

IL COSTO ENERGETICO DELLA CORSA IN PROVE CONTINUE E INTERMITTENTI

Introduzione

Oggi le possibilità degli atleti nelle specialità di mezzofondo e fondo sono ormai vicini al limite massimo biologico. Ad esempio, l'indice massimo di consumo di ossigeno (Vo_2 max) nei corridori più forti al mondo non si è modificato negli ultimi 30 anni del secolo scorso. Il livello della soglia anaerobica (SA), che ha un'alta correlazione con il risultato sportivo della corsa, è anch'esso quasi arrivato al suo limite massimo e negli atleti di alta prestazione sulle lunghe distanze ci troviamo ad un livello di circa il 90 – 95% del Vo_2 max.

Anche il volume annuale dei carichi di corsa raggiunge il suo limite ragionevole e nella tappa di alta qualificazione la quantità di lavoro di corsa eseguita già non garantisce le modificazioni essenziali a livello rigenerativo della capacità di lavoro speciale dei corridori.

In questa situazione il criterio più importante della maestria sportiva è rappresentato da quanto essi siano capaci di spendere energia per il lavoro muscolare in condizioni di gara in maniera economica.

Ciò ha particolare importanza per i corridori di alto livello. Tra essi ne ha, prevalentemente, quel corridore che alla stessa velocità di corsa consuma meno energia e la mantiene per la parte finale della distanza di gara.

Inoltre il miglioramento del potenziale motorio dell'atleta passa anche attraverso l'utilizzo di mezzi di allenamenti, soprattutto specifici, che riproducono il più fedelmente possibile le variabili spazio-temporali (ampiezza e frequenza) di gara, che incidono in misura significativa sull'economia del gesto.

Tra questi di particolare interesse riveste la corsa intermittente per la sua versatilità dal punto di vista applicativo.

Alcune definizioni preliminari

1. Massimo Consumo di Ossigeno, $\text{Vo}_2 \text{ max.}$
2. Costo Energetico della Corsa
3. Velocità Aerobica Massima (V.A.M.)
4. Soglia Anaerobica
5. Corsa Intermittente

Il Massimo Consumo di Ossigeno

La quantità di ossigeno che l'organismo deve assumere è regolata dal livello metabolico cellulare. La quantità minima necessaria a soddisfare le esigenze vitali è definita metabolismo basale. Il consumo di ossigeno (Vo_2) aumenta man mano che aumenta il fabbisogno cellulare e, in corso di lavoro muscolare, via via che aumenta l'intensità di questo. Esiste per altro un limite massimo, individuale, che rappresenta la massima potenza che la macchina umana può esprimere sulla base dei processi metabolici ossidativi (Vo_2 max) e viene espresso in litri o millilitri ($l \cdot min^{-1}$ o $ml \cdot min^{-1}$). Tale unità di misura risulta valida soltanto quando il peso del corpo non rappresenti un fattore limitante la prestazione. Negli altri casi, quando il lavoro meccanico è di tipo antigravitario, il Vo_2 max deve, necessariamente, essere misurato rispetto al peso corporeo ($ml \cdot Kg^{-1} \cdot min^{-1}$) al fine di omogeneizzare anche soggetti di taglia corporea diversa.

I test per il Vo_2 max sono fondamentalmente di due tipi:

- a) *Test triangolari:*** test a carichi crescenti (di tipo incrementale) con incrementi del carico di lavoro di intensità e durata variabile fino al raggiungimento del massimo carico tollerabile o del Vo_2 max;
- b) *Test rettangolari:*** test a carico costante da mantenere per un tempo prefissato o il più a lungo possibile.

Il Costo Energetico della Corsa

Il costo energetico della corsa è la quantità di energia che il soggetto deve spendere per compiere un percorso unitario. Il costo energetico è, quindi, una misura dell'economia della progressione; esso è tanto minore quanto più economico è il gesto del soggetto.

In genere il costo energetico (Cr) è espresso al netto del consumo di riposo e per unità di massa trasportata: nel S.I. di unità in $J/(Kg * m)$ o in $KJ/(Kg * Km)$. In fisiologia o in medicina il dispendio energetico è calcolato a partire da misure di consumo di O_2 , per cui è spesso pratico esprimere il Cr in $ml O_2/(Kg * m)$ tenendo conto che il consumo di un litro di O_2 nell'organismo umano sviluppa circa 5 Kcal (4,19 J) è possibile trasformare tutte queste unità le une nelle altre (la scelta è dettata unicamente da motivi di praticità).

Il costo energetico totale è la somma del dispendio contro la resistenza dell'aria (costo aerodinamico, Ca) e di quello contro le forze non aerodinamiche (costo non aerodinamico): sollevamento e abbassamento ed accelerazione e decelerazione del centro di massa ad ogni passo, lavoro interno: consumo dei muscoli respiratori e del cuore. Il Ca aumenta con il quadrato della velocità rispetto all'aria (v), per cui :

$$Cr = Ca + Cna = K + v^2 + Cna \quad (1)$$

dove tutti i termini sono espressi per unità di distanza e dove K è una costante di proporzionalità e dipende dalla superficie proiettata sul piano frontale, dalla densità dell'aria e dalla forma del corpo in movimento.

A velocità di corsa pari a 20 Km/h il costo aerodinamico è pari al 7% del costo totale; a velocità superiori il Ca aumenta fino ad un massimo del 30% circa per velocità dell'ordine di 35 – 38 Km/h. Poiché il Cna è praticamente indipendente dalla velocità, il costo totale può essere considerato costante, almeno in prima approssimazione fino a velocità di circa 20 Km/h, ossia su tutto l'ambito delle velocità aerobiche.

Nel soggetto adulto il Cr, espresso in Kg di massa corporea è indipendente dall'età, dal sesso e dalla massa corporea nella corsa in piano a velocità costante e su terreno compatto ammonta, in media, a 3,8 KJ/(Kg * Km), al netto del consumo di riposo.

Misura del Costo Energetico

Per la sua stessa definizione, la misura del Cr richiede la determinazione di tutta l'energia che il soggetto spende per muovere se stesso, indipendentemente da quale sia il substrato o la via metabolica utilizzata.

Tale misura, come è noto, è tuttavia impossibile da effettuare non essendo ancora disponibile una misura diretta del metabolismo cellulare, in ogni sua variante, sia aerobica che anaerobica di un atleta.

E' ovviamente sempre possibile, conoscendo le leggi della biochimica che regolano il metabolismo energetico ed ipotizzando i valori di alcuni parametri che non possono essere facilmente misurati, calcolare, sia pure in modo teorico, tutte le fonti energetiche utilizzate nel corso di una prestazione. Tuttavia tale metodo procedurale, basandosi su assunti e su

concetti teorici, può presentare margini di errore non trascurabili, in particolare quando si tratta di atleti di alto livello.

Per tale motivo, essendo possibile avere del metabolismo aerobico una misura alla bocca praticamente sovrapponibile a quello cellulare, nella misura del Cr della locomozione si preferisce far riferimento a condizioni prevalentemente aerobiche nelle quali, cioè, l'energia proviene totalmente dal metabolismo aerobico e vi è quindi equilibrio tra lattato prodotto e lattato rimosso.

Queste condizioni si realizzano, come noto, quando il carico di lavoro è di intensità inferiore alla cosiddetta S.A. o, come è più corretto definire, inferiore al carico corrispondente al M.L.S.S. e la sua durata è tale da avere già attivato completamente sia i sistemi centrali di trasporto dell'ossigeno che quelli periferici del suo utilizzo, quindi almeno 5 minuti.

Per la verità alcuni autori ritengono che per una corretta misurazione del Cr (aerobico) un test non possa durare meno di 10–20 minuti; tuttavia se il carico è certamente inferiore alla S.A. (M.L.S.S.), tale quindi da non determinare l'eventuale comparsa di un progressivo aumento del consumo di O_2 (fenomeno noto come componente lenta), si può ragionevolmente ritenere che il consumo di O_2 rimanga costante già dopo 5 minuti.

Da un punto di vista pratico il rilievo del Cr avviene, quindi, misurando, in laboratorio o sul campo, il Vo_2 alla bocca mentre un soggetto effettua una prova a carico costante di intensità inferiore alla S.A. della durata di 5-6 minuti. Come Vo_2 relativo a quel carico viene considerato il valore medio degli ultimi 2 o dell'ultimo minuto, assunto che un tempo minimo di 3 minuti è comunque necessario per ottenere un valore stabile di Vo_2 .

Effettuando diversi carichi successivi si ottengono i valori di Cr corrispondenti.

