza e Tecnica, n. 1/86)

In questo caso la durata è di ~ 35', corrispondenti ad una prova di 25 km.

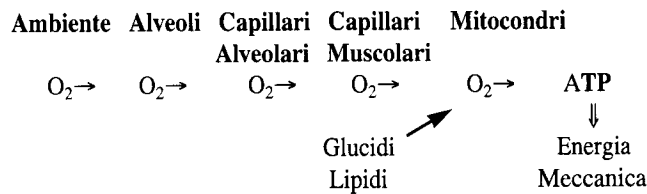
### 3.3 - Muscoli limitanti

Il funzionamento del sistema Aerobico comporta diversi passaggi, che ne limitano la potenza e la prontezza d'intervento.

L'elemento chiave è l'ossigeno ( $O_2$ ) che dall'ambiente deve essere trasportato negli alveoli polmonari, per poi passare nei capillari alveolari e quindi nel torrente ematico, poi trasportato (per mezzo della pompa cardiaca) ai capillari muscolari e quindi nelle cellule muscolari.

(4) *Atleticastudi* 6/86, p. 477. *Atleticastudi* 2, 3/87, p. 22.

Qui, nelle apposite "Centrali di produzione di Energia" (Mitocondri) assieme ad altre sostanze, viene prodotto ATP (Energia Chimica), che può essere usato per produrre movimento attraverso le singole unità motrici della fibra muscolare.



È ormai universalmente accettato che, tranne in casi patologici, l'anello debole di questa catena è a valle, in periferia cioè a livello muscolare.

Più ci si sposta a monte, più i margini di un alto trasporto di O<sub>2</sub> nell'unità di tempo sono garantiti.

Ciò è tanto più evidente quanto più la massa muscolare coinvolta è minore.

Ad esempio in uno sport di resistenza in cui si usassero solo gli arti superiori (masse muscolari più deboli), si utilizzerà anche una minor quantità di O<sub>2</sub>, con minor impegno cardiorespiratorio; in questo caso il limite della prestazione sarà certamente la capacità di utilizzo di O<sub>2</sub> a livello muscolare specifico, i muscoli coinvolti, in particolare quelli più sotto stress saranno fortemente limitanti.

Nella marcia, rispetto alla corsa, benché numerosi gruppi muscolari vengono coinvolti, quelli che intervengono con elevato impegno hanno una massa inferiore, per cui anche se in una gara di 20 o 50 km di marcia la concentrazione di lattato in circolo è minima, se potessimo conoscere anche il valore di lattato prodotto dai singoli muscoli (specie quelli più sotto stress), si metterebbe in evidenza che queste quantità sono tutt'altro che trascurabili<sup>(1)</sup>.

Questo lattato infatti lascia il muscolo, va nel sangue e viene smaltito da vari organi (fegato, reni, cuore, più altri muscoli che lavorano meno intensamente, quindi con più O<sub>2</sub> a disposizione).

Non è tanto importante in questa situazione aumentare il consumo di ossigeno totale, ma quello del singolo muscolo che va in crisi, attraverso un aumento del numero di Mitocondri e un aumento di attività degli enzimi Mitocondriali.

Queste scoperte hanno influenzato il sistema di allenamento degli sport di resistenza, passando da una concezione di allenamento "cardio respiratorio" ad una concezione di tipo "muscolare specifica".

Si va sempre più abbandonando infatti, il vecchio sistema di fare della corsa per i marciatori, come allenamento di base, per aumentare la VO<sub>2</sub>Max (massimo consumo di O<sub>2</sub> generale).

Si è rivelato invece molto più utile, aumentare la forza resistente di quei singoli muscoli che vanno più facilmente in crisi; ad esempio attraverso circuit-training.<sup>(2)</sup>

### 3.4 - Spesa unitaria e richiesta energetica della marcia

Per Richiesta Energetica (R.E.) s'intende la quantità di O<sub>2</sub> che l'atleta "consuma" (ml di O<sub>2</sub>), in un minuto per kg di peso corporeo.

Per Spesa Unitaria (S.U.) invece s'intende la quantità di O<sub>2</sub> che l'atleta "consuma" (ml di O<sub>2</sub>) in un km e per kg di peso corporeo.

Da un punto di vista pratico S.U. è la misura dell'economia della locomozione usata (marcia, corsa, ecc), analoga a quello che è per l'automobile il consumo di benzina per km.

In alcuni testi si usa chiamare S.U. costo energetico e R.E. potenza metabolica, oppure usare unità di misura diverse come il Joule, corrispondente nell'uomo a circa 0,048 ml O<sub>2</sub>, oppure la caloria uguale a circa 0,2 ml O<sub>2</sub><sup>(3)</sup>.

In ogni caso questi due fattori sono legati insieme dalle relazione:

$$S.U. \times V = R.E.$$

$$[ml\ O_2/km \cdot kg] \times [km/min.] = ml\ O_2/min. kg$$

Dove V rappresenta la velocità di locomozione (in questo caso espressa in km/min.).

Mentre i valori di richiesta energetica e di spesa unitaria nella corsa sono noti:

Tabella 2

R.E. = 2,917 V + 0,000617 V <sup>3</sup>	
S.U. = 175 + 0,037 V <sup>2</sup>	
V = Velocità in km/h	(Atleticastudi 3/82 p. 18)

(NB - Le formule valgono per corridori evoluti con una buona tecnica di corsa)

Nella marcia esistono dati non del tutto simili che hanno dato vita a diverse interpretazioni:

(1) E. Arcelli, *Atleticastudi*, 10-11/1977, pp. 7-8.

(2) S. Damilano, *Atleticastudi*, 5/1983, pp. 77-83.

(3) Dati ricavati da P.E. di Prampero. I record del mondo di corsa piana. *SdS*, anno 3, n. 3, pag. 3.

Tabella 3

A	Per Menier e Pugh ('68)	R.E. = $6,4 V - 27$ S.U. = $384 - \frac{1620}{V}$
B	Per Mognoni e coll. ('77)	R.E. = $0,3133 V^2$ S.U. = $18,8 V$
C	Per Tesi di L.Bacillien ('78)	R.E. = $V + 0,225 V^2$ S.U. = $60 * 13,5 V$
D	Per Arcelli ('81)*	R.E. = $5,12 V - 16,9$ S.U. = $307 - \frac{1014}{V}$
E	Per M.D. Sirtori e coll. ('94)	R.E. = $- 38,8 + 6,86 V$

(\* Dati ottenuti empiricamente in modo non diretto)

Da questi dati a disposizione possiamo ora trarre due interessanti conclusioni:

1) queste equazioni R.E. e S.U. che riguardano la marcia, probabilmente sono diverse perché diverso è il modo di interpretare la marcia, nonché la metodologia di allenamento degli atleti che si sono sottoposti ai controlli dal '68 al '94.

