

*Strumenti per la valutazione  
funzionale della prestazione  
sportiva*

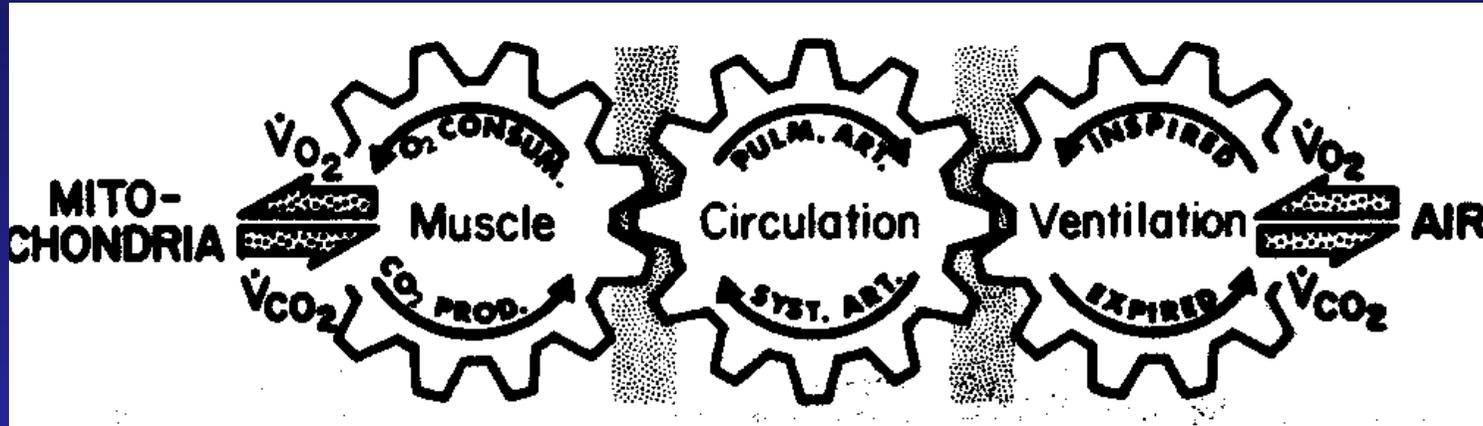
*Antonio Crisafulli*

# Valutazione Funzionale: definizione

Valutazione delle risposte (aggiustamenti ed adattamenti) di un organismo all'allenamento mediante misure di tipo organico-funzionale (per es.: frequenza cardiaca, consumo di ossigeno, produzione di acido lattico.....) e/o biomeccanico (velocità, accelerazione....) con lo scopo di ottimizzare l'allenamento e la prestazione degli atleti

**Classicamente la valutazione funzionale viene svolta in laboratorio mediante il test cardiopolmonare**

# Significato funzionale

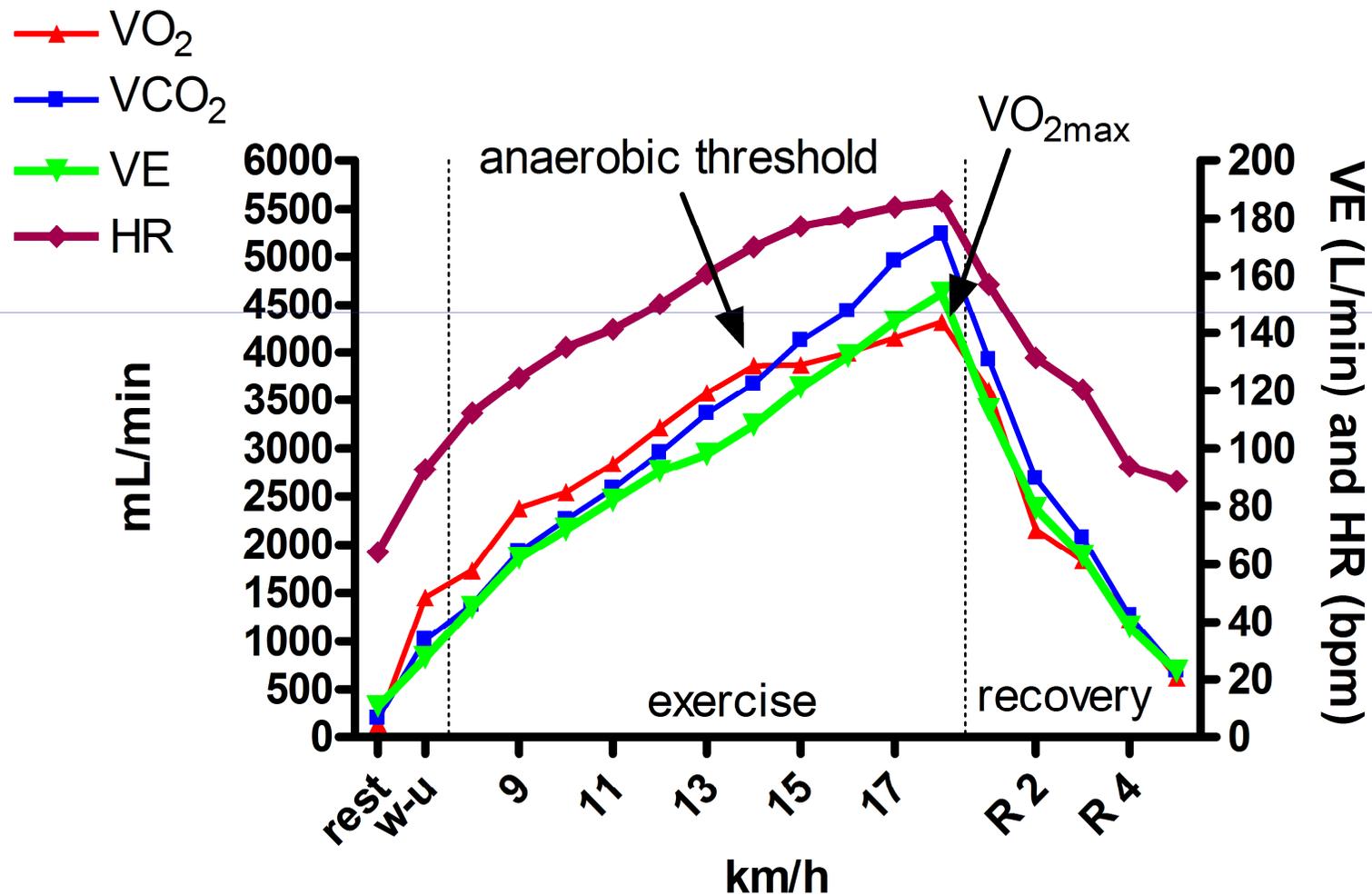


- È una misura integrata della capacità dell'organismo di acquisire, trasportare ed utilizzare ossigeno e di produrre anidride carbonica
- è fortemente influenzato dallo stato di allenamento del soggetto
- un deficit a livello respiratorio, cardiovascolare o muscolare ad una sua riduzione utilizzabile ai fini diagnostici e di follow-up

# Parametri di riferimento per la valutazione funzionale dell'atleta

- Massimo consumo di ossigeno
- Soglia anaerobica
- Eccesso di produzione di anidride carbonica
- Polso d'ossigeno

# Andamento della HR, VE, VO<sub>2</sub> e VCO<sub>2</sub> durante test CPX incrementale



# Parametro 1: il massimo consumo di ossigeno ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ )

- Il valore di  $\text{VO}_2$  che si raggiunge durante esercizio al di sopra del quale non è più possibile un ulteriore incremento nonostante un aumento del carico lavorativo, cioè quando si raggiunge un plateau
- Più semplicemente spesso si prende il  $\text{VO}_2$  raggiunto al massimo dello sforzo

# Utilità del $\text{VO}_{2\text{max}}$

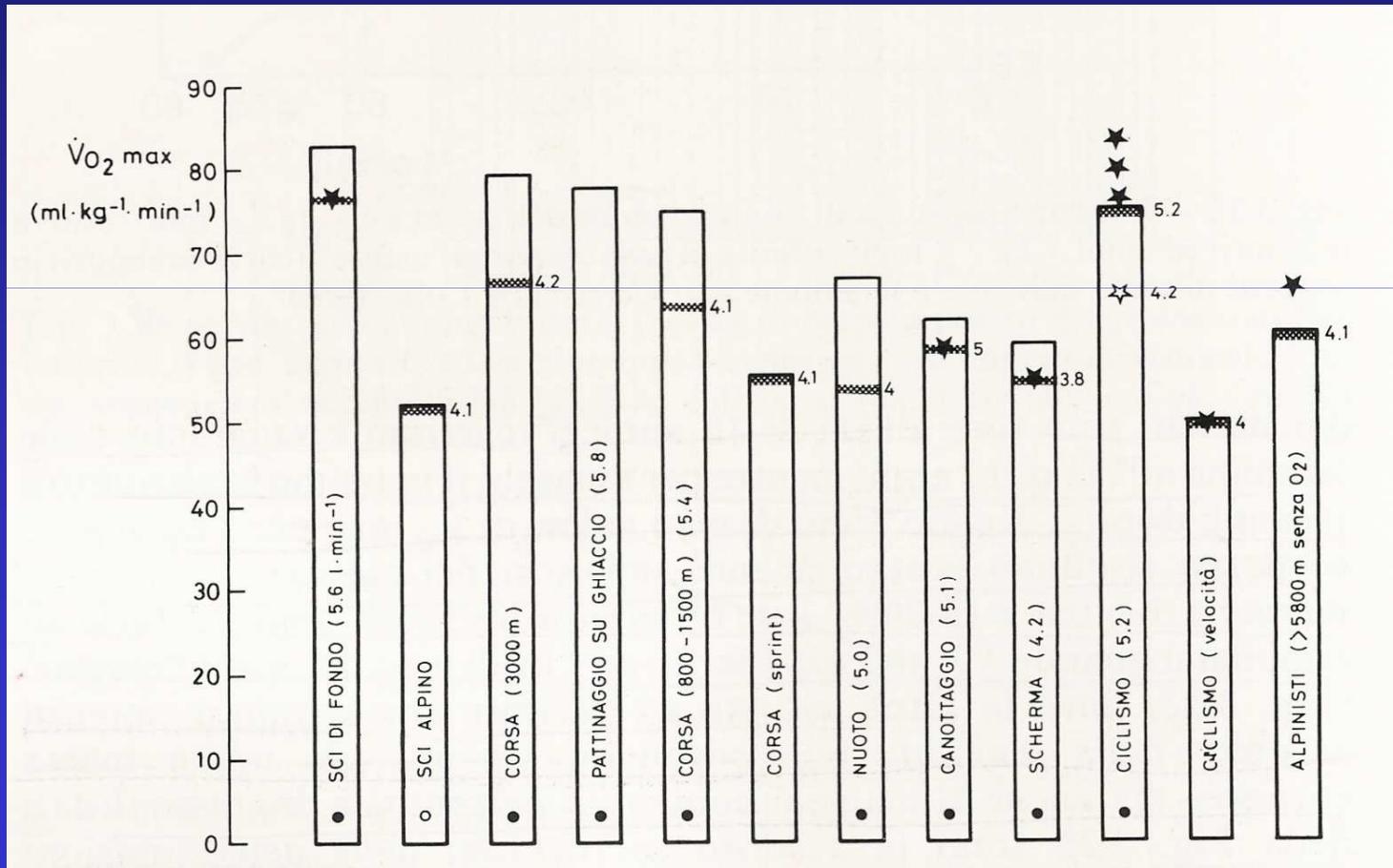
- Ci fornisce un dato utile per capire quale è la capacità aerobica del soggetto (è spesso molto elevato negli atleti di fondo)
- Ci fornisce la possibilità di monitorare i progressi dovuti all'allenamento

# Valori di riferimento del $\text{VO}_{2\text{max}}$

- sedentari < 35 ml/kg
- fisicamente attivi: 35-45 ml/kg
- moderatamente allenati: 46-55 ml/kg
- abbastanza allenati: 56-65 ml/kg
- molto allenati: 66-75 ml/kg
- eccezionali: fino a 90 ml/kg

Dati riferiti ai test effettuati sul treadmill. Con il cicloergometro si trovano valori del 15-20% inferiori