La Soglia Anaerobica

Al concetto di S.A. sono stati attribuiti nomi e significati diversi, tuttavia con essa s'intende l'intensità soglia oltre la quale si verifica un accumulo progressivo di lattato nel sangue. Tale definizione indica che tale parametro, suscettibile di modificazioni con l'allenamento, identifica la zona di transizione aerobico-anaerobico, cioè il livello di intensità metabolica in corrispondenza del quale l'energia necessaria all'effettuazione dell'esercizio proviene sia dalle fonti energetiche aerobiche che da quelle anaerobiche.

Questo punto di transizione è stato individuato a livelli di intensità diversi a seconda dei vari autori.

Per tale motivo alcuni hanno proposto, dapprima, una spiegazione del fenomeno, poi, sulla base di questa, hanno anche suggerito una differente definizione che vede la S.A. come l'intensità del lavoro che può determinare la concentrazione massima stabile di lattato ematico che può essere mantenuta da un certo soggetto in una condizione di steady state prolungato.

Quest'ultima definizione di S.A. meglio si riconosce nel termine di "maximal laccate steady state" (M.L.S.S.), o massimo lattato stazionario. Da un punto di vista biologico appare chiaro che il termine M.L.S.S., non riferendosi più ad un valore fisso di soglia, ma ad un fenomeno, descrive

meglio quanto realmente accade e cioè un massimo equilibrio, variabile da soggetto a soggetto, tra la produzione muscolare del lattato e il suo smaltimento.

In generale, per riassumere, possiamo dire che per S.A. s'intende l'intensità di lavoro corrispondente ad un valore fisso di lattato ematico, mentre per M.L.S.S s'intende un fenomeno biologico che non è identificabile con un solo valore di lattato.

Tuttavia, la differenza tra i due termini, nell'uso comune, è sempre più indefinibile e il termine S.A. viene normalmente usato proprio per indicare la massima intensità di lavoro che può essere mantenuta indefinitamente nel tempo.

La velocità aerobica massima

L'allenamento del meccanismo aerobico assume un significato diverso a seconda della durata e dell'intensità del lavoro muscolare.

Per migliorare la potenza aerobica delle fibre lente sono efficaci tutti quei carichi di allenamento, continui o interrotti da pause, che abbiano come riferimento la soglia anaerobica. Mentre per migliorare le proprietà ossidative delle fibre veloci si devono ricercare intensità più elevate, corrispondenti alla velocità aerobica massima (V.A.M.) che è l'intensità di lavoro che si sviluppa durante uno sforzo in cui la spesa energetica corrisponde al massimo consumo di ossigeno ($Vo_2 \text{ max}$).

In atletica si può definire come la velocità di corsa necessaria a stimolare la massima potenza aerobica. La V.A.M. è calcolabile con la seguente formula (Di Prampero P.E. 1986):

$$V.A.M. = \frac{V_{O_2} \text{ max} - V_{O_2} \text{ riposo}}{Cr}$$

Come si può vedere essa è il risultato dell'interazione fra la massima potenza aerobica, da una parte, e la forza specifica unita a una buona tecnica di corsa o traslocazione più in generale.

Il primo fattore è certamente importante ai fini della prestazione ma il possesso di un passo di corsa più o meno economico ed efficace può influire, a volte, in misura notevole sulla capacità degli atleti di sfruttare nel migliore dei modi il potenziale aerobico di cui essi dispongono.

La determinazione della V.A.M. con la formula sopra citata comporta la necessità di misurare direttamente il V_{O_2} max e il Cr in laboratorio e sul campo. Esistono anche metodi di misurazioni indiretti, da campo, che individuano tale velocità con buona approssimazione.

Corsa intermittente

I metodi di lavoro intermittente stanno ricevendo un'accoglienza e diffusione sempre più ampie nell'area dell'allenamento rivolto al miglioramento dei processi di erogazione di energia aerobici ed anaerobici

(capacità lattacida) e della resistenza muscolare. Il principio su cui si basa il lavoro intermittente non è molto complesso. Infatti consiste nell'alternare sforzi più o meno elevati a pause brevi di recupero passivo. Durante gli sforzi muscolari violenti vengono reclutate in forma massiccia le fibre veloci (F T) e si utilizzano ingenti quantità di energia biochimica la quale verrebbe parzialmente rigenerata durante la fase di recupero, utilizzando il processo aerobico e quindi stressando il sistema respiratorio e cardiocircolatorio.

I campi di applicazione di tale mezzo di allenamento sono prevalentemente:

- a) Nei giochi sportivi
- b) Nel mezzofondo in atletica leggera (prove da 90" a 8')
- c) Nell'allenamento della forza resistente.

Tale tipo di lavoro, consente grandi volumi di carico e affinché sia efficace il lattato prodotto non deve superare le 8 mmol / l.

Pertanto bisogna sempre limitare la durata della fase attiva dell'allenamento intermittente.

Dal punto di vista metabolico durante questi allenamenti l'acido lattico si mantiene intorno a 4-8 mmol / l ed il consumo di ossigeno si attesta tra 80 e 90% del Vo_2 max. La capacità di lavoro dell'atleta rimane inalterata.

L'intensità e la durata della frazione del lavoro intermittente si determina in base alle esigenze di gara, quindi il parametro intensità si può assumere uguale a quello previsto per lo svolgimento della gara, mentre per il parametro durata è conveniente iniziare con tratti di 20" e pari recupero

(20"/20"), se l'atleta riesce a svolgere la serie in maniera corretta (cioè mantenendo la potenza o velocità richiesta senza accusare cali) e l'acido lattico si mantiene entro limiti vicino alle 4 mmol/l, possiamo anche chiedere all'atleta, nella serie successiva, di aumentare la durata della singola frazione a 25"- 30", mantenendo inalterato il recupero (25"/20" o 30"/20"). Se anche in questo caso la potenza, o la velocità, viene mantenuta per tutta la durata del tempo precedentemente stabilito ed il lattato è intorno alle 6-8 mmol/l, abbiamo trovato la durata corretta della frazione. Se invece l'acido lattico è più elevato (> 8 mmol/l) o la potenza (velocità) non viene mantenuta, allora dobbiamo ridurre la durata della frazione.

Quindi l'unico parametro su cui possiamo agire una volta stabilita correttamente l'intensità, risulta quello della durata della frazione.

Premessa

Scopo del lavoro seguente è quello di valutare, attraverso un'esperienza sul campo, il costo energetico (Cr) durante corsa continua alle varie velocità e durante corsa intermittente a velocità di gara, inoltre, programmare e valutare l'allenamento intermittente a velocità di gara stabilita attraverso parametri funzionali quali S.A. e V.A.M., precedentemente stabiliti.

Materiali e metodi

Soggetti:

In questo studio sono stati considerati due atleti: A.M. di età 16 anni, peso 65 Kg e altezza 185 cm e C.L. di età 18 anni, peso 61 Kg e altezza 173 cm. Entrambi gli atleti, considerati di interesse nazionale nelle specialità di mezzofondo, m 1500/800, durante il periodo dei test continuavano la loro attività di allenamenti e gare. Nessuno dei due mostrava problemi di tipo muscolare o neuromuscolare ed erano in un ottimo stato di forma psicofisica.

Protocollo:

- Test di determinazione del massimo consumo di ossigeno ($VO_2 \text{ max}$) e del costo energetico (Cr).

Per determinare tali parametri si è utilizzato un test a carico periodizzato; i soggetti dovevano compiere fasi successive di test rettangolari. Il protocollo utilizzato è stato il seguente:

1. Corsa continua 6' alla velocità di 12 Km/h
Recupero 6' sul posto, seduti
2. Corsa continua 6' sotto-soglia, velocità individuale
Recupero 6' sul posto, seduti
3. Corsa continua 5' sopra-soglia, velocità individuale
Recupero 6' sul posto, seduti
4. Corsa continua 2' R.g. m 1500, velocità individuale

Al termine di ciascun carico veniva effettuato un prelievo ematico capillare al lobo dell'orecchio per la determinazione del lattato prodotto, il campione sanguigno era analizzato da un misuratore di lattato ematico Modello " Laccate Protm – 1710 Arkray".



Figura 1. Prelievo ematico per la determinazione del lattato prodotto

Il consumo di ossigeno veniva calcolato grazie ad un metabolimetro telemetrico respiro per respiro "K4b² (Cosmed, Italia)".



Figura 2. Misurazione del consumo di ossigeno per mezzo di metabolimetro telemetrico (K4b²)

I test sono stati effettuati su pista di atletica leggera utilizzando scarpette gommate.