Infatti, se calcoliamo la R.E. a 14 km/h (~ velocità di gara di un'atleta di buon livello sui 20 km), otteniamo i seguenti risultati:

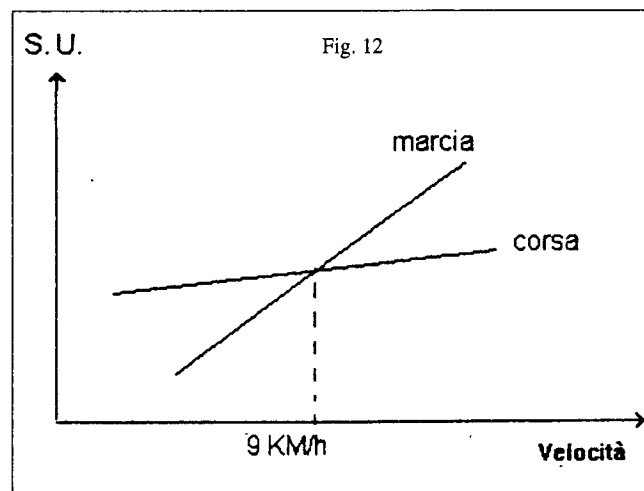
Tabella 4

R.E.	A <sup>'68</sup>	= 62,6 ml O <sub>2</sub> / km.min
R.E.	B <sup>'77</sup>	= 61,4 " " "
R.E.	C <sup>'78</sup>	= 58,1 " " "
R.E.	D <sup>'81</sup>	= 54,78 * " "
R.E.	E <sup>'94</sup>	= 57,24 " " "

Cronologicamente parlando, si nota che il consumo di O<sub>2</sub> per minuto diminuisce a favore di un buon rendimento di marcia, (e non è detto che fra qualche anno si registrino dati ancora inferiori); ciò conferma i notevoli progressi ottenuti dal punto di vista tecnico e cronometrico della marcia atletica negli ultimi decenni.

2) Se riportiamo su un grafico le equazioni di S.U. riguar-

danti la corsa e la media di quelle riguardanti la marcia, (dal '68 ad oggi) si può notare come la corsa mantenga una S.U. quasi costante con l'aumentare della velocità, non è così invece nella marcia (vedi fig. 12).



Per cui se marciando, ci si deve spostare da un punto A ad un punto B, lo si può fare spendendo più o meno energia a seconda della velocità, mentre correndo si spenderebbe praticamente sempre la stessa energia, indipendentemente dalla velocità.

Analizzando ancora il grafico si può infine notare che esiste una velocità ~ 9km/h, sopra la quale è più conveniente correre e sotto la quale è più conveniente marciare.

### 3.5 La marcia su lunghe distanze (50 km)

Il sistema aerobico per produrre energia utilizza come substrato energetico una "miscela" di glucidi e grassi.

A seconda che questa miscela si sposti a favore dei glucidi o dei grassi si possono avere diverse caratteristiche.

Un S.A. che funzioni prevalentemente con i glucidi, produce potenze più elevate, però l'energia è limitata dalle scorte di glicogeno presenti nei muscoli (~ 375 g) e nel fegato (~ 100 g), per un totale di ~ 475 g.

Calcolando che un grammo di glicogeno produce circa 4 Kcal, l'energia totale a disposizione dell'organismo sarà di 1900 Kcal, sufficienti per una prova di ~ 15-20 km di marcia.

Un S.A. che funzioni invece prevalentemente coi grassi, consente di protrarre sforzi molto più lunghi, grazie al loro risparmio energetico (1 g di grasso produce 9 Kcal), e alle scorte di questi molto più consistenti, si pensi che anche in soggetti magri, il 10% circa del peso corporeo è costituito dalla massa adiposa di deposito.

L'inconveniente del metabolismo dei lipidi, è che questi



vengono bruciati piuttosto lentamente, a causa delle lunghe trasformazioni chimiche a cui sono sottoposti, per cui la potenza sarà inferiore a quella espressa da un S.A. che funzioni prevalentemente con la glicolisi.

Attraverso il quoziente respiratorio (Q.R. =  $\text{CO}_2$  Prodotto/ $\text{O}_2$  consumato), si è potuto constatare che mentre a "riposo" il metabolismo aerobico utilizza prevalentemente i grassi, aumentando uno sforzo la percentuale di glucosio utilizzato, rispetto a quello dei grassi, aumenta sempre più. Inoltre, nel caso di una prestazione a velocità bassa e costante, inizialmente l'organismo tende a consumare una

quota sensibile di glucosio, che poi con l'andare del tempo tende a diminuire a favore di quella dei grassi.

Considerando ora che nella marcia a differenza della corsa, l'energia richiesta per ogni km (spesa unitaria) aumenta sensibilmente con l'aumentare della velocità (cap. 3 par. 4), e che le gare di marcia di 50 km richiedono energie di ~ 3500-4500 Kcal (di gran lunga superiori alle 1900 disponibili col S.A. che utilizza teoricamente solo glicogeno), ne deriva che: più alta è la velocità di gara, maggiore è l'energia consumata, e quindi deve aumentare la percentuale di energia derivata dai grassi.

Tabella 5

SPESA SUI 50 KM IN KCAL.						
TEMPO Sui 50 km	VELOC. Media	R.E. ml/kg/min	Per KG	60 KG	65 KG	70 KG
4h 20'	11,538	40,35	52,5	3150	3410	3670
4h 10'	12,00	43,52	54,4	3260	3530	3810
4h	12,500	46,95	56,3	3380	3660	3940
3h 50'	13,043	50,67	58,3	3500	3790	4080
3h 45'	13,333	52,66	59,2	3550	3850	4140
3h 40'	13,636	54,74	60,2	3610	3910	4210
3h 35'	13,953	56,92	61,2	3670	3980	4280

(R.E. =  $-38,8 + 6,86V$ ) Sirtori e coll. - *Atleticastudi* 3/94, p. 215.

Tabella 6 - CONSUMO GRASSI SUI 50 KM

Tempo sui 50 Km	In Kcal.	In grammi	In grammi / min.
4h 20'	1510	165	0,63
4h 10'	1630	180	0,73
4h	1760	195	0,81
3h 50'	1890	210	0,91
3h 45'	1950	220	0,98
3h 40'	2010	220	1,00
3h 35'	2080	230	1,07

*Atleticastudi* 3/94, p. 216

Considerando il fatto che questa energia deve essere utilizzata ad "alte" velocità, deve essere notevole la capacità di utilizzare i grassi nell'unità di tempo (vedi tabelle 5 e 6).

Quindi il fattore limitante le prestazioni di lunga durata (50 km), non è solamente la velocità di soglia ma anche il massimo utilizzo di grassi al minuto che l'atleta riesce ad ottenere.

Non bisogna comunque dimenticare che anche atleti con altissimi consumi di grassi devono fare i conti con le povere scorte di glicogeno.

