

Il Metabolismo energetico nella canoa velocità

Prof. Marco Guazzini

Coordinatore Tecnico Centro Studi FICK

C.L. Specialistica Scienza e Tecnica dello Sport

Allenatore 4° livello Europeo

Gare di velocità della canoa di acqua piatta

- Le gare di velocità della canoa di acqua piatta, 200-500-1000 m, hanno caratteristiche metaboliche diverse come diverso è stato l'ingresso nel panorama internazionale agonistico.
- I **1.000 m (durata 3'4'-frq. pag.100-120)** sono storicamente presenti fino dall'introduzione della canoa alle Olimpiadi di "Berlino 1936".
- I **500 m (durata 1'20" /2'-frq.110-130)** sono stati introdotti dalle Olimpiadi di "Montreal 1976".
- I **200 m (durata 30"/40"-frq.120-140)** sono stati introdotti come specialità ufficiale solo nel 1994 e diventeranno sport olimpico maschile e femminile, dalle prossime Olimpiadi di "Londra 2012", sostituendo i 500 m nei maschi, che invece rimarranno solo per le donne.

Classificazioni indirette della canoa velocità

- Dal Monte (1977) **“attività ad impegno aerobico-anaerobico massivo, con interessamento di una ridotta percentuale di massa muscolare corporea e elevate richieste di forza distrettuale”**. I 200 m, introdotti successivamente, potevano rientrare nelle **“attività ad impegno prevalentemente anaerobico”**.
- Arcelli e Franzetti (1997) **“sport di resistenza alla forza, aerobico e lattacido, fattori centrali e periferici”**. **1000 m**: produzione elevata di lattato nel 1' minuto (Colli et.al., 1990), grande richiesta di **potenza meccanica**, interessamento notevole di **fibre veloci glicolitiche (Iib) e tolleranza al lattato**. Aerobico 60-70%. **500 m**: +potenza meccanica, lattato+veloce, +potenza lattacida, +tolleranza.
- Weineck (2001), cap.resistenza secondo il criterio della trasformazione energetica: **“resistenza di breve durata” (45”/2’)** per la gara dei **500 m, 60% anaerobica e 40% aerobica** (Colli et.al. 1990); **“resistenza di media durata” (2’/10’)** per i **1000 m, 60% aerobica/40% anaerobica**. I 200 m sul confine fra **“res.rapidità” (7”/45”)** e **res.breve durata”, 80% anaerobica/20% aerobica**.

Fattori primari del metabolismo energetico

Il canoista, per le gare dei 500 e 1000 m, necessita di 2 motori diversi, da utilizzare contemporaneamente al massimo della loro potenza, fino dai primissimi istanti della gara:

- quello **aerobico a livello di potenza aerobica massima cioè VO2 max.** (Fernandez et al., 1995; Bishop, 2000).
- quello **anaerobico** prevalentemente **lattacido**, ma non solo, comunque in proporzione alla % di masse muscolari coinvolte.

Sono inoltre di primaria importanza:

- **Elevata forza/colpo**, fattore tecnico-metabolico, espresso in J/colpo ($L=F*s$), che risponde alla formula: $F=K(\text{coeff.res.})*V^{2,7}$
- **Una buona curva di potenza** ($W=L/t$), fattore tecnico-tattico-metabolico, che equivale (al raddoppiare del tempo di gara) ad una diminuzione del 15% circa di potenza e del 5% circa di velocità.
- Tralasciando gli argomenti forza-potenza, affronterò alcuni aspetti dei meccanismi aerobico e anaerobico, che pur essendo intimamente connessi, nella canoa come in tutti gli sport di resistenza, verranno per chiarezza espositiva, trattati in maniera distinta.

Misurazioni della potenza aerobica: il VO₂ max

- **Il massimo consumo di ossigeno o VO₂ max è l'espressione più esatta della potenza aerobica.** di Prampero (1986): “misura globale e integrata di tutti i meccanismi che presiedono al trasporto di O₂, fino all'utilizzazione interna nei mitocondri del muscolo”.
- La VO₂ max, si misura in valori assoluti (L/minuto) o relativi al peso (ml/kg/min), con metodi diretti (k4 cosmed) o indiretti. Il VO₂ max a riposo è di 3,5 ml/kg/min. E' fissato geneticamente ma in parte allenabile (10-15%). I valori medi sono negli atleti donne circa 40 ml/kg/min, e negli atleti uomini circa 50 ml/kg/min.
- Secondo Weinek (2001), un valore oltre 70 ml/kg/min, rappresenta un buon presupposto per gli atleti di resistenza; infatti negli atleti di livello mondiale di corsa è di circa 74 ml/kg/min, mentre nello sci di fondo e nel ciclismo, vengono superati anche gli 80 ml/kg/min.
- **Il VO₂ max deve essere misurato nello sport specifico, perché è nel suo sport che raggiunge il valore più alto di VO₂ max (Stromme et. al. 1977; Colli et. al. 2008; Michael et.al., 2009).**
- La VO₂ max si raggiunge con prove superiori a 3' e fino a 10' circa.

