

*Perché il tuo VO<sub>2</sub>max non migliora?*



GENNARO SEGUILLA

---

# *Perché il tuo $VO_2\max$ non migliora?*

---

*La guida scientifica definitiva per aumentare  
davvero la capacità aerobica nel ciclismo*

ENDURANCE & PERFORMANCE TRAINING SYSTEM LAB  
EP CYCLING



*Perché il tuo VO<sub>2</sub>max non migliora?*

La guida scientifica definitiva per aumentare davvero la capacità aerobica nel ciclismo

Autore: Gennaro Seguella

Endurance & Performance Training System Lab (EP Cycling)

Prima edizione — 8 agosto 2026

Il contenuto di questo volume ha finalità informative e formative e non sostituisce il parere di un medico. Prima di intraprendere un programma di allenamento ad alta intensità è consigliabile sottoporsi a una valutazione medico-sportiva.

Tutti i diritti riservati.



# Indice

---

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Introduzione . . . . .                                                                                        | 1  |
| 1 Cos'è realmente il VO <sub>2</sub> max? . . . . .                                                           | 3  |
| 2 L'equazione di Fick: il cuore della fisiologia del VO <sub>2</sub> max . . . . .                            | 7  |
| 3 I fattori che determinano il VO <sub>2</sub> max: adattamenti centrali<br>e periferici . . . . .            | 15 |
| 4 Perché il tuo VO <sub>2</sub> max non migliora? . . . . .                                                   | 23 |
| 5 HIIT e VO <sub>2</sub> max: cosa dice davvero la ricerca scientifica . . . . .                              | 31 |
| 6 I protocolli HIIT nel ciclismo: quale scegliere e quando<br>utilizzarlo . . . . .                           | 39 |
| 7 La periodizzazione del VO <sub>2</sub> max: quando allenarlo e perché<br>molti ciclisti sbagliano . . . . . | 47 |
| 8 Le controversie scientifiche sul VO <sub>2</sub> max . . . . .                                              | 55 |
| 9 Oltre il VO <sub>2</sub> max . . . . .                                                                      | 61 |
| 10 Valutare il VO <sub>2</sub> max: dalla misura all'interpretazione . . . . .                                | 69 |
| 11 Dalla fisiologia alla programmazione . . . . .                                                             | 75 |
| 12 Ripensare il VO <sub>2</sub> max . . . . .                                                                 | 81 |
| Conclusione . . . . .                                                                                         | 87 |
| Messaggio finale al lettore . . . . .                                                                         | 89 |
| Abbreviazioni e simboli . . . . .                                                                             | 91 |
| Glossario . . . . .                                                                                           | 93 |

## INDICE

|                        |    |
|------------------------|----|
| Bibliografia . . . . . | 97 |
|------------------------|----|

# Introduzione

---

Ogni ciclista, prima o poi, si imbatte nella stessa domanda:

*“Come posso aumentare il mio  $VO_2\text{max}$ ?”*

È una delle ricerche più frequenti sui motori di ricerca, uno degli argomenti più discussi tra gli allenatori e una delle metriche che smartwatch e ciclocomputer cercano di stimare automaticamente dopo ogni uscita. Per molti atleti, il  $VO_2\text{max}$  è diventato sinonimo di prestazione: un numero da inseguire, confrontare e migliorare.

Ma è davvero così semplice? Negli ultimi vent'anni la ricerca scientifica ha rivoluzionato la nostra comprensione della fisiologia dell'esercizio. Oggi sappiamo che il  $VO_2\text{max}$  rappresenta soltanto uno degli elementi che determinano la performance di un ciclista e che, soprattutto, allenarlo non significa semplicemente svolgere più intervalli ad alta intensità.

È proprio qui che nasce il problema. Ogni settimana migliaia di ciclisti eseguono protocolli come 4x4 minuti, 30/15, 40/20 o sprint interval training convinti che basti aumentare l'intensità per incrementare il consumo massimo di ossigeno. Alcuni ottengono miglioramenti importanti, altri rimangono bloccati per mesi nonostante si allenino con costanza e dedizione.

Perché accade? La risposta è molto più complessa di quanto comunemente si creda. Il  $VO_2\text{max}$  non dipende esclusivamente dalla capacità del cuore di pompare sangue né dalla quantità di allenamenti intensi svolti durante la settimana. È il risultato dell'integrazione di molteplici sistemi fisiologici che lavorano in sinergia: apparato cardiovascolare, sistema respiratorio, trasporto

ematico dell'ossigeno, microcircolazione, metabolismo muscolare e funzione mitocondriale.