Infatti in gara, il glicogeno viene comunque sensibilmente consumato e bisogna quindi cercare di non arrivare vicini all'esaurimento di questo, in quanto ciò comporterebbe la riduzione della funzionalità del ciclo di Krebs (Relazione chimica all'interno dei Mitochondri).

L'impoverimento del ciclo di Krebs comporterebbe una ridotta utilizzazione e quindi un accumulo di acetato, che dà luogo alla formazione di corpi chetonici.

I corpi chetonici sono acidi prodotti principalmente nel fegato, la cui concentrazione nel sangue e nelle urine au-

menta considerevolmente nel fondista esaurito, provocando un aumento dell'acidità muscolare e l'ulteriore deterioramento dell'attività contrattile.

A mio parere sono i Muscoli Limitanti (quei muscoli di piccola massa che lavorano sotto stress), i maggiori responsabili di ciò; infatti questi, lavorando ad alto regime consumano moltissimo glicogeno, portando in breve tempo l'atleta ad una diminuzione della prestazione.

#### 4) RELAZIONE VELOCITÀ-DISTANZA DI GARA NELLA MARCIA

##### 4.1 Introduzione

Nella marcia, così come in altre specialità di resistenza, si fanno spesso previsioni empiriche sul risultato che un'atleta potrebbe ottenere su una determinata distanza dato un altro suo risultato su una distanza diversa, oppure data la velocità di soglia attraverso il test di Conconi.

Altre volte in base a test o gare, si tenta di capire in che misura si sia incrementata la capacità lattacida, la potenza aerobica, o la capacità aerobica, durante il ciclo di allenamento dell'atleta.

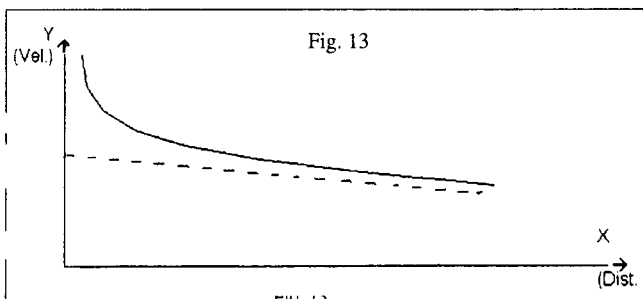
Penso che la maggior parte degli allenatori risolva questi problemi solo in base all'esperienza o peggio, all'intuizione e con metodi e metri di misura diversi l'uno dall'altro. Sono certo che esista una relazione matematica fra velocità e distanza di gara negli sport di resistenza, numerosi sono stati gli studi su questo argomento.

Nelle pagine che seguono mi sono quindi proposto di sviluppare un'ipotesi personale di questa relazione applicata alla marcia.

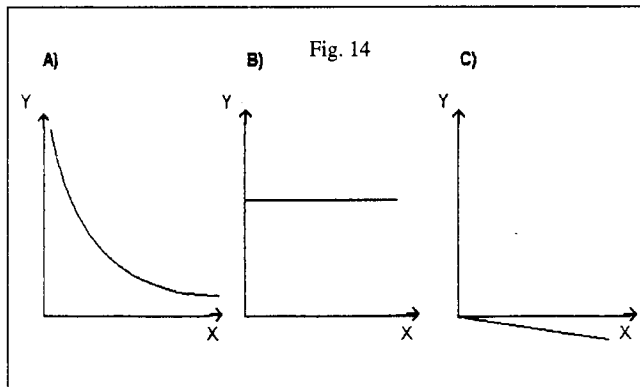
##### 4.2 Ipotesi di relazione velocità-distanza di gara

nella marcia  $Y = \frac{a}{x} + b - cx$

Anni fa, inserendo alcuni miei primati personali di marcia su distanze diverse in un sistema di assi cartesiani con la velocità in ordinata e la distanza in ascissa, constatai che i punti ricavati descrivevano una curva sorprendentemente regolare del tipo disegnato in fig. 13.



Osservando la curva, notai che poteva essere scomposta in 3 parti diverse, che poi sommate avrebbero ricomposto la risultante (vedi fig. 14).



Queste 3 parti hanno rispettivamente un'equazione matematica corrispondente:

A)  $y = \frac{a}{x}$ ; B)  $y = b$ ; C)  $y = -cx$ ;

Ora sommando le 3 espressioni ( $\frac{a}{x}$ ;  $b$ ;  $-cx$ ) otteniamo

l'equazione finale  $Y = \frac{a}{x} + b - cx$

Questa equazione rappresenterebbe quindi la relazione Velocità-Distanza di gara nella marcia, dove  $y$  è la velocità media,  $x$  è la distanza e  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , sono i coefficienti dell'equazione che variano a seconda delle caratteristiche fisiche di ogni soggetto e possono variare anche nello stesso soggetto quando in questo varia il suo stato di "forma".

##### 4.3 Attendibilità dell'equazione $y = \frac{a}{x} + b - cx$ come relazione fra velocità e distanza di gara nella marcia su distanze dai 400 m ai 5 km

I 400 m sono la distanza limite da cui ho riscontrato una certa attendibilità dell'equazione considerata, infatti su distanze inferiori, e quindi prossime allo zero, l'espressione  $a/x$  tende all'infinito dando così risultati non veritieri.

Su distanze fino a 5 km inoltre, ho notato che l'espressione  $-cx$  ha un valore trascurabile per cui l'equazione può essere così semplificata:  $y = \frac{a}{x} + b$ .

Verificare l'attendibilità di quest'ultima equazione è relativamente semplice; si tratta di trasformare l'equazione curvilinea ( $y = \frac{a}{x} + b$ ) in una rettilinea, modificando la misura in ascissa.

In questo caso sostituendo  $x$  con  $1/x$  si ottiene un'equazione rettilinea del tipo  $y = ax' + b$ , dove  $x' = 1/x$ .

Attraverso tre o più dati sperimentali di massime presta-

zioni su tre o più diverse distanze, di uno stesso atleta, effettuate nelle stesse condizioni di forma, si possono tracciare tre o più punti sul nuovo sistema di assi cartesiani con y in ordinata e 1/x in ascissa, e verificare se questi sono allineati, cioè su una stessa retta; in caso affermativo l'equazione si sarà rivelata attendibile.

Attraverso il coefficiente di correlazione R, si può calcolare numericamente la linearità dei punti, attraverso l'equazione:

$$R = S_{xy} / \sqrt{S_{xx} S_{yy}}$$

Dove:

$$S_{xy} = \sum xy - \frac{\sum x \cdot \sum y}{n}; \quad S_{yy} = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n};$$

$$S_{xx} = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}$$

I punti saranno tanto più allineati quanto più alto sarà il valore di R, che raggiunge il massimo di 1, nel caso in cui i punti siano sulla stessa retta.