La potenza aerobica nella canoa velocità

- **I valori max rilevati nei canoisti (4,7 L/min-58,8 ml/kg/min. Tesch, 1983; Fry e Morton, 1991. 4,9 L/min-57 ml/kg/min, Colli et.al., 2008-2009), sono più bassi di quelli rilevati in sport di resistenza dove si utilizzano prevalentemente le gambe come ciclismo, corsa, canottaggio, (5,50 L/min-74 ml/kg/min. Billat et.al., 1996; Lucia et.al., 1999; Lee et.al., 2002) per la maggiore % di masse muscolari coinvolte, anche se vengono riscontrati valori di lattato e FC simili (Billat, 1996).**
- **Ma se rapportiamo i valori dei canoisti e degli altri atleti di resistenza, alla % di massa muscolare messa in gioco, vediamo che il valore è più elevato nella canoa che negli altri sport (Michael et.al., 2008).**
- Inoltre il canoista è l'unico atleta in grado di produrre più energia con l'intervento del tronco e arti superiori, rispetto agli arti inferiori (Colli et.al., 1990; Arcelli e Franzetti, 1997; Michael et.al., 2008).
- **La soglia anaerobica non esprime il VO2 max ma mediamente 84,5%** (Dal Monte e Leonardi, 1976; Pendergast et.al., 1979; di Prampero, 1986; Bunc e Heller, 1991; Billat, 2001; Van Someren e Oliver , 2001).

Misurazioni di VO₂ max (L/min) nei kayaker

Autori	Soggetti (maschi)	Ergometro Gambe VO ₂ max (L/min)	Ergometro Braccia VO ₂ max (L/min)	Ergometro Gambe+braccia VO ₂ max (L/min)	Kayakergo m. VO ₂ max (L/min)	Kayak 500m VO ₂ (L/min)	Kayak 1.000m VO ₂ (L/min)
Tesch e coll. (1976)	6 Kayaker elite	5.41			4.61	4.2	4.71
Pendergast e coll. (1979)	8 kayaker allenati	3.1	2.9	3.9	3.5		4.67
Tesch (1983)	6 kayaker elite	5.36	4.3				4.67
Hahn e coll. (1988)	5 kayaker elite			5.17	4.62		
Pendergast e coll. (1989)	17 kayaker	4.61	2.82	3.81			
Fry e Morton (1991)	38 kayaker ben allenati				4.78		
Billat e coll. (1996)	9 kayaker Elite				4.01		
Van Someren e coll. (1999)	9 kayaker ben allenati						4.27
Bishop e coll. (2002)	8 kayaker Esperti				4.0		

Comparazione del VO₂ fra canoa e altri sport resistenti

Sport	Autori	VO ₂ max (ass.) (L/min)	VO ₂ max (rel.) (ml/kg/min)	Potenza e Velocità al VO ₂ max*
Kayak	Tesch, 1983	4.7	58.8	
	Hahn et.al., 1988	4.62	58.5	
	Fry e Morton, 1991	4.78	58.9	
Canoa Canadese	Billat et.al., 1996	4.01	53.8	239 W
	Hahn et.al., 1988	3.49	44.2	
	Bunc e Heller, 1991	4.17	51.9	
Canottaggio (p.pes. ~85kg)	Di Prampero et.al., 1971	5.0	58.8	
	Secher, 1990	6.0	68.2	
	Lakomy and Lakomy, 1993	4.8	60	
Nuoto (400 m)	Billat et.al., 1996	4.41	59.6	1.46 m/s
	Lavoie et.al., 1981	4.31	58.4	
	Roels et.al., 2005	5.6	58.4	
Ciclismo su strada	Billat et.al., 1996	5.61	72.4	419 W
	Lee et.al., 2002	5.45	73.0	
	Lucia et.al., 1999	5.10	74.0	
Corsa (oltre 3000 m)	Billat et.al., 1996	5.11	74.9	6.22 m/s
	Draper e Wood, 2005	5.0	68.9	
	Caputo e Denadai, 2004	6.3	68.8	