Figura 3. Campo di atletica leggera

I dati di Vo_2 ottenuti sono stati utilizzati per la determinazione del Cr (espresso in $\text{mlO}_2 * \text{Kg}^{-1} * \text{Km}^{-1}$) in funzione delle velocità.

- Determinazione della velocità aerobica massima (V.A.M.)

Determinato il Vo_2 max e il Cr della corsa, per identificare la V.A.M. si è utilizzato la seguente formula (di Prampero P.E. 1986):

$$V.A.M. = \frac{\text{Vo}_2 \text{ max} - \text{Vo}_2 \text{ riposo}}{Cr}$$

dove :

Vo_2 max: massimo consumo di ossigeno misurato alla bocca

Vo_2 riposo: consumo di ossigeno a riposo equivalente a $5 \text{ ml} * \text{Kg}^{-1} * \text{m}^{-1}$

Cr: costo energetico misurato attraverso il consumo di ossigeno alla velocità di 12 Km/h.

- Test di determinazione della Soglia Anaerobica e del Maximal Lactate Steady State (MLSS)

Per la determinazione della S.A. si è utilizzato il metodo delle 4 mmol proposto da Mader. I soggetti analizzati hanno percorso 4 frazioni di

6'/6'/5'/2' a velocità crescenti; le velocità sono state stabilite attraverso la conoscenza diretta degli atleti. Alla fine di ogni frazione veniva effettuato un prelievo ematico dal lobo dell'orecchio per la determinazione della lattacidemia, la frequenza cardiaca era costantemente monitorata attraverso un cardiofrequenzimetro modello “Polar Precision S 610i”.

Stabilita la velocità corrispondente alle 4 mmol e alla relativa frequenza cardiaca è stato somministrato loro un test a carico costante, alla stessa velocità per la valutazione del maximal lactate steady statet (MLSS), che consisteva nel percorrere Km 6 di corsa continua, in pista, utilizzando scarpette gommate, con rilevamento della lattacidemia al 3° e 6° Km e monitoraggio costante della frequenza cardiaca.

- Determinazione parametri : quantità – durata – intensità – recupero – modalità del recupero, durante corsa intermittente

Considerando che gli atleti esaminati praticavano come specialità il mezzofondo veloce (m 800/1500) si è deciso di utilizzare come riferimento la gara dei m 1500. Per quanto riguarda l'intensità si stabilisce di svolgere le prove al 125/130 % della S.A. e al 115/118 % della V.A.M.; per gli altri parametri si fa riferimento al protocollo seguente.

- Atleta A.M. :

6' a 12 Km/h

1^a serie: 10 x m 160 in 28" rec. 17" di passo

Macropausa di 10' a 12 Km/h

2^a serie: 6 x m 280 in 50" rec 28" di passo

- Atleta C.L. :

6' a 12 Km/h

1^a serie: 10 x m 175 in 28" rec 17" di passo

Macropausa di 6' a 12 Km/h

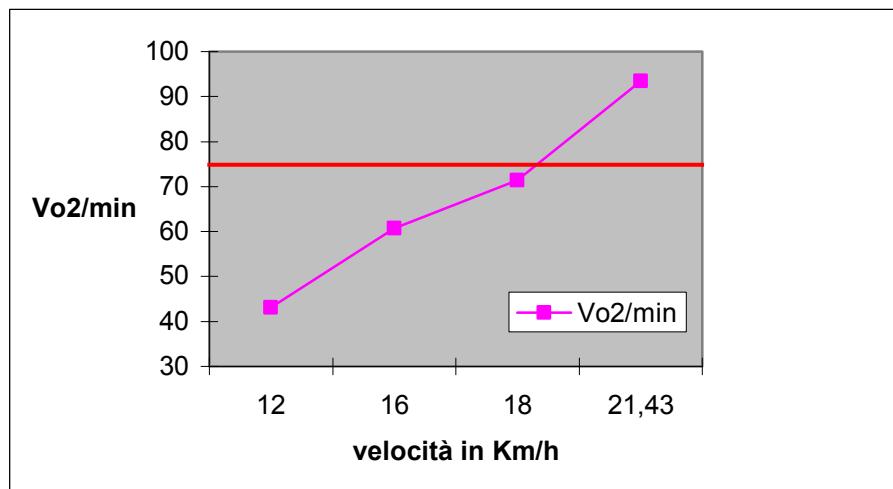
2^a serie: 6 x m 280 in 47" rec. 28" di passo

Gli atleti, durante le effettuazioni delle prove, erano costantemente monitorati attraverso un metabolimetro telemetrico miniaturizzato (K4b², Cosmed, Italia) per valutare la percentuale del Vo_2 max utilizzata e il Cr durante le prove di corsa intermittente, un cardiofrequenzimetro (Polar S 610i) per il monitoraggio della frequenza cardiaca, un lattacidometro (Modello Lactate Protm – 1710 Arkray) per la valutazione del lattato ematico prodotto alla fine di ogni serie e per valutare la cinetica di smaltimento dello stesso alla fine della macropausa.

Risultati e discussione

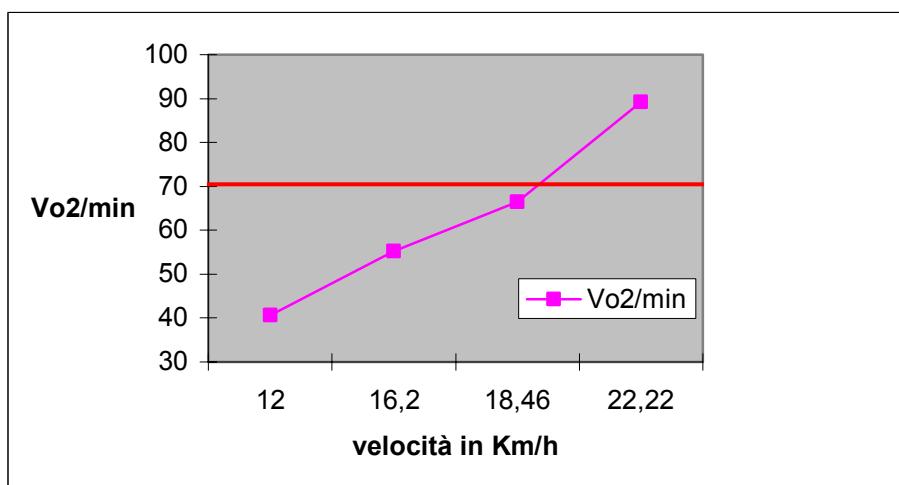
1. Consumo di ossigeno e costo energetico

Le misure del consumo di ossigeno (Vo_2) e del Vo_2 max, che si evidenziano dai grafici, sono servite, la prima, per la determinazione del costo energetico (Cr) della corsa svolta alle velocità di percorrenza stabilita, la seconda, il valore di Vo_2 max (evidenziata dalla linea orizzontale nel grafico), è servita per il calcolo della V.A.M.



Valori relativi all'atleta A.M.

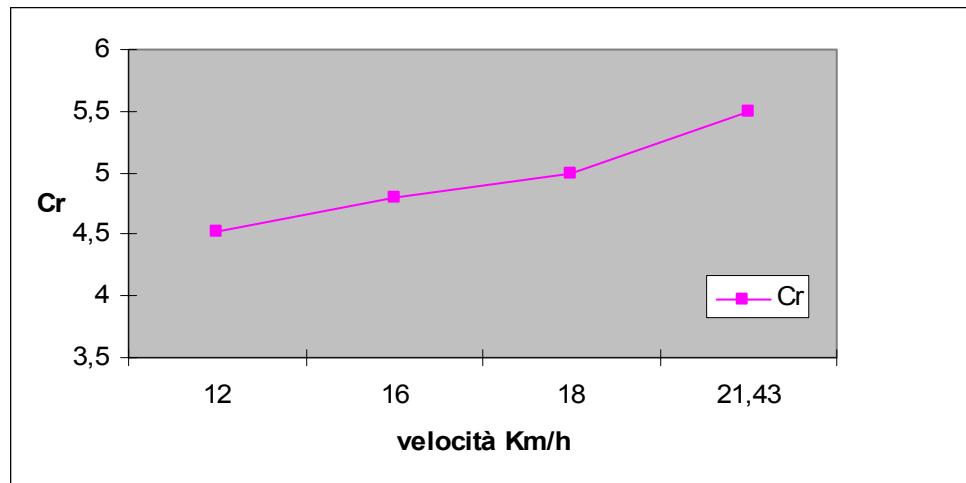
grafico N° 1



Valori relativi all'atleta L.C.