Per avere dati sperimentali abbastanza sicuri è necessario (vista l'estrema variabilità della prestazione sportiva, dovuta a fattori tecnici, fisiologici, psicologici ecc.) che le distanze siano scelte in modo da ottenere velocità molto diverse fra loro, e quindi con maggiori possibilità di attenuare eventuali errori.

Le tre distanze ottimali sembrano essere i 400 - 500 m, il chilometro, e i 2-3 km. Ovviamente le distanze scelte potranno essere anche più di tre, in modo da avere maggiori punti di verifica. Dopo queste considerazioni, illustro i dati sperimentali di cui mi sono servito per verificare l'attendibilità dell'equazione in questione (vedi tab. 7):

Tabella 7 - PRIMATI STAGIONALI DI C.S. NELLA MARCIA

	DIST.	TEMPO	VEL. km/h	
1973 (11 anni)	1 km	5'51"	10,26	R = 0,9951
	2 km	11'50"	10,14	b = 10,01
	4 km	24'51"	10,06	a = 0,249
				R' = 0,9934
1974 (12 anni)	400 m	1'50"	13,09	R = 0,9983
	800 m	3'58"	12,10	b = 11,00
	2 km	10'28"	11,46	a = 0,846
	4 km	21'31"	11,15	R' = 0,9716
1975 (13 anni)	400 m	1'47"6	13,43	R = 0,9994
	2 km	10'23"1	11,56	b = 11,15
	4 km	21'62"4	11,41	a = 0,912
				R' = 0,9734

(Segue Tabella 7)

	DIST.	TEMPO	VEL. km/h	
1976 (14 anni)	400 m	1'44"2	13,82	R = 0,9994
	2 km	10'23"1	11,56	b = 11,28
	4 km	20'44"2	11,57	a = 1,015
				R' = 0,9734
1977 (15 anni)	400m	1'40"1	14,38	R = 0,9769
	800 m	3'32"0	13,58	b = 12,09
	1 km	4'38"0	12,95	a = 0,960
	2 km	9'30"0	12,63 <small>POCO ATTEND</small>	R' = 0,9651
	4 km	19'43"1	12,17	
1979 (17 anni)	400 m	1'36"2	14,97	
	800 m	3'22"0	14,26	R = 0,9769
	1 km	4'21"5	13,79	b = 12,88
	2 km	8'58"0	13,38	a = 0,887
	3 km	13'38"0	13,20	R' = 0,9836
	5 km	23'21"1	12,85	
1981 (19 anni)	400 m	1'28"9	16,20	
	800 m	3'13"4	14,89	R = 0,9904
	1 km	4'13"0	14,23	b = 12,90
	1,5 km	6'33"4	13,73	a = 1,356
	2 km	8'55"9	13,46	R' = 0,9565
	4 km	18'05"1	13,27	
1982 (20 anni)	400 m	1'26"6	16,63	R = 0,9997
	1 km	4'09"8	14,41	b = 13,01
	4 km	17'54"5	13,40	a = 1,442
				R' = 0,9459

Il coefficiente R' è stato calcolato in base all'equazione:  $y = a \log x + b$ , ipotizzata da M. Ranucci e G. Miserocchi e per atleti corridori su distanze dagli 800 m ai 5 km.<sup>1</sup>

Si può notare che il coefficiente di correlazione R, è sempre molto alto e quasi sempre superiore a R'.

Questi risultati, ottenuti da uno stesso atleta, sono confermati da primati stagionali di altri atleti, eccone alcuni (vedi tabella 8):

(1) *Atleticastudi* 6/85, p. 539-549.

Tabella 8

NOME E ANNO	DIST.	TEMPO	VEL. km/h	COEFFIC.
M.G. 94'	500 m	1'49"5	16,44	R = 0,9967
	1 km	4'04"	14,75	b = 13,36
	5 km	21'50"	13,74	a = 1,508
				R' = 0,93224
R.B. 79'	MIGLIO	6'05"3	15,86	R = 0,9940
	3 km	12'00"7	14,99	b = 11,86
	5 km	20'25"8	14,68	a = 1,71
				R' = 0,9766
I.G. 94'	400 m	1'29"0	16,18	R = 0,9940
	1 km	4'26"0	13,53	b = 11,86
	2 km	9'37"0	12,48	a = 1,71
	5 km	24'08"0	12,43	R' = 0,9043
R.B. 75'	400 m	1'41"6	14,17	R = 0,9936
	1 km	4'55"0	12,20	b = 11,17
	2 km	10'060	12,43	a = 1,184
				R' = 0,9043

Le prestazioni fin qui utilizzate per ogni calcolo di R, sono state selezionate nell'arco di una stagione agonistica (1 anno) nella quale sono possibili variazioni sensibili di condizione fisica dell'atleta, che potrebbero falsare i dati. Per ovviare a questo problema ho utilizzato un test dove nell'arco di una settimana ogni atleta ha effettuato 3 prove massimali sui 400 m, 1 km, 2 km, con recupero completo e in alcuni casi è stato svolto anche il test Conconi.

I risultati sono riportati nella tabella 9.

La media del coefficiente di correlazione  $\bar{R}$  in questi 18 test si è rivelata estremamente alta,  $\bar{R} = 0,9938$ .

Inoltre si può notare anche una certa corrispondenza fra la velocità di soglia Conconi ( $V_i$ ) e il coefficiente b di cui parleremo più avanti.

C'è però da dire che questi test sono stati effettuati prevalentemente su atleti e atlete di categorie giovanili o di basso livello, e questo per 2 motivi:

1) un marciatore di alto livello che si cimentasse su una prova massimale sui 400-500 m è molto probabile che sviluppi una velocità tale da rendere impossibile una marcia corretta (specie per quello che riguarda il contatto ininterrotto con il terreno), causando così dei risultati non attendibili.

2) Il marciatore di alto livello si specializza quasi sempre su distanze dai 10 km e oltre, per cui una relazione velo-

cità - distanza di gara fino ai 5 km, è certamente più utile ad un'atleta delle categorie giovanili che usa spesso cimentarsi su distanze più brevi.

#### 4.4 - Attendibilità dell'equazione $Y = a/x + b - cx$ come relazione fra Velocità e distanza di gara nella marcia, su distanze oltre i 10 km

L'espressione  $-cx$  dell'equazione considerata, aumenta il suo valore con l'aumentare della distanza (x), e il segno - davanti all'espressione sta ad indicare che essa è responsabile della diminuzione della velocità con l'aumentare della distanza.

Per contro a distanze elevate l'espressione  $a/x$  ha un valore molto basso, tanto da divenire trascurabile quando la distanza supera i 10 km, per cui l'equazione può essere semplificata a:

$$y = b - cx$$

Essendo questa l'equazione di una retta, diventa ancora più semplice il calcolo del coefficiente di correlazione R (vedi cap. 4 par. 3).

Per calcolare il coefficiente di correlazione R e quindi l'attendibilità dell'equazione  $y = b - cx$ , occorrono, anche in questo caso, almeno 3 prestazioni massimali su 3 diverse distanze superiori ai 10 km e molto diverse fra loro, in modo che le velocità corrispondenti non siano troppo simili.