In altre parole, il  $\text{VO}_2\text{max}$  rappresenta il punto in cui l'intero organismo raggiunge il massimo livello di integrazione funzionale durante l'esercizio. Comprendere questo concetto è fondamentale. Molti atleti cercano di migliorare il risultato finale senza sapere quale componente stia realmente limitando la loro prestazione. Alcuni possiedono un'elevata capacità cardiaca ma una limitata efficienza periferica; altri presentano un'eccellente rete capillare e un'elevata densità mitocondriale, ma non riescono ad aumentare sufficientemente la gittata cardiaca durante l'esercizio massimale. Esistono inoltre differenze genetiche, influenze dell'età, del sesso, dello stato di allenamento e della composizione corporea che rendono ogni atleta un caso unico.

Questo spiega perché non esiste un protocollo universalmente efficace. Negli ultimi anni numerosi studi hanno inoltre dimostrato che il miglioramento del  $\text{VO}_2\text{max}$  non dipende soltanto dall'intensità dell'allenamento, ma anche dalla distribuzione dei carichi, dal recupero, dal volume complessivo, dalla qualità della periodizzazione e dalla capacità di trascorrere un tempo sufficiente vicino al massimo consumo di ossigeno (time at  $\text{VO}_2\text{max}$ ). È proprio questa visione sistemica che distingue un programma costruito sulla fisiologia da una semplice successione di allenamenti intensi.

Lo scopo di questa guida è fornire una panoramica completa e aggiornata delle conoscenze scientifiche sul  $\text{VO}_2\text{max}$  applicate al ciclismo. Analizzeremo i meccanismi fisiologici che determinano il consumo massimo di ossigeno, i fattori che ne limitano lo sviluppo, gli errori più frequenti nella programmazione dell'allenamento e le strategie che la ricerca scientifica considera realmente efficaci per migliorare la capacità aerobica.

Non troverai protocolli "miracolosi" o formule universali. Troverai fisiologia, evidenze scientifiche e applicazioni pratiche. Perché comprendere come funziona il  $\text{VO}_2\text{max}$  è molto più importante che conoscere un singolo allenamento.

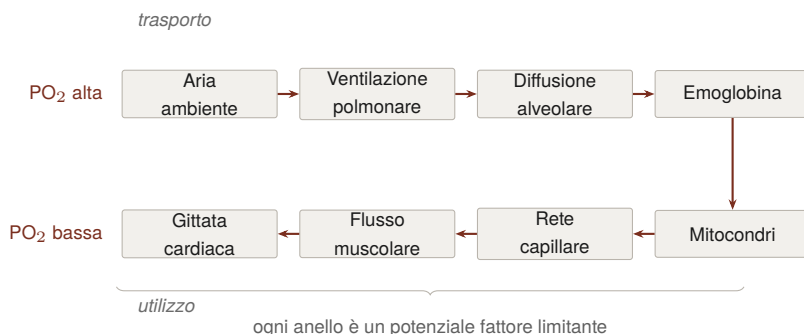
## *Cos'è realmente il $VO_2\text{max}$ ?*

---

Il termine  $VO_2\text{max}$  viene spesso utilizzato come sinonimo di “forma fisica”, ma questa semplificazione rischia di generare interpretazioni errate. In realtà, il consumo massimo di ossigeno rappresenta una misura fisiologica estremamente complessa, che descrive la massima quantità di ossigeno che l'organismo è in grado di captare, trasportare e utilizzare durante un esercizio progressivo eseguito fino all'esaurimento.

Espresso in litri al minuto (L/min) o, più comunemente, in millilitri per chilogrammo di peso corporeo al minuto ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ), il  $VO_2\text{max}$  è considerato il principale indicatore della capacità aerobica di un individuo. Tuttavia, interpretarlo come un semplice numero significa ignorare i numerosi processi fisiologici che lo determinano.