Colli et.al. (2008, 2009)

- 4 anni di ricerca, **158 test**, di cui 106 pagaierometro (77 m-29f) e 52 in canoa (35 m-17 f), misurazioni di **VO2 max e relativo e costo energetico**.
- VO2 max , già a 15-16 anni, quindi il valore assoluto (non il relativo!) può crescere fino a 18-20 anni, del 10-15% per l'aumento di peso.
- E' molto correlato ($r=0,95$) con il pagaierometro.
- **I valori VO2 max assoluto più alti sono quelli dei “top level”(4,94 L/m--57 ml/kg/min) con una media peso di 86 kg, ma se analizziamo il VO2 max relativo, i valori più alti diventano quelli dei ragazzi di 16 anni, che pesano mediamente 70 kg ed mostrano 4,53 L/m ma ben 65 ml/kg/min.**
- **Se analizziamo il costo energetico (J/m/kg) invece, il più basso a velocità di gara è quello dei canoisti “top level”.**
- **Anche se il kayaker di alto livello necessita di valori di VO2 max di 60 ml/min/kg nei maschi e 50 ml/min/kg nelle femmine, il solo VO2 max non permette una valutazione oggettiva delle qualità tecnico-fisiologiche, ma necessita anche della valutazione del costo energetico, cioè l'efficacia del gesto tecnico sui ritmi gara, che non è misurabile sul pagaierometro.**

VO2 max assoluto e relativo in canoisti

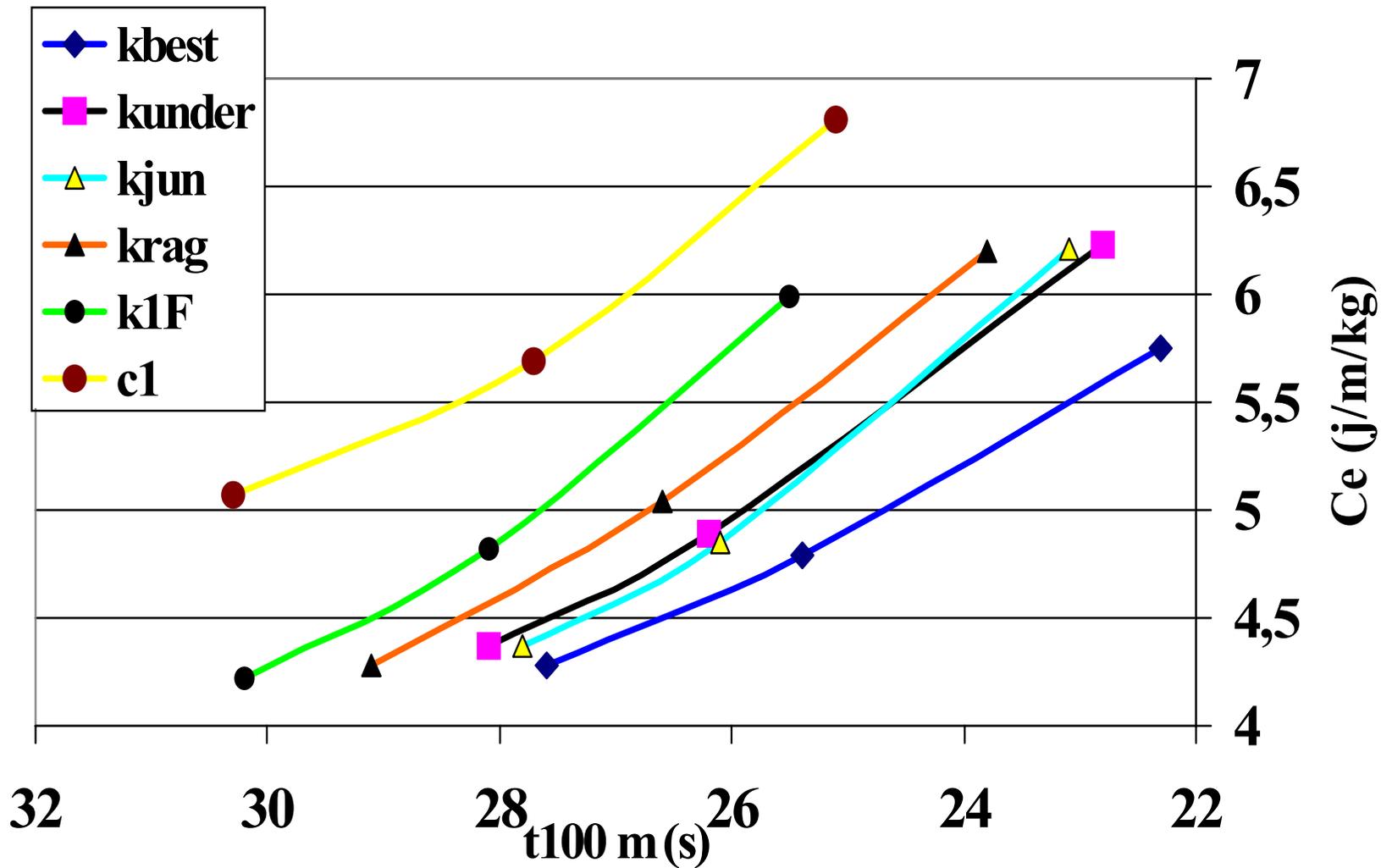
da: Colli et.al. (2009)