Utilizzando i risultati delle graduatorie Nazionali di diverse stagioni, ed altri dati in mio possesso ho ottenuto i risultati riportati in tabella 10.

La media dei 25 coefficienti di correlazione calcolati ( $\bar{R} = 0,9896$ ), è soddisfacente considerando che:

1) il decremento di velocità con l'aumentare della distanza è minimo per cui dovrebbe essere misurato con estrema precisione.

2) Le misure delle massime prestazioni sulle lunghe distanze possono facilmente essere imprecise; clima, fattori psicologici, disturbi fisiologici, eventuali dislivelli e un'errata misura del percorso (nel caso di gare su strada), contribuiscono a sfalsare la prestazione.

3) Pochi dati a disposizione, (gli specialisti sui 50 km in Italia attualmente sono una decina) costringono ad utilizzare prestazioni ottenute nell'arco di una o più stagioni con notevoli possibilità di variazione di forma fisica.

#### 4.5 - Considerazioni fisiologiche sulla relazione Velocità-Distanza di gara $y = a/x + b - cx$

I coefficienti (a) (b) e (c) dell'equazione considerata, che rappresentano le caratteristiche di ogni singolo atleta in un suo determinato stato di forma, nelle sue prestazioni su

Tabella 9

ATLETA	DATA	DISTANZA	TEMPO	VELOCITÀ	PARAMETRI	CORRELAZIONE	T.CONCONI
C.S.	24-30/11/94	400 m	1'33"8	15,35	b = 12,67	R = 0,9995	Vi 12,63 Pi 178
		1 km	4'21"1	13,79	a = 1,075	R' = 0,9856	
		2 km	9'06"2	13,18			
C.S.	14-20/12/94	400 m	1'32"7	15,54	b = 12,80	R = 0,9994	Vi 12,78 Pi 178
		1 km	4'19"9	13,85	a = 1,091	R' = 0,9724	
		2 km	8'58"0	13,38			
L.L.	12/94	400 m	1'43"4	13,93	b = 10,99	R = 0,9983	Vi = 10,91 Pi = 196
		800 m	3'49"5	12,55			
		2 km	10'24"	11,54	a = 1,185	R' = 0,9865	
M.D.	12/94	400 m	1'37"2	14,81	b = 11,24	R = 0,9993	
		800 m	3'39"8	13,10	a = 1,43	R' = 0,9829	
		2 km	10'03"9	11,94			
M.B.	1/95	400 m	2'07"	11,34	b = 9,89	R = 0,9871	
		1 km	5'40"	10,59	a = 0,592	R' = 0,9991	
		2 km	11'53"	10,10			
T.A.	1/95	400 m	1'58"9	12,11	b = 9,27	R = 0,9830	
		1 km	5'37"	10,68	a = 1,162	R' = 0,9998	
		2 km	12'25"	9,66			
R.L.	1/95	400 m	1'55"5	12,52	b = 8,73	R = 0,9857	
		1 km	6'03"	9,92	a = 1,49	R' = 0,9321	
		2 km	12'23"	9,69			
C.S.	1/95	500 m	2'03"12	14,62	b = 12,01	R = 0,9996	
		1 km	4'31"0	13,28	a = 1,3	R' = 0,9766	
		2 km	9'28"0	12,68			
P.G.	1/95	400 m	1'40"77	14,30	b = 12,45	R = 0,9994	
		1 km	4'33"45*	13,16	a = 0,737	R' = 0,9728	
		2 km	9'20"94	12,84			
G.E.	15-20-1/95	400 m	1'58"9	12,11	b = 9,821	R = 0,9939	
		1 km	5'39"3	10,61	a = 0,904	R' = 0,9519	
		2 km	11'34"8	10,36			
E.C.	15-20-1/95	400 m	1'56"3	12,38	b = 11,23	R = 0,9973	Vi = 10,84
		1 km	5'09"1	11,65	a = 0,455	R' = 0,9626	
		2 km	10'26"6	11,49			
R.S.	15-20-1/95	400 m	2'03"4	11,67	b = 9,22	R = 0,9960	
		1 km	5'56"8	10,09	a = 0,97	R' = 0,9582	
		2 km	12'16"	9,78			
M.C.	15-20-1/95	400 m	2'07"1	11,33	b = 9,098	R = 0,9980	
		1 km	6'02"8	9,92	a = 0,886	R' = 9652	
		2 km	12'30"5	9,59			
M.G.	1/95	500	1'43"24	17,44	b = 14,46	R = 0,9966	
		1200	4'33	15,82	a = 1,50	R' = 0,9969	
		2000	7'56"0	15,13			
F.D.	1/95	400 m	1'59"24	12,50	b = 9,99	R = 0,99998	Vi = 10,26 Pi = 202
		1 km	5'27"64	10,99	a = 1,001	R' = 0,9788	
		2 km	11'26"0	10,50			
P.T.	22-29-1/95	400	1'47"04	13,45	b = 10,48	R = 0,9998	
		800	4'00"02	12,00	a = 1,194	R' = 0,9635	
		4 km	22'17"91	10,76			
F.M.	22-29-1/95	400	2'04"61	11,56	b = 9,07	R = 0,9921	
		800	4'33"79	10,52	a = 1,027	R' = 0,9865	
		4 km	25'59"42	9,23			
L.L.	22-29-1/95	400	1'40"45	14,34	b = 10,91	R = 0,9627	
		800	3'36"89	13,28	a = 1,467	R' = 0,9998	
		4 km	21'51"00	10,98			