Per comprendere il significato del  $VO_2\text{max}$  è utile immaginare il percorso compiuto da una singola molecola di ossigeno. L'ossigeno entra nell'organismo attraverso la ventilazione polmonare, diffonde dagli alveoli al sangue, si lega all'emoglobina presente nei globuli rossi e viene trasportato fino ai muscoli attivi grazie all'azione del cuore. Una volta raggiunta la rete capillare, attraversa la parete dei vasi, entra nelle fibre muscolari e raggiunge i mitocondri, dove viene utilizzato per produrre ATP attraverso la fosforilazione ossidativa.



**Figura 1.** La cascata dell'ossigeno. Dall'aria ambiente al mitocondrio la pressione parziale di  $\text{O}_2$  cade progressivamente: il  $\text{VO}_2\text{max}$  è determinato dall'anello meno efficiente della catena, non dal singolo organo più allenato.

Ogni passaggio rappresenta un potenziale fattore limitante. Un cuore incapace di aumentare la gittata cardiaca ridurrà il flusso ematico disponibile. Una minore concentrazione di emoglobina limiterà il trasporto dell'ossigeno. Una ridotta densità capillare rallenterà la diffusione verso il muscolo, mentre una scarsa quantità di mitocondri impedirà di utilizzare efficacemente l'ossigeno disponibile.

Il  $\text{VO}_2\text{max}$ , quindi, non misura la forza del cuore né la capacità dei polmoni in modo isolato: rappresenta il risultato finale dell'interazione tra tutti questi sistemi.

### *Il $\text{VO}_2\text{max}$ è davvero il miglior indicatore della performance?*

Per molti anni si è ritenuto che un  $\text{VO}_2\text{max}$  elevato fosse il principale fattore determinante della prestazione di endurance. Sebbene sia vero che gli atleti di élite presentino generalmente valori molto elevati, la ricerca ha dimostrato che il  $\text{VO}_2\text{max}$ , da solo, spiega soltanto una parte della variabilità prestativa. È possibile osservare ciclisti con valori quasi identici di  $\text{VO}_2\text{max}$  ottenere risultati molto diversi nelle competizioni. Questo accade perché la performance dipende anche da altri fattori fisiologici, tra cui:

- la massima potenza aerobica (MAP), ovvero la potenza corrispondente al raggiungimento del  $\text{VO}_2\text{max}$ ;

- la soglia del lattato, che determina quale percentuale del VO<sub>2</sub>max può essere sostenuta a lungo;
- l'economia di pedalata, cioè il costo energetico necessario per produrre una determinata potenza;
- la durability, ossia la capacità di mantenere elevate prestazioni anche dopo diverse ore di esercizio;
- la disponibilità di substrati energetici e la gestione della fatica centrale e periferica.

Due atleti possono quindi presentare un VO<sub>2</sub>max identico, ma differire notevolmente nella capacità di trasformare tale potenziale fisiologico in prestazione reale.

### *Perché alcuni ciclisti migliorano rapidamente e altri no?*

Una delle convinzioni più diffuse è che il VO<sub>2</sub>max aumenti semplicemente svolgendo allenamenti ad alta intensità. In realtà, la risposta adattativa dipende dall'interazione tra genetica, età, storia di allenamento, distribuzione dei carichi, recupero e qualità della programmazione. Gli adattamenti indotti dall'allenamento seguono il principio della specificità: il corpo migliora soltanto se riceve uno stimolo adeguato e dispone del tempo necessario per recuperare e consolidare le modificazioni strutturali e funzionali. Quando uno di questi elementi viene meno, il miglioramento rallenta fino a fermarsi.

Per questo motivo, il VO<sub>2</sub>max non dovrebbe essere considerato un semplice obiettivo numerico, ma l'espressione di un sistema biologico complesso che richiede una programmazione precisa e individualizzata.

*Il messaggio chiave*

Il VO<sub>2</sub>max non è il motore della prestazione, ma la massima capacità del tuo organismo di utilizzare ossigeno in condizioni estreme. È un prerequisito fondamentale per l'endurance, ma non è sufficiente, da solo, a determinare il successo in gara. Allenarlo significa comprendere la fisiologia che lo governa e intervenire sui meccanismi che ne limitano lo sviluppo, non limitarsi ad aumentare l'intensità degli allenamenti.

## *L'equazione di Fick: il cuore della fisiologia del VO<sub>2</sub>max*

---

*“Il VO<sub>2</sub>max non è determinato da un solo organo, ma  
dall'efficienza con cui l'intero organismo trasporta e utilizza  
l'ossigeno.”*