# Massimo consumo di Ossigeno (indicizzato per peso corporeo) in diversi gruppi di atleti



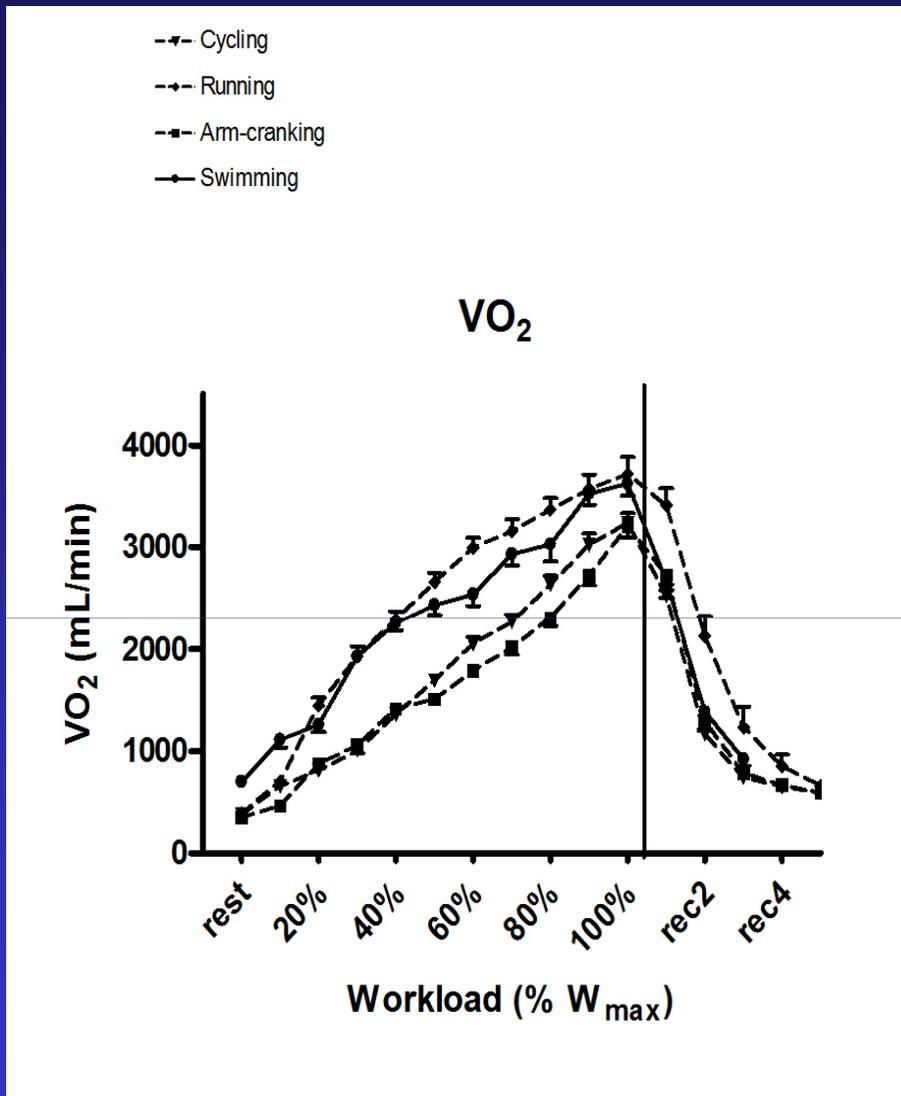
# I risultati nella canoa-kayak

**Table 3.** VO<sub>2</sub> values for kayaking compared to other sports.

Sport	Authors	VO <sub>2</sub> max (absolute) (L·min <sup>-1</sup> )	VO <sub>2</sub> max (relative) (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	Power and Velocity at VO <sub>2</sub> max *
<b>Kayaking</b>	Tesch, 1983	4.7	58.8	239 W
	Hahn et al., 1988	4.62	58.5	
	Fry and Morton, 1991	4.78	58.9	
	Billat et al., 1996	4.01	53.8	
<b>Canoeing</b>	Hahn et al., 1988	3.49	44.2	
	Bunc and Heller, 1991	4.17	51.9	
<b>Rowing</b> (heavy weight; ~ 85kg)	Di Prampero et al. 1971	5.0	58.8	
	Secher, 1990	6.0	68.2	
	Lakomy and Lakomy, 1993	4.8	60	
<b>Swimming</b> (400m)	Billat et al. 1996	4.41	59.6	1.46 m·s <sup>-1</sup>
	Lavoie et al. 1981	4.31	58.4 (5.6)	
	Roels et al. 2005	5.6	58.4	
<b>Road Cycling</b>	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	
<b>Running</b> (up to 3000m)	Billat et al. 1996	5.11	74.9	6.22 m·s <sup>-1</sup>
	Draper and Wood, 2005	5.0	68.9	
	Caputo and Denadai, 2004	6.3	68.8	

Note: all athletes studies were male and of professional and elite calibre.

\* Power output and velocity at VO<sub>2</sub> max obtained from Billat et al. (1999).



**Il VO<sub>2max</sub> è  
gesto specifico,  
cioè si  
ottengono  
diversi VO<sub>2max</sub>  
su ergometri  
diversi**

# Parametro 2: la soglia anaerobica

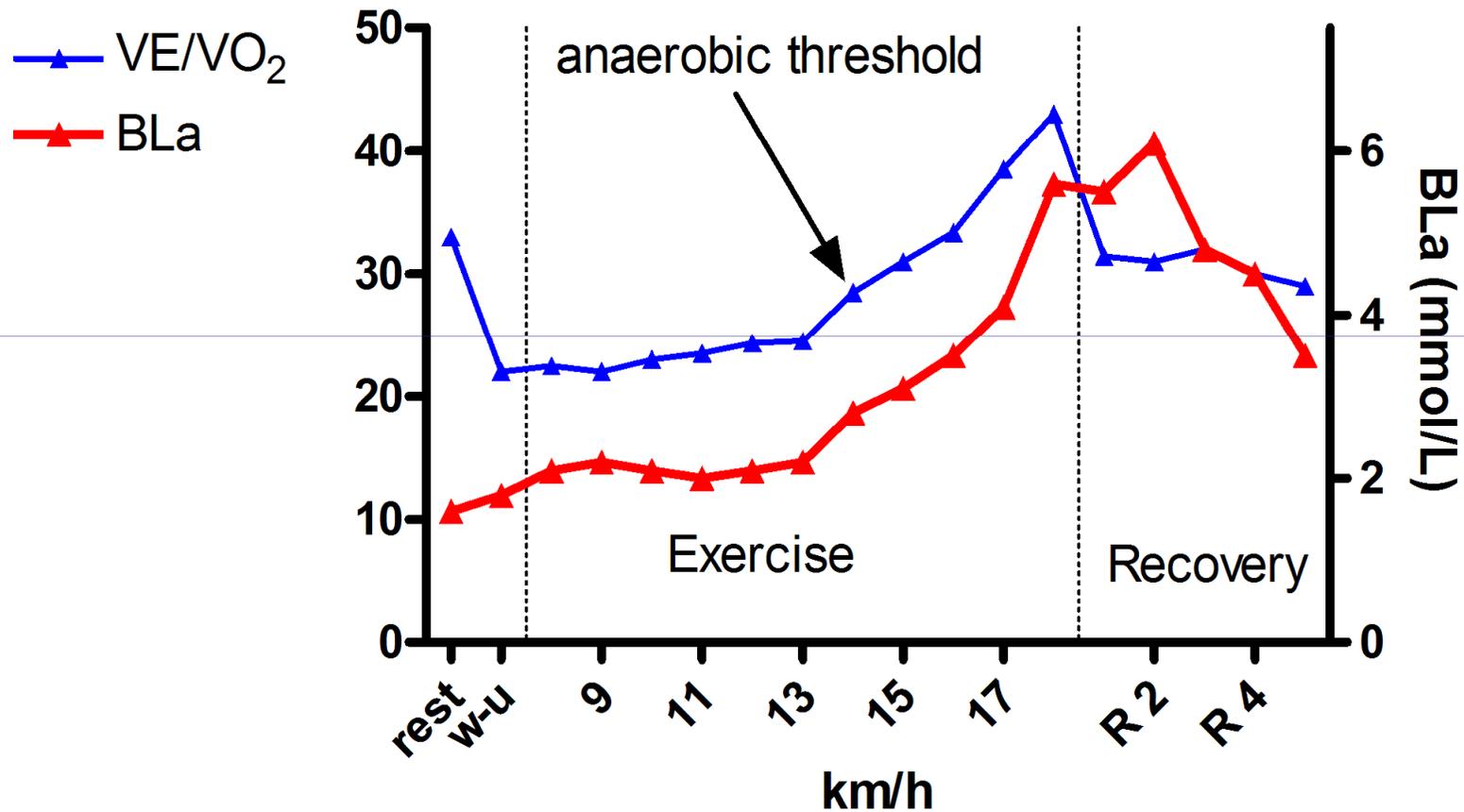
## Definizione:

- Carico lavorativo al di sopra del quale c'è accumulo di lattato
- Carico lavorativo al di sopra del quale l'energia derivata dal metabolismo aerobico non è più sufficiente a garantire la re-sintesi di ATP

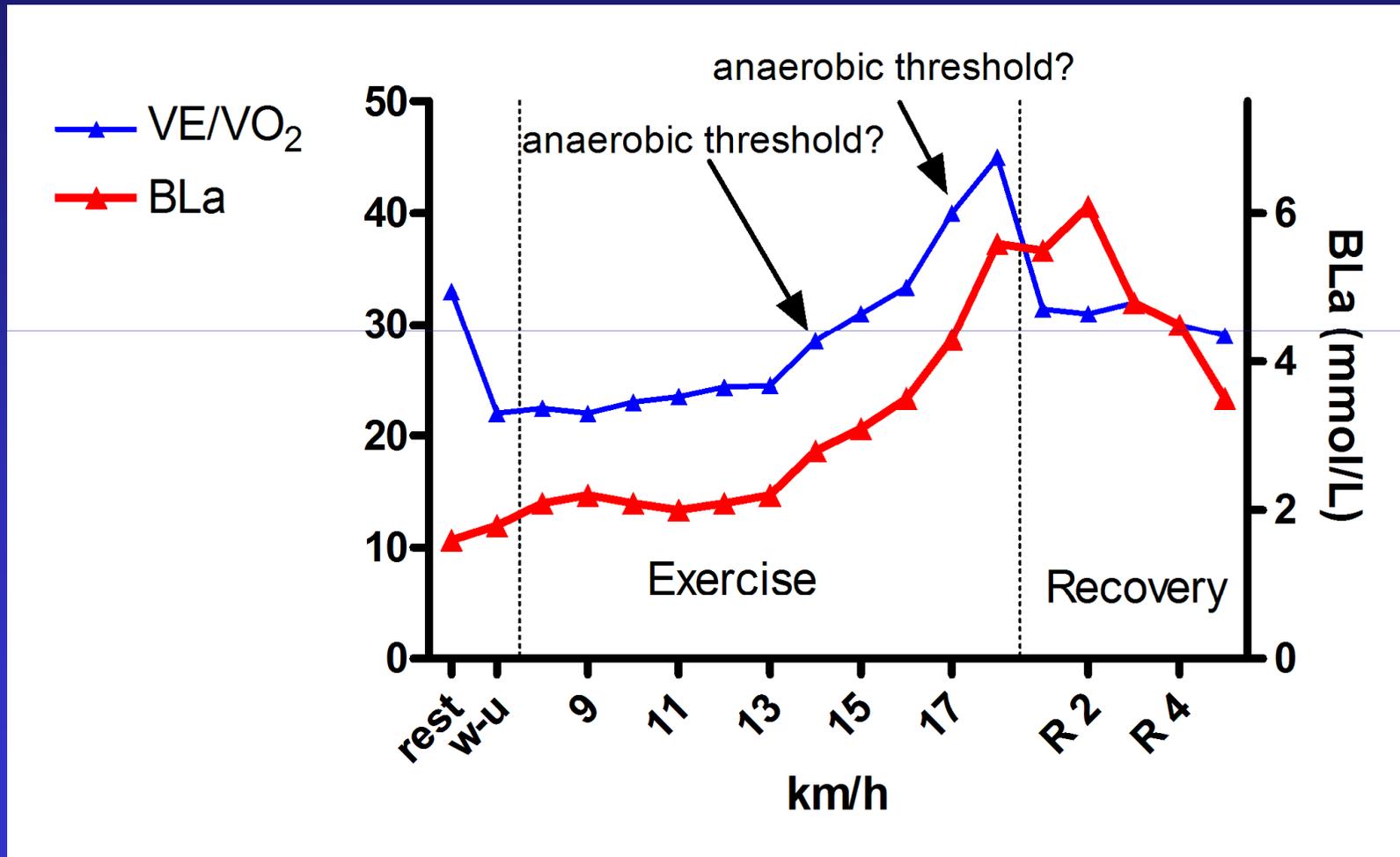
## Altri termini spesso usati come sinonimi