Tabella 10

NOME	STAGIONE	DISTANZE	TEMPO	VEL. km/h	COEFF. b e c	CORREL. R.
C.P.	'92 - '93	10 km	49'09"	12,21	b = 12,55	0,99999
		20 km	1h 41'	11,88	c = 0,0335	
		50 km	4h 36'06"	10,87		
B.A.	'91-'92	10 km	42'04"	14,26	b = 14,84	0,9954
		20 km	1h 26' 03	13,95		
		50 km	4h 0358	12,30	c = 0,050	
C.R.	'83-'86	10 k m	44'00	13,64	b = 14,06	0,9955
		20 km	1h 32'45"	12,94		
		50 km	4h 19'25	11,56	c = 0,062	
C.S.	'94	10 km	44'50	13,38	b = 13,92	0,9973
		20 km	1h 35'30"	12,57	c = 0,062	
		50 km	4h 37'15"	10,83		
A.D.	'93	10 km	42'44"	14,04	b = 14,35	0,9906
		20 km	1h 29'33"	13,40	c = 0,041	
		50 km	4h 03'21"	12,33		
C.D.	'91-'94	10 km	43'27"	13,81	b = 14,45	0,9973
		20 km	1h 29'30"	13,41	c = 0,057	
		50 km	4h19'10"	11,58		
M.A.		10 km	44'15"	13,56		0,9815
		20 km	1h 29'15"	13,49	b = 14,00	
		50 km	4h 03'38"	12,31	c = 0,033	
D.R.	'93	10 km	44'43"	13,42		0,9989
		20 km	1h 32'43"	12,94	b = 13,91	
		50 km	4h 15'25"	11,75	c = 0,046	
		100 km	10h 46'25"	9,28		
M.G.	PRIMATI PERS.	10 km	41'36"	14,42		0,9876
		20 km	1h 27' 39"	13,69	b = 14,73	
		30 km	2h 14'49"	13,35	c = 0,045	
		50 km				
V.V.	PRIMATI PERS.	10 k m	41'15"	14,53		0,9993
		20 km	1h 26'30"	13,87	b = 15,12	
		30 km	2h 15'51"	13,25	c = 0,061	
		50 km	4h 08'09"	12,09		
B.S.	'88	10 km	42'25"	14,15		0,9746
		20 km	1h 24'54"	14,13	b = 15,19	
		50 km	3h 48'52"	13,11	c = 0,039	
P.G.	'88	10 km	40'42"	14,74		0,9965
		20 km	1h 22'54"	14,48	b = 15,19	
		50 km	3h 47'14"	13,20	c = 0,039	

(segue Tabella 10)

NOME	STAGIONE	DISTANZE	TEMPO	VEL. km/h	COEFF. b e c	CORREL. R.
Q.M.	'88	10 km	42'08"	14,24	b = 14,88 c = 0,047	0,9754
		20 km	1h 24'32"	14,20		
		50 km	4h 00'00"	12,50		
B.S.	'83	10 km	42'06"	14,25	b = 14,77 c = 0,039	0,9823
		20 km	1h 24'44"	14,16		
		50 km	3h 55'05"	12,76		
M.G.	'83	10 km	41'46"	14,37	b = 14,70 c = 0,044	0,9904
		20 km	1h 27'39"	13,69		
		50 km	3h 58'52"	12,56		
C.M.	'83	10 km	43'49"	13,69	b = 14,23 c = 0,049	0,9971
		20 km	1h 29'52"	13,35		
		50 km	4h 15'00"	11,76		
M.C.	'83	10 km	40'59"	14,64	b = 15,51 c = 0,081	0,9991
		20 km	1h 29' 55"	13,97		
		50 km	4h 21'15"	11,44		
F.M.	'93	10 k m	40'36	14,78	b = 15,4 c = 0,064	0,9999
		20 km	1h 25'00"	14,11		
		50 km	4h 05'19"	12,23		
P.G.	'93	10 km	40'53"	14,74	b = 15,32 c = 0,050	0,9960
		20 km	1h 23'14"	14,42		
		50 km	3h 54'30"	12,79		
C.N.	PRIMATI PERS.	10 km	42'29"	14,12	b = 14,74 c = 0,048	0,9850
		20 km	1h 25'51"	13,98		
		50 km	4h 03'57"	12,30		
P.F.	PRIMATI PERS.	10 km	41'58"	14,30	b = 14,89 c = 0,057	0,9997
		20 km	1h 27'09"	13,77		
		35 km	2h 42'36"	12,92		
		50 km	4h 09'34"	12,02		
Q.M.	'93	20 km	1h 27'25"	13,73	b = 14,38 c = 0,033	0,99993
		35 km	2h 38'45"	13,23		
		50 km	3h 55'14"	12,75		
G.V.	'93	10 km	42'23"	14,15	b = 14,72 c = 0,053	0,9993
		20 km	1h 27'37"	13,70		
		50 km	4h 09'03"	12,05		
R.O.	'93	10 km	41'37"	14,42	b = 14,87 c = 0,056	0,9916
		20 km	1h 27'45"	13,68		
		35 km	2h 44'34"	12,76		
		50 km	4h 06'32"	12,17		
B.S.	'93	10 km	42'41"	14,06	b = 14,37 c = 0,039	0,9947
		20 km	1h 28'45"	13,52		
		35 km	2h 41'57"	12,97		
		50 km	4h 00'04"	12,50		

gare di marcia, devono in qualche modo essere collegati con i metabolismi energetici che l'atleta utilizza per ottenere la sua massima prestazione.

Un'equazione che leghi la massima potenza metabolica in funzione della durata dello sforzo, è stata già calcolata (Wilkie 1980)<sup>(1)</sup>.

Essa è descritta, per prove dai 30" ai 10', dall'equazione:

$$^{(2)}EN = MPA - (MPA/t) \tau (1 - e^{-t/\tau}) + (EAN/t)$$

dove:

EN = Massima Potenza metabolica

MPA = Massima Potenza Aerobica

t = Durata dello sforzo

$\tau$  = Costante di tempo (- 10")

EAN = Massima Energia di Provenienza Anaerobica (lattacida + alattacida).

L'espressione  $[- (MPA/t) \tau (1 - e^{-t/\tau})]$  dell'equazione considerata rappresenta il ritardo di intervento del sistema aerobico, che per tempi oltre i 3-4 minuti diventa trascurabile, quindi l'equazione si riduce a:  $EN = MPA + (EAN/t)$ .

Da dati sperimentali ottenuti da atleti di livello mondiale, si sono ricavati:

L'energia massima di provenienza anaerobica  $EAN \approx 100 \text{ KJ}^{(3)}$ .

La massima potenza aerobica  $MPA \approx 1,8 \text{ KW}^{(4)}$ .

Sostituendo questi all'equazione di Wilkie, possiamo calcolare alcuni valori di massima potenza metabolica in funzione della durata dello sforzo:

t (sec.)	100	200	400	800
EN (kw)	2,62	2,21	2,005	1,9025

Correlando questi valori, su un'equazione semplificata del tipo  $y = a'/t + b'$ , otteniamo:

$$R = 0,99999999 \quad b' = 1,8 \quad a' = 82$$

Dal coefficiente di correlazione R, si comprende come "L'andamento" delle due funzioni è praticamente identico.

Il coefficiente  $b'$  risulta uguale a MPA.

Mentre il coefficiente  $a'$  ha un valore inferiore alla Massima Energia Anaerobica (EAN), infatti esso deve tener conto anche del ritardo di intervento del sistema aerobico.

Penso sia opportuno ora considerare 2 aspetti:

(1-2) Wilkie 1980, SdS, anno 3, n. 3, p. 4.

(3) P.E. di Prampero, I record del mondo di corsa piana, SdS, n. 3, anno 3, pp. 3-7.

(4) P.E. di Prampero, i record del mondo di corsa piana, SdS, n. 3, anno 3, pp. 3-7.

1) la potenza metabolica è, con buona approssimazione, linearmente proporzionale alla velocità di marcia (come dimostrato dagli ultimi studi di Sirtori e coll. 94, nella relazione  $R.E. = -38,8 + 6,86 V$ , vedi cap. 3 par. 4).