	N	Peso (kg)	VO2max (ml)	VO2max (ml/kg)
K1 Top level	5	86 ± 1	4942 ± 217	57 ± 2
K1 Under 23	6	78 ± 5	4673 ± 370	60 ± 5
K1 Junior	10	76 ± 7	4826 ± 417	63 ± 4
K1 Ragazzi	11	70 ± 6	4537 ± 315	65 ± 4
K1 F Senior	7	67 ± 6	3612 ± 287	54 ± 3
C1	5	77 ± 3	4831 ± 449	63 ± 4

Costo energetico

- Il costo energetico C , viene misurato con prove incrementali di VO_2 in canoa compreso il recupero (debito anaer.), sapendo che $1 \text{ LO}_2 = 5 \text{ kcal}$ o $20,9 \text{ kJ}$ o 350 W , e che $1 \text{ mM} = 3 \text{ mlO}_2/\text{kg}$ (di Prampero, 1986). Viene espresso in kJ/km (o $\text{J}/\text{m}/\text{kg}$).
- Deriva dall'equazione di Prampero (1986): **E (potenza metabolica-cap. trasformare energia chimica in lavoro meccanico. mlO_2/min o Watt) = $C(\text{mlO}_2/\text{m}) * V(\text{m}/\text{min})$** (da cui: $V = E/C$).
- **Negli sport superiori ai 3', con grande partecipazione O_2 : $V_{\text{max}} = E_{\text{max}}/C$. Nel nostro caso $E_{\text{max}} = \text{VO}_2 \text{ max}$.**
- Aumenta con l'aumentare della velocità in base ad una funzione di potenza (Pendergast, 1989, 2003, 2005; Zamparo et.al., 1999) perché $F = k * V^{2,7}$; $P = k * V^3$.
- Il problema si complica quando vediamo che il canoista di alto livello+ pesante, quindi con +resistenza idrodinamica (+ superficie bagnata=+ trascinamento) e potenziale +costo energetico, possiede invece il costo energetico più basso.
- **La spiegazione sta nella capacità di esprimere grandi potenze metaboliche (aerobiche e anaerobiche) ma anche e soprattutto, una tecnica di grande efficacia, diminuendo le resistenze idrodinamiche.**

Costo energetico: da Colli et.al.(2008; 2009)



VAM – Velocità Aerobica Massima

- Concetto introdotto da Léger e Boucher (1980) o vVO_2 max (velocità associata al VO_2 max), basata sull'equazione di Prampero (1986) $V_{max} (m/min) = VO_2 \text{ max} (ml/kg/min) / C (ml/m/kg)$.
- **La VAM è una sintesi tra una componente metabolica (VO_2 max) ed una tecnica (C) espresso con una V (velocità).**
- La VAM può essere determinata con prove da 3' fino a 8'-10' (di Prampero, 1986; Billat, 1996-2001-2002)
- **Nella canoa è identificabile con un 2000 max (8'-9'), che rappresenta anche un parametro significativamente differente ($<0,05$) fra canoisti di livelli diversi (Colli et.al., 2008-2009).**
- **Billat (1998), Hartmann (1998) indicarono 4 fattori caratteristici della VAM: F_c max; $QR > 1,1$; Lattato $> 8mmol/L$; plateau consumo O_2 .**
- Importante è anche il concetto di **TLim o tempo limite di mantenimento della VAM**, che per Billat et.al.(1995) è mediamente **6'34"/6'42"**(ricerca su corridori di fondo su nastro-trasportatore).