- Soglia al lattato: carico lavorativo al di sopra del quale il lattato si accumula nel sangue
- Soglia ventilatoria: carico lavorativo al di sopra del quale la ventilazione aumenta in maniera non lineare con il carico lavorativo

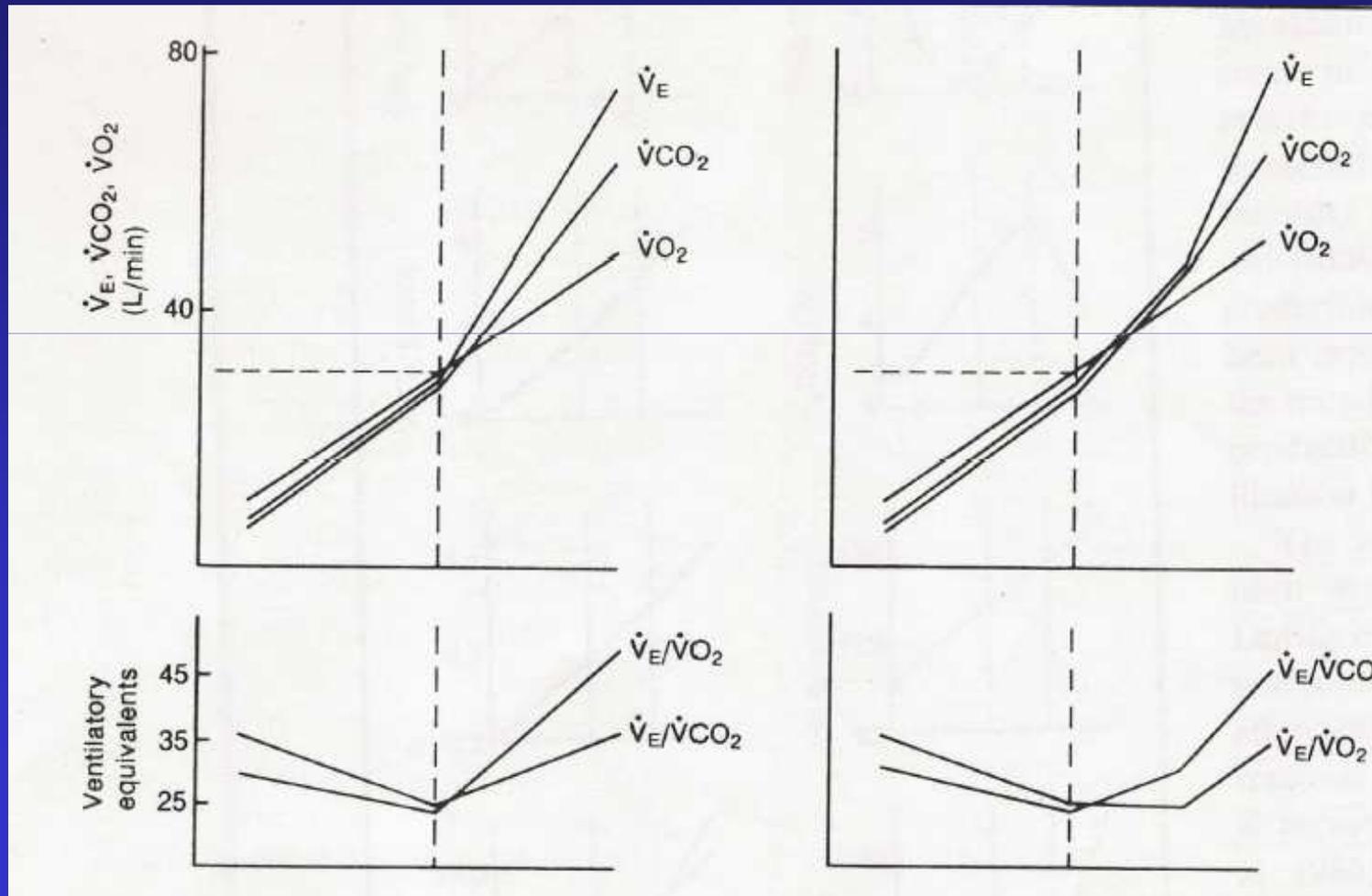
# Esempio di calcolo della SA



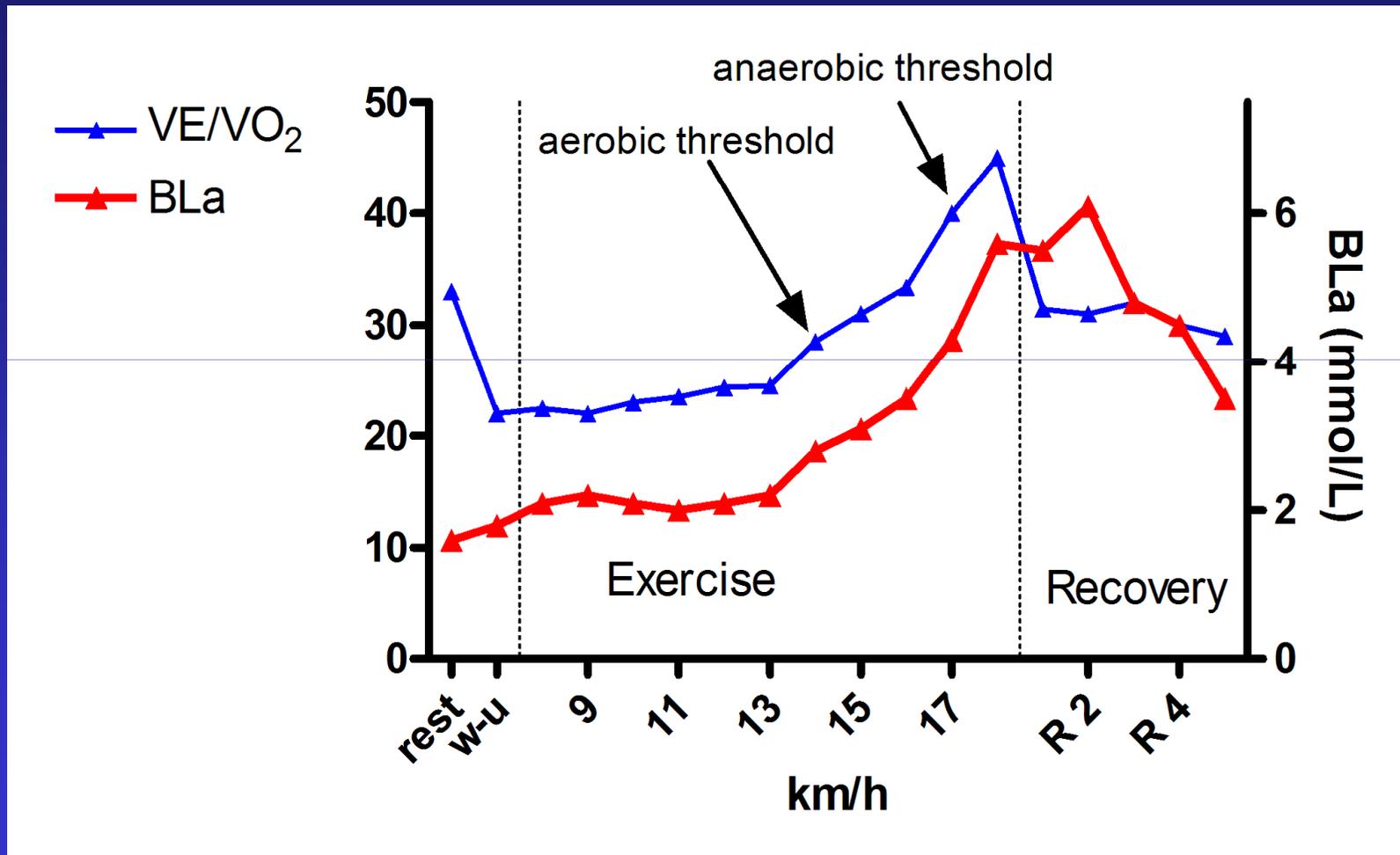
# Ma quale è la vera soglia anaerobica?



# Esistono molte controversie sul modo di calcolare la SA



# Per evitare confusione nella terminologia sono stati introdotti due termini

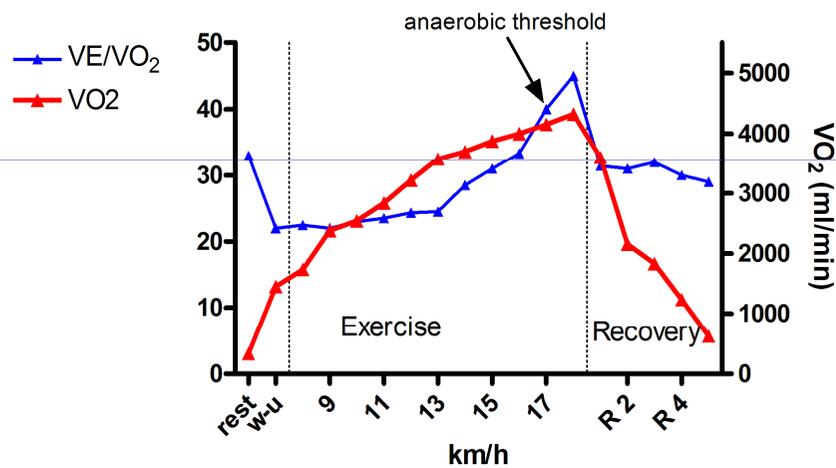


# Valori di riferimento della SA

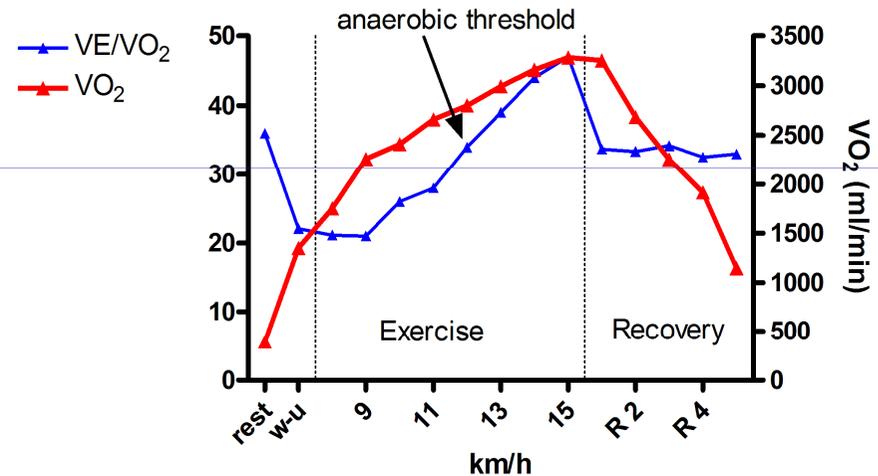
- Nelle persone non allenate e negli atleti di potenza essa si trova 60-70% del  $\text{VO}_{2\text{max}}$
- Negli atleti di fondo può raggiungere il 90% del  $\text{VO}_{2\text{max}}$