2) "L'andamento" della curva considerata, ponendo in ascissa lo spazio anziché il tempo, subisce minime variazioni, infatti correlando le 2 funzioni:

$$y = a'/t + b' \quad \text{e} \quad y = a/s + b \quad \text{otteniamo un coefficiente R accettabile} \quad (R \approx 0,9962).$$

Tenendo presente queste considerazioni, possiamo associare, l'equazione  $y = a/x + b$  (ipotizzata in questa tesi) a quella di Wilkie, e trarne le seguenti conclusioni:

1) Il coefficiente a, rappresenta la componente anaerobica della prestazione dell'atleta, e tiene conto contemporaneamente del ritardo di intervento del sistema aerobico.

2) Il coefficiente b, rappresenta la componente aerobica della prestazione, quindi identificabile con la velocità di soglia dell'atleta.

A conferma di ciò sono i risultati della Tav. 9 cap. 3 dove tutti gli atleti sottoposti al test di Conconi presentano una velocità di soglia simile al coefficiente b.

L'equazione  $Y = b - cx$  indica invece come la velocità di soglia ( $V_i$ ), associabile al coefficiente b, tenda a diminuire con l'aumentare della distanza a causa della diminuzione delle scorte di glicogeno che diminuisce la funzionalità del ciclo di Krebs.

La diminuzione di velocità di soglia con l'aumento della distanza è facilmente dimostrabile attraverso il "SuperTest" di Conconi, si tratta in pratica di effettuare più test Conconi allo stesso atleta intervallati da lunghi tratti di marcia o corsa (a seconda dei casi).

Tutti gli atleti, anche se con valori diversi, accusano dopo un certo numero di km, una sensibile diminuzione della velocità di soglia.

Questa diminuzione, che io ho ipotizzato rettilinea, è rappresentata dalla funzione  $-cx$  e in particolare dal coefficiente (c) che indica l'entità di questa diminuzione, e quindi in qualche modo collegata alla percentuale di consumo di glucidi rispetto ai grassi durante lo sforzo (Vedi cap. 3 par. 5).

#### 4.6 Utilità pratica della relazione Velocità-Distanza di gara $y = a/x + b - cx$

Mi sembra molto importante a questo punto verificare con quale percentuale i singoli coefficienti dell'equazione considerata, influenzano la prestazione finale (quindi la velocità), col variare della distanza.

$$\text{Ponendo: } b + a/x + cx = N$$

la percentualità dei singoli coefficienti può essere così calcolata:



$$\% \text{ di } b = \frac{b \cdot 100}{N};$$

$$\% \text{ di } a/x = \frac{a/x \cdot 100}{N};$$

$$\% \text{ di } cx = \frac{cx \cdot 100}{N};$$

Ponendo ora dei valori di un ipotetico marciatore di medio livello ai coefficienti (a), (b) e (c), possiamo costruire la seguente tabella:

Tabella 11

DISTANZA KM	% b b = 13,5	% a/x a = 1,7	% cx c = 0,05
0,4	75,97	23,92	0,11
1	88,52	11,15	0,33
2	93,43	5,88	0,69
3	94,96	3,99	1,06
5	95,81	2,41	1,77
10	95,27	1,20	3,53
20	92,56	0,58	6,86
30	89,66	0,38	9,96
50	84,20	0,21	15,59
100	72,91	0,09	27,00

Il coefficiente b, che rappresenta con buona approssimazione la velocità di soglia dell'atleta, ha una percentualità sempre più elevata su tutte le distanze usate in gara, infatti si usa spesso associare la velocità di soglia al livello di prestazione dell'atleta (vedi cap. 3 par. 2).

Anche nel caso della marcia esiste una distanza in cui la velocità di soglia corrisponde a quella di gara, cioè la componente lattacida della prestazione (a), e il decremento della soglia (c), si eguagliano.

Il calcolo di questa distanza è presto fatto:

data l'equazione  $Y = a/x + b - cx$

e ponendo  $Y = b$ , cioè il caso in cui la velocità di gara corrisponda a quella di soglia, si può scrivere:

$$Y - b = a/x - cx$$

$$0 = a/x - cx; \quad cx = a/x; \quad x^2 = a/c; \quad x = \sqrt{a/c}$$

Nel caso di coefficienti usati in tabella, la distanza risulta:

$$x = \sqrt{1,7/0,05} = 5,83 \text{ km}$$

Il calcolo dei coefficienti (a), (b), e (c) di un atleta è relativamente semplice, una volta che siamo in possesso di 1, 2 o 3 prove massimali dell'atleta.

Nel caso di una prova massimale possiamo calcolare il solo coefficiente b a condizione che questa distanza sia molto vicina a:

$$x = \sqrt{a/c}$$

Molto approssimativamente possiamo dire che nella marcia tale distanza va circa dai 5 ai 10 km a seconda che si tratti di un atleta di basso o alto livello, e la velocità media della prova corrisponderà al coefficiente b.

Esempio: atleta di basso livello percorre i 5 km in 27', allora il suo parametro b corrisponderà approssimativamente a:

$$b \approx \frac{5}{27/60} = 11,11 \text{ km/h}$$

Se siamo in possesso di 2 prove massimali dell'atleta possiamo calcolare 2 coefficienti, a e b nel caso di 2 prove "brevi", b e c se le prove sono su lunghe distanze.

Nel 1° caso, usando l'equazione  $Y = a/x + b$  (trascurando cx) e dati  $x_1$ ,  $y_1$  e  $x_2$  e  $y_2$  che rappresentano la distanza e la velocità delle 2 prove, possiamo scrivere:

$$\begin{cases} y_1 = a/x_1 + b \\ y_2 = a/x_2 + b \end{cases}$$

Risolvendo il sistema a due incognite (a e b) si ottiene:

$$b = (y_1 x_1 - y_2 x_2) / (x_1 - x_2)$$

$$a = (y_2 - b) x_2$$

N.B. Le due prove, per dare risultati attendibili, dovranno essere scelte in modo da produrre molto scarto fra le due velocità e con distanze comprese fra i 400 m e i 5 km.

Esempio: atleta con 1' 40" nei 400 m e 9' 59" nei 2 km

$$x_1 = 0,4 \quad x_2 = 2$$

$$Y_1 = \frac{0,4}{(1/60+40/3600)} = 14,4; \quad Y_2 = \frac{2}{(9/60+59/3600)} = 12,02$$

$$b = \frac{14,4 \cdot 0,4 - 12,02 \cdot 2}{0,4 - 2} = 11,43; \quad a = (12,02 - 11,43) 2 = 1,8$$

Inoltre, se siamo in possesso di una terza prestazione dell'atleta su una lunga distanza (~ 20 - 50 km) possiamo anche calcolare il coefficiente  $c$  attraverso l'equazione:

$$c = (b - y_3) / x_3$$

Nel 2° caso, cioè quando siamo in possesso di due prestazioni su lunghe distanze (dai 10 km in poi, e non troppo vicine fra loro), possiamo, trascurando la funzione  $a/x$ , scrivere:

$$\begin{cases} Y_1 = b - cx_1 \\ Y_2 = b - cx_2 \end{cases}$$

Dove  $Y_1$ ,  $X_1$  e  $Y_2$ ,  $X_2$  sono le velocità e le distanze delle due prestazioni.