Soglia anaerobica e MLSS

- L'allenamento basato sull'incremento della soglia anaerobica (Conconi-Mader) ha rivoluzionato i sistemi di allenamento dagli anni '80 in poi.
- Per una serie di motivi (variabilità dei risultati; tempo ridotto di permanenza nei vari step-Fc o La; mancanza di riposo, esaurimento del glicogeno, scarsa pulizia della zona di prelievo), oppure lo steady-state e non il semplice raggiungimento di un livello (Heck , 1994; Hartmann , 1998), il concetto di soglia è entrato in crisi.
- Attualmente l'attenzione è sempre più rivolta alla **MLSS (Maximal Lactate Steady State) cioè steady-state della lattacidemia max**, concetto introdotto da Brooks (1985) ma ripreso anche da Mader e Heck (1986) come “max-lass, quantità di lattato max che può essere sostenuta allo stato stazionario “.
- **La MLSS, in definitiva la velocità max alla quale la produzione di lattato è in equilibrio con la sua eliminazione, non è standard ma variabile e individuale.**
- **Infatti, per Billat (2002) lo steady-state della max produzione di lattato varia da 2,3 a 6,8 mmol/l.**
- **Per Van Someren e Oliver (2001), soglia anaerobica a: lattato 2,7 mmol/L (89,6% FC max, 82,4% VO₂max), FC 170, VO₂ 44,2 ml/kg/min.**
- La MLSS non è correlata alla prestazione, ma è una delle andature più utili negli allenamenti aerobici.

Metodologia allenamento: MLSS

- Per la determinazione della **curva di lattato e della soglia MLSS**, la linea metodologica personale, iniziata già dal 2002, è sintetizzabile così (metodo misto):
- **Test di lattato incrementale** (Mader), effettuando 4 prove da 2000 metri, progressivamente crescenti, con recupero minimo indispensabile per prelievo di acido lattico (1'30"/2'), misurazione della frequenza cardiaca e velocità della prova, quindi determinazione delle curve lattato/velocità e lattato/Fc.
- Successivamente **test stazionario** (rettangolare) sui 4 km (20' circa) a velocità ricavata dai dati precedenti, associata ai 3 mmol (giovani e medio livello), o ai 4 mmol (alto livello), con verifica del lattato a metà e alla fine della prova.

Metodologia allenamento: VAM e andature

- **VAM: Test massimale in canoa di 2000 metri (8'-9') con giro. Rilievo della velocità media, della frequenza cardiaca max e media e del lattato (Billat, 1996).**
- **Velocità di VAM, FC max:** utilizzabile in lavori per lo sviluppo della stessa, su tempi di 1'-2' (250-500 metri), con recuperi brevi (20''-30'');
- **PA-Potenza aerobica, +1-2% VAM, -2%FC max:** distanze di 1000-1500-2000 metri (4'-10');
- **VS-Velocità di soglia (MLSS), +5-6% VAM, -7%FCmax:** distanze da 2000 a 8000 metri (10'-40');
- **VA-Velocità aerobica, +10% VAM, -12%FC max:** tempi di lavoro da 40' a 1h circa;
- **VAL-Velocità aerobica limite, +14-15% VAM, -20%FC max:** tempi di lavoro da 1 a 2 h, anche frazionati in più parti di 30' circa.
- Un fattore limitante per noi è la **viscosità cinematica dell'acqua** (=Viscosità dinamica/Densità acqua, legata alla temperatura), misurata in vasca navale in 0,5'' a Km per ogni grado di temperatura dell'acqua (Colli et.al., 2008). Ciò significa che solo per la temperatura dell'acqua dall'inverno all'estate (da 3°/10° a 25°/30°), su un test VAM (2000 metri max) abbiamo, solo per la maggiore viscosità, a parità di livello dell'atleta, una **differenza di 15''-25'' in più o in meno.**
- Per tale motivo, nella stagione fredda, possiamo svolgere il test sul pagaierometro, che risulta molto correlato al test in canoa (Colli e coll., 2007; 2008; 2009)

