

---

# **FISIOLOGIA DELL'ATTIVITA' MOTORIA-SPORTIVA E TEST DI VALUTAZIONE FUNZIONALE**

**prof. Federico Schena**

**Istituto di Medicina dello Sport FMSI-CONI Verona  
Facoltà di Scienze Motorie Università di Verona**

# IL COSTO ENERGETICO

---

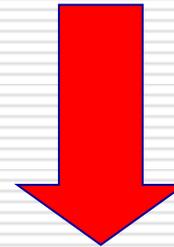
**La quantità di energia spesa per effettuare un dato compito (lavoro, esercizio fisico, attività sportiva, etc.)**



# IL COSTO ENERGETICO

**Perché  
misurare il  
Costo  
energetico?**

- Ottimizzare la programmazione dell'allenamento**



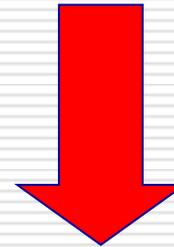
- Il modello di gara**
- Monitoraggio dell'allenamento**



# IL COSTO ENERGETICO

**Perché  
misurare il  
Costo  
energetico?**

- Ottimizzare  
l'apporto  
nutrizionale**



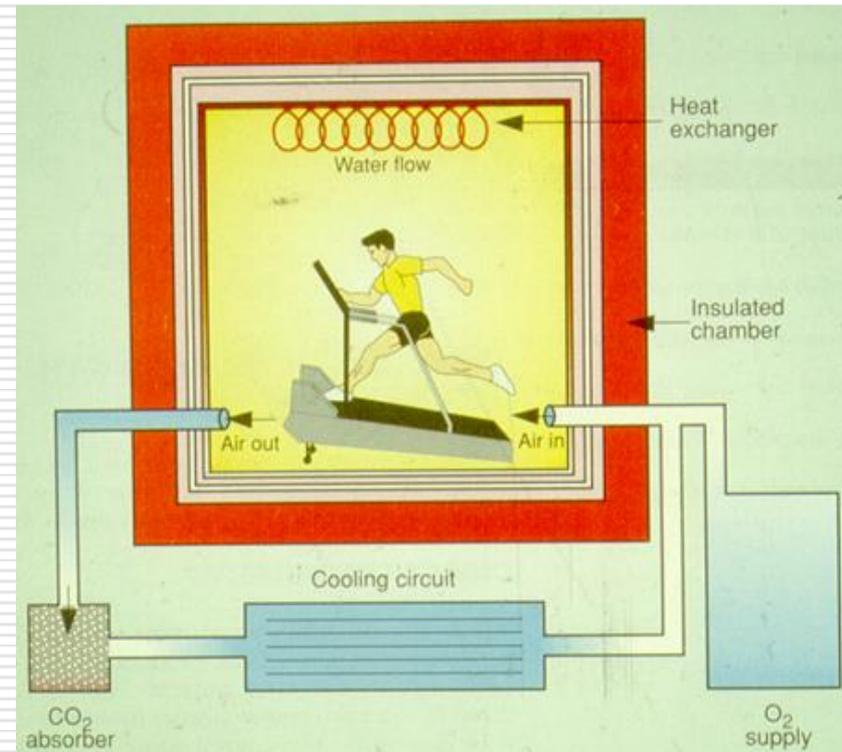
- Quantità dei substrati**
- Differenziazione dei substrati**



# IL DISPENDIO ENERGETICO

Come  
misurare il  
dispendio  
energetico?

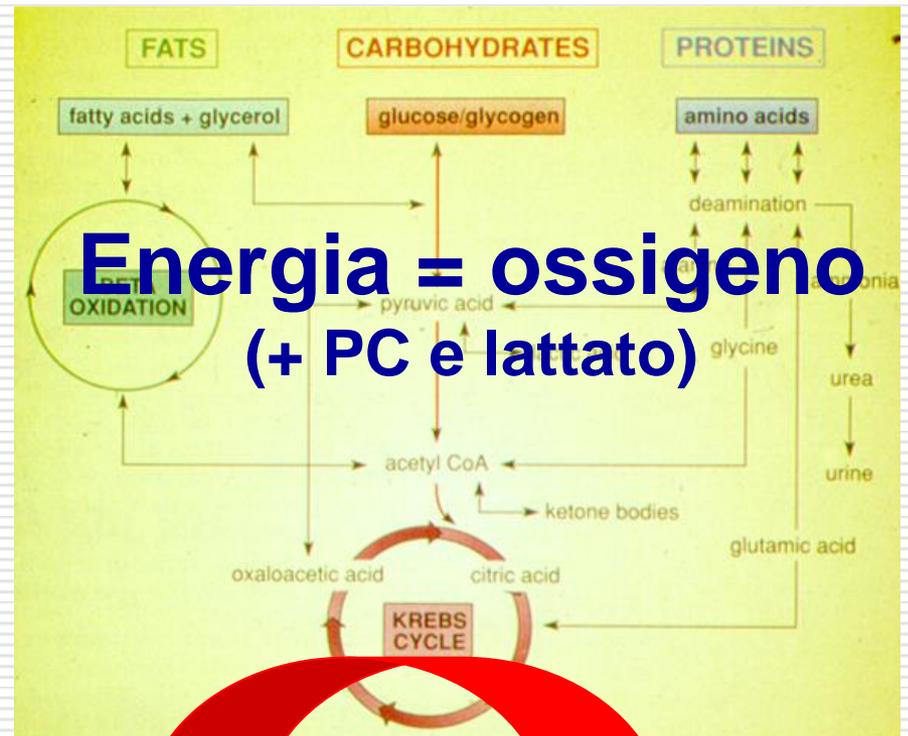
## Calorimetria diretta



# IL DISPENDIO ENERGETICO

Come  
misurare il  
dispendio  
energetico?

## Calorimetria indiretta



Energia = ossigeno  
(+ PC e lattato)

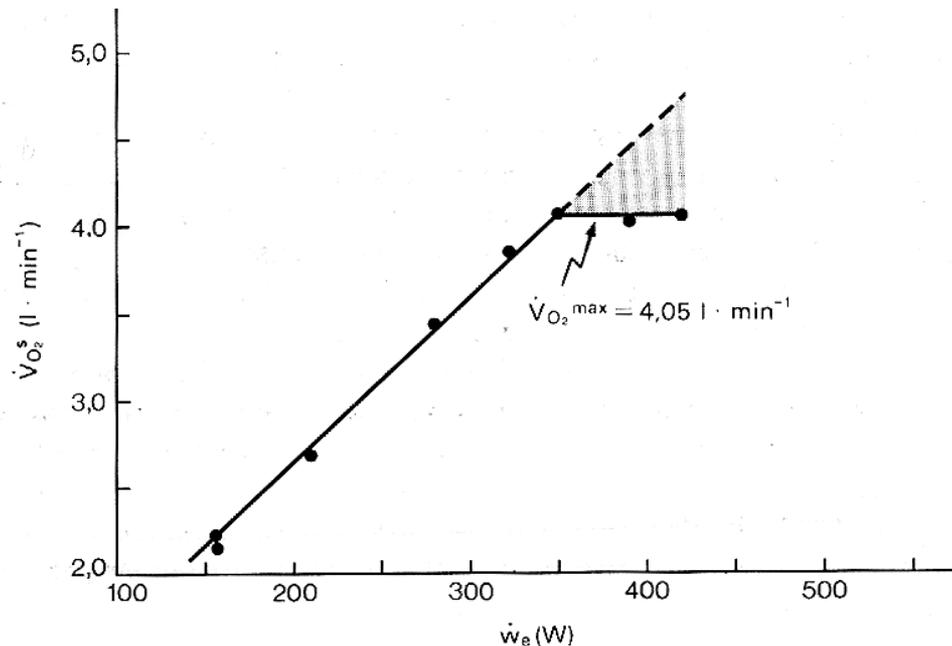
O<sub>2</sub>

H<sub>2</sub>O



# IL DISPENDIO ENERGETICO

poiché l'ossigeno è necessario alla produzione di energia, se aumenta l'intensità dello sforzo deve aumentare anche l'ossigeno consumato dall'organismo



# UNITA' DI MISURA DEL $V'O_2$

$V'O_2$  Assoluto =  
litri per minuto =  
 $l * \text{min}^{-1}$

$V'O_2$  dipende dalla quantità  
di massa muscolare  
attivata

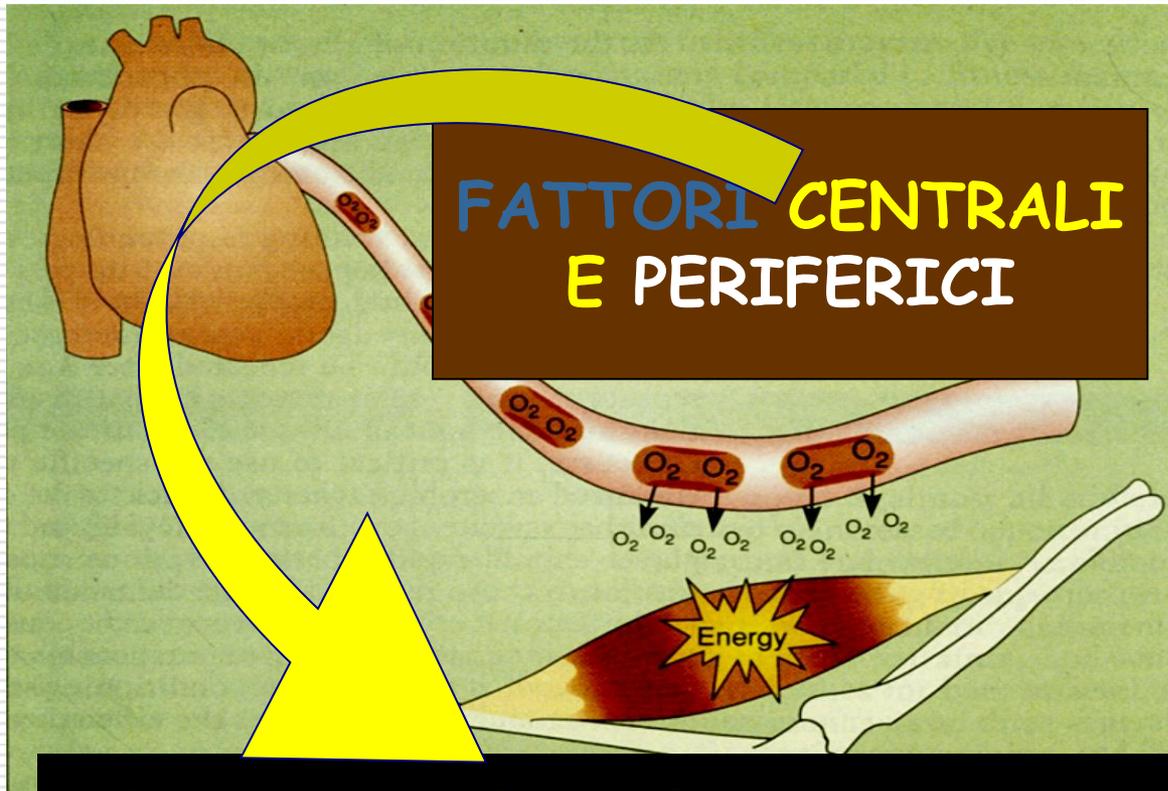
Perciò, specie nelle  
attività  
antigravitarie,

il  $V'O_2$  assoluto deve  
essere normalizzato

al peso corporeo  
 $\text{ml} * \text{kg}^{-1} * \text{min}^{-1}$



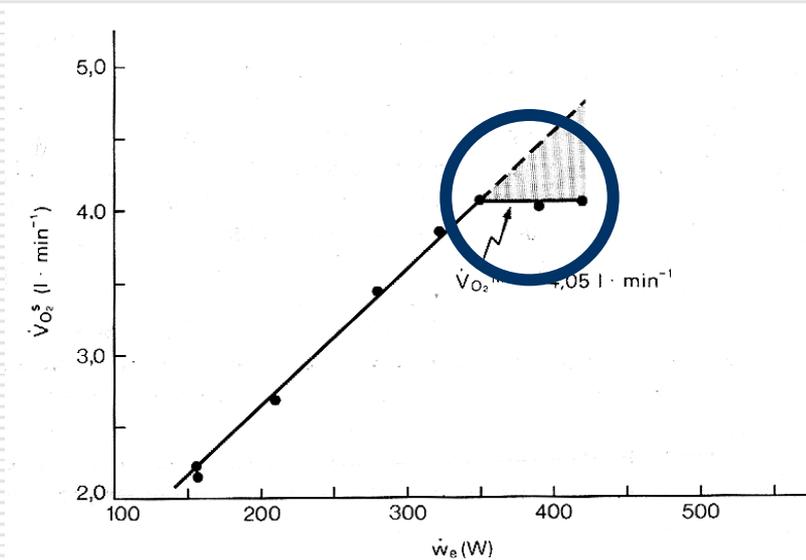
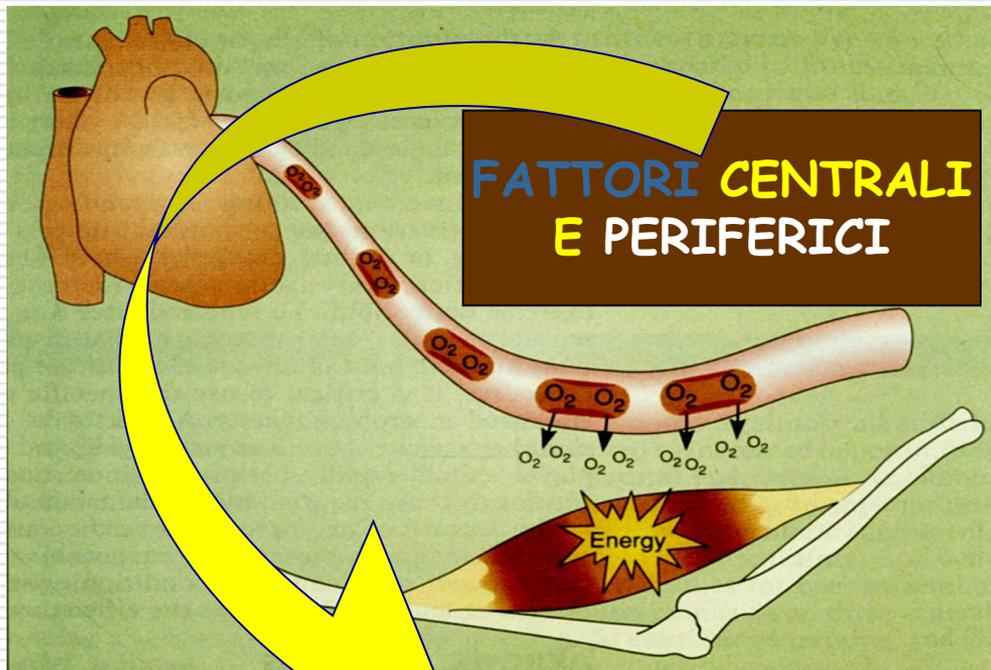
# PERCHE' AUMENTA IL $V'O_2$ DALLA CONDIZIONE DI RIPOSO AL MASSIMO SFORZO?



$$V'O_2 = Q' * (CaO_2 - CvO_2) \text{ (Fick)}$$



# QUALI SONO GLI INDICI PIU' IMPORTANTI DEL METABOLISMO AEROBICO?



$V'O_2\text{max}/V'O_2\text{peak}$

**Massima produzione ATP per via aerobica**



# **IL MASSIMO CONSUMO DI OSSIGENO**

---

**è una misura globale ed  
integrata di tutti quei  
meccanismi responsabili del  
trasporto di ossigeno e della  
sua utilizzazione nei  
mitocondri a livello cellulare**