# Esempi di calcolo della soglia anaerobica in 2 tipi di atleta

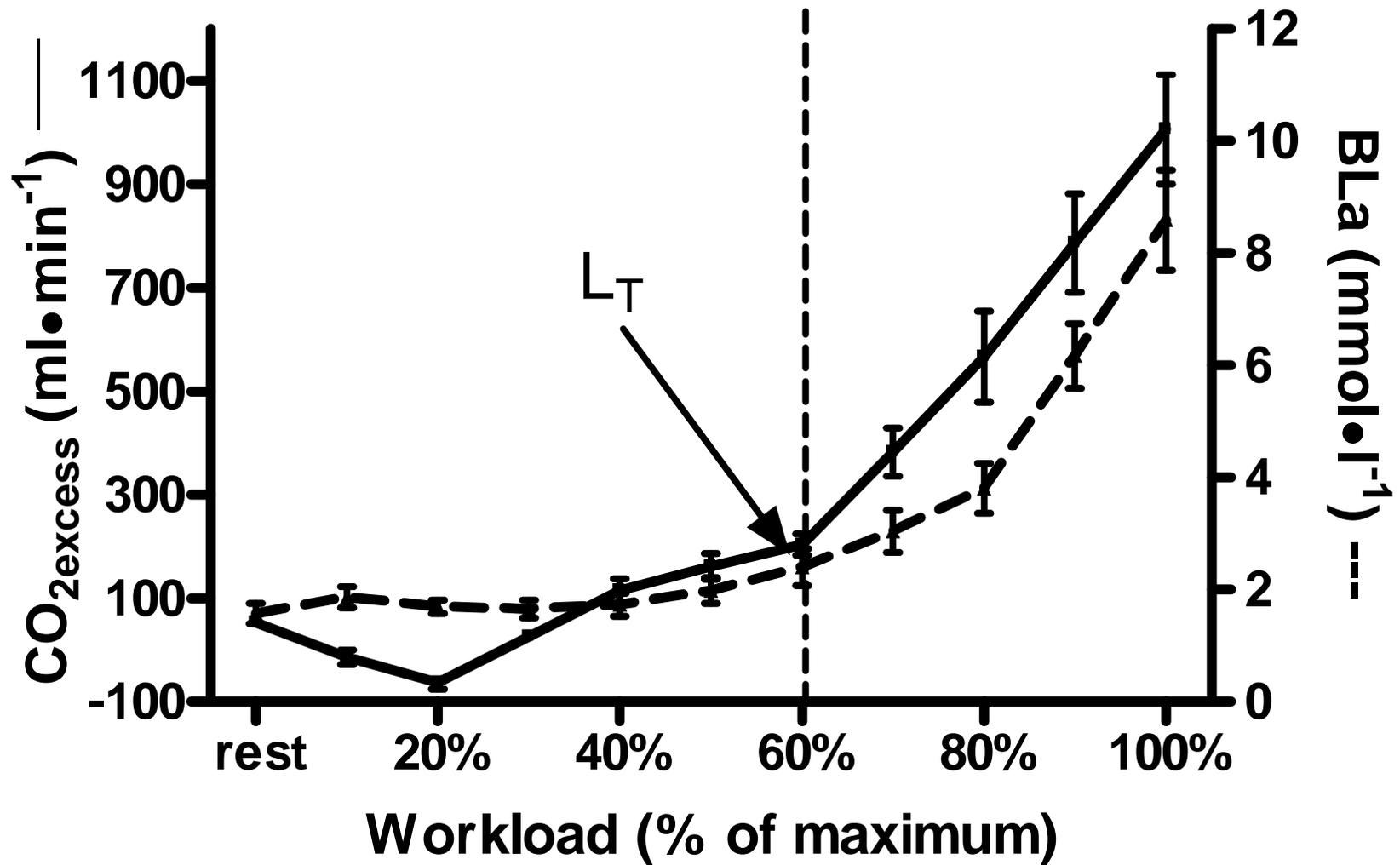
Atleta di fondo



Atleta di potenza



# Parametro 3: l'eccesso di CO<sub>2</sub>



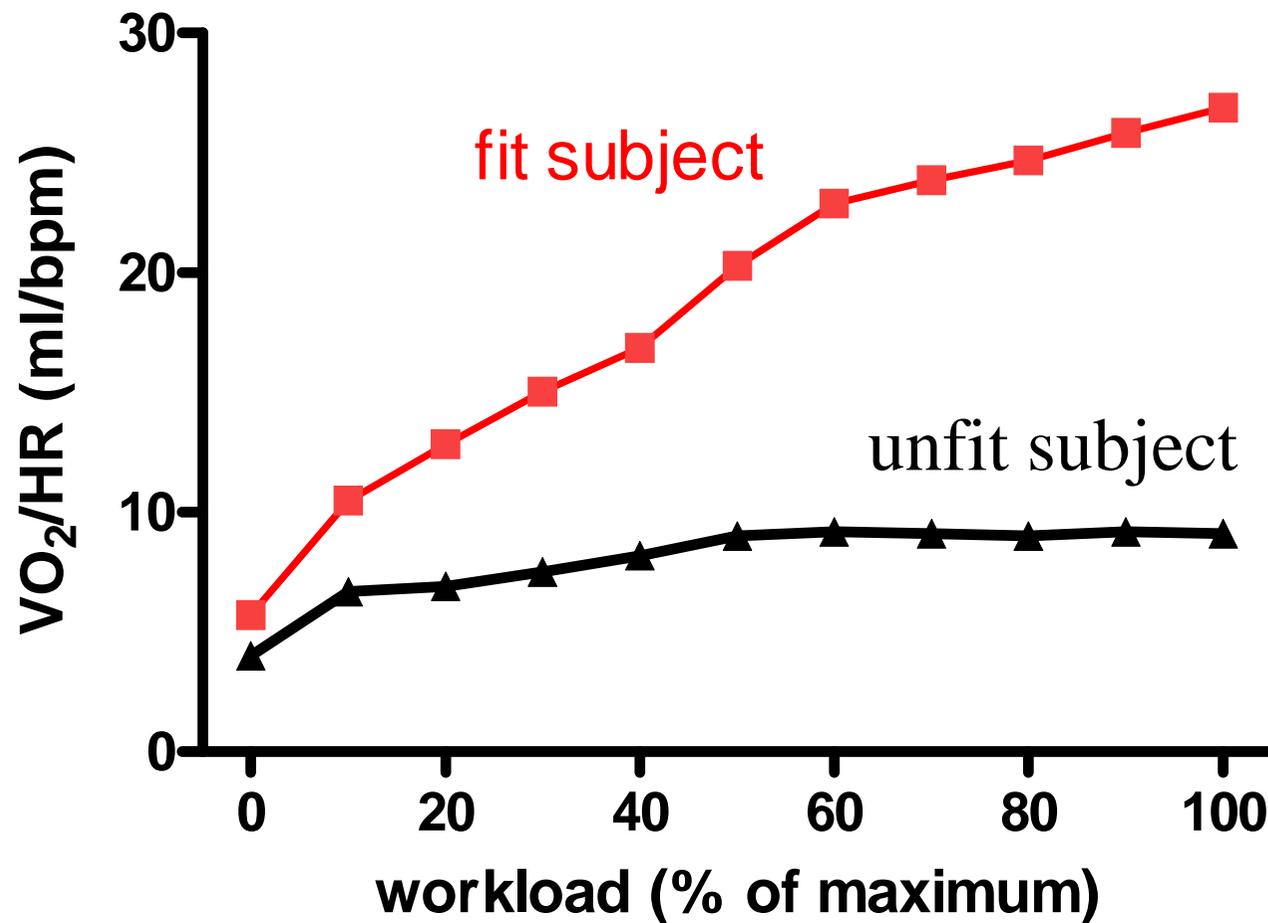
# Origine dell'eccesso di CO<sub>2</sub> durante esercizio



# Calcolo dell'eccesso di CO<sub>2</sub>

- $\text{CO}_{2\text{excess}} = \text{VCO}_2 - (\text{QR}_{\text{rest}} \cdot \text{VO}_2)$

# Parametro 4: il polso di ossigeno



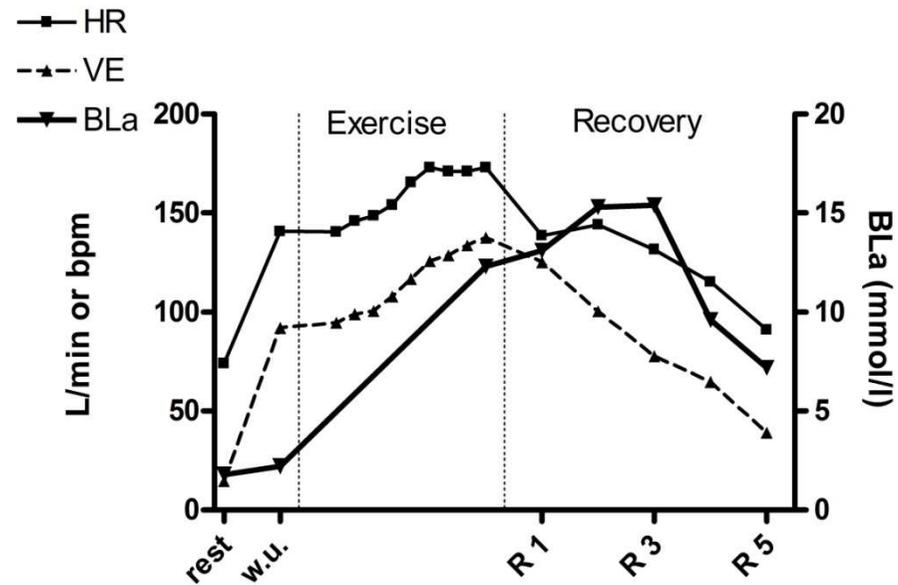
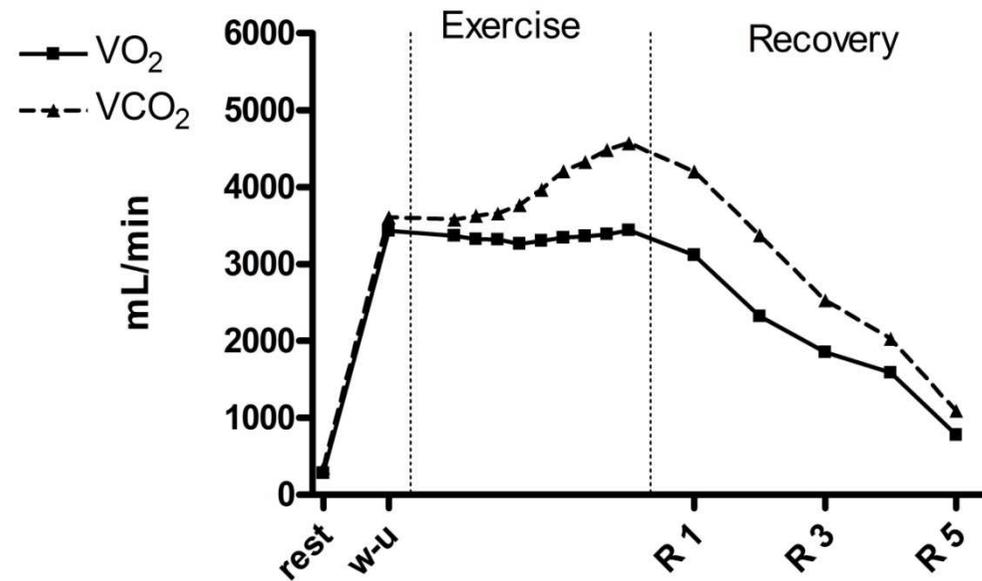
# Un'altra applicazione del test CPX

- Test all-out (su cicloergometro o treadmill)

# All-out

- È un test che valuta soprattutto le capacità anaerobiche dell'atleta
- Si esegue un esercizio rettangolare ad intensità superiore (dal 5 al 50%) a quella raggiunta in un precedente test CPX incrementale
- Si valuta la risposta metabolica aerobica ed anaerobica

# Esempio di risposta metabolica durante all-out test



# Utilità del test all-out

- I valori di  $\text{VO}_{2\text{max}}$  che si ottengono sono spesso molto simili a quelli che si ottengono con un test incrementale (soprattutto negli atleti che praticano sport in cui si prevedono sprint prolungati)
- I valori di BLa sono superiori a quelli che si ottengono con un test incrementale
- Il test appare quindi essere utile per valutare sia la capacità aerobica che anaerobica

**La valutazione in laboratorio è utile  
soprattutto quando l'ergometro che si usa in  
laboratorio simula bene la realtà di  
gara/allenamento**

**Sfortunatamente  
questo accade solo  
raramente!**

## **Quantification of Spinning<sup>®</sup> bike performance during a standard 50-minute class**

M. A. CARIA<sup>1</sup>, F. TANGIANU<sup>1</sup>, A. CONCU<sup>2</sup>, A. CRISAFULLI<sup>2</sup>, & O. MAMELI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Department of Biomedical Sciences, Human Physiology Division, Faculty of Medicine, Sassari University, Sassari and*

<sup>2</sup>*Department of Sciences Applied to Bio Systems, Faculty of Medicine, Cagliari University, Cagliari, Italy*

*(Accepted 14 March 2006)*

## **Nella realtà i test di laboratorio hanno i seguenti limiti:**

- L'ergometro è spesso troppo aspecifico dal punto di vista biomeccanico
- Manca l'elemento ambientale (temperatura, umidità, vento etc.)
- Spesso il carico lavorativo imposto è diverso da quello applicato sul campo. Per esempio, le intensità sovramassimali sono raramente testate nonostante siano frequentemente raggiunte in molti sport (calcio, basket, tennis, etc.)