Risolvendo il sistema si ottiene:

$$c = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1); \quad b = y_1 + cx_1$$

Trovo che possa essere estremamente utile e pratico calcolare i coefficienti  $a$  e  $b$ , su giovani atleti, attraverso il sistema delle due prove massimali, anziché calcolare il solo coefficiente  $b$  (velocità di soglia) attraverso il Test Conconi, per i seguenti motivi:

- 1) possiamo disporre di 2 dati ( $a$  e  $b$ ) anziché uno solo ed avere così maggiori indicazioni sull'atleta.
- 2) Il Test Conconi comporta strumentazioni (Cardiofrequenzimetro), che non tutti gli allenatori posseggono.
- 3) Il Test Conconi comporta la costruzione di un grafico che a volte può non essere ben interpretato.
- 4) A volte gli atleti, specie i più giovani non riescono ad effettuare una buona progressione come richiesto dal Test di Conconi.
- 5) I giovani atleti riescono con molta facilità a svolgere prove massimali e a recuperare velocemente.

Conoscere i coefficienti  $a$  e  $b$ , oppure  $b$  e  $c$ , oppure tutti e tre assieme, significa conoscere le prestazioni teoriche dell'atleta anche su distanze mai provate.

Sostituendo all'equazione  $y = a/x + b$  (per distanze dai 400 m ai 5 km), oppure  $y = b - cx$  (per distanze oltre i 10 km), oppure  $Y = a/x + b - cx$  (per distanze superiori ai 400 m), i valori dei coefficienti  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , e quello della distanza  $x$ , è possibile calcolare la velocità teorica della prova ( $y$ ).

Esempio: atleta con  $a = 1,5$   $b = 11,5$   
 su 2 km  $\Rightarrow y = 1,5/2 + 11,5 = 12,25$  k/h  $\Rightarrow 9'47''8$

oppure atleta con  $b = 13,5$   $c = 0,05$   
 50 km  $\Rightarrow y = 13,5 - 0,05 \times 50 = 11$  km/h  $\Rightarrow 4h32'443''$

oppure atleta con  $b = 12,8$   $c = 0,06$   $a = 2$   
 sui 10 km  $\Rightarrow y = 2/10 + 12,8 - 0,06 \cdot 10 = 12,4$  km/h  $\Rightarrow 48'23''2$ .

NB - Le unità di misura dei coefficienti  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , omesse, sono rispettivamente: km<sup>2</sup>/h; km/h; h<sup>-1</sup>.

#### 4.7 Conclusioni

La relazione Velocità ( $y$ ) - Distanza di gara ( $x$ )

$y = a/x + b - cx$ , si è rivelata estremamente attendibile per tutte le distanze dai 400 m in poi nella marcia.

Di particolare interesse si sono rivelati quindi i coefficienti  $a$ ,  $b$  e  $c$ , che oltre ad esprimere un significato metabolico, rappresentano dei parametri caratteristici di ogni singolo atleta in un particolare stato di "forma fisica".

Data la facilità di rilevare i coefficienti attraverso test o gare, può essere estremamente utile mettere in relazione questi con altre variabili, come ad esempio: il tipo di allenamento svolto, l'età del soggetto, le caratteristiche fisiche o antropometriche dell'atleta, la lunghezza e la frequenza dei passi, e tanti altri fattori, traendone così importanti conclusioni.

Oltre a ciò esiste un'utilità immediata di questa equazione, che è quella di conoscere la prestazione teorica del soggetto in quel determinato "stato di forma", su tutte le distanze di gara, e di conseguenza conoscere la distanza per la quale è più predisposto l'atleta, o ancora, quale sia la velocità consigliabile per affrontare una gara su una distanza mai effettuata.

Penso inoltre, che tale relazione abbia tutte le caratteristiche per poter essere applicata anche in altre specialità di resistenza, come il ciclismo, la corsa, il nuoto; infatti ho riscontrato una buona correlazione con i primati mondiali di queste specialità.

#### BIBLIOGRAFIA

- A. ZAMBALDO: La Marcia Atletica, Ed. Sperling e Kupfer 1975, pp. 16-61  
 A. ZAMBALDO: Storia della marcia atletica, *Atleticastudi*, n° 1, 1993, pp. 41-50  
 G. GORI - R. BERNABEO: Rassegna storica dell'educazione fisica e degli sport d'elezione, ed. Esculapio, 1984, pp. 79-81  
 M. DAMILANO: Camminare, ed. Sperling e Kupfer, 1990, pp. 11-17.  
 G. CAVAGNA - P. FRANZETTI: Meccanica della marcia atletica, *Atleticastudi*, n° 3, 1982, pp. 11-16

E. ARCELLI: Alcune caratteristiche fisiologiche della marcia, *Atleticastudi*, n° 10/11, 1977, pp. 5-8

E. ARCELLI: Costo Energetico della marcia, *Atleticastudi*, n° 5, 1981, pp. 11-15

E. ARCELLI: Per una preparazione del marciatore basata su criteri fisiologici, *Atleticastudi*, n° 5, 1981, pp. 17-20

J.V. VERCHOSHANSKIJ: Un nuovo sistema di allenamento negli sport ciclistici, *Sds*, n° 27 Ott-Dic. 1994, pp. 33-36

A. SASSI - E. ARCELLI - B. SOVERNI: Relazione tra soglia anaerobica e velocità sui 25 km in pista, *Ciclismo Scienza e Tecnica*, n° 1/1986

M. RANUCCI - G. MISEROCCHI: La relazione Velocità-Distanza di gara nel mezzofondo breve e prolungato: un modello di studio applicato, *Atleticastudi*, n° 6 1989, pp. 539-549

P.E. DI PRAMPERO: I record del mondo di corsa piana, *Sds*, n° 3, Anno 3, pp. 3-7

G. LENZI: Metodo moderno di allenamento per la maratona, *Atleticastudi*, n° 2-3 1978, pp. 93-100

S. DAMILANO: Metodologie di lavoro in base al Test del Prof. Conconi, *Atleticastudi*, n° 6 1986, pp. 477-484

E. ARCELLI - A. LA TORRE: La gara dei 50 km di marcia: spesa energetica e origine dell'energia, *Atleticastudi*, n° 3 1994, pp. 215-218.

*Indirizzo degli Autori:*  
Stefano Casali  
Via Giacomini, 99  
47031 Rep. San Marino

Gaetano Partipilo  
Via Martucci, 8  
70059 Trani (BA)