---



# **IL MASSIMO CONSUMO DI OSSIGENO**

---

**è una misura globale ed  
integrata di tutti quei  
meccanismi responsabili del  
trasporto di ossigeno e della  
sua utilizzazione nei  
mitocondri a livello cellulare**

---



# IL MASSIMO CONSUMO DI OSSIGENO

---

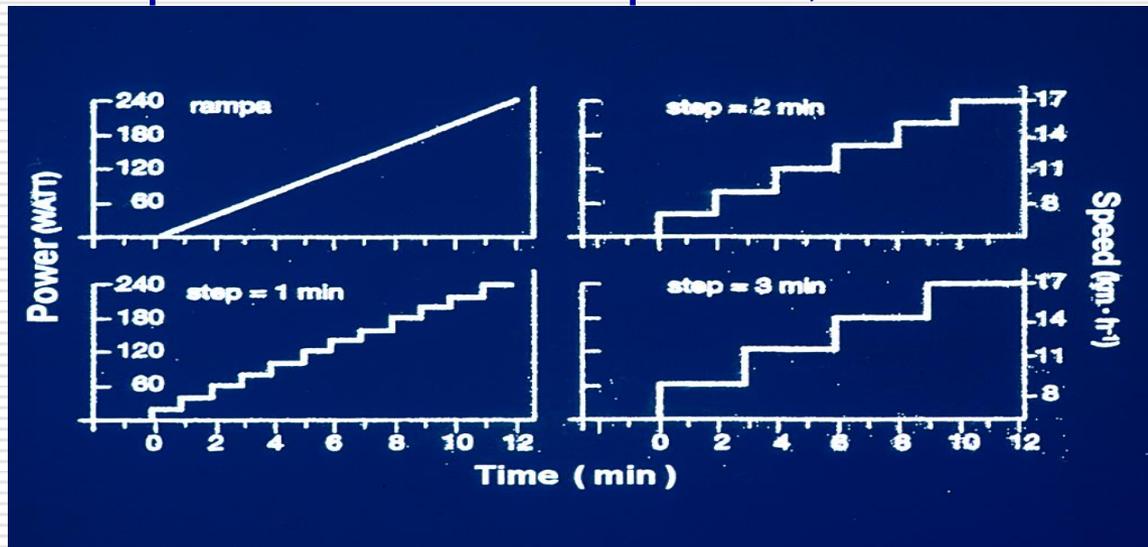
**IL  $V'O_2$  *max* E' L'INDICE PIU' UTILIZZATO PER VALUTARE  
LA FUNZIONALITA' CARDIO-RESPIRATORIA E  
METABOLICA**

**L'ANALISI ACCURATA DEI DATI DI UN TEST CARDIO-  
POLMONARE CONSENTE DI VALUTARE, IN MODO  
NON INVASIVO, LA FUNZIONALITA' DEGLI APPARATI  
CARDIO-VASCOLARE E RESPIRATORIO E  
L'EQUILIBRIO DEL RAPPORTO VENTILAZIONE-  
PERFUSIONE POLMONARE**



# IL MASSIMO CONSUMO DI OSSIGENO

- **Determinazione diretta del  $\dot{V}O_{2\max}$** 
  - Metabolimetri
  - Specificità dell'esercizio
  - Durata: 7 - 10/12 minuti
  - Tipo di test: onda quadra, incrementale, step



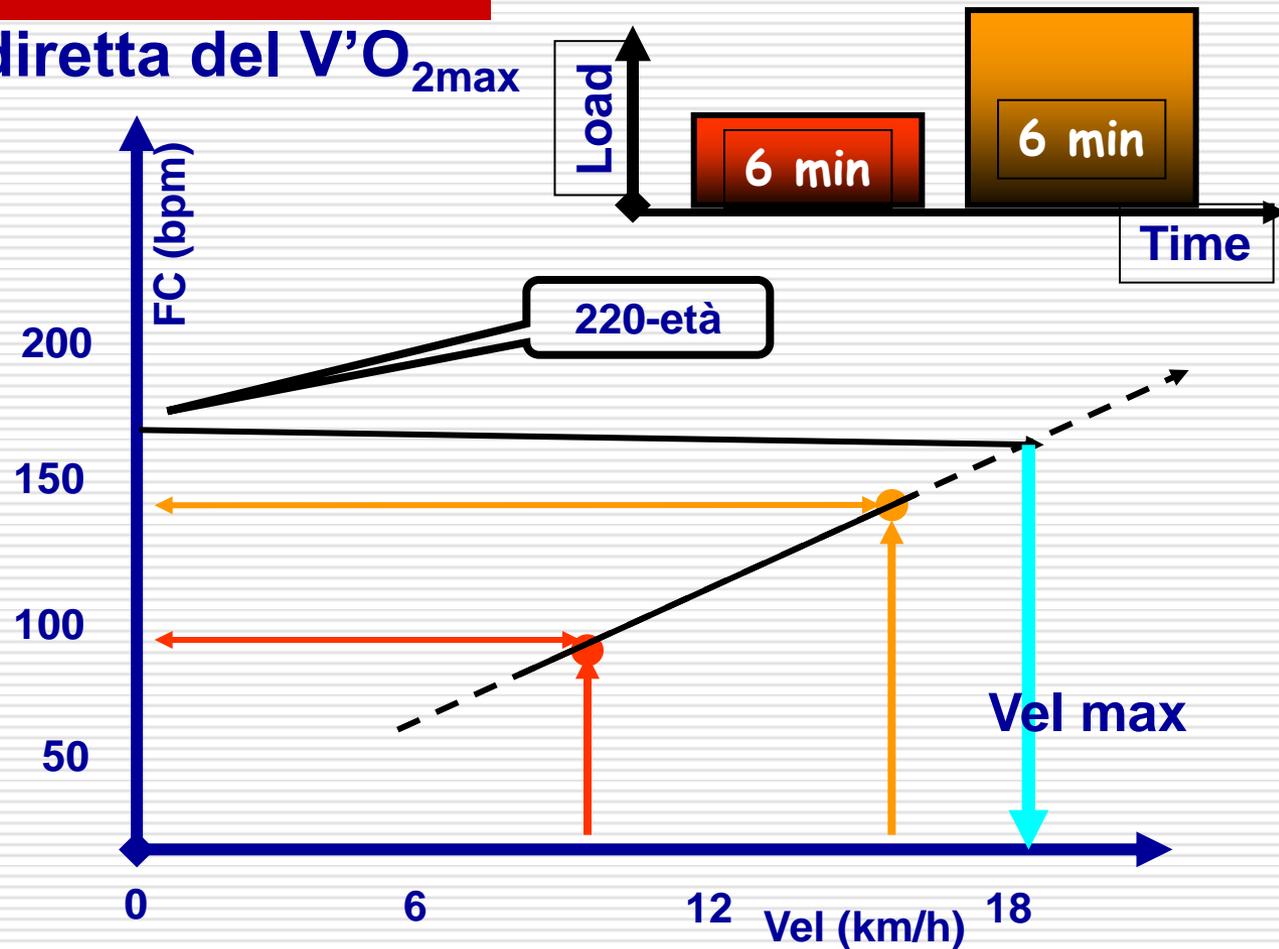
# IL MASSIMO CONSUMO DI OSSIGENO: TEST INDIRETTI

## Determinazione indiretta del $\dot{V}'O_{2max}$

### Double Step test

#### Principi ed assunzioni

- Si assume una relazione lineare tra  $Q'$  e  $\dot{V}'O_2$  e, quindi, tra FC e  $\dot{V}'O_2$
- In realtà si utilizza la relazione WL-FC
- Si calcola la  $F_{cmax}$  teorica del soggetto
  - a.  $220 - \text{età (aa)}$
  - b.  $208 - 0.7 \cdot \text{età (aa)}$
- Si assume che la relazione tra WL e  $\dot{V}'O_2$  sia lineare ed a rendimento dell'esercizio costante



# IL V'O<sub>2</sub> MAX: VALORI DI RIFERIMENTO

Male rating	Age (years)					
	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	66+
Excellent	80-63	70-58	77-53	60-47	58-43	50-38
Good	59-53	54-50	49-44	43-40	39-37	36-33
Above average	51-47	47-44	42-40	38-35	35-33	32-29
Average	46-43	42-40	38-35	35-32	31-30	28-25
Below average	41-38	39-35	34-32	31-29	29-26	25-22
Poor	35-31	34-31	30-27	28-26	25-22	21-20
Very poor	29-20	28-20	25-19	23-18	21-16	18-15
<b>Female rating</b>						
Excellent	71-58	69-54	66-46	64-42	57-38	51-33
Good	54-48	51-46	44-39	39-35	36-32	31-28
Above average	46-42	43-40	37-34	33-31	31-28	27-25
Average	41-39	38-35	33-31	30-28	27-25	24-22
Below average	37-34	34-31	30-28	27-25	24-22	22-20
Poor	32-29	30-26	26-23	24-21	21-19	18-17
Very poor	26-18	25-20	21-18	19-16	17-14	16-14

Adapted from Golding, Myers, and Sinning (1989).

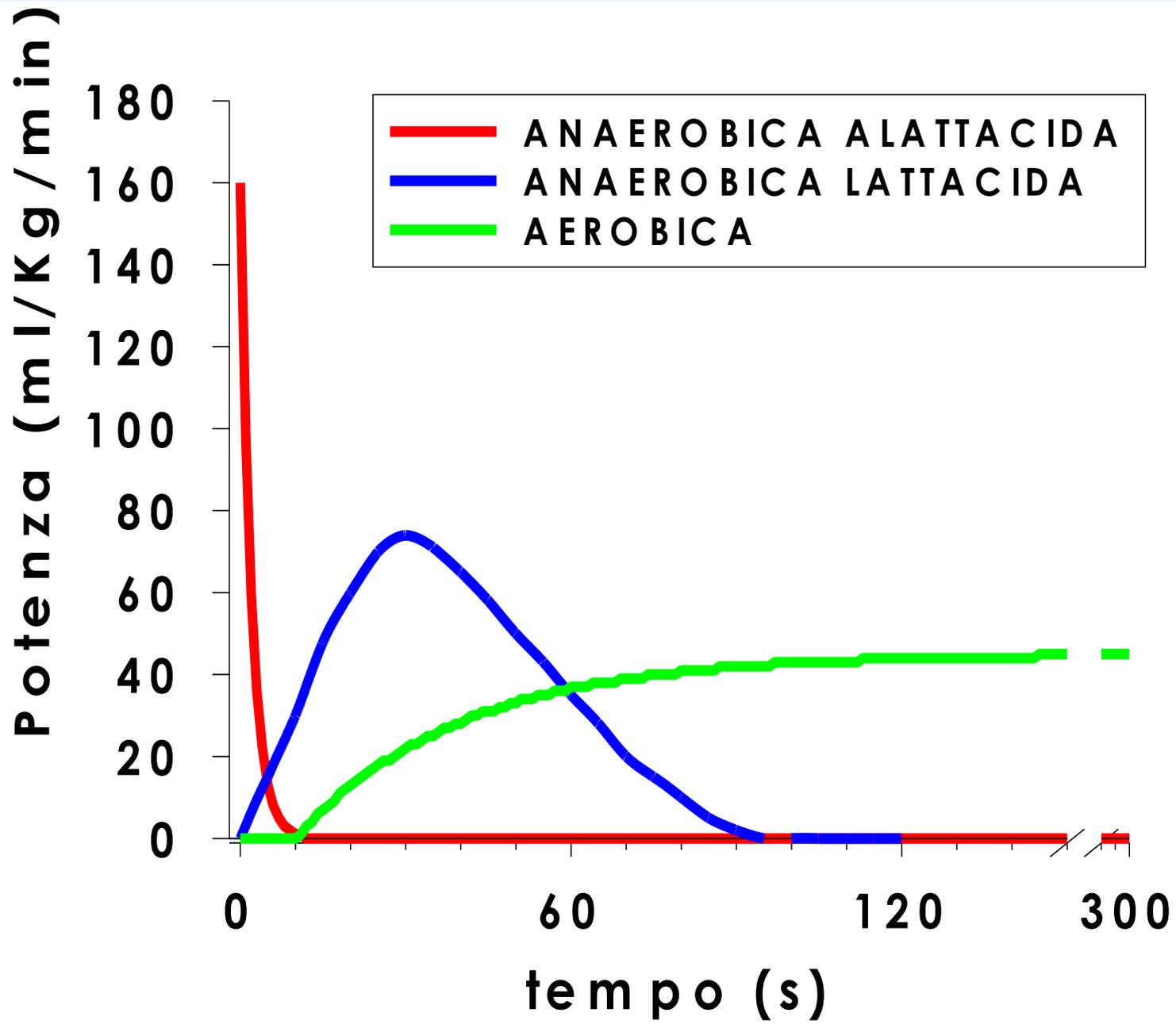


---

$$V_{\max} = \frac{\dot{E}_{\max}}{C}$$

Di Prampero "La locomozione umana su terra, in acqua, in aria", 1985

---



# CONSUMO DI OSSIGENO

*determinanti fisiologici*

---

$$\dot{V}O_2 = \dot{Q} * (CaO_2 - \bar{Cv}O_2)$$

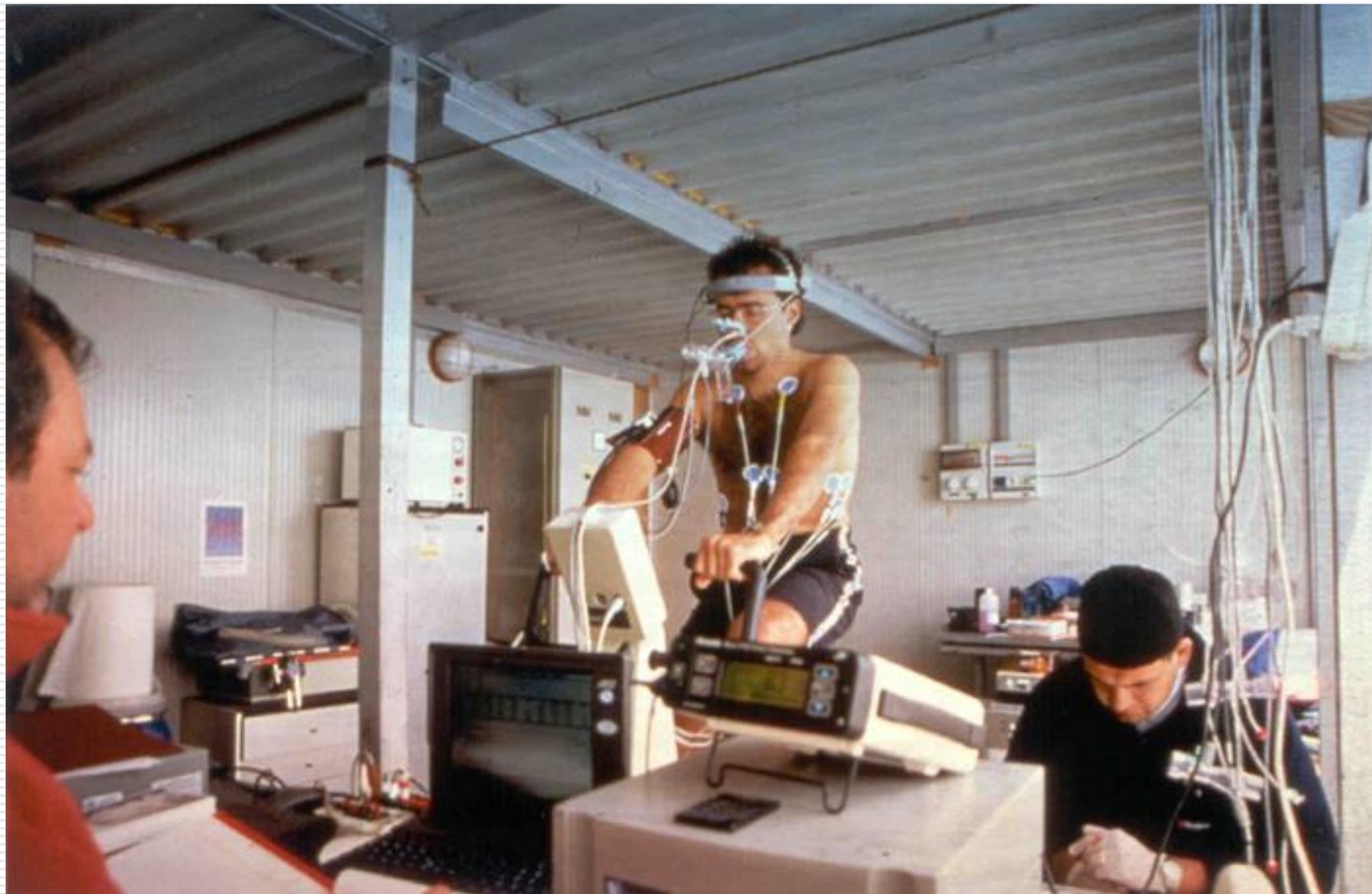
□  $\dot{Q} = FC * Gp$

□  $CaO_2 = [Hb] * 1,34 * SaO_2$

□  $\bar{Cv}O_2 = [Hb] * 1,34 * \bar{Sv}O_2$

---

# Misura del $\text{VO}_2\text{max}$



## *Attraverso un test massimale:*

---

- ✓ misura del  $\text{VO}_2\text{max}$
  - ✓ relazione  $\text{VO}_2/\text{W}$
  - ✓  $\text{FCmax}$
  - ✓  $\text{Wmax}$
  - ✓ relazione individuale  $\text{FC}/\text{VO}_2$
-