**Per queste ragioni la capacità fisica dovrebbe essere valutata (quando possibile) sul campo, usando un ergometro il più possibile simile a quello usato dall'atleta nella realtà**

**L'introduzione di sistemi portatili in telemetria ha permesso l'utilizzo del CPX test anche sul campo**

# L'attività del LABFS nel campo della valutazione funzionale sul “campo”

A partire dal 1998 nel laboratorio di Fisiologia degli Sport dell'Università di Cagliari abbiamo utilizzato e/o sviluppato diversi metodi per la valutazione sul campo degli atleti di molte discipline

In dettaglio, i 2 principali strumenti che abbiamo utilizzato sono stati:

- 1) analizzatori di gas portatili
- 2) cardiometri ad impedenza portatili

# Analizzatori di Gas

Principali parametri ottenibili direttamente con questi strumenti:

- Consumo di ossigeno ( $\dot{V}O_2$ )
- Produzione di anidride carbonica ( $\dot{V}CO_2$ )
- Ventilazione polmonare ( $\dot{V}E$ )
- Frequenza cardiaca ( $HR$ )

Principali parametri ottenibili indirettamente con questi strumenti:

- consumo energetico ( $EE$ )
- efficienza meccanica ( $\mu$ )
- polso di ossigeno ( $OP$ )
- eccesso di anidride carbonica ( $CO_{2\text{ Excess}}$ )

# Oggigiorno esistono molti sistemi in telemetria molto duttili (sebbene un po' costosi)



## Assessment of the specificity of cardiopulmonary response during tethered swimming using a new snorkel device

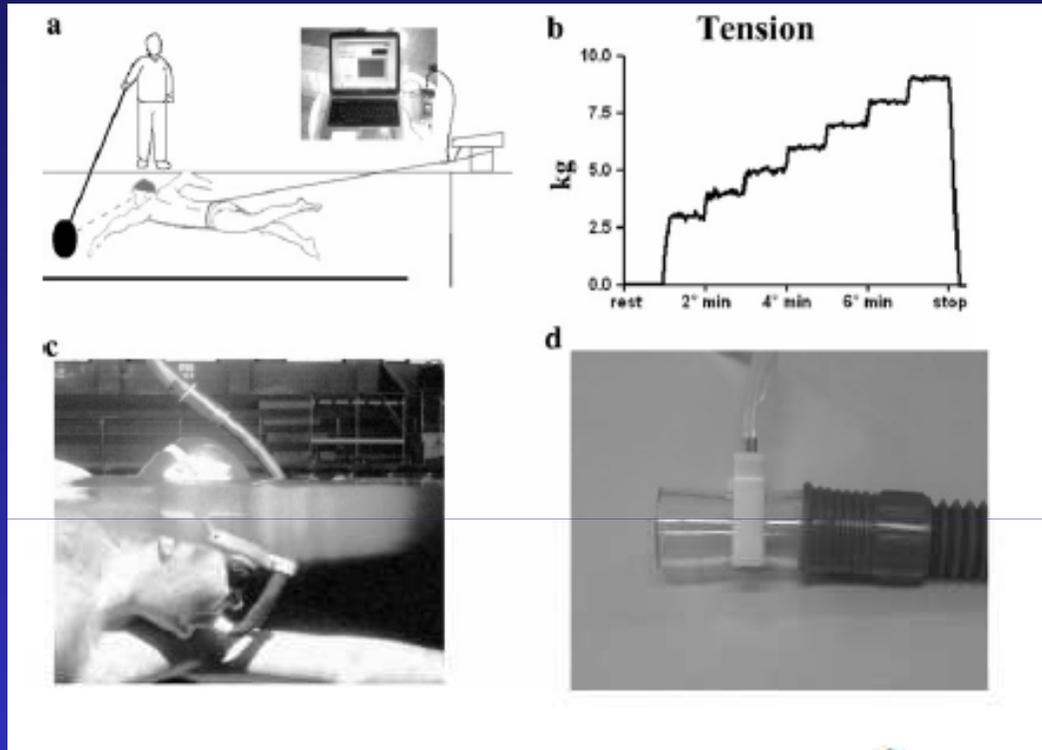
Marco Pinna · Raffaele Milia · Silvana Roberto · Elisabetta Marongiu · Sergio Olla · Andrea Loi · Matteo Ortu · Gian Mario Migliaccio · Filippo Tocco · Alberto Concu · Antonio Crisafulli

**Scopo: comparare i diversi parametri cardiometabolici ottenuti con i classici test CPX in laboratorio (aspecifici) con un test incrementale in piscina (più specifico)**

12 nuotatori agonisti hanno fatto:

- A. un test al cicloergometro
- B. un test al treadmill
- C. un test all'Arm-crank
- D. un test incrementale in piscina

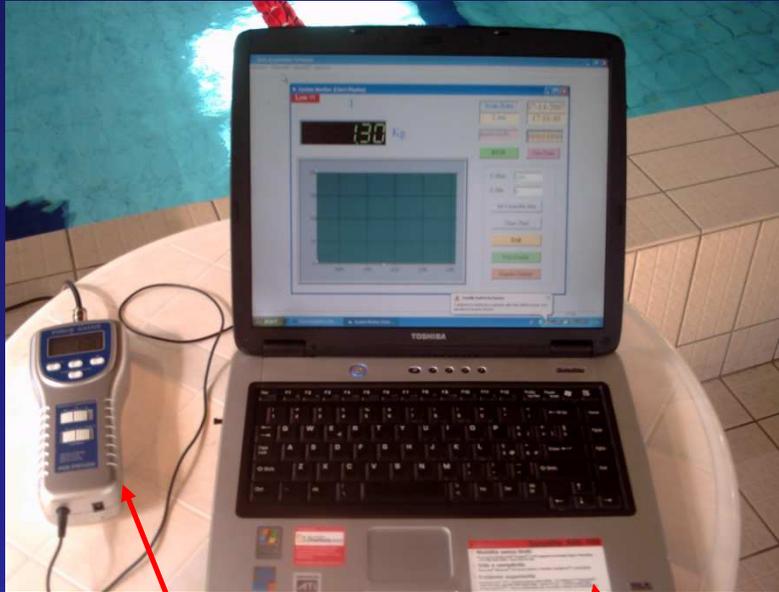
## il test in piscina



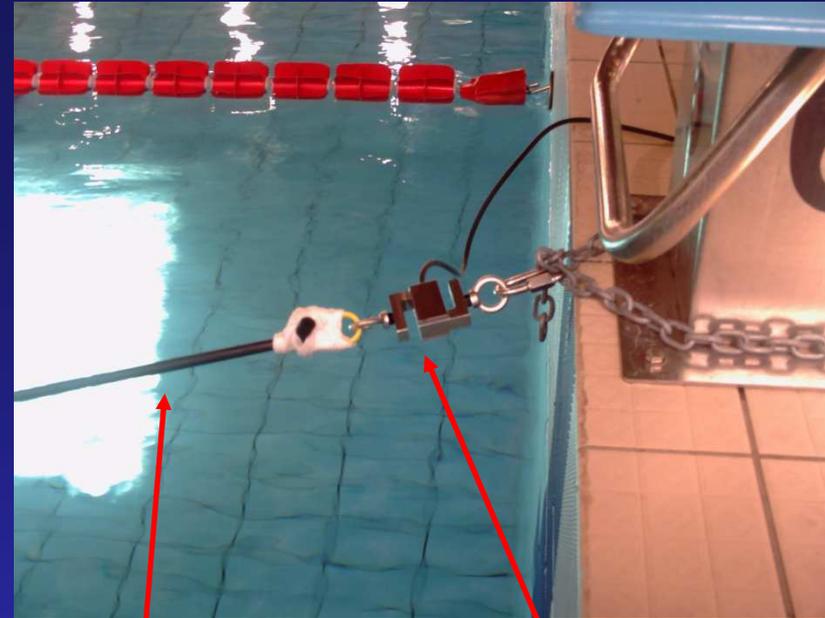
- Gli atleti erano vincolati con una cintura ad una corda elastica connesso con un dinamometro

- la tensione applicata alla corda era costantemente monitorata. L'atleta ogni minuto incrementava la tensione di 1Kg

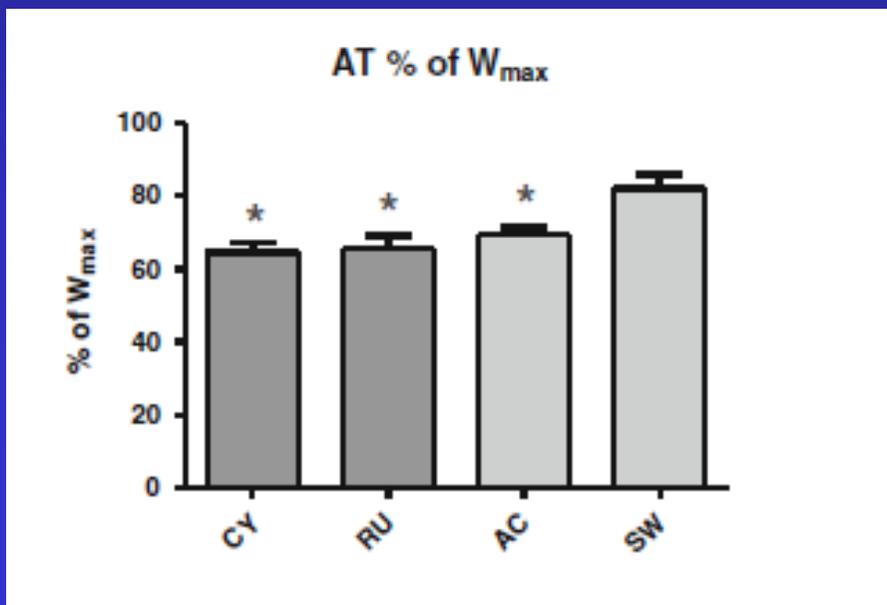
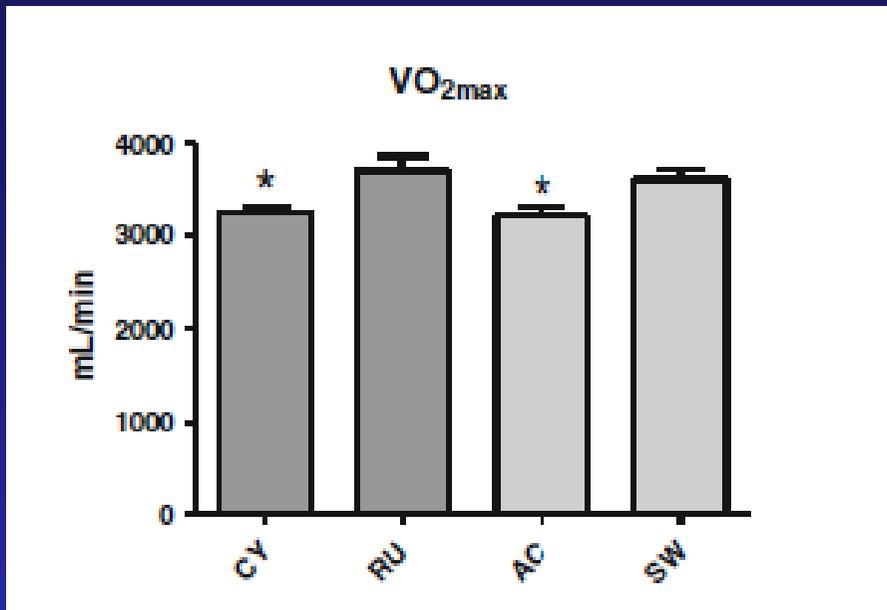
Un sistema di analisi di gas portatile (VO2000, MedGraphics, USA) è stato adattato e connesso mediante un apposito boccaglio e un tubo corrugato (200 mL) al soggetto.