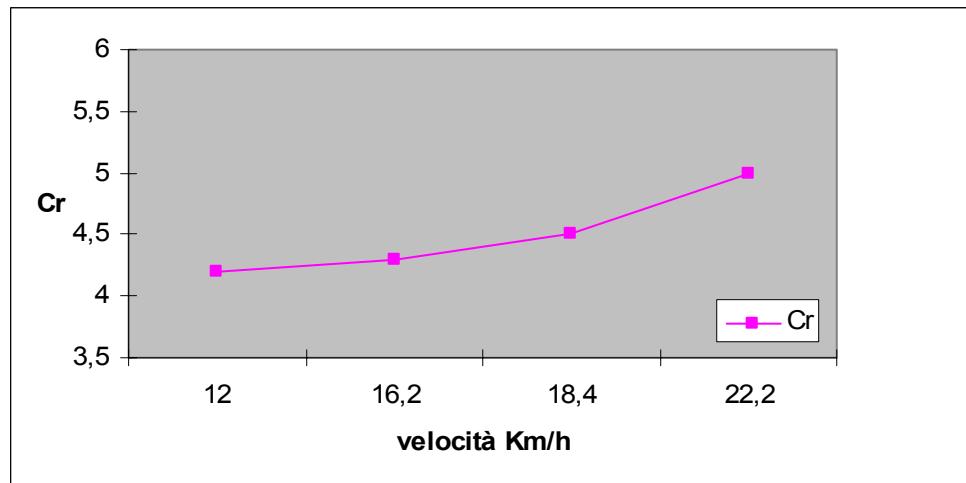
grafico N° 2

Dai grafici seguenti si evidenzia che il Cr cresce al crescere della velocità di percorrenza delle frazioni, questo in contro tendenza con quanto riportato in letteratura, ossia, che il Cr risulta essere costante fino a velocità di circa 6 m/sec (circa 20 Km/h) e pari a 3,8 KJ/(Kg * Km).



Valori relativi all'atleta A.M.

grafico N° 3



Valori relativi all'atleta L.C.

grafico N° 4

Dai grafici, inoltre, si evidenzia un Cr elevato anche nella prova effettuata a 12 Km/h, questo probabilmente a causa delle calzature eccessivamente morbide utilizzate, infatti, in una successiva prova effettuata alla stessa velocità e nelle stesse condizioni ambientali ma calzando scarpette provviste di chiodi, quindi con intersuola rigida all'avampiede, i risultati di Cr sono stati i seguenti:

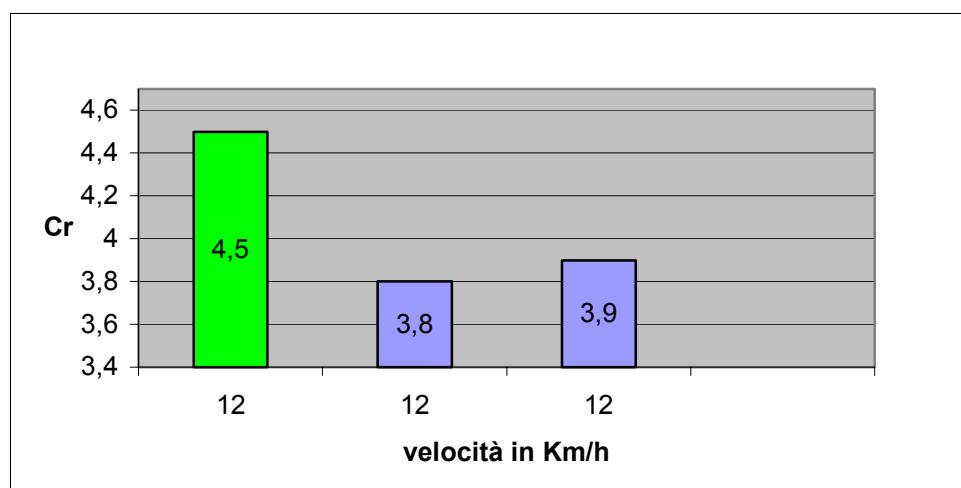


grafico N° 5

Comparazione Cr con gommate (verde) e Cr con chiodate (azzurro) relativa all'atleta A.M.

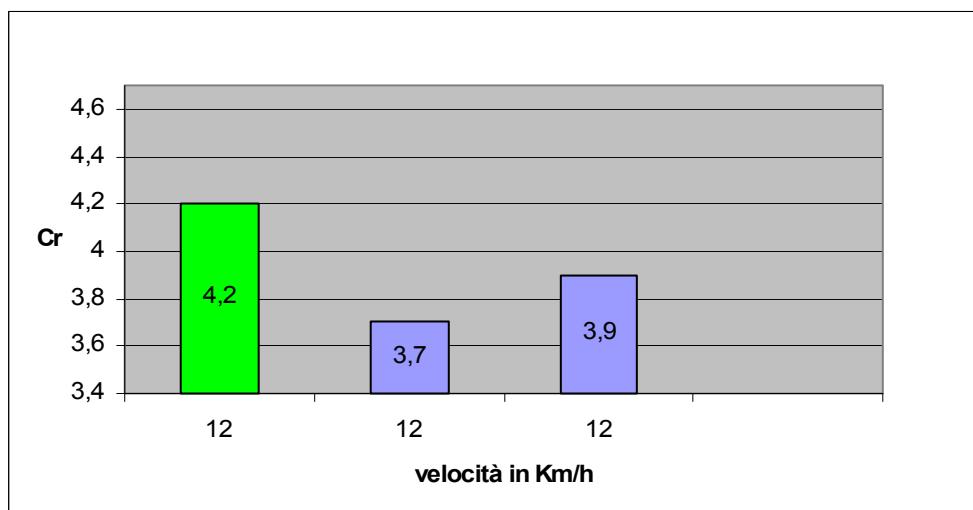
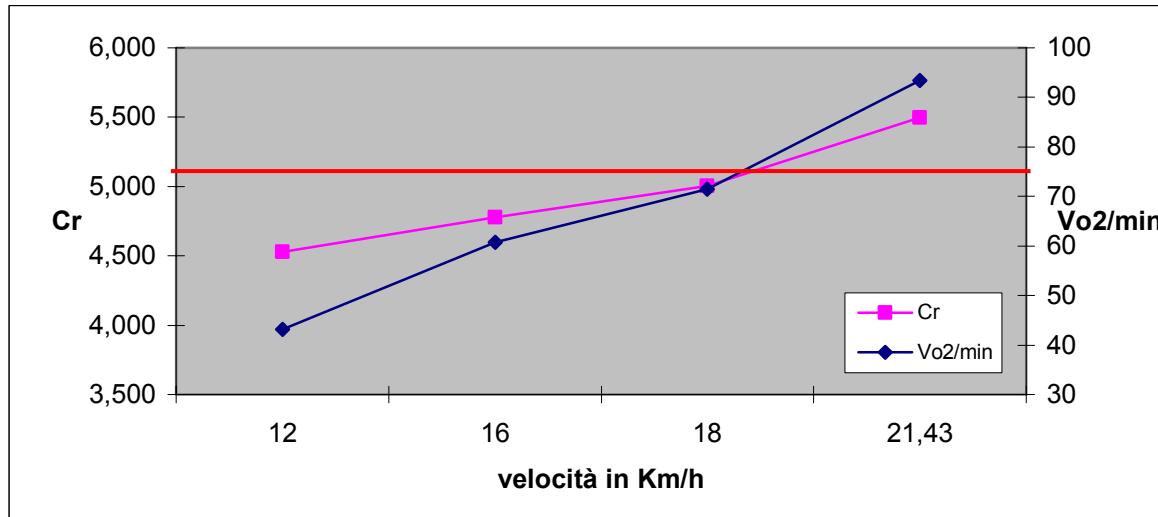