## *Misure indirette (Test da campo)*

Basate su parametri non-ventilatori e/o test sottomassimali:

✓ ~~indici di performance aerobica~~

---

✓ stime indirette

### *Vantaggi:*

✓ basso costo

✓ tempi di esecuzione rapidi

✓ personale/apparecchiatura non tecnici

✓ sforzo sottomassimale (minore necessità di motivazione)

✓ ridotto rischio medico

✓ buona precisione

### *Svantaggi:*

✓ influenza di variabili ambientali

✓ impossibile valutare variabili importanti

✓ bassa accuratezza

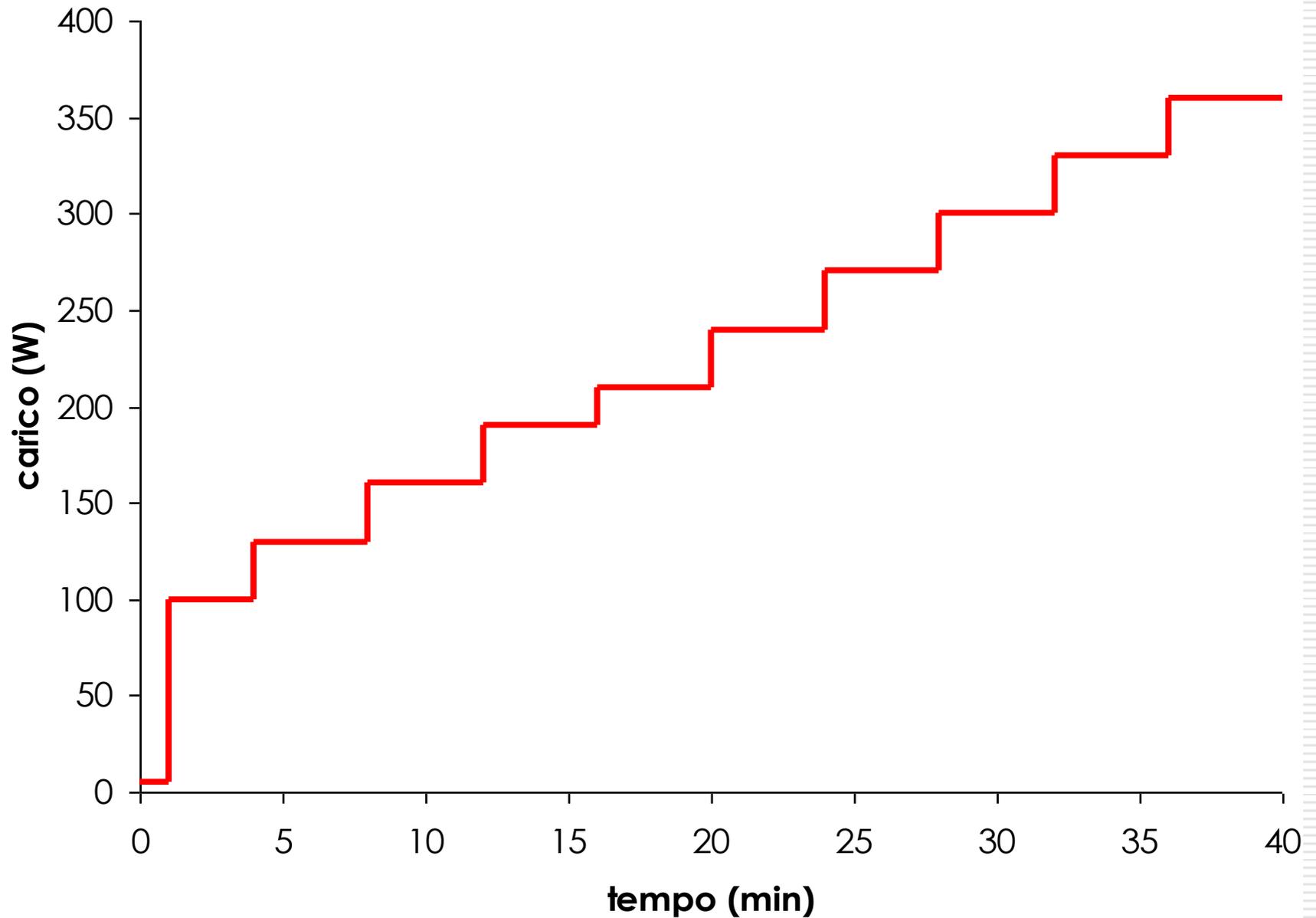
---

✓ applicati da personale non esperto

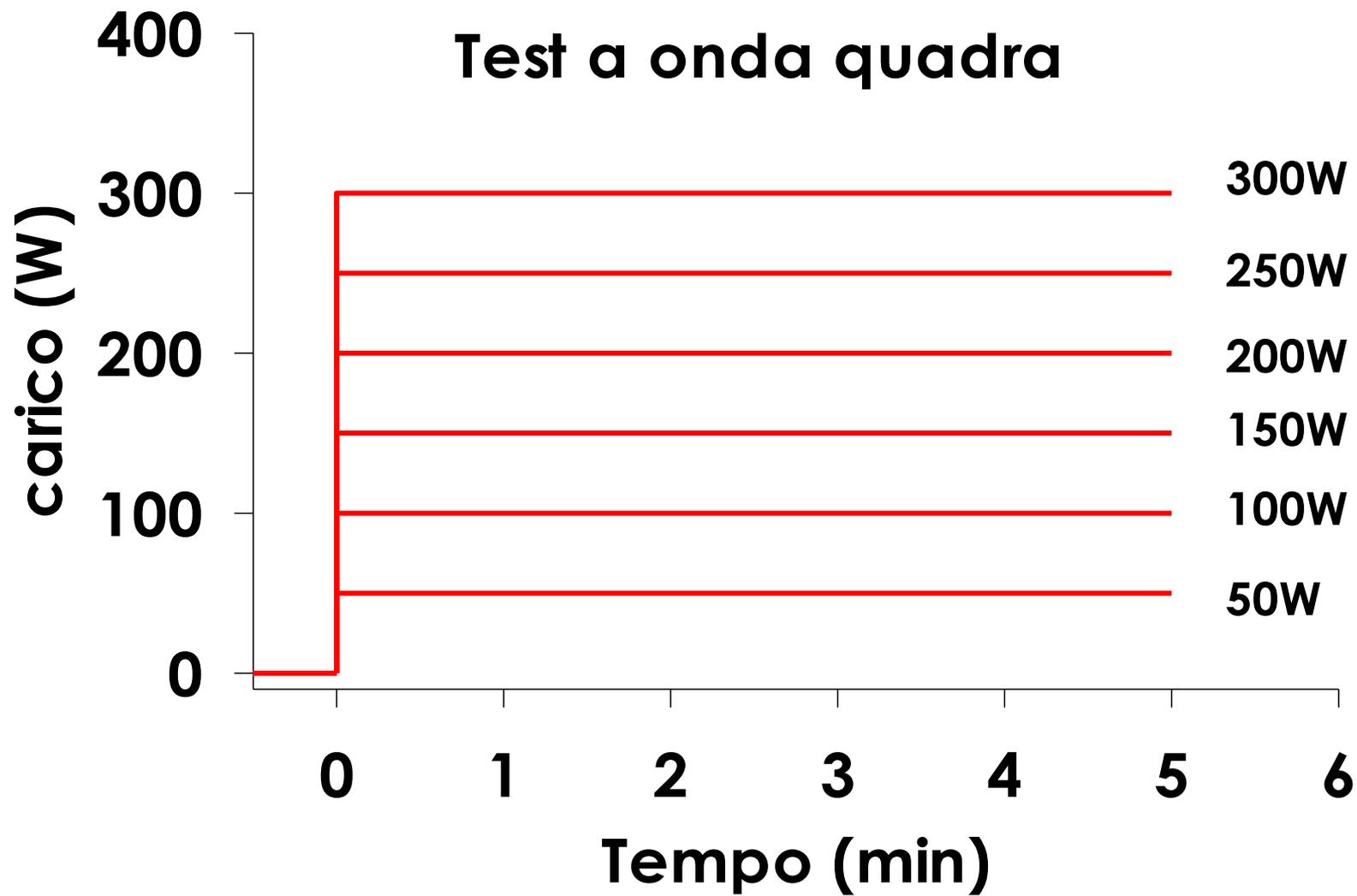
## La valutazione indiretta del $\dot{V}O_2$ max basata su FC assume:

- ✓ misura del  $\dot{V}O_2$  o  $\dot{V}O_2$  “noto”
- ✓ FC ad equilibrio
- ✓ relazione lineare tra FC e costo energetico
- ✓ costante relazione individuale FC/ $\dot{V}O_2$
- ✓ stima accurata della  $FC_{\max}$

# *Test incrementali, continui*



*Test ad onda quadra, discontinui*



## *Attraverso un test massimale:*

---

- ✓ misura del  $\text{VO}_2\text{max}$
  - ✓ relazione  $\text{VO}_2/\text{W}$
  - ✓  $\text{FCmax}$
  - ✓  $\text{Wmax}$
  - ✓ relazione individuale  $\text{FC}/\text{VO}_2$
-

## *Misure indirette (Test da campo)*

Basate su parametri non-ventilatori e/o test sottomassimali:

✓ ~~indici di performance aerobica~~

---

✓ stime indirette

### *Vantaggi:*

✓ basso costo

✓ tempi di esecuzione rapidi

✓ personale/apparecchiatura non tecnici

✓ sforzo sottomassimale (minore necessità di motivazione)