Dinamometro connesso al PC



Corda elastica connessa al trasduttore di forza



**Risultati: sia il VO<sub>2max</sub> che la soglia anaerobica (AT) erano significativamente diversi nei test di laboratorio rispetto al test in piscina**

# La valutazione della risposta cardio-metabolica nei test RSA: applicazione nel calcio a 5

---

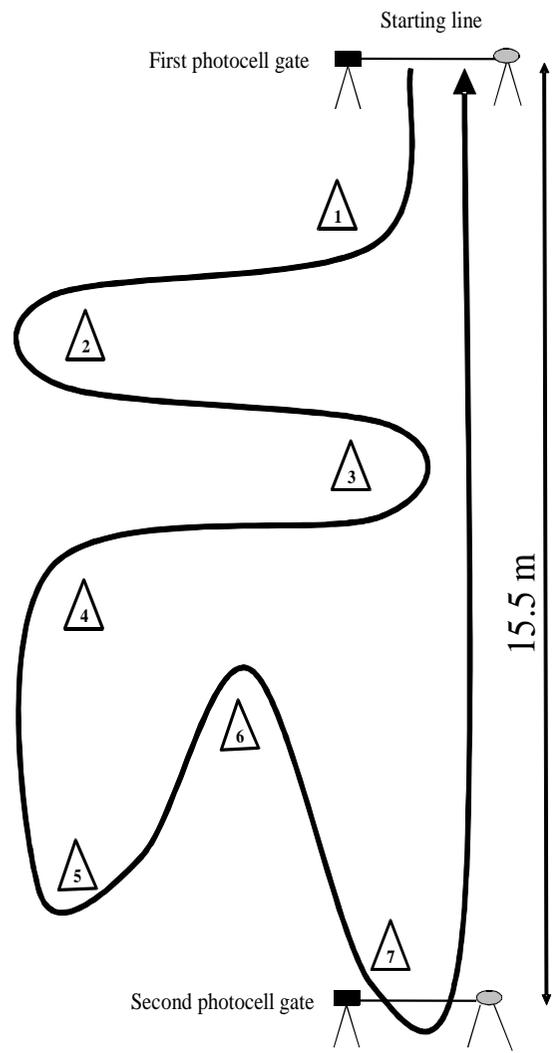
J SPORTS MED PHYS FITNESS 2013;53:461-9

## Measurement of pulmonary gas exchange variables and lactic anaerobic capacity during field testing in elite indoor football players

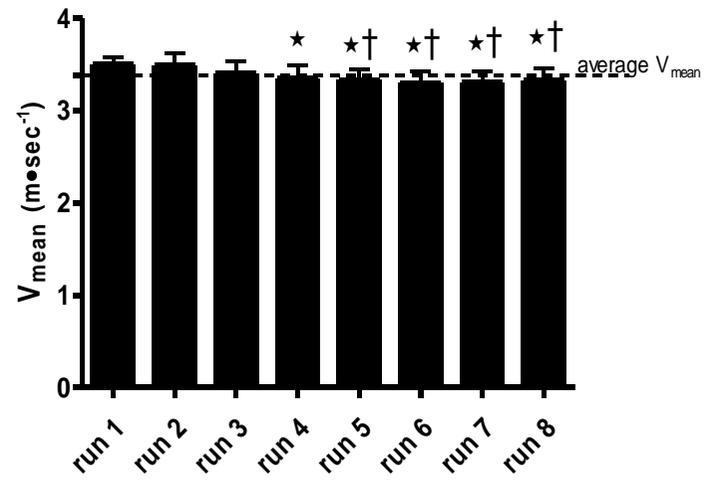
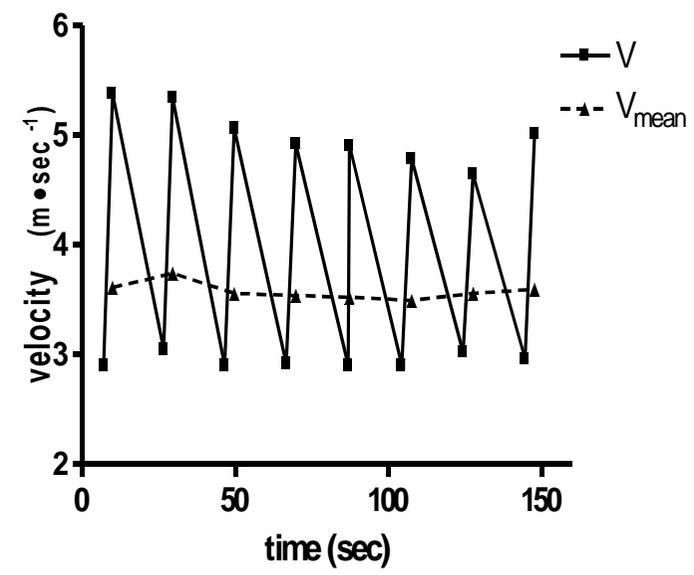
---

L. ANGIUS <sup>1</sup>, M. COMINU <sup>1</sup>, M. FILIPPI <sup>1</sup>, C. PIREDDA <sup>1</sup>, G. M. MIGLIACCIO <sup>2</sup>, M. PINNA <sup>1</sup>, R. MILIA <sup>1</sup>,  
F. TOCCO <sup>1</sup>, A. CONCU <sup>1</sup>, A. CRISAFULLI <sup>1</sup>

---



# Andamento della velocità negli 8 sprint previsti dal protocollo

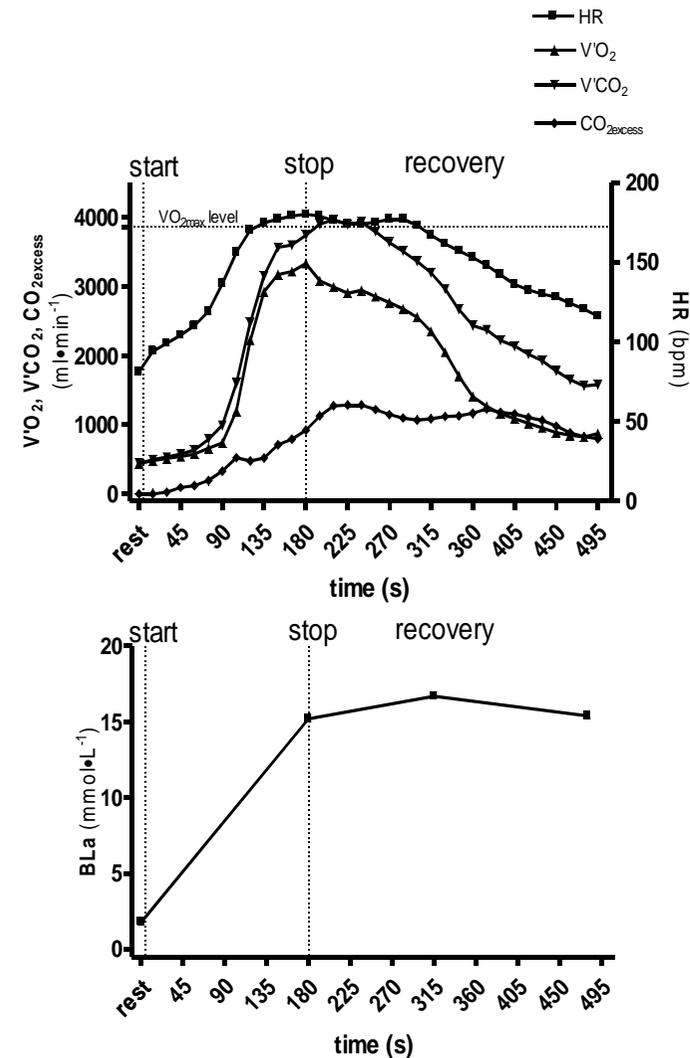


# Risultati principali

1) durante l'RSA i soggetti non raggiungevano i livelli di  $\dot{V}O_{2\max}$  raggiunti nel test incrementale in laboratorio

2) Tuttavia il livello di BLa era superiore rispetto la test di laboratorio

3) I valori di BLa nel recupero correlavano significativamente con il  $\text{CO}_{2\text{excess}}$  ( $r= 0.72$ )

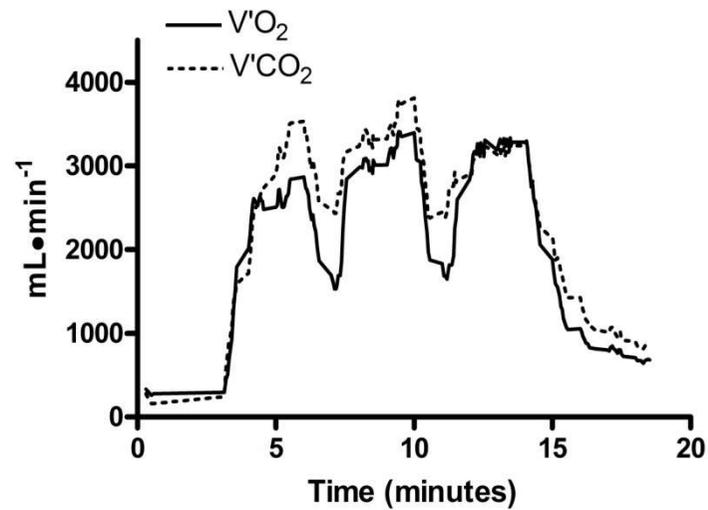
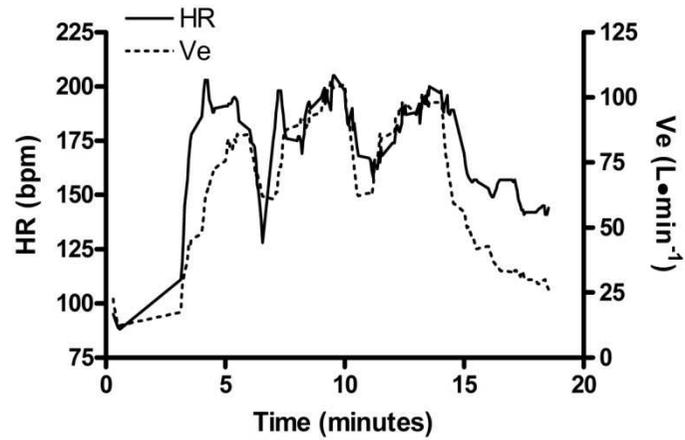