La potenza anaerobica

Autori	Soggetti	Ergometro gambe(mM)	Ergometro braccia(mM)	Ergometro kayak(mM)	Gare 500 m (mM)	Gare 1000 m (mM)
Sidney and Shephard, 1973	10 kayaker elite	14,1				
Tesch et.al., 1976	6 kayaker elite				13,2	12,9
Doc.Sovietico 1980, in: Beaudou et.al., 1987					15	14
Tesch, 1983	6 kayaker elite	14,2	13,5	14,0		13,0
Pendergast et. al., 1989	17 kayaker (vari livelli di abilità)					12,0
Bishop et. al., 2002	8 kayaker esperti				13,0	

Una Ricerca personale

- I risultati di una mia ricerca, **72 prelievi di lattato su 13 canoisti maschi livello nazionale e internazionale, età media 19,92 ($\pm 2,81$), 3 canoiste femmine livello nazionale e internazionale, età media 18,33 ($\pm 3,21$)**, sono, in linea con i valori di lattato sopra descritti (Tesch, 1976, 1983; Pendergast, 1989) eccetto che per i 200.
- **500 maschi, 12,76 ($\pm 2,17$), 500 femmine, 11,28 ($\pm 1,23$), 1000 maschi, 12,46 ($\pm 1,96$), 200 maschi (11,11 $\pm 1,96$).**
- Maggiore interesse dal punto di vista metabolico rivestono i valori rilevati in frazioni delle distanze di gara, come i 200 e i 300 m: **200 maschi (11,11 $\pm 1,96$) che rappresenta l'87% circa del valore 500 max; 300 maschi (11,46 $\pm 2,10$) 90% circa 500 max; 300 femmine (10,49 $\pm 2,64$) 93% circa 500 max.**
- In sintesi: **nel 1' minuto di gara avviene già una produzione del 90% del lattato finale della gara dei 500 metri. Ciò significa in termini pratici che dal 1' minuto fino al termine della gara, l'atleta deve "tollerare" tale quantità elevata di lattato, offrendo altresì una tecnica ottimale ed efficace ("resistenza alla forza").**
- Questo dato semplice ma di importanza fondamentale deve essere da guida per comprendere la cinetica della produzione del lattato, come pure per **la scelta di efficaci distanze di allenamento su ritmi gara** (da 200 a 300 m per i 500, 600-700 m per i 1000).

Conclusioni

- 1. 500 e 1000 m: grande richiesta forza, potenza meccanica e resistenza alla forza, tolleranza al lattato. Metabolismo energetico aerobico-anaerobico massimale e contemporaneo**, intervento potenza aerobica (VO₂ max) e anaerobica lattacida, comunque legata alla % di masse muscolari coinvolte. I **200 m**, attività 80% anaerobica, notevole richiesta di **potenza nell'unità di tempo**.
- Il canoista è l'unico sportivo in grado di produrre più energia con tronco e arti superiori, rispetto agli arti inferiori. I valori assoluti e relativi di VO₂ max rilevati nei canoisti anche se alti, sono sempre inferiori a quelli degli atleti di altri sport di resistenza con utilizzo delle gambe. Se consideriamo invece **l'intervento % di masse muscolari, troviamo che il VO₂ max dei canoisti è più alto**.
- L'obiettivo dell'allenamento del canoista di velocità non è il VO₂ max, geneticamente scritto e poco migliorabile, ma **il miglioramento del costo energetico, legato alla produzione di grosse potenze metaboliche in presenza di grande efficacia del gesto tecnico**. Nell'allenamento del canoista di velocità, è preferibile utilizzare ritmi e andature derivanti dalla VAM, piuttosto che dalla Sa poco correlata alla prestazione e oggetto da sempre di grossi dibattiti scientifici.
- Per quanto riguarda la **potenza anaerobica, i valori di lattato derivanti dalla mia esperienza concordano con la letteratura scientifica, 12-13mmol/L nei 500 e 1000m, 11 mmol/l nei 200. Questo valore che rappresenta 87% del lattato finale della gara 500 m e ancor più quello dei 300 m (90%)**, ci devono far comprendere quanto sia importante nel canoista "allenarsi a tollerare il lattato" fino al termine della gara, con una tecnica ottimale ed efficace ("resistenza alla forza"), tramite l'utilizzo dei ritmi gara in allenamento, che dovranno essere scelti su distanze specifiche (da 200-300 m per i 500, 600-700 m per i 1000).

GRAZIE PER L'ATTENZIONE