✓ ridotto rischio medico

✓ buona precisione

### *Svantaggi:*

✓ influenza di variabili ambientali

✓ impossibile valutare variabili importanti

✓ bassa accuratezza

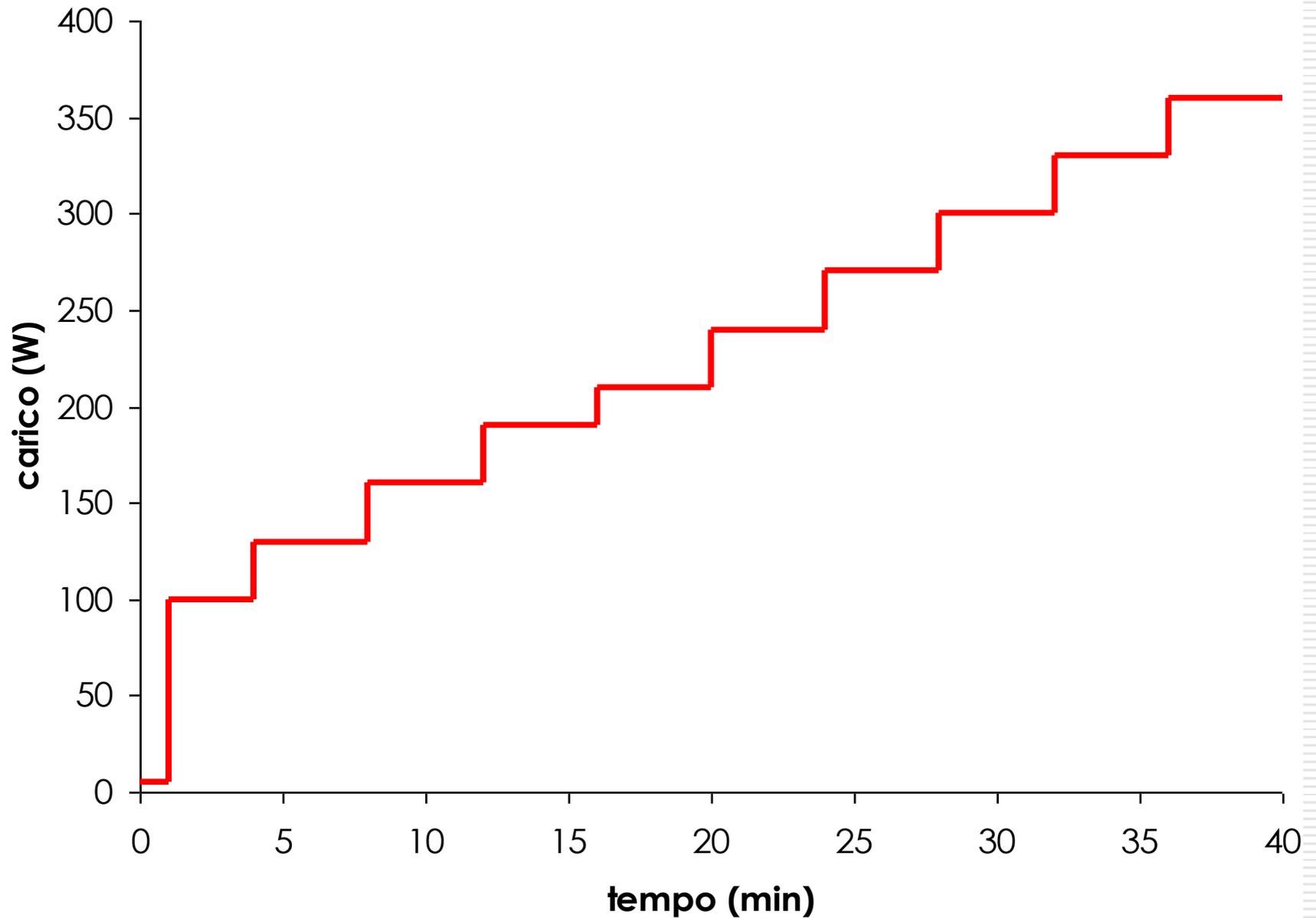
---

✓ applicati da personale non esperto

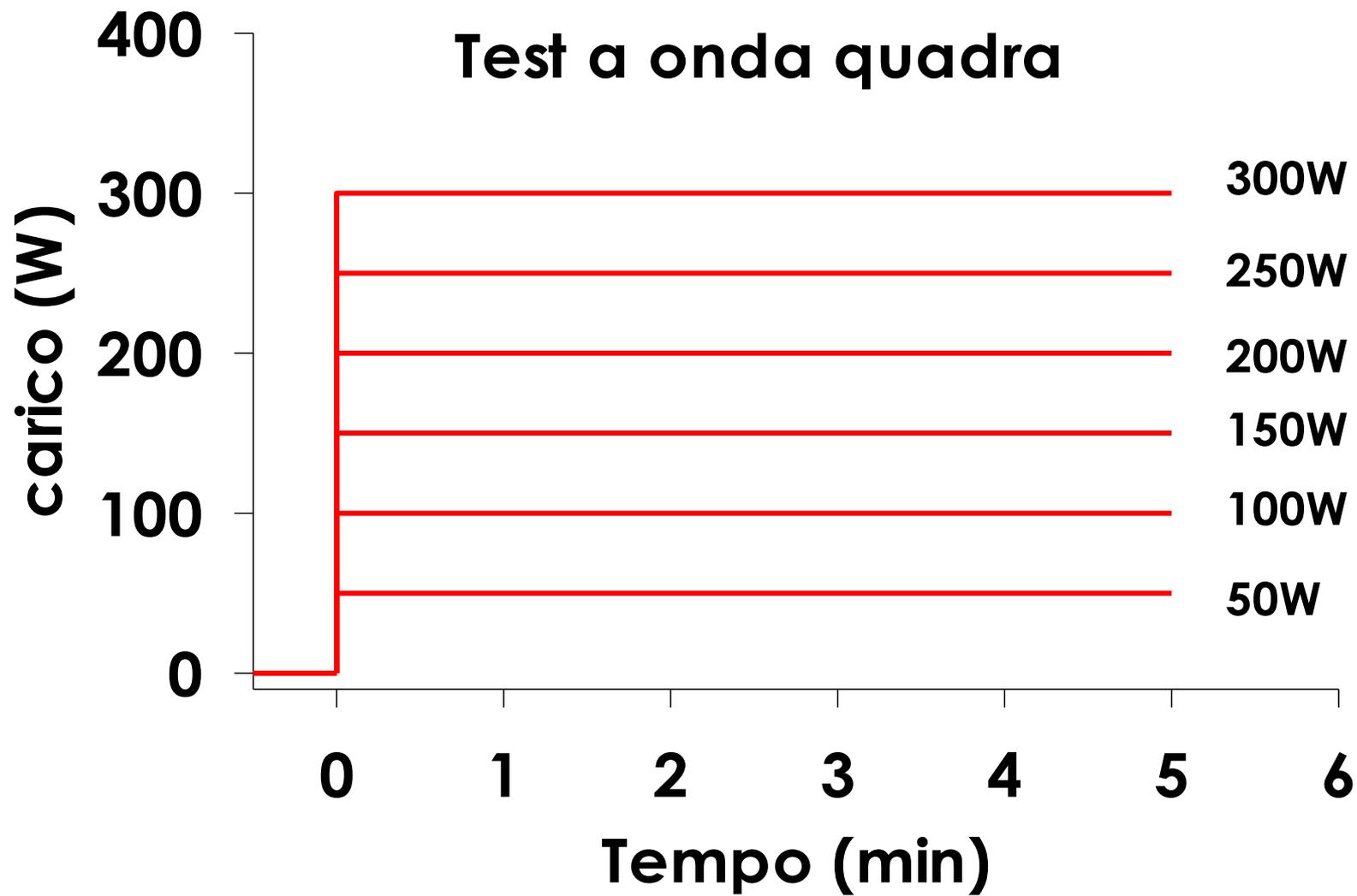
## La valutazione indiretta del $\dot{V}O_2$ max basata su FC assume:

- ✓ misura del  $\dot{V}O_2$  o  $\dot{V}O_2$  “noto”
- ✓ FC ad equilibrio
- ✓ relazione lineare tra FC e costo energetico
- ✓ costante relazione individuale FC/ $\dot{V}O_2$
- ✓ stima accurata della  $FC_{\max}$

# Test incrementali, continui

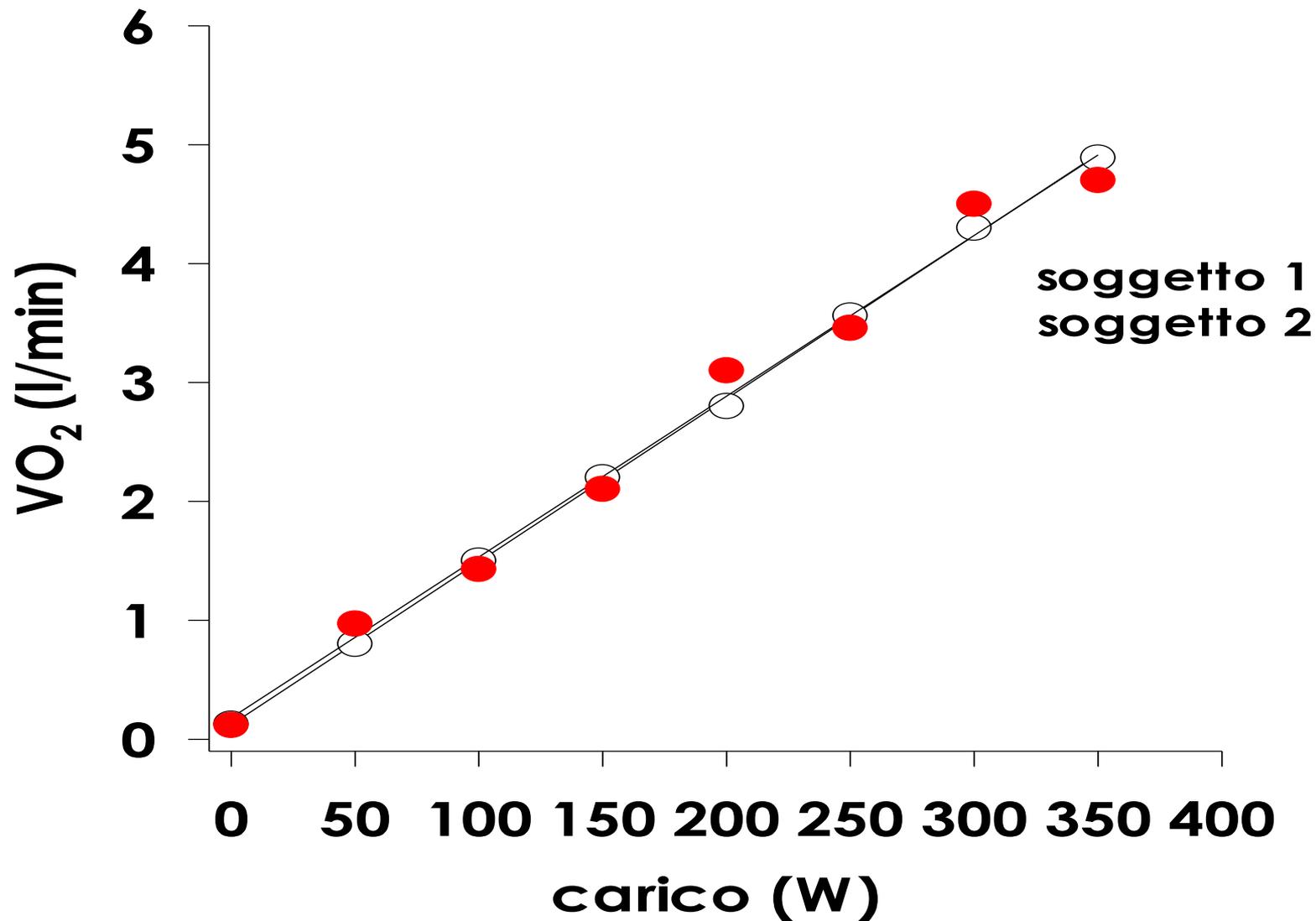


*Test ad onda quadra, discontinui*

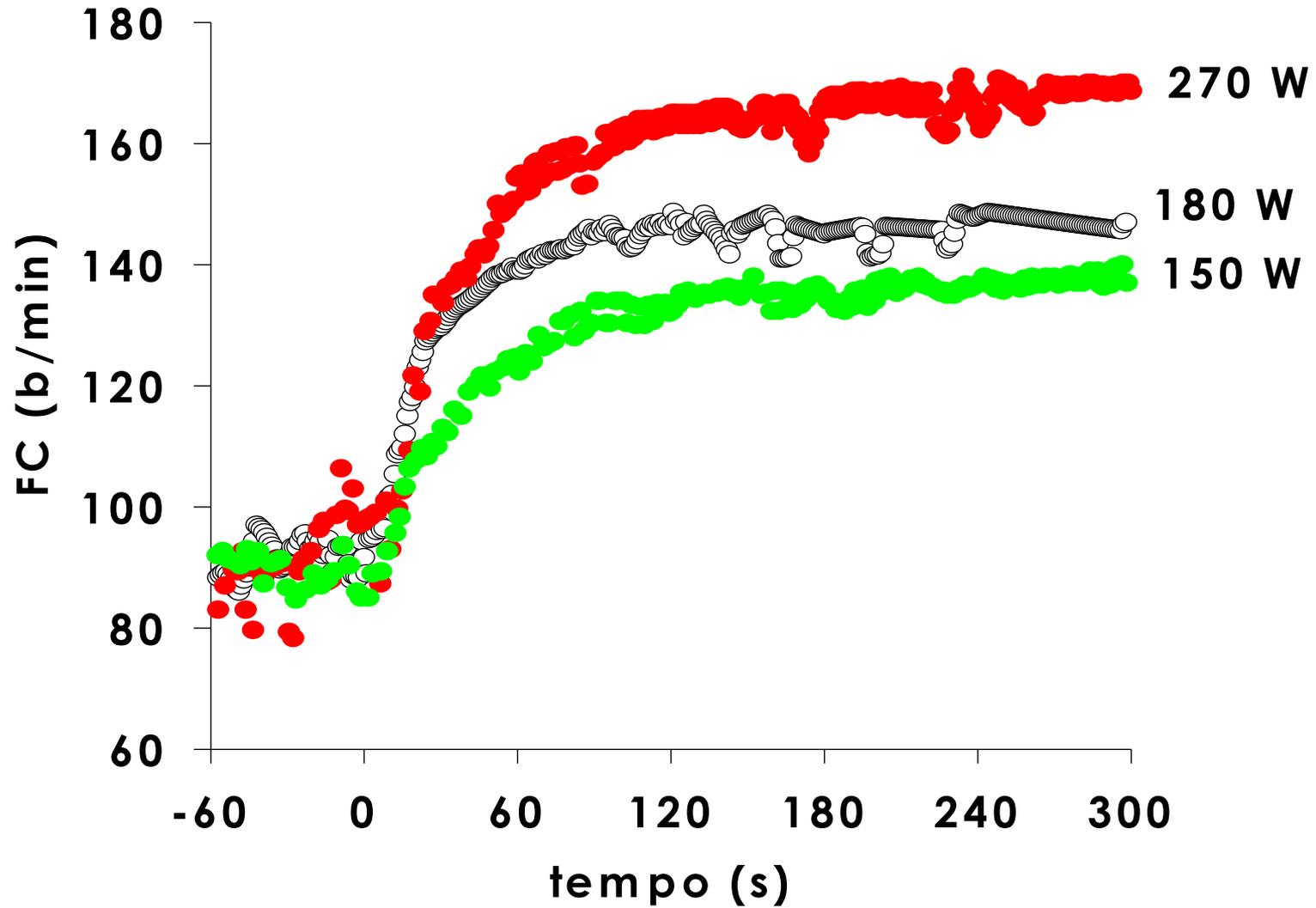


	Sogg. 1	Sogg.2	Sogg. 1	Sogg.2
W	VO2	VO2	FC	FC
0	0.129	0.118	70	60
50	0.800	0.970	90	75
100	1.500	1.429	110	90
150	2.200	2.104	130	105
200	2.800	3.100	150	120
250	3.560	3.458	170	135
300	4.300	4.500	190	150
350		4.700		165

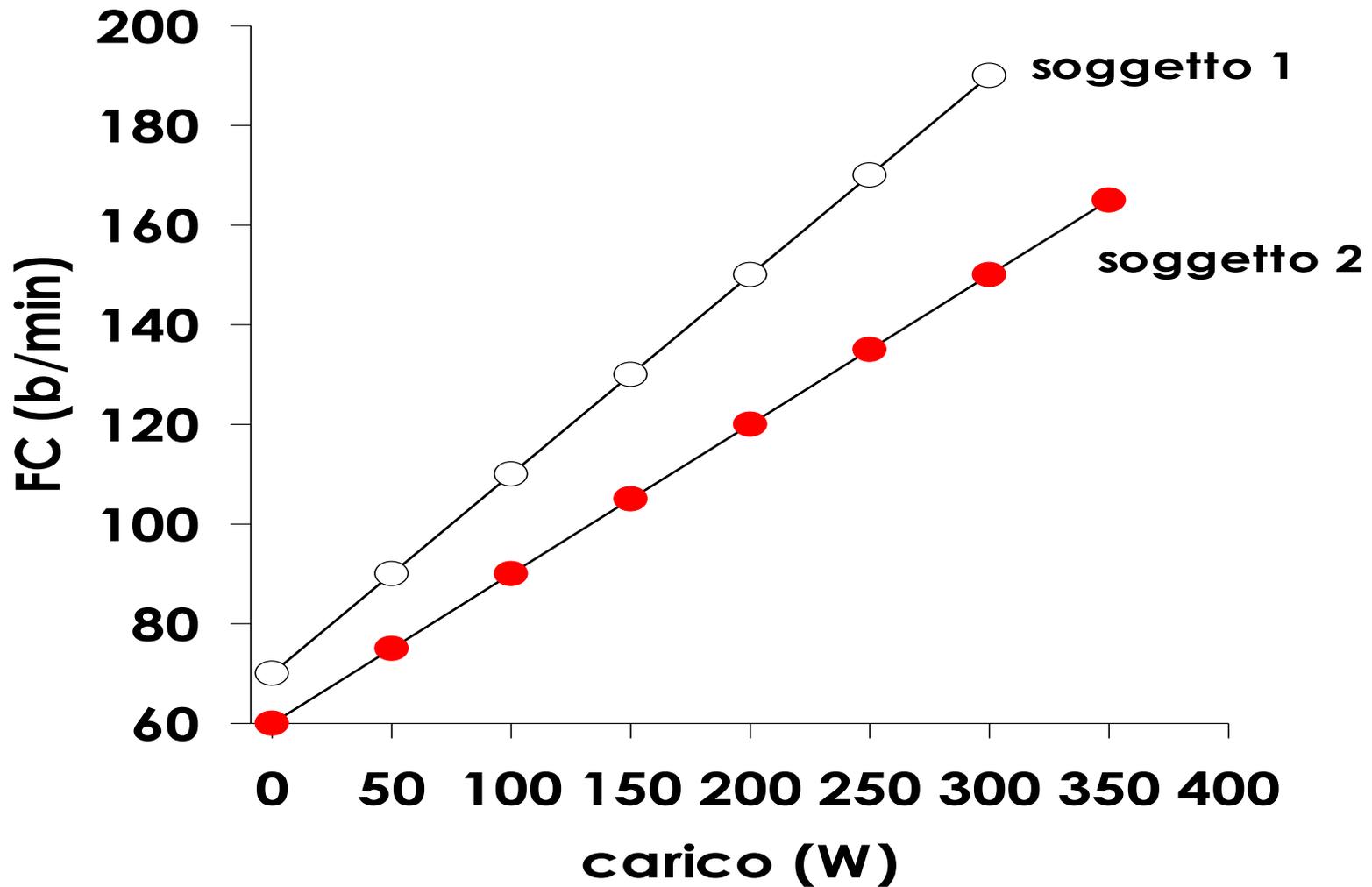
✓ misura del  $\dot{V}O_2$  o  $\dot{V}O_2$  "noto"