## **Physiological responses and energy cost during a simulation of a Muay Thai boxing match**

**Antonio Crisafulli, Stefano Vitelli, Ivo Cappai, Raffaele Milia, Filippo Tocco, Franco Melis. and Alberto Concu**

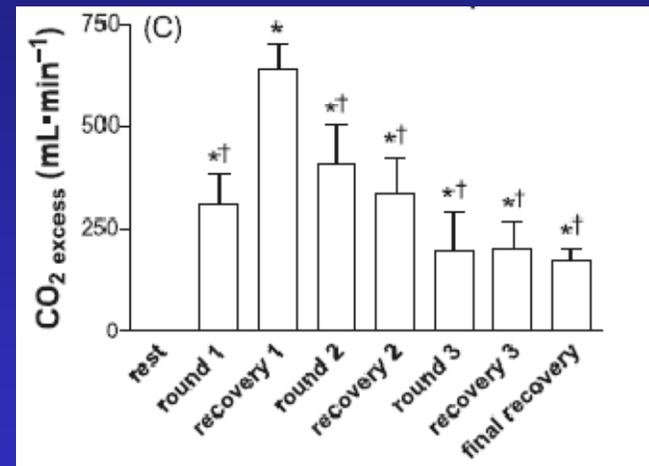
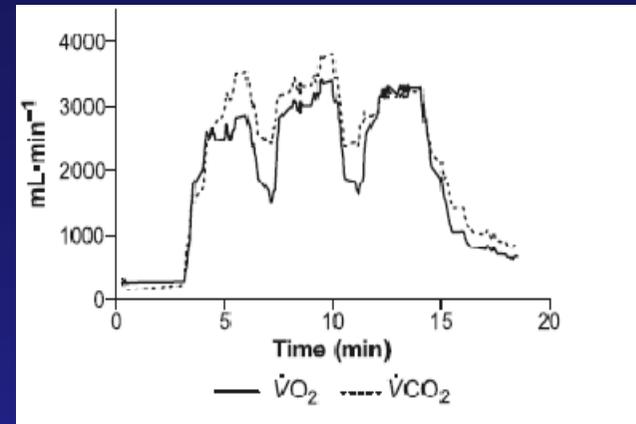
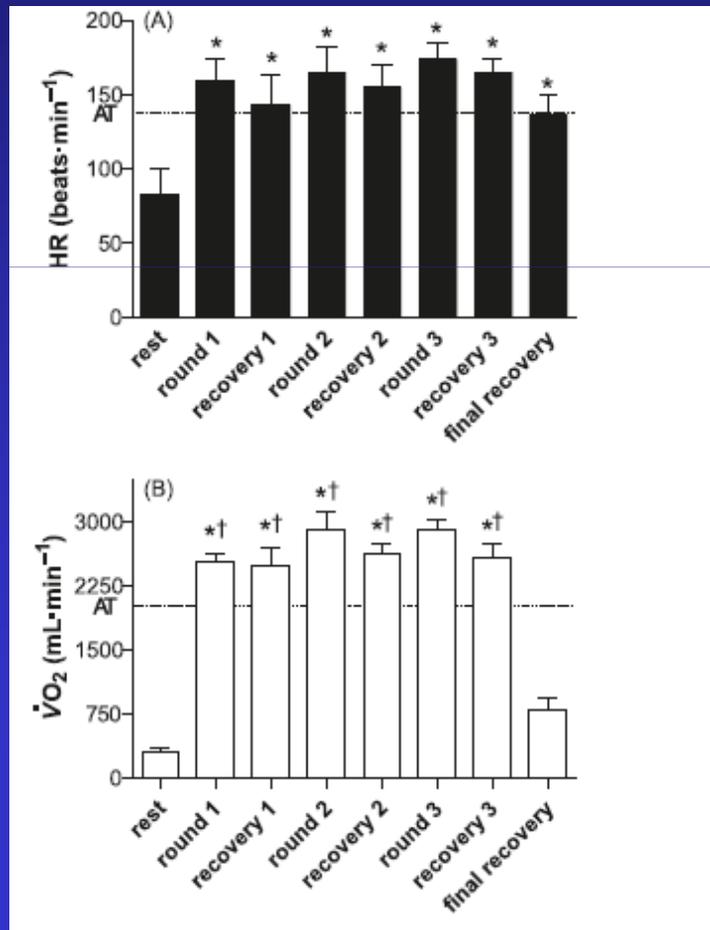
*Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2009

**La valutazione della risposta  
cardio-metabolica e il  
consumo energetico:  
applicazione alla Muay Thai**



Da Crisafulli *et al.* *Appl Physiol Nutr Metab* 2009

# Principali risultati



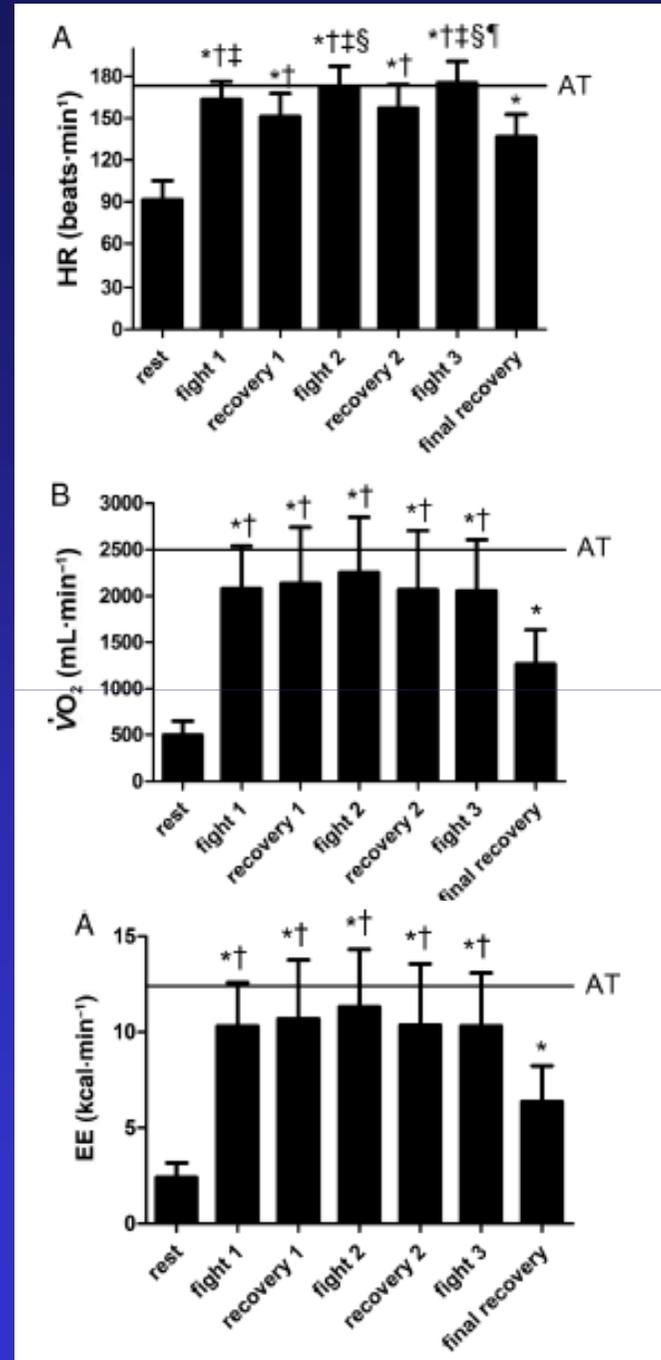
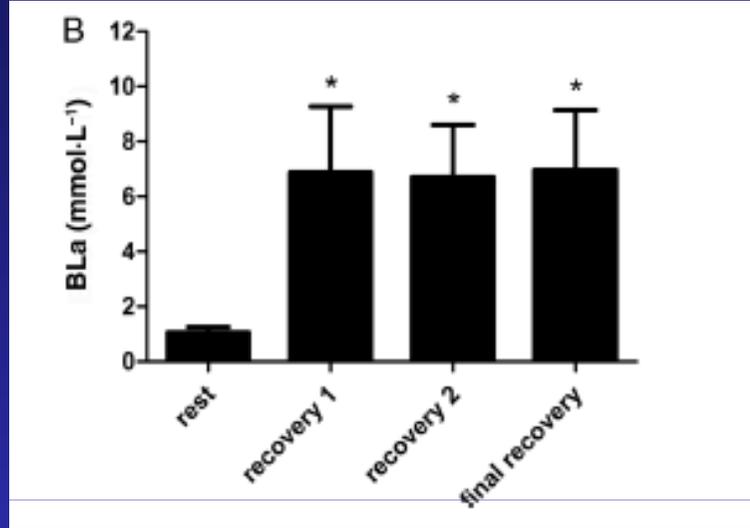
In conclusion, these data suggest that Muay Thai is a physically demanding sport with great involvement of both aerobic metabolism and anaerobic glycolysis. This leads us to speculate that training protocols should include exercise that train this metabolic pathway. Moreover, interval periods between rounds do not allow a complete recovery. Coaches should consider these suggestions when preparing the training program of athletes.

## Physiological responses and energy expenditure during competitive fencing

Raffaele Milia, Silvana Roberto, Marco Pinna, Girolamo Palazzolo, Irene Sanna, Massimo Omeri, Simone Piredda, Gianmario Migliaccio, Alberto Concu, and Antonio Crisafulli

Appl. Physiol. Nutr. Metab. 39: 324–328 (2014) [dx.doi.org/10.1139/apnm-2013-0221](https://doi.org/10.1139/apnm-2013-0221)

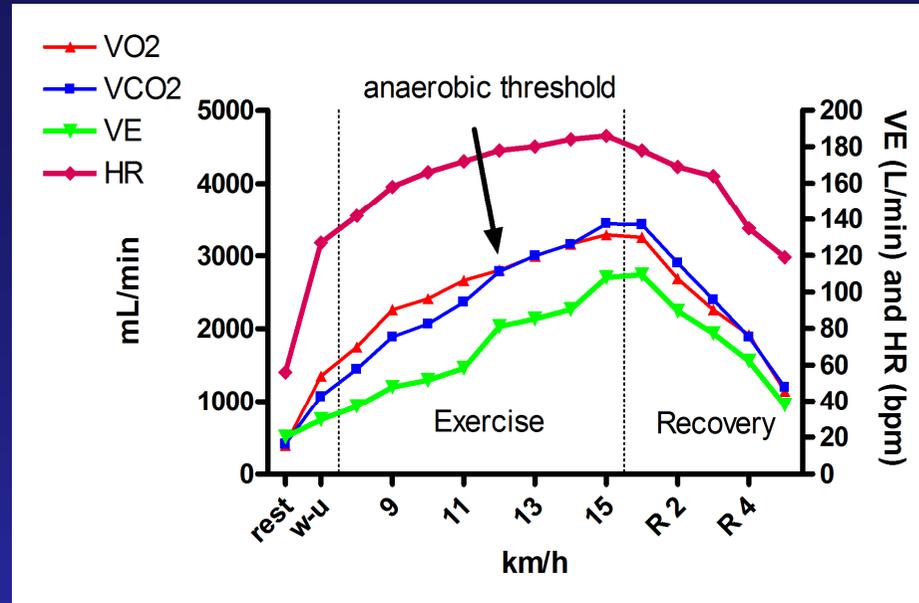
**Studio della risposta cardio-metabolica durante combattimento  
in atleti olimpionici di scherma**



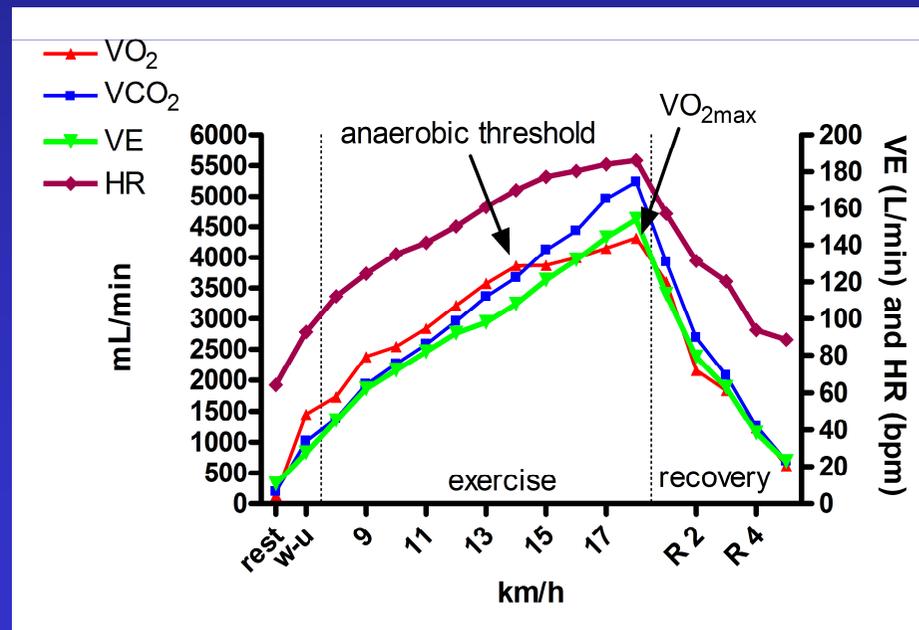
# Riassunto dei concetti chiave

- I test di laboratorio sono utili soprattutto quando il gesto in laboratorio simula biomeccanicamente bene il gesto effettivo di gara/allenamento
- In ogni caso ci fornisce un'idea delle capacità fisiche del soggetto (cioè è sempre meglio di niente)
- I test sul campo sono molto utili quando si riesce a simulare abbastanza da vicino la biomeccanica della disciplina

In ogni caso è soprattutto valutando le variazioni nel tempo che si hanno le informazioni maggiori