grafico N° 6

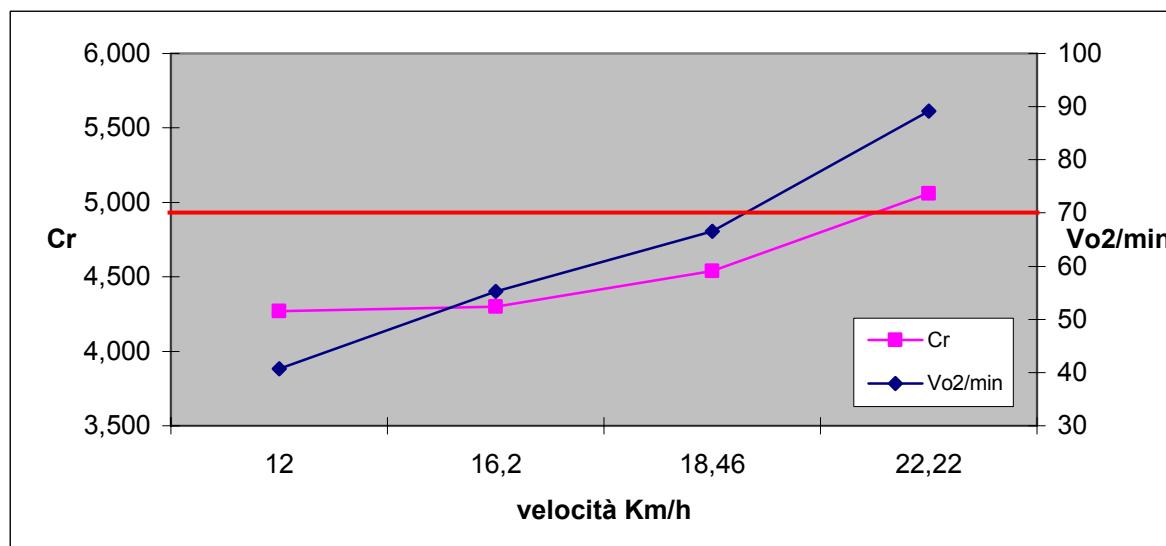
Comparazione Cr con gommate (verde) e Cr con chiodate (azzurro) relativa all'atleta C.L.

Quadro riassuntivo relativo alle relazioni esistenti tra i parametri: Cr, Vo_2 e $\text{Vo}_2 \text{ max}$



Atleta A.M.

grafico N° 7



Atleta L.C.

grafico N° 8

2. *Velocità aerobica massima.*

Per l'atleta A.M., applicando la formula di Prampero :

$$V.A.M. = \frac{V_{O_2} \text{ max} - V_{O_2} \text{ riposo}}{Cr}$$

sostituendo i valori numerici si ottiene:

$$V.A.M. = \frac{74 - 5}{3.8} = 18,1 \text{ Km/h}$$

Per l'atleta L.C., applicando la formula di Prampero :

$$V.A.M. = \frac{V_{O_2} \text{ max} - V_{O_2} \text{ riposo}}{Cr}$$

sostituendo i valori numerici si ottiene:

$$V.A.M. = \frac{70 - 5}{3.7} = 17,5 \text{ Km/h}$$

Il Cr considerato nelle due formule, per entrambi gli atleti, è il valore calcolato utilizzando scarpette chiodate in quanto esso più aderente alla realtà per i motivi sopra esposti e meglio precisati al punto 1 del *“Riepilogo e considerazioni finali”*.

3. Soglia Anaerobica e M.L.S.S.

La valutazione della soglia anaerobica attraverso il metodo proposto da Mader (4 mmol) è risultato :

	<i>tempo</i>	<i>al mille</i>	<i>velocità</i>	<i>lattato</i>	<i>F.C.</i>		<i>Valori calcolati</i>		
<i>1^ prova</i>	6'00"	5'00"	12,00	1,9	171				
<i>2^ prova</i>	6'00"	3'45"	16,00	3,9	188		<i>km/h</i>	<i>al mille</i>	<i>FC</i>
<i>3^ prova</i>	5'00"	3'20"	18,00	6,2	198				
<i>4^ prova</i>	2'00"	2,49"	21,30	9,2	195	4 mmol	16,10	3,44,00	188

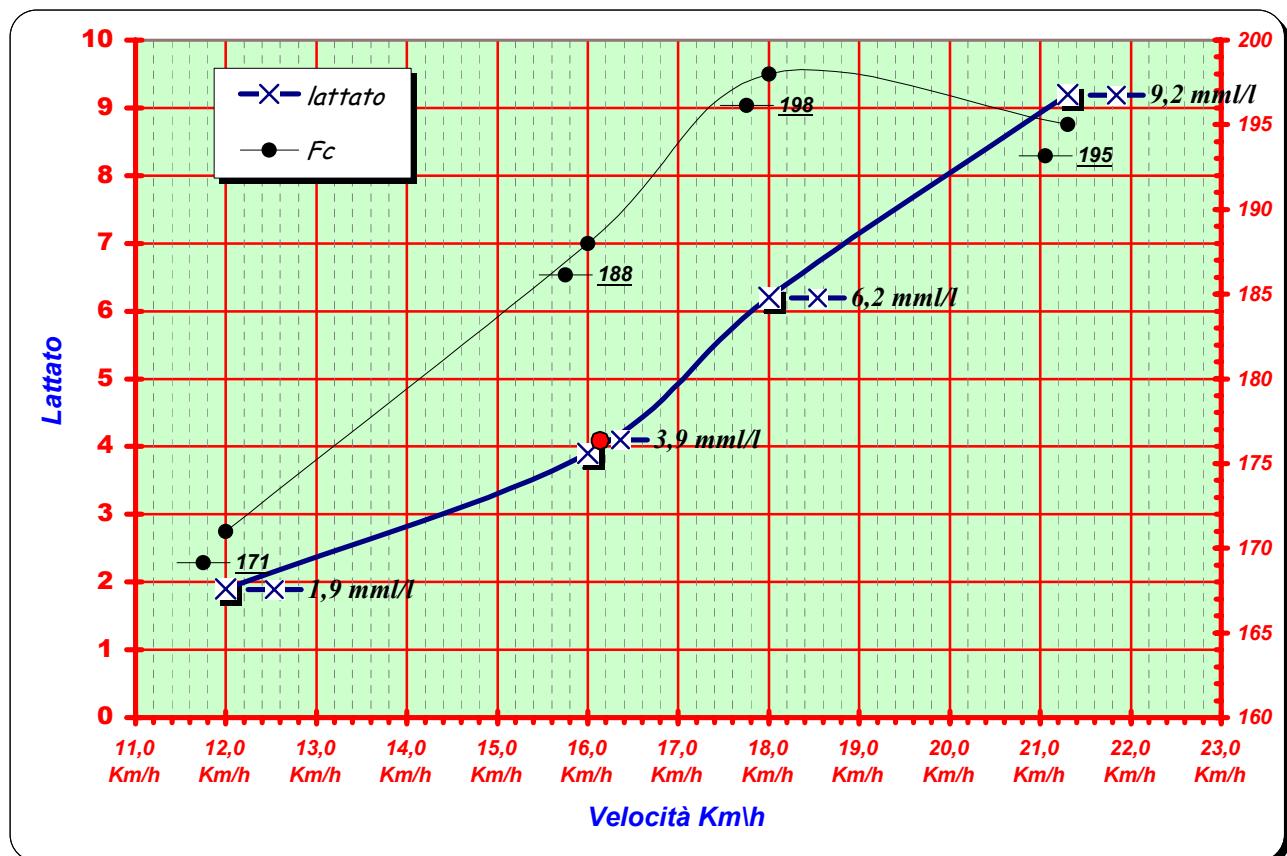


grafico N° 9

Il grafico evidenzia la relazione esistente tra velocità, frequenza cardiaca, lattato prodotto. La tabella, sopra riportata, mostra i valori dell'atleta M.A.

	<i>tempo</i>	<i>al mille</i>	<i>velocità</i>	<i>lattato</i>	<i>F.C.</i>		<i>Valori calcolati</i>		
<i>1[^] prova</i>	6'00"	5'00"	12,00	1,7	152				
<i>2[^] prova</i>	6'00"	3'40"	16,00	2,6	183		<i>km/h</i>	<i>al mille</i>	<i>FC</i>
<i>3[^] prova</i>	5'00"	3'20"	18,00	5,6	198				
<i>4[^] prova</i>	2'00"	2'42"	22,20	9,8	200	4 mml	17,00	3.32,0	193

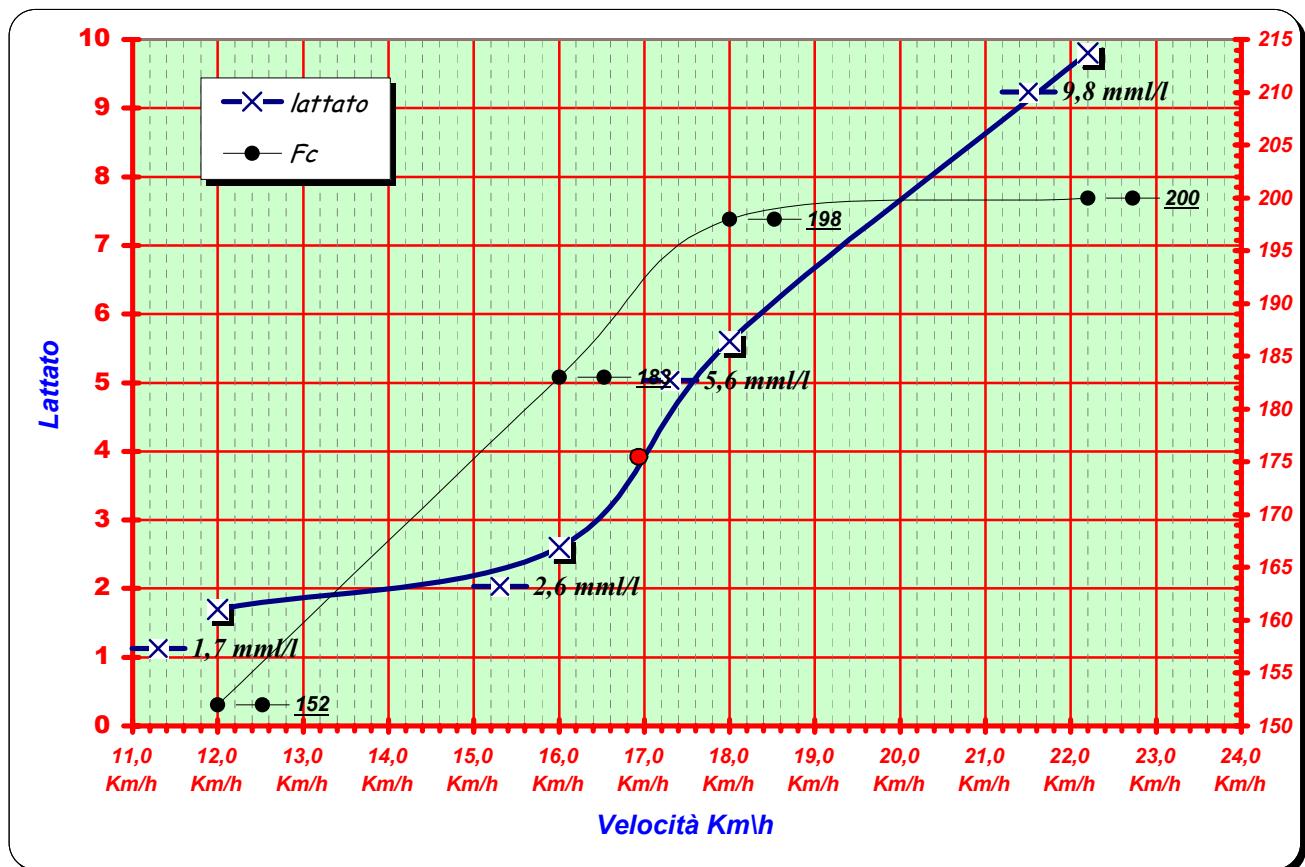


grafico N° 10

Il grafico evidenzia la relazione esistente tra velocità, frequenza cardiaca, lattato prodotto. La tabella, sopra riportata, mostra i valori dell'atleta L.C.

Stabilita la soglia anaerobica alla 4 mmol si è passati, attraverso la valutazione della MLSS, alla conferma di tale soglia:

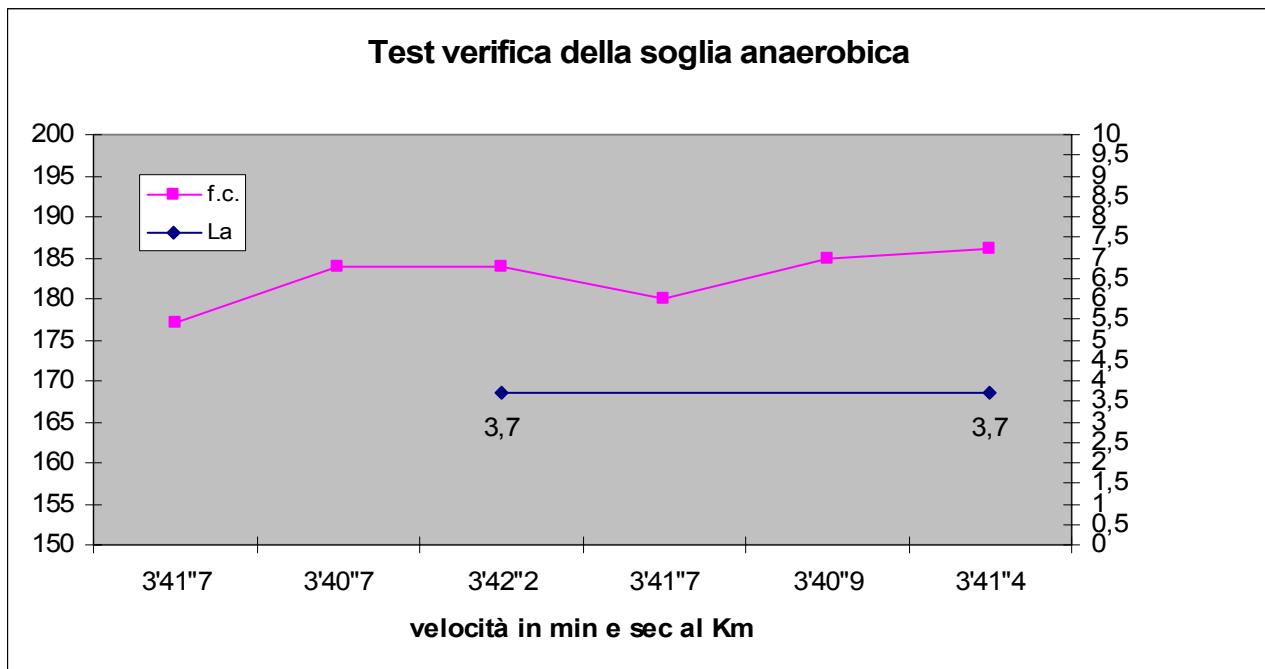


grafico N° 11

ATLETA A.M.
DATA 13-lug-06
ESERCIZIO Corsa continua Km 6 alla velocità di soglia con prelievo ematico ai Km 3° e 6°

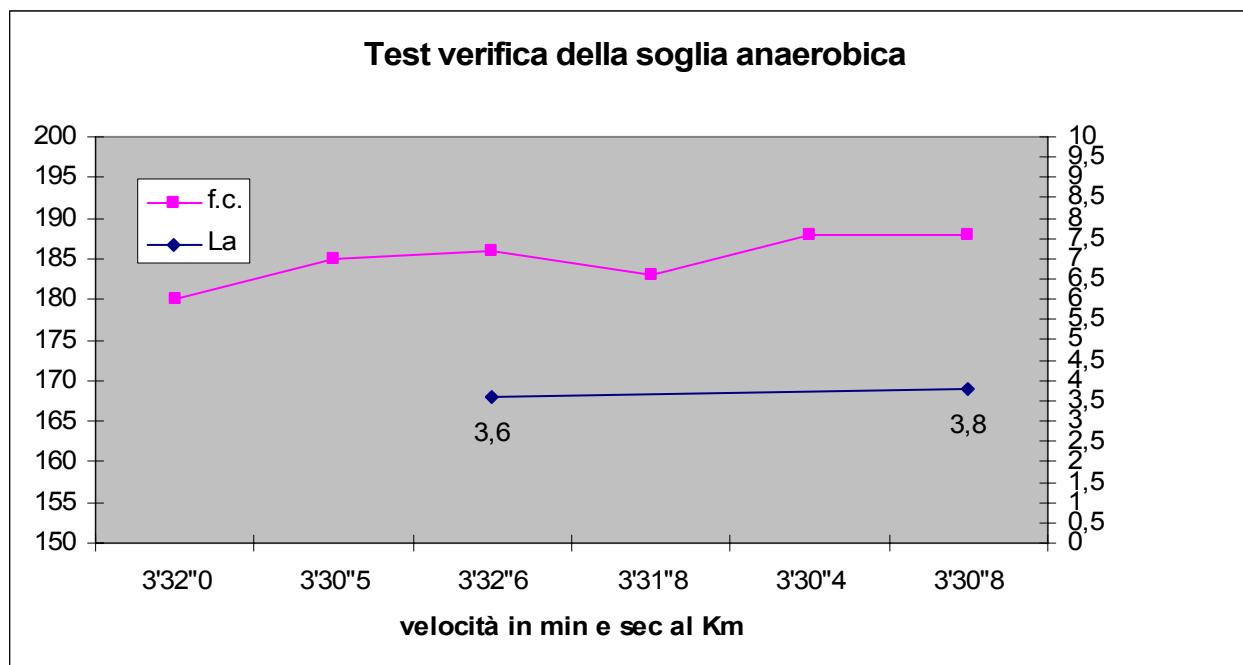


grafico N° 12

ATLETA L.C.
DATA 13-lug-06
ESERCIZIO Corsa continua Km 6 alla velocità di soglia con prelievo ematico al Km 3° e 6°

Dai grafici si evidenzia che i valori di S.A. ipotizzati dai test precedente trovano la loro conferma in quanto il lattato trova un suo equilibrio durante tutta la durata della prova, confermando che la velocità con cui tale metabolita si produce è uguale alla velocità del suo smaltimento.

4. Corsa intermittente

Le prove interattive sono state effettuate in pista calzando scarpette chiodate alla velocità gara dei m 1500. I dati metabolici ricavati sono stati i seguenti:

- L'atleta A. M. ha svolto il lavoro interattivo alla velocità media di 21,10-21,40 Km/h, pari al 124-125 % della S.A. e al 114-115 % della V.A.M.

1^a Serie

Lavoro svolto	F.C. media b/min	Media % Vo ₂ max	Lattato netto mmol/l	Cr Kj/km/kg
10 x 160m in 28''/ 27'' rec. 17''	195	81,6 %	9,6	6,29

Tabella 1

2^a Serie

Lavoro svolto	F.C. media b/min	Media % Vo ₂ max	Lattato netto mmol/l	Cr Kj/km/kg
10 x 160m in 28''/ 27'' rec. 32''	195	67,2 %	5,2	6,10

Tabella 1 bis

- L'atleta L. C. ha svolto il lavoro intermittente alla velocità media di 21,70-22,20 Km/h, pari al 122-124 % della S.A. e al 119-120 % della V.A.M.

1^a Serie

Lavoro svolto	F.C. media b/min	Media % Vo₂ max	Lattato netto mmol/l	Cr Kj/km/kg
10 x 175m in 28" rec. 17"	184	90,4 %	6,2	6,01

Tabella 2

2^a Serie

Lavoro svolto	F.C. media b/min	Media % Vo₂ max	Lattato netto mmol/l	Cr Kj/km/kg
6 x 280 m in 47" rec. 28"	196	85,3 %	7,8	5,71

Tabella 2 bis

Il lavoro intermittente è stato preceduto da 6 minuti di corsa continua, calzando scarpette chiodate, alla velocità di 12 Km/h durante la quale è stato calcolato il Cr, che è risultato essere di 3,84 Kj * Km * Kg per A.M. e di 3,76 Kj * Km * Kg per L.C., quindi perfettamente in linea con i dati presenti in letteratura. Tra le due serie, per favorire lo smaltimento del lattato prodotto, gli atleti hanno svolto 10 minuti di corsa continua alla velocità di 12 Km/h, il Cr della corsa è risultato di 3,95 Kj * Km * Kg per A.M. e di 3,93 Kj * Km * Kg per L.C., anche in questo caso nella norma. Dalla tabelle n°1 risulta che l'atleta A.M. durante le prove di corsa intermittente svolte a velocità di gara, m 1500, pari al 124-128 % della S.A. e al 114-115 % della V. A.M. ha rispettato le premesse fatte in precedenza.

Infatti il consumo di ossigeno durante la prima e la seconda serie si è attestato ad una media di 81,6% del Vo_2 max; il lattato prodotto nella prima serie è risultato leggermente superiore alle 8 mmol/l quindi nella seconda serie si è ritenuto utile aumentare il recupero tra le prove (da 28" a 32"), conservando la lunghezza della prova stessa, ottenendo l'effetto voluto, ossia il lattato è risultato inferiore alle 8 mmol.

La frequenza cardiaca non ha avuto derive pulsatorie né da recupero né da sforzo, attestandosi ad una percentuale del 95 % della F.C. max.

Stessa considerazione per l'atleta L.C. (tabella n°2) con la differenza che la velocità gara dei m 1500 risultava pari al 122-124 % della S.A. e al 119-121% della V.A.M., che il lattato prodotto nella prima serie è risultato più basso delle 8 mmol; quindi nella seconda serie si è aumentata sia la

distanza di percorrenza della prova e sia la durata del recupero. Il risultato di questa variazione è stato che il lattato prodotto nella seconda serie era ancora nei limiti stabiliti.

La F.C., nelle due serie, non ha avuto derive pulsatorie né da recupero né da sforzo attestandosi al 95 % della F.C. max.

Il consumo di ossigeno durante la prima e seconda serie si è attestato su una media di 88 % del Vo_2 max.

Una considerazione a parte merita la valutazione del corso energetico che risulta essere molto elevato per entrambi gli atleti.

Si ricorda che il Cr della corsa si ottiene dividendo il Vo_2 netto, corrispondente ad una velocità sottomassimale determinata, per la velocità stessa (Margaria, 1938; Margaria e coll. 1963):

$$Cr = \frac{Vo_2 - Vo_2 \text{ riposo}}{v}$$

Tale valore rimane comunque legato a delle costanti individuali molto specifiche. Inoltre, sempre secondo Margaria, la spesa energetica per compiere di corsa 1 km è di circa 1kcal (o 200 ml di O_2) per ogni kg del peso corporeo, indipendentemente dalla velocità (per lo meno fino ai 20 km/ora). Questo valore, però, non è confermato dall' esperienza fatta sul campo, perché quando si vuole calcolare con una certa precisione la spesa energetica alle diverse velocità, è importante tener conto di questi fattori :

- che comunque, al variare della velocità di corsa, varia sicuramente una componente della spesa totale per la corsa, si tratta della spesa per vincere la resistenza dell'aria;
- che nel valore di 1kcal/kg/km non è compresa la spesa necessaria per accelerare e decelerare il corpo, spesa che nelle prove brevi di corsa, vedi prove intermittenti, non si può trascurare.

Ed è proprio da questo ultimo punto che si parte per spiegare il surplus di Cr meccanico e metabolico riscontrato durante prove di corsa intermittente.

- *Calcolo della spesa energetica totale dovuta alle fasi di accelerazione e decelerazione durante corsa intermittente, comparata alla spesa energetica totale durante corsa in linea a velocità costante.*

L'atleta A. M. durante la prova di corsa in linea alla velocità di 21 km/h. ha un Cr di 5,50 j/m/kg, lo stesso atleta, in un secondo momento, effettua 10x160m rec. 17" alla stessa velocità e il suo Cr risulta di 6,29 j/m/kg; questo surplus di spesa meccanica e metabolica può essere spiegata e, quindi, giustificata attraverso il seguente percorso:

1) Si trasforma la velocità da km/h in m/sec:

$$21/3,6 = 5,833 \text{ m/sec.}$$

2) Si ipotizza che l'atleta in 3" passi dalla velocità 0 a quella stabilita, si calcola, quindi, l'accelerazione:

$$5,833/3 = 1,944 \text{ m/sec}^2$$

3) Si calcola la distanza coperta nei 3", che consente di acquisire la velocità programmata:

$$5,833/2 \times 3 = 8,750 \text{ m}$$

4) A questo punto è possibile calcolare il Cr durante l'accelerazione attraverso la seguente formula (di Prampero 2005)

$$0,4039 \times 1,944^2 + 2,0526 \times 1,944 + 4,2435 = 9,762 \text{ j/m/kg}$$

5) Il dispendio energetico totale durante tutta la fase di accelerazione risulta:

$$9,762 \times 8,750 = 85,4 \text{ j/kg}$$

6) Acquisita la velocità di crociera, per i restanti m 151,25, il Cr risulta essere di 5,50 j/m./kg (questo dato ci viene da una precedente misurazione effettuata su lo stesso atleta a velocità costante e alla stessa intensità), che moltiplicato per la distanza ci fornisce il dispendio energetico a velocità costante:

$$5,50 \times 151,25 = 832 \text{ j/kg}$$

7) Considerando che durante prove intermittenti oltre alla fase di accelerazione e alla fase di corsa a velocità costante vi è anche la decelerazione e, quindi, la frenata (si considerano ulteriori m 8,750 per consentire all'atleta di fermarsi), per conoscere il dispendio energetico totale bisogna aggiungere alle prime due anche quest'ultima, che risulta pesare, in termini di dispendio energetico, 85,4 j/kg. Il dispendio energetico totale, pertanto, sarà:

$$832 + 85,4 \times 2 = 1002,8 \text{ j/kg}$$

Trasformando i valori relativi del Cr totale da joule in ml O₂ avremo:

$$1002,8 \text{ j} / 21 \text{ kJ} = 47,75 \text{ ml O}_2 \text{ netti}$$

che in ml/min/kg corrispondono a :

$$47,75 \times 60 \text{ sec} / 27,43 \text{ sec} = 104,4 \text{ ml O}_2/\text{min/kg}$$

8) A questo punto è possibile calcolare il costo energetico meccanico effettivo durante prova intermittente:

$$1002,8 / (160 + 8,750) = 5,942 \text{ j/m/kg}$$

9) La differenza percentuale tra il Cr meccanico effettivo durante prova intermittente e il Cr reale durante corsa a velocità costante è:

$$(5,942 - 5,50) \times 100 / 5,50 = 8 \%$$

10) Il Cr reale durante corsa intermittente risulta essere di 6,29 j/m/kg; reale perché oltre all'aspetto meccanico tiene conto anche dell'aspetto metabolico, soprattutto, per la ricostruzione del creatinfosfato (CP). In valori percentuali la differenza tra Cr reale e Cr meccanico durante prova intermittente sarà:

$$(6,29 - 5,942) \times 100 / 5,942 = 5,9 \%$$

11) Comparando, infine, il Cr reale a velocità costante con il Cr reale durante prove di corsa intermittente, si ottiene il seguente valore percentuale:

$$6,29 / 5,50 \times 100 = 114,4 \%$$

Concludendo si può affermare che il rapporto tra Cr reale durante corsa intermittente e Cr reale durante corsa a velocità costante è pari al 114,4 %, vale a dire, che la differenza tra il primo e il secondo valore di Cr sopra citati, equivale a 14,4 %.

Il procedimento appena descritto è stato applicato a tutte le serie di prove di corsa intermittente effettuate da ciascun atleta.

I valori ricavati sono riportati nella tabella seguente.

No m e	s e r i e	Vel Km/ h	Vel m/sec	Di stan za m.	T e m p o s e c	acc	Cr accel j/m/Kg	metri in accel.	J o u l e D.E. acc.	m. cors a vel. cost ante	Cr corsa vel cost j/m/ Kg	Joule D.E. corsa cost.	Joule D.E. tot.	Cr eff Mecc Int. j/m/ Kg	Diff. Cr mecc int. e Cr reale cost. in %	Cr reale interm. j/m/ Kg	Diff. Cr reale int. e Cr mecc. Int. in %	Diff. Cr reale int. e Cr a vel cost in %	Rip. in sec	ml netti O ₂ rip	VO ₂ ml min kg
A.M.	10x28” rec 17”	21	5,833	160	3	1,944	9,762	8,75	85,4	151	5,5	832	1002,7	5,942	8	6,29	5,9	14,4	27,43	47,74	104,4
A.M.	10x28” rec 32”	21,1	5,861	160	3	1,954	9,795	8,792	86,1	151	5,5	832	1003,9	5,947	8	6,1	2,6	10,9	27,30	47,8	105,1
C.L.	10x28” rec 17”	21,8	6,056	175	3	2,019	10,032	9,083	91,1	166	5,06	840	1021,8	5,551	10	6,01	8,3	18,8	28,90	48,65	101
C.L.	6x47” rec 28”	21,6	6,000	280	3	2,000	9,964	9,000	89,7	271	5,06	1371	1550,6	5,365	6	5,72	6,6	13,0	46,67	73,83	94,9

Tabella N° 3

Riepilogo e considerazioni finali

Questo studio si è posto l’obiettivo di valutare, attraverso un’esperienza sul campo, il costo energetico della corsa alle varie velocità e durante corsa intermittente a velocità gara m 1500.

Si è posto, inoltre, l’obiettivo di valutare le variazioni metaboliche durante corsa intermittente alla stessa velocità.

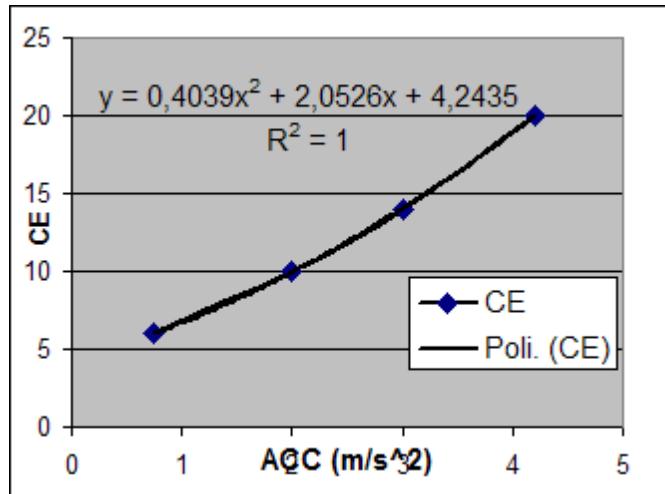
I risultati ottenuti dal presente studio evidenziano quanto segue:

1) Il costo energetico della corsa evidenzia una crescita progressiva dei valori al crescere delle velocità di percorrenza delle varie frazioni; già dopo la prima frazione il valore di Cr è risultato superiore a quanto riportato in letteratura, lo stesso, però, rientrava nella norma quando ai soggetti esaminati è stato chiesto di percorrere la stessa frazione alla stessa velocità ma calzando scarpette chiodate al posto di quelle gommate. Questo aumentato rendimento muscolare sembra essere attribuibile all’accumulo dell’energia elastica immagazzinata nella componente elastica seriale della muscolatura che viene sottoposta ad allungamento, durante la fase eccentrica dell’esercizio, restituita nella successiva fase concentrica. Recupero di energia elastica che calzando scarpette gommate, quindi morbide, non avviene o avviene in parte, in quanto i tempi di contatto dei piedi sul terreno aumentano sensibilmente disperdendo tale surplus di energia sotto forma di calore.

Inoltre, il Cr valutato durante la corsa intermittente dimostra quanto incida, nel computo totale, il costo necessario per accelerare il corpo

nella fase di partenza, come dimostra il grafico seguente:

acc	CE
0,75	6
2	10
3	14
4,2	20



2) E' importante, anzi fondamentale, stabilire con la massima precisione i parametri funzionali quali V.A.M. e S.A. per fissare le giuste velocità di allenamento e, perché no, prevedere i risultati di corsa che possono essere raggiunti. Tuttavia l'osservazione diretta sul campo e la storia dell'atleta debbono fornire all'allenatore gli strumenti per poter analizzare i "freddi dati", di cui sopra, e calarli nella realtà che circonda l'atleta.

- 3) La corsa intermittente, è un metodo che consente di esercitarsi a lungo a velocità vicine a quelle di gara, senza accumulo rilevante di acido lattico, contribuendo a migliorare sia l'efficienza del metabolismo aerobico sia quello del gesto tecnico.
- 4) Valutare le capacità e le abilità dell'atleta, in itinere, è fondamentale perché permette di mantenere sotto controllo il processo di allenamento. Le valutazioni, anche le più complesse e sofisticate come la valutazione del Cr, debbono cominciare a rientrare nelle competenze dell'allenatore perché la crescita della maestria sportiva nell'atleta di alto livello, e non solo, passa attraverso lo sviluppo, la crescita e l'utilizzazione del suo potenziale motorio.

INDICE

Introduzione	pag. 1
Alcune definizioni preliminari	" 2
Il massimo consumo di ossigeno	" 3
Il costo energetico della corsa	" 4
Misura del costo energetico	" 5
La soglia anaerobica	" 7
La velocità aerobica massima	" 8
Corsa intermittente	" 9
Premessa	" 11
Materiali e metodi	" 12
Protocollo	" 12
Risultati e discussione	" 18
Riepilogo e considerazioni finali	" 37

Bibliografia

1. Cavagna G.A. **(1988)** *Muscoli e locomozione*, Raffaello Cortina editore, Milano
2. Colli R., **(2005 / 2006)** dispense corso di Laurea Specialistica in Scienza e tecnica dello Sport, facoltà di Medicina e Chirurgia, Università degli Studi di Roma “Tor Vergata”
3. Colli R., Introini E., Bosco C. **(1997)** *L'allenamento intermittente: istruzioni per l'uso*, Coaching & Sport Science Journal, vol. 2, n. 1, pp 29-34
4. Dal Monte A., Faina M. **(2003)** *Valutazione dell'atleta*, UTET editore, Torino
5. di Prampero P.E. **(1985)** *La locomozione umana su terra, in acqua, in aria*, Edi-Ermes editore, Milano
6. di Prampero P.E. **(2002)** *Bilanci energetici dell'esercizio fisico*, Atletica studi, n. 1-2, pp. 3-8