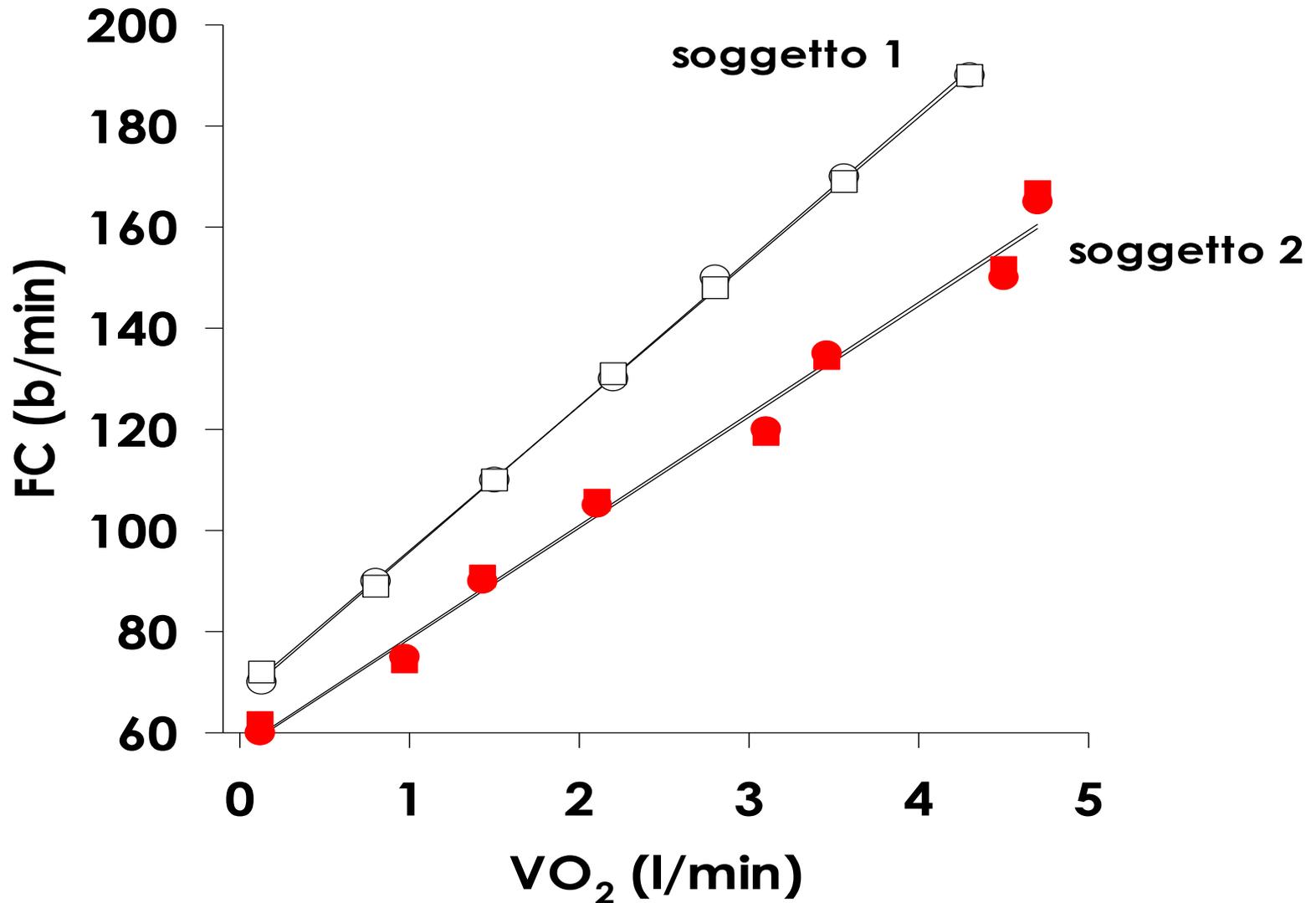
✓ FC ad equilibrio



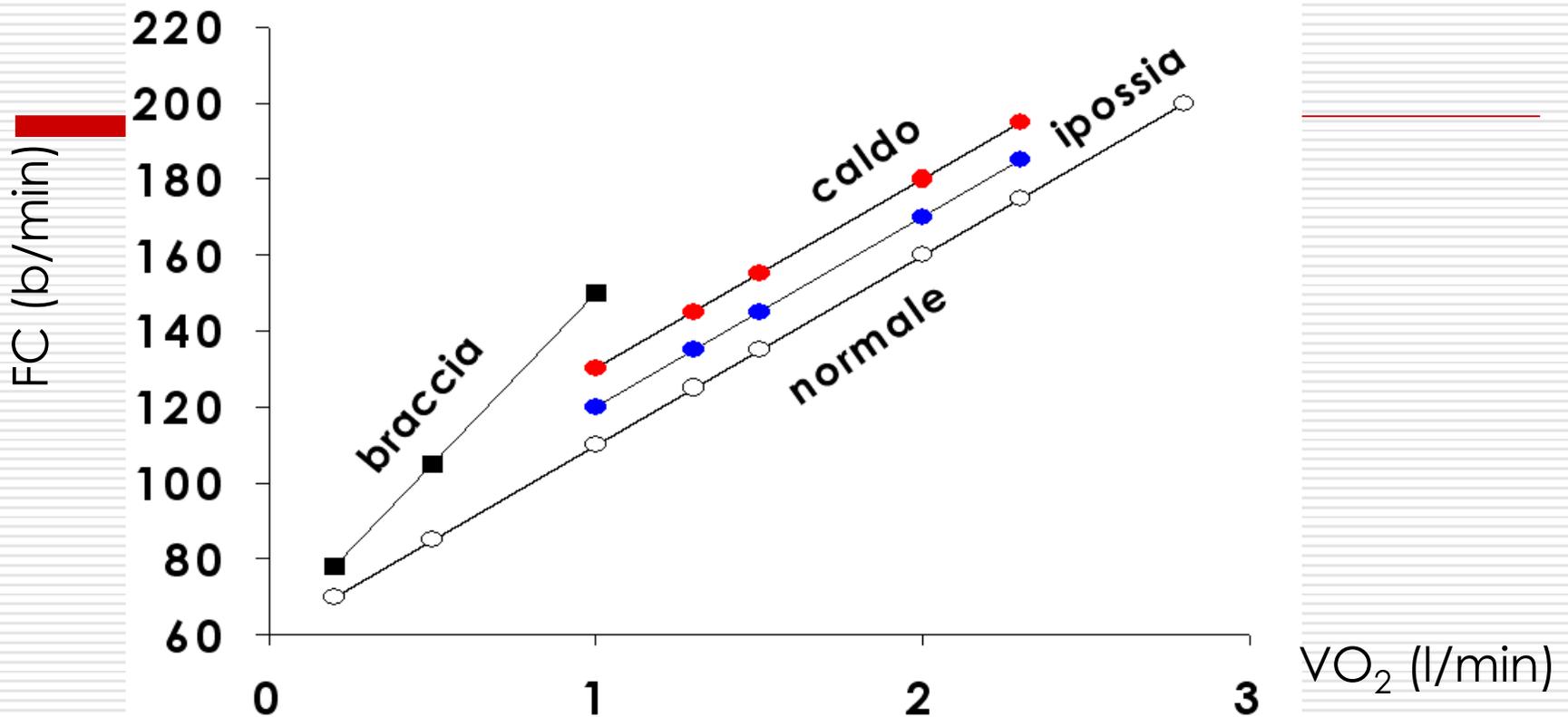
✓ relazione lineare tra FC e costo energetico



✓ relazione lineare tra FC e costo energetico



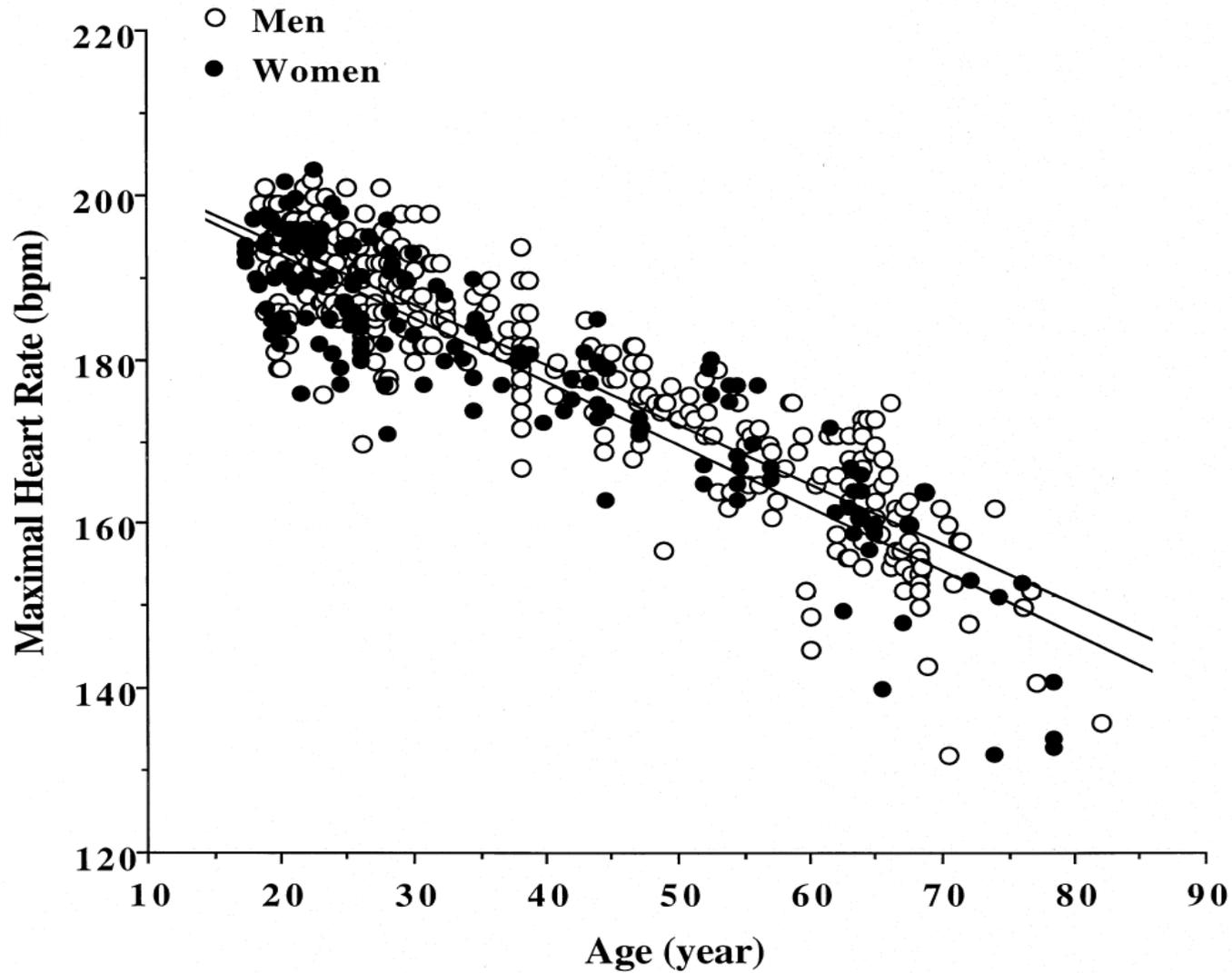
✓ costante relazione individuale FC/VO<sub>2</sub>



- temperatura ambiente
- umidità relativa
- tipo di esercizio
- sonno
- pressione barometrica

- composizione dell'aria
- ora del giorno
- idratazione
- composizione della dieta
- distanza dal pasto

✓ Stima accurata di  $FC_{max}$



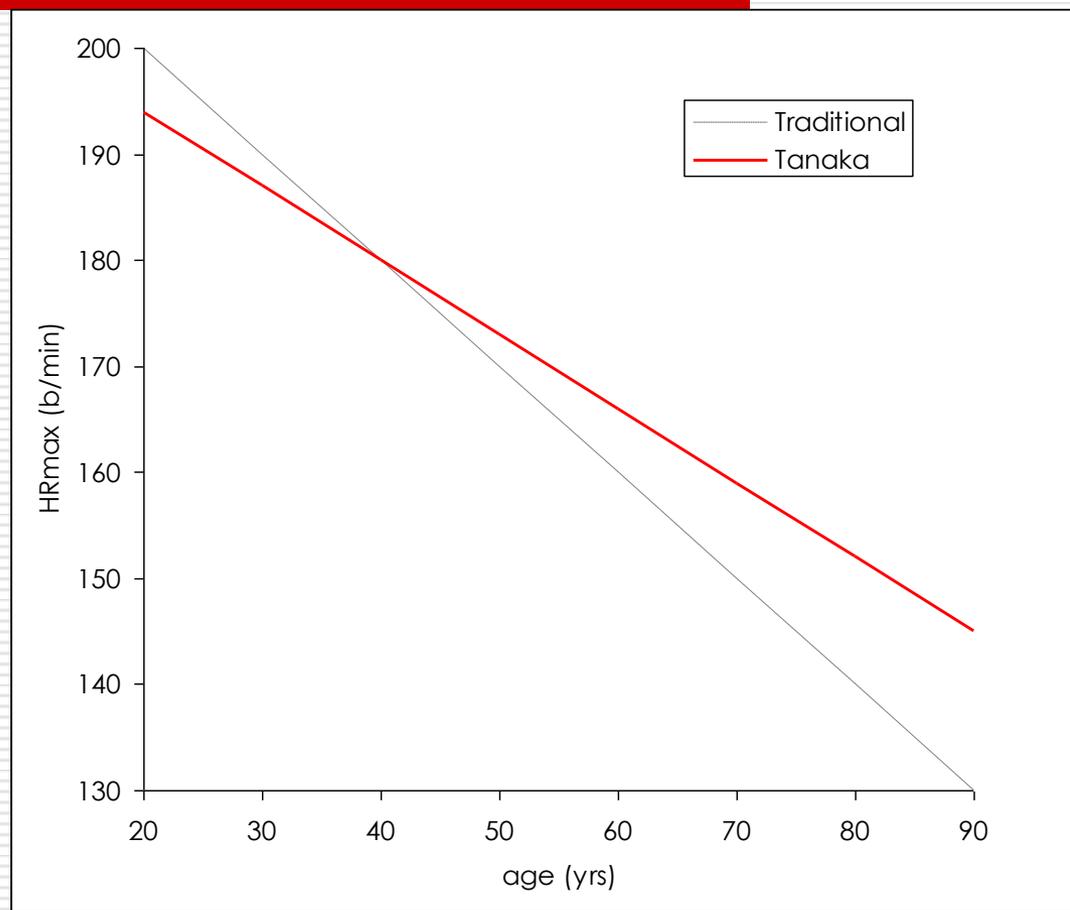
From: "Age-predicted  $HR_{max}$  revisited" Tanaka et al., J Am Coll Cardiol, 37(1): 153-6,

# ✓ accurate estimation of $HR_{max}$

age	20	30	40	50	60	70	80	90
Traditional	200	190	180	170	160	150	140	130
Tanaka	194	187	180	173	166	159	152	145
<b>difference</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>-3</b>	<b>-6</b>	<b>-9</b>	<b>-12</b>	<b>-15</b>

$$HR_{max} \text{ (b/min)} = 220 - \text{age (yrs)}$$

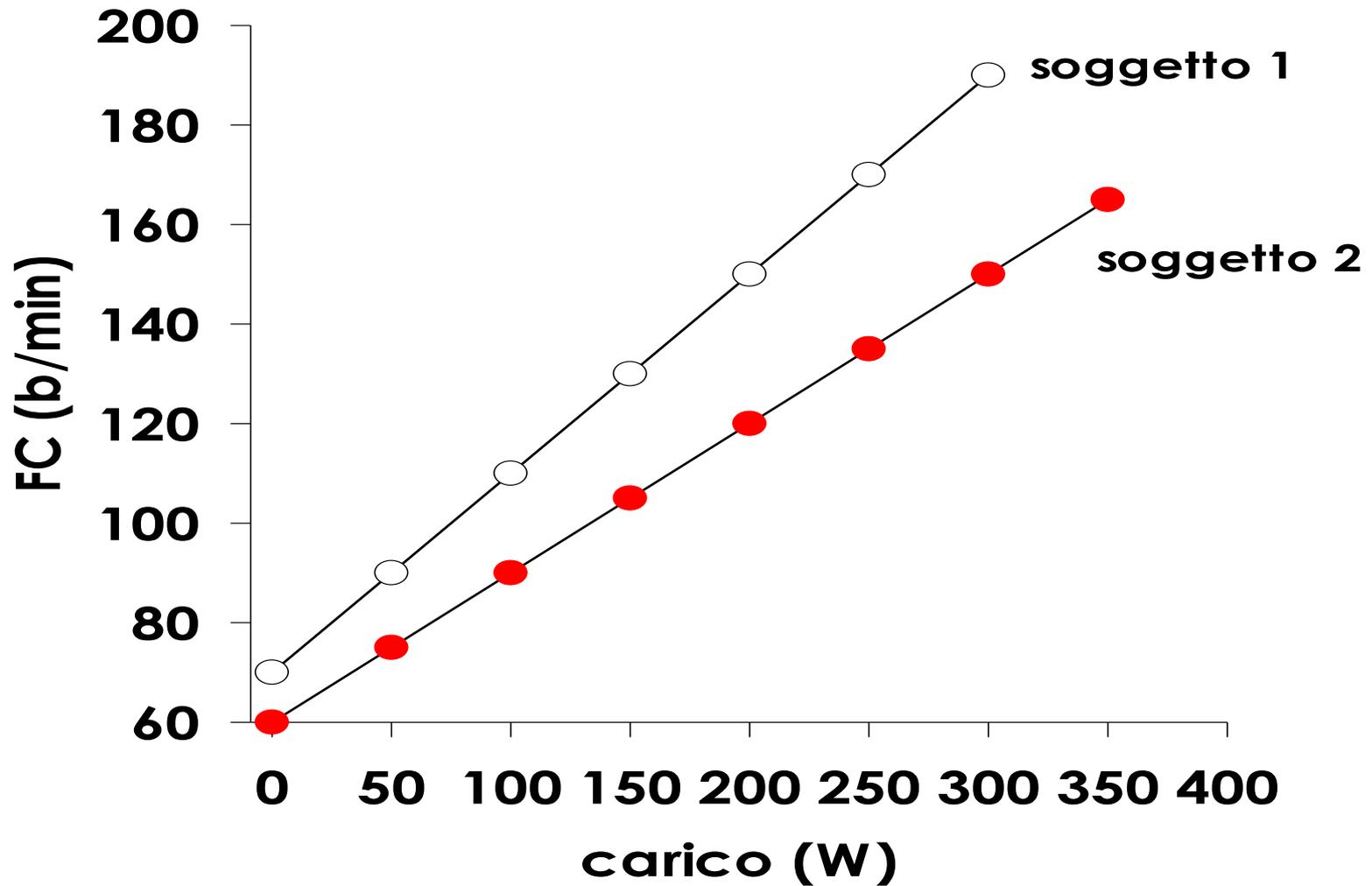
$$HR_{max} \text{ (b/min)} = 208 - (0.8 * \text{age})$$



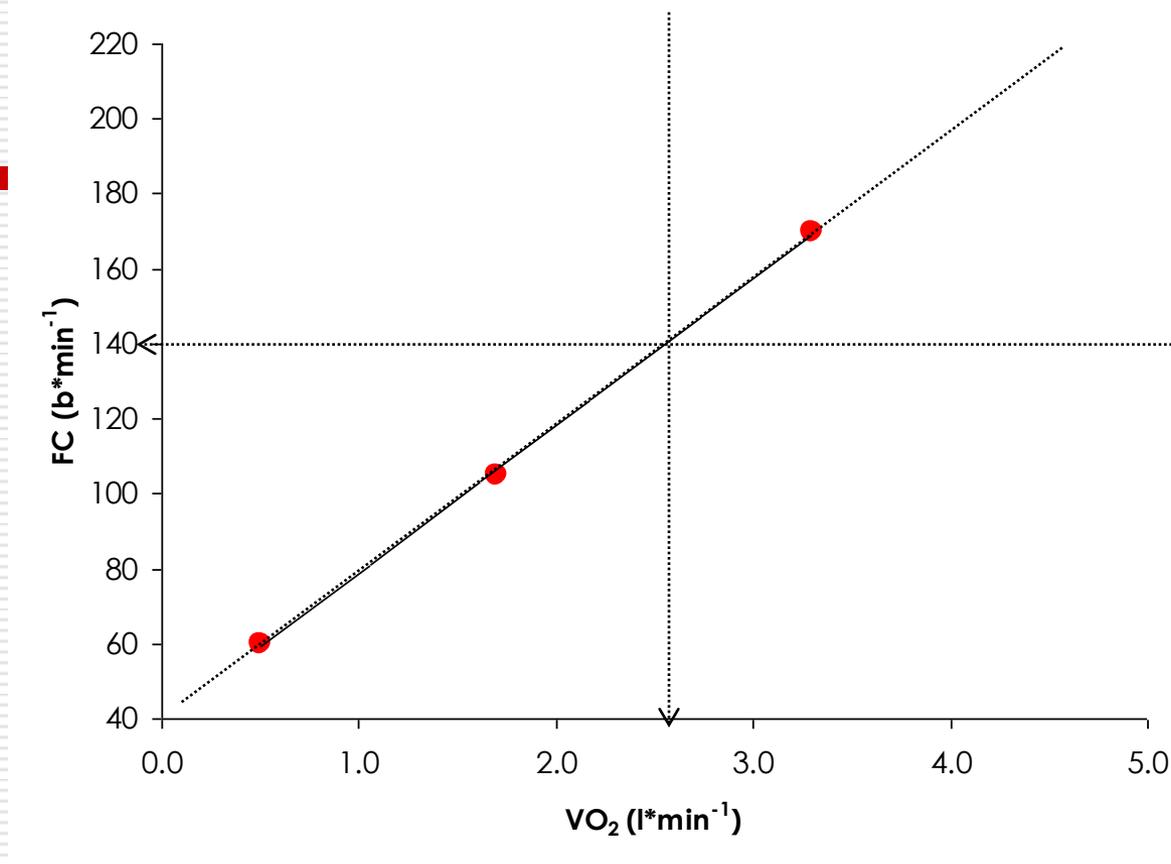
From: "Age-predicted  $HR_{max}$  revisited" Tanaka et al., J Am Coll Cardiol, 37(1): 153-6, 2001

soggetto 1:  $y=70+0.4(x)$

soggetto 2:  $y=60+0.3(x)$

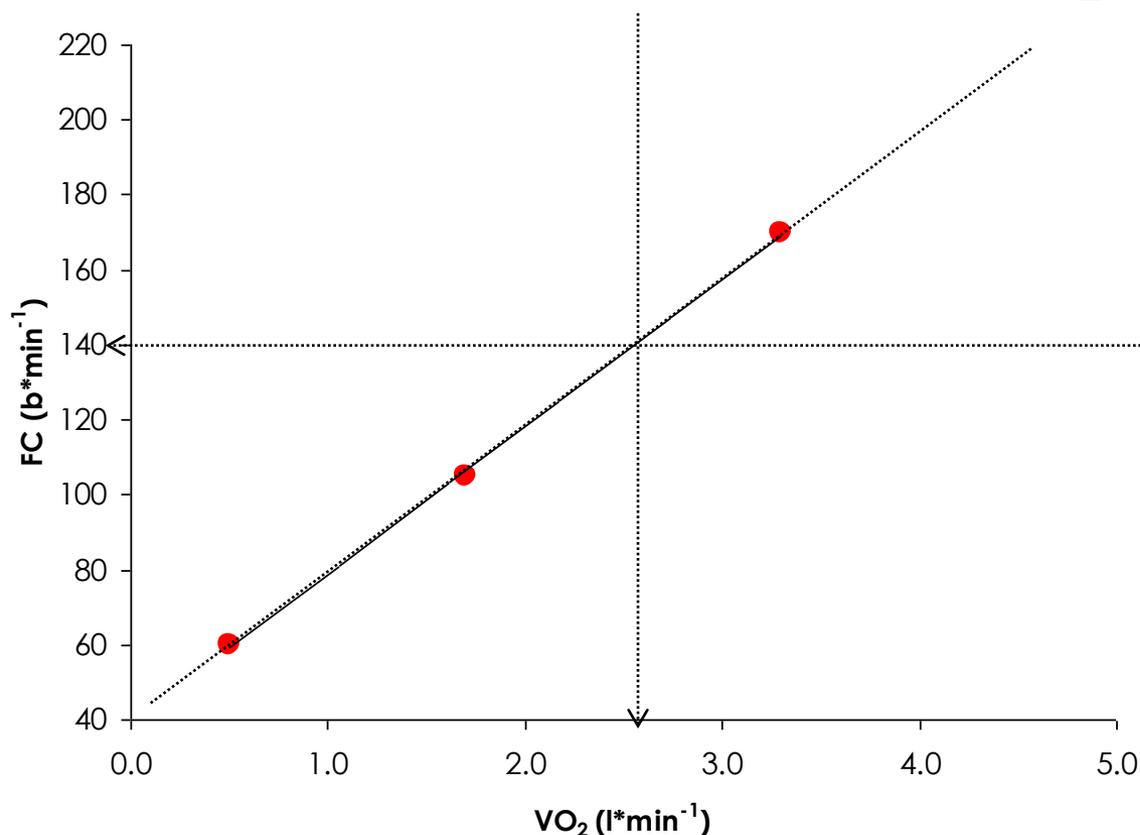


Conoscere la relazione individuale FC/ $\text{VO}_2$  consente di:



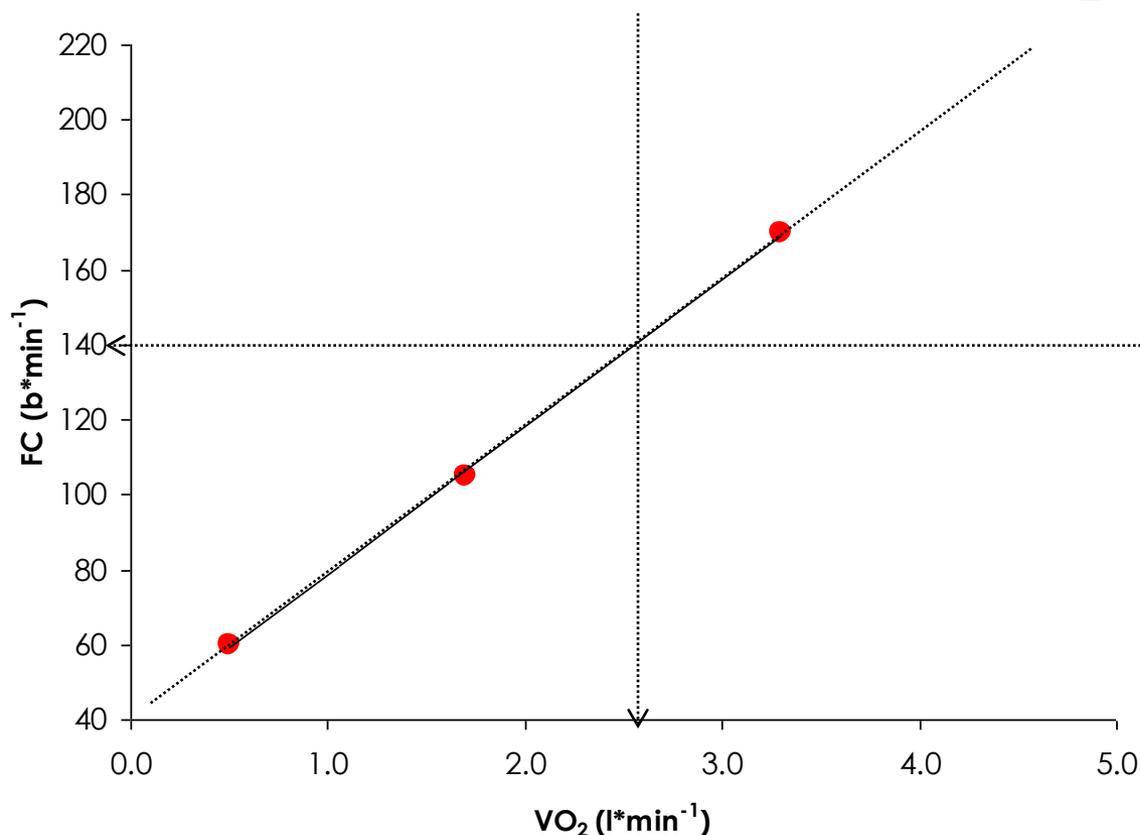
- ✓ stimare FC e  $\text{VO}_2$  di carichi intermedi non testati

Conoscere la relazione individuale FC/ $\text{VO}_2$  consente di:



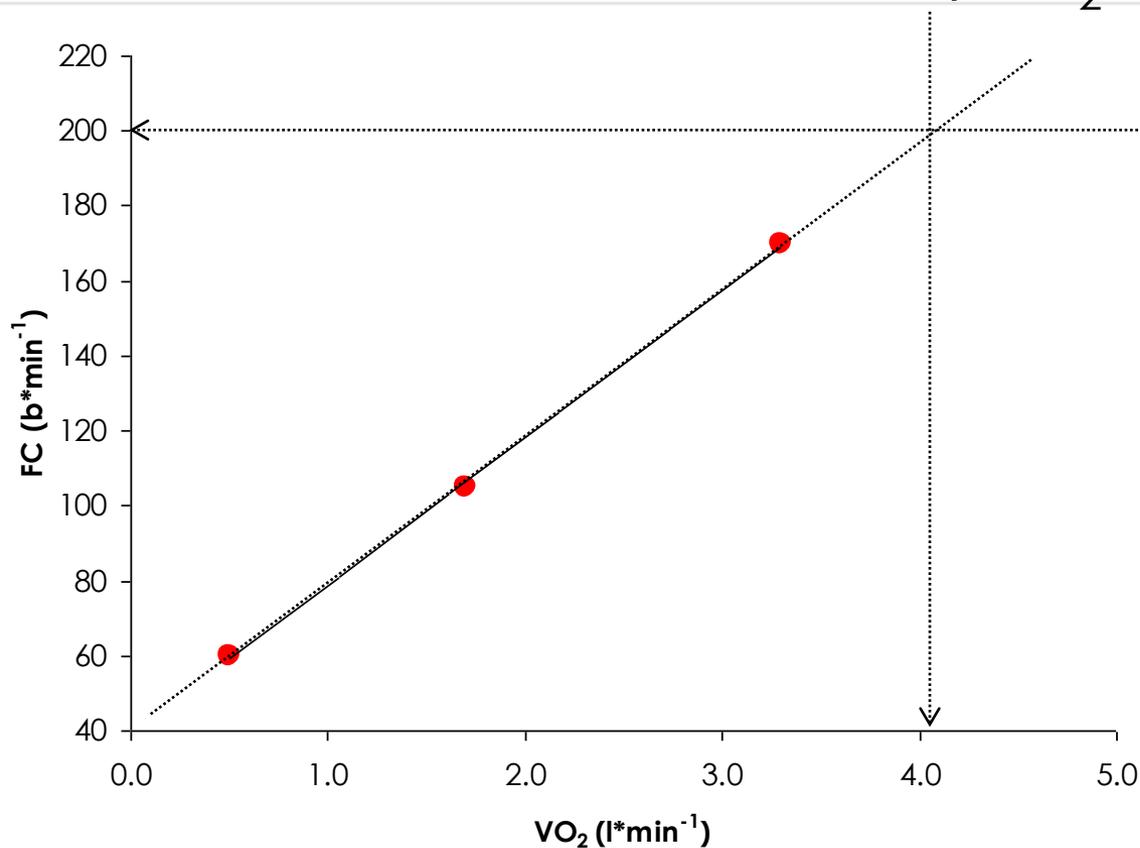
- ✓ stimare FC e  $\text{VO}_2$  di carichi intermedi non testati
- ✓ stimare il costo energetico di altre attività

Conoscere la relazione individuale FC/ $\text{VO}_2$  consente di:



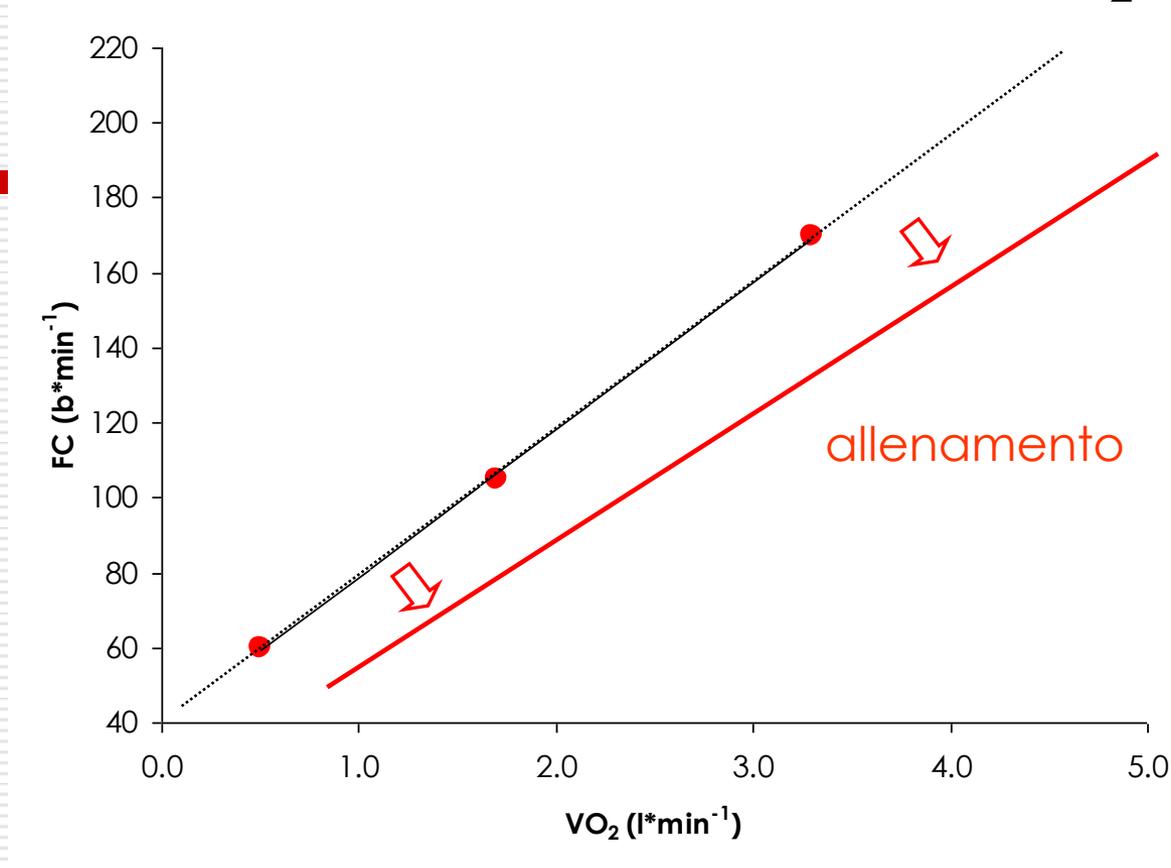
- ✓ stimare FC e  $\text{VO}_2$  di carichi intermedi non testati
- ✓ stimare il costo energetico di altre attività

Conoscere la relazione individuale FC/ $\text{VO}_2$  consente di:



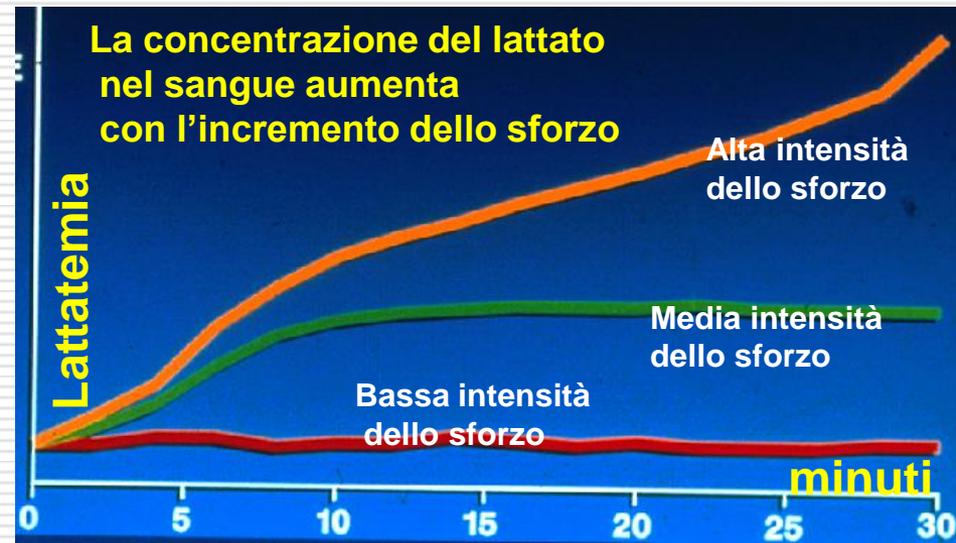
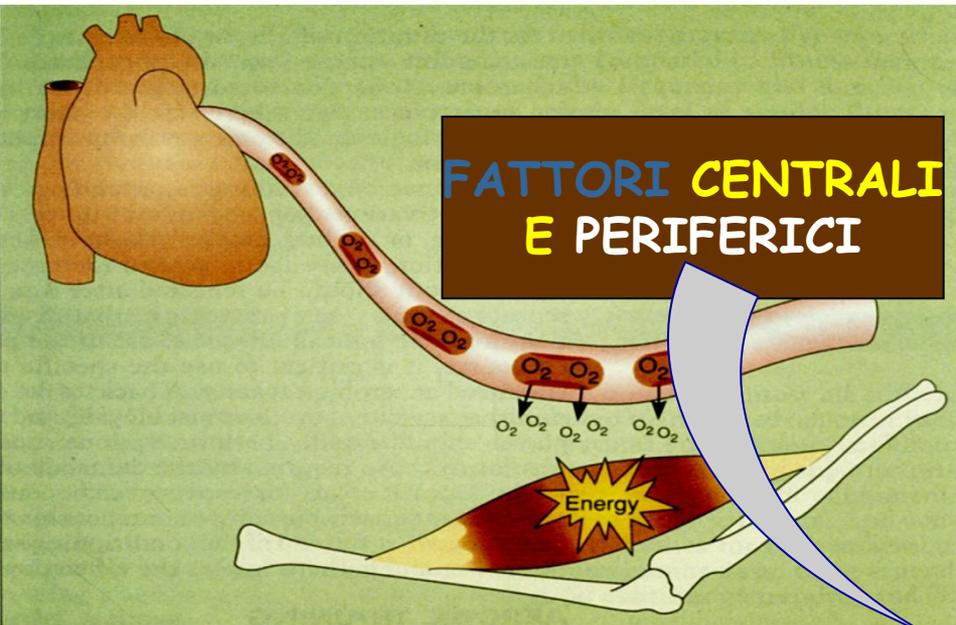
- ✓ stimare FC e  $\text{VO}_2$  di carichi intermedi non testati
- ✓ stimare il costo energetico di altre attività
- ✓ stimare il  $\text{VO}_2\text{max}$

Conoscere la relazione individuale FC/ $\text{VO}_2$  consente di:



- ✓ stimare FC e  $\text{VO}_2$  di carichi intermedi non testati
- ✓ stimare il costo energetico di altre attività
- ✓ stimare il  $\text{VO}_2\text{max}$
- ✓ è un indice di fitness

# QUALI SONO GLI INDICI PIU' IMPORTANTI DEL METABOLISMO AEROBICO?



**SOGLIA ANAEROBICA**



# **LA SOGLIA ANAEROBICA**

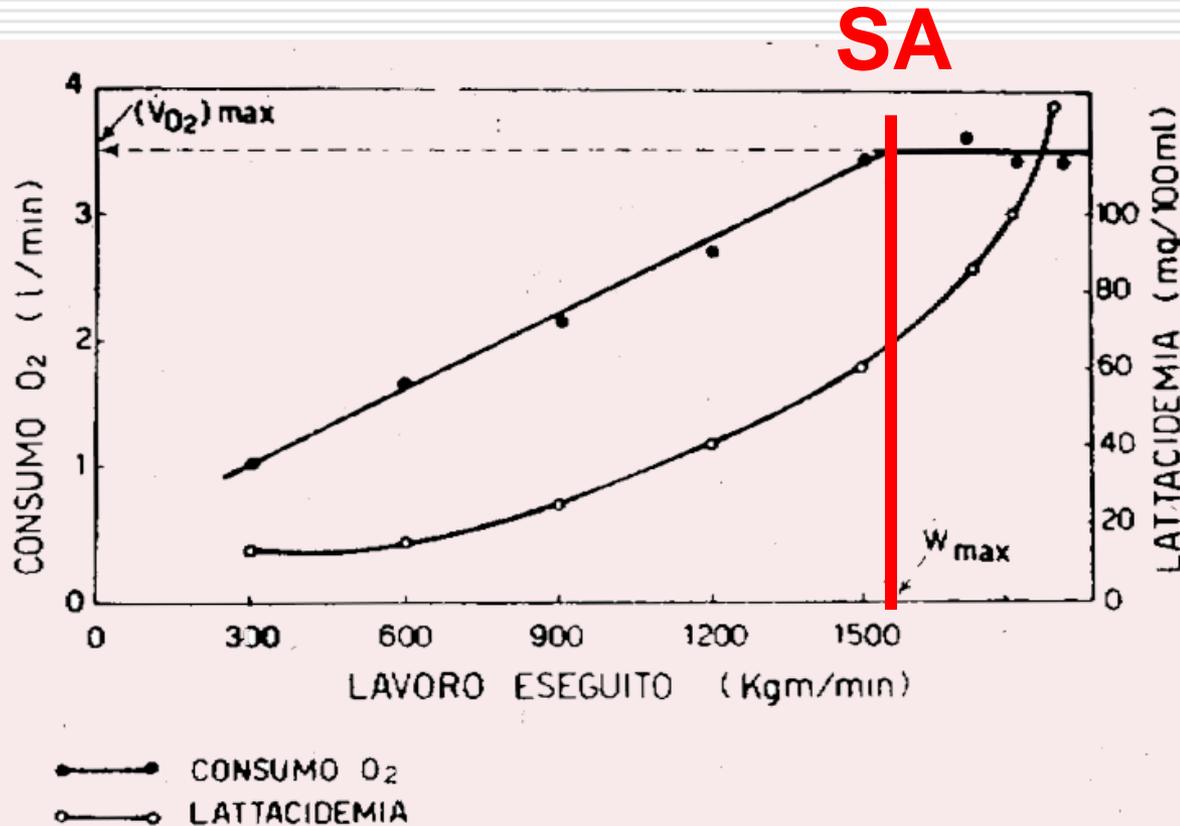
---

**Il carico di lavoro che può essere  
sostenuto con la massima  
concentrazione, in stato stazionario,  
di lattato ematico, meglio definita  
come**

**Maximal Lactate in Steady State**

---

# LA SOGLIA ANAEROBICA



L'aumento della concentrazione del lattato nel sangue inizia prima che il soggetto abbia raggiunto il V'O<sub>2</sub>max



# Perché il lattato aumenta???

---

- Incremento velocità della glicolisi
  - Maggiore uso delle fibre IIb
  - Riduzione della  $PO_2$  cellulare
-

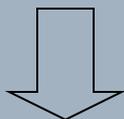
# Metodi per misura Soglia Anaerobica

---

- OBLA Onset of blood lactate accumulation
  - LT Lactate threshold at 4 mM
  - MSSL Maximal steady state lactate
-

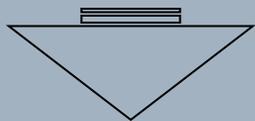
# Soglia anaerobica /Anaerobic Threshold ????

Produzione lattato

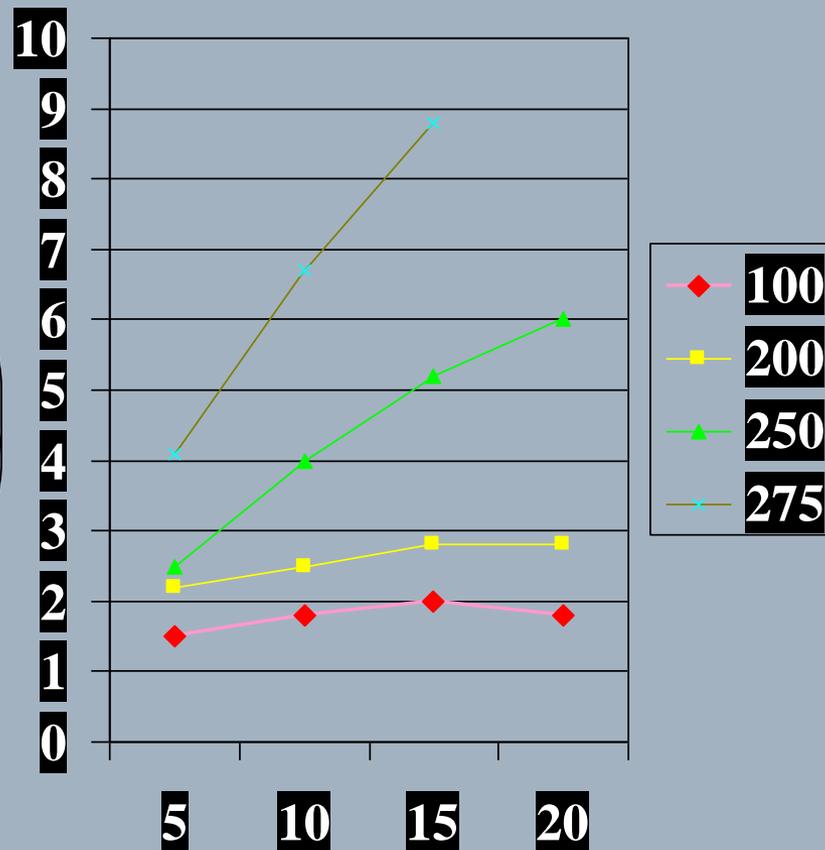


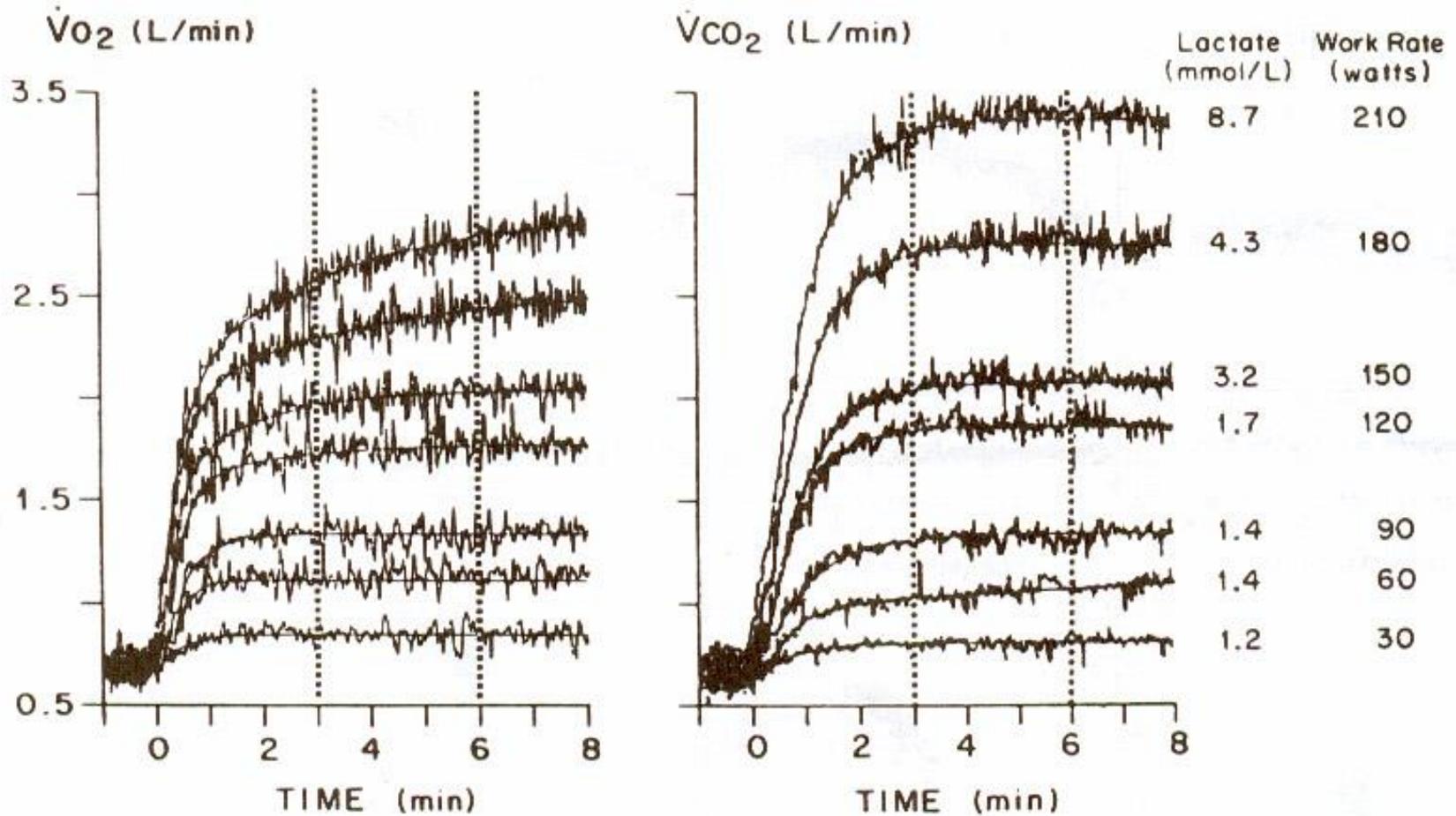
Smaltimento lattato

Accumulo lattato

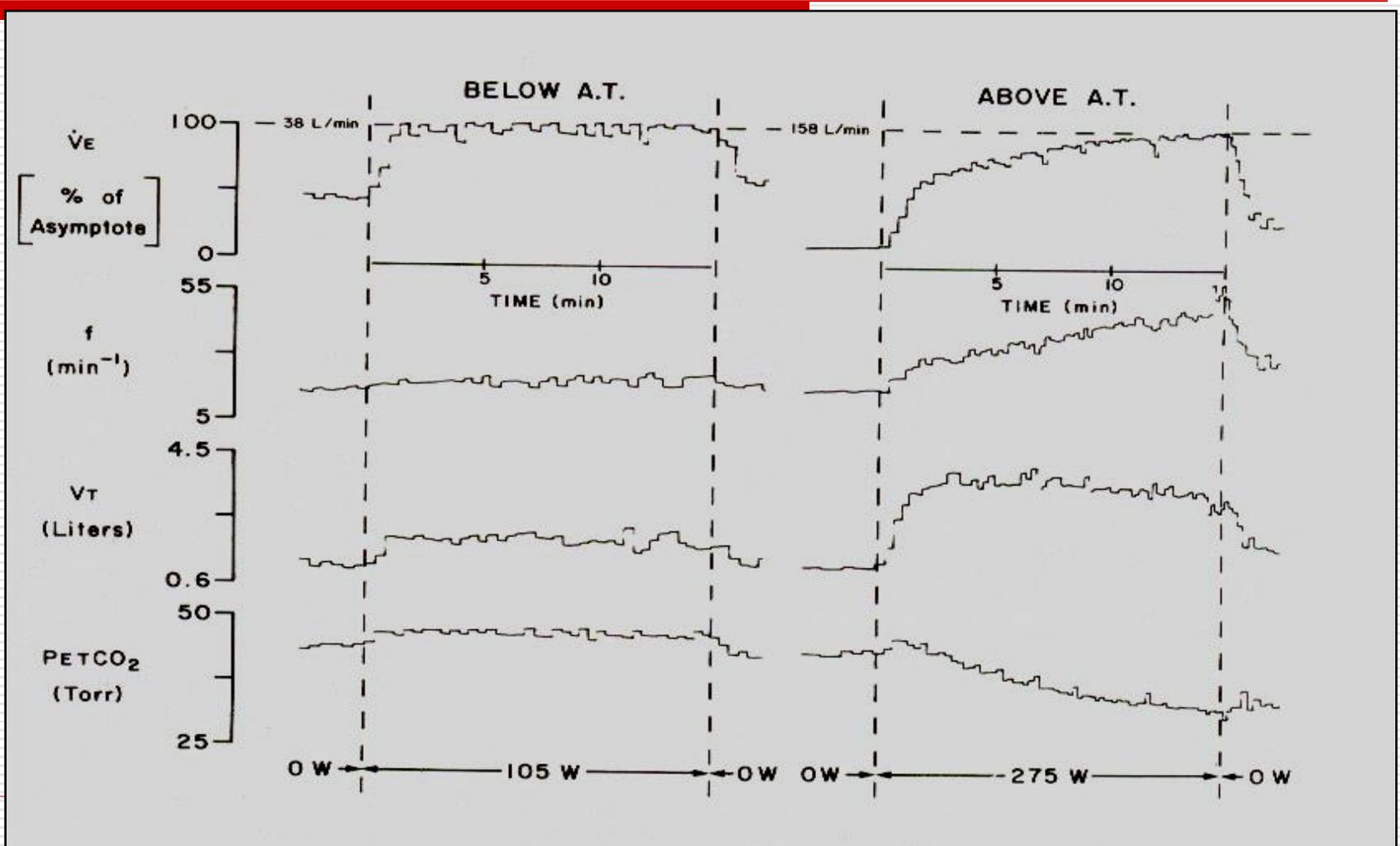


**Soglia "vera"**





# Risposta ventilatoria in relazione ad AT



# Il destino dell'acido lattico

---

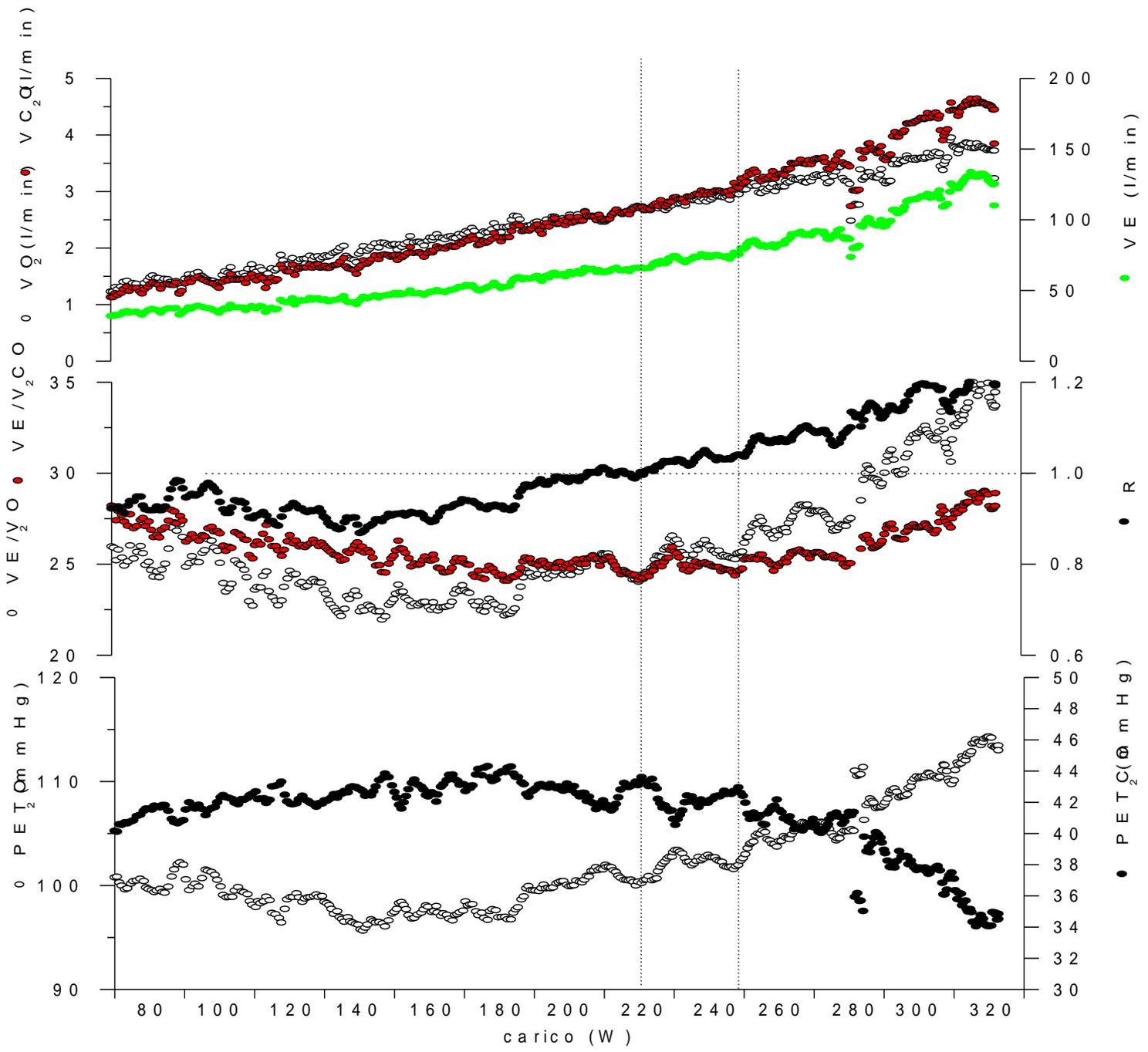


Quale effetto dell'incremento del  $\text{CO}_2$  rispetto a quello che deriva dal ciclo di Krebs?

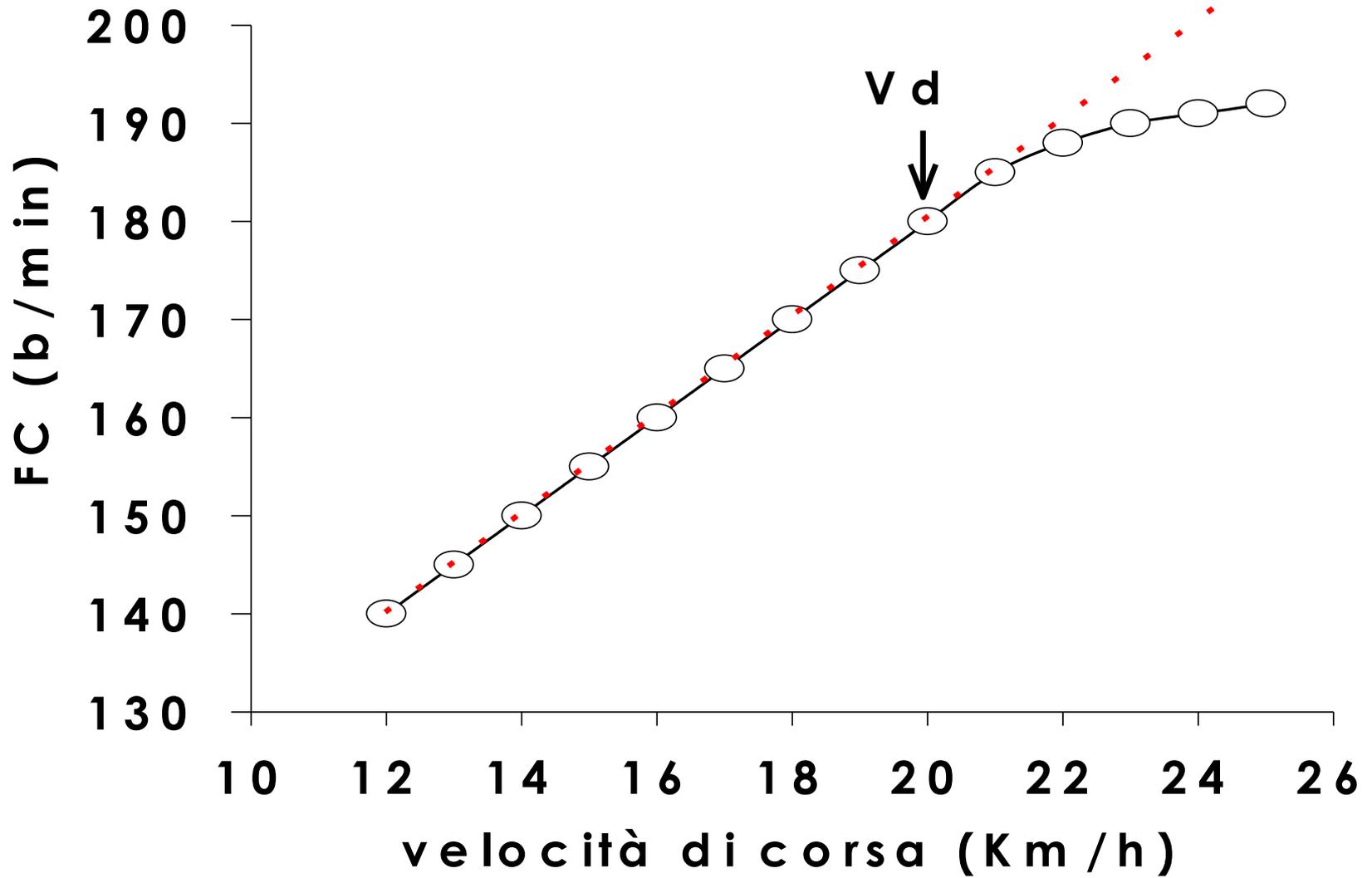
E cosa succede quando si esaurisce la capacità tampone?

---

Effetti diretti dell'acidosi



# Test di Conconi: determinazione del punto di flesso tra FC e Carico



# Fattori che possono influenzare la produzione di LA e quindi la misura di SA:

---

- stato nutrizionale
  - scorte intramuscolari di glucogeno
  - stimolo adrenergico
  - ipossia acuta e cronica
-