Prima del programma di training specifico



Dopo 1 anno di training specifico

# Una nostra peculiarità: lo studio dell'emodinamica con strumenti portatili

## ACTA PHYSIOLOGICA

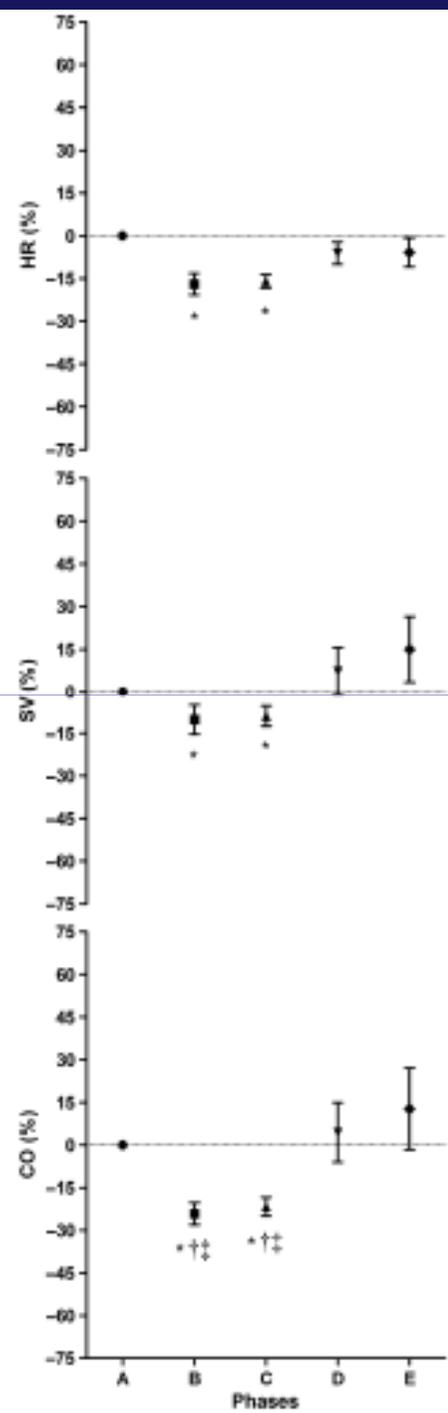
Acta Physiol 2013, 207, 290–298

---

### **Assessment of circulatory adjustments during underwater apnoea in elite divers by means of a portable device**

F. Tocco,<sup>1,2</sup> E. Marongiu,<sup>1</sup> M. Pinna,<sup>1</sup> S. Roberto,<sup>1</sup> M. Pusceddu,<sup>1</sup> L. Angius,<sup>1</sup> G. Migliaccio,<sup>3</sup>  
R. Milia,<sup>1,2</sup> A. Concu<sup>1,2</sup> and A. Crisafulli<sup>1,2</sup>

**Uso della cardiometria d impedenza portatile per lo studio della risposta emodinamica nel diving**



# Cardiovascular Responses during Free-Diving in the Sea

Authors

E. Marongiu<sup>1</sup>, A. Crisafulli<sup>2</sup>, G. Giani<sup>1</sup>, S. Olla<sup>1</sup>, S. Roberto<sup>1</sup>, M. Pinna<sup>3</sup>, M. Pusceddu<sup>1</sup>, G. Palazzolo<sup>1</sup>,  
I. Sanna<sup>1</sup>, A. Concu<sup>2</sup>, F. Tocco<sup>1</sup>

## Il diving in mare aperto

(in stampa su *Int J Sport Med*)

# Le risposte emodinamiche: il diving reflex è oscurato dall'attivazione dei riflessi cardiocircolatori all'esercizio

	Conditions	HR (bpm)	SV (mL)	CO (L·min <sup>-1</sup> )
	REST	68±13	67±16	4.5±1.8
	Descent	82±20	88±13 *	7.2±2.5 * #
10 m	Static	69±18	77±23	5.0±1.3
	Ascent	77±12	69±16	5.6±1.8
	Descent	82±20 †	90±25 *	7.5±2.5 * †
20 m	Static	58±14 *	75±11	4.5±0.8
	Ascent	87±16 * †	80±22	7.1±0.8 * †
	Descent	82±21 †	84±29	7.5±2.4 *
30 m	Static	56±15 * #	83±21	5.7±2.8
	Ascent	93±16 * ‡	77±22	8.2±2.2 *

# In progress...

Spesa energetica e risposte cardio-  
metaboliche in:

equitazione

motociclismo

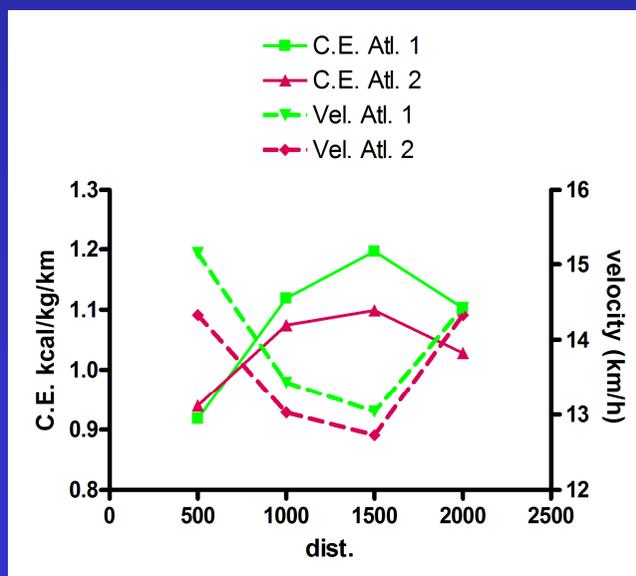
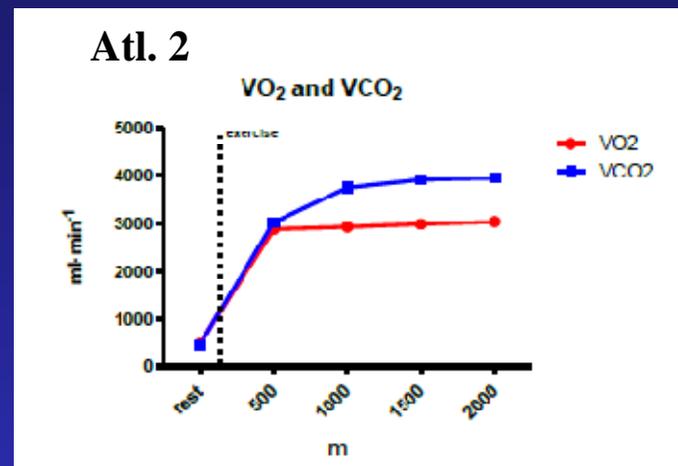
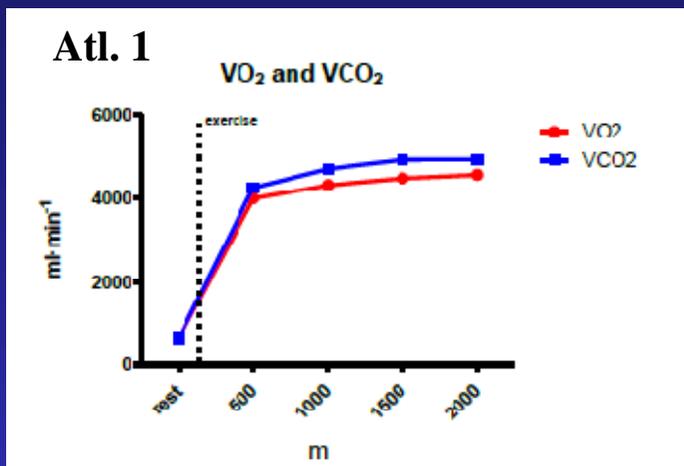
windsurf

canoa-kayak

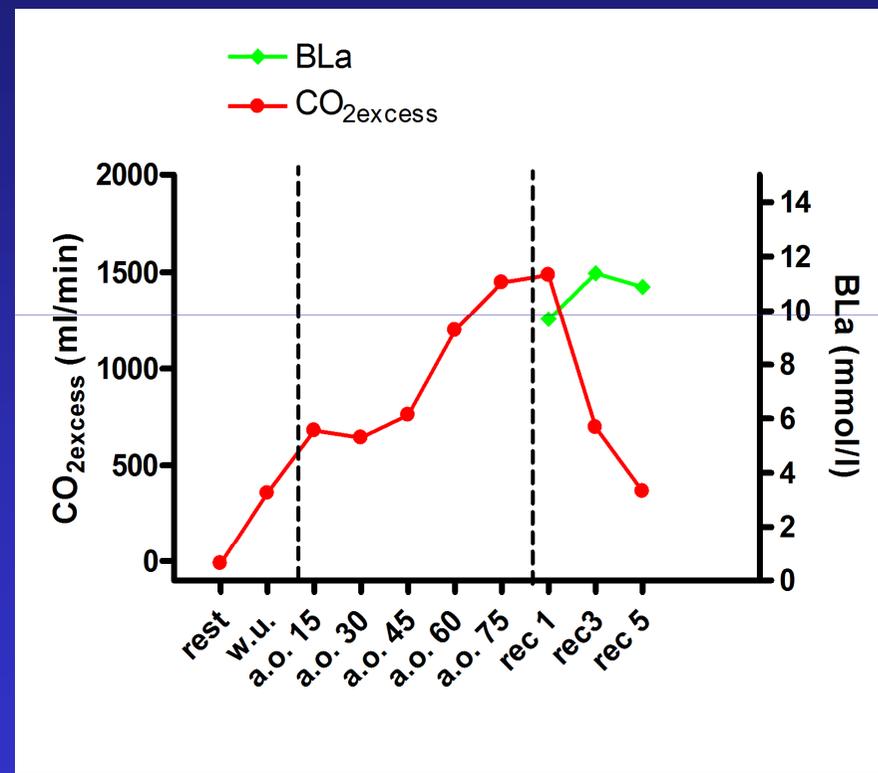
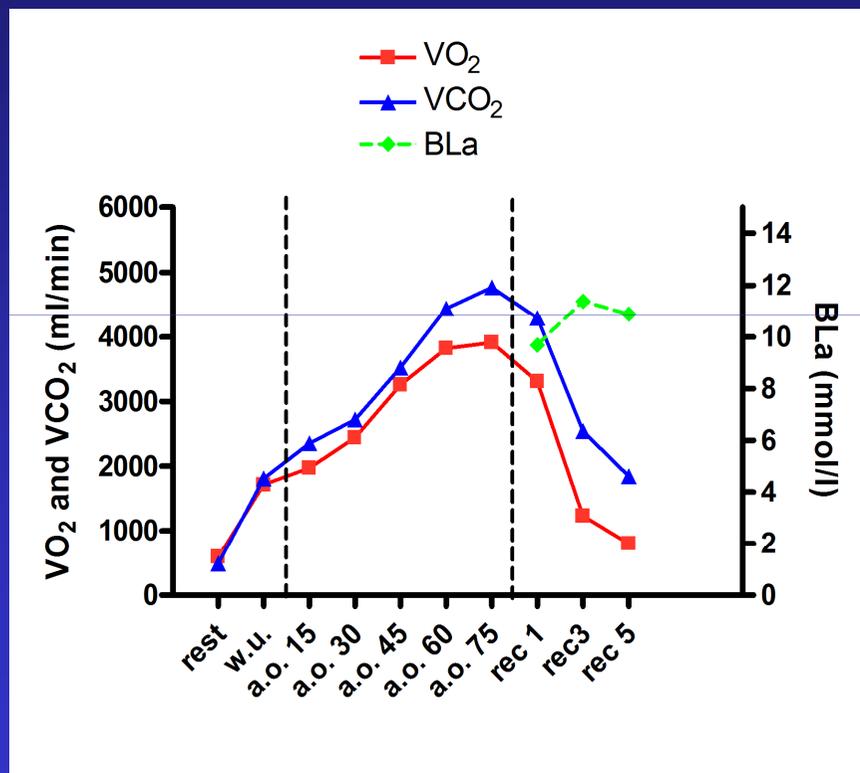
.....

# **Possibili applicazioni nella Canoa-Kayak**

# Risposte cardio-metaboliche e costo energetico durante test sui 2000m in canoa



# Risposte cardio-metaboliche durante all-out (400m) nella canoa canadese



## Nei 5 all-out che abbiamo fatto abbiamo ottenuto valori di lattato simili a quelli riportati in letteratura

**Table 4.** Lactate values recorded for kayak paddlers (mM).

Author	Subjects	Ergometer (mM)			Kayak paddling (mM)	
		Leg	Arm	Kayak	500m	1000m
Sidney and Shephard, 1973	10 elite kayakers	14.1				
Tesh et al. 1976	6 elite kayakers				13.2	12.9
Tesch, 1983	6 elite kayakers	14.2	13.5	14.0		13.0
Pendergast et al. 1989	17 kayakers (range of skill level)					12.0
Bishop et al. 2002	8 experienced kayak paddlers				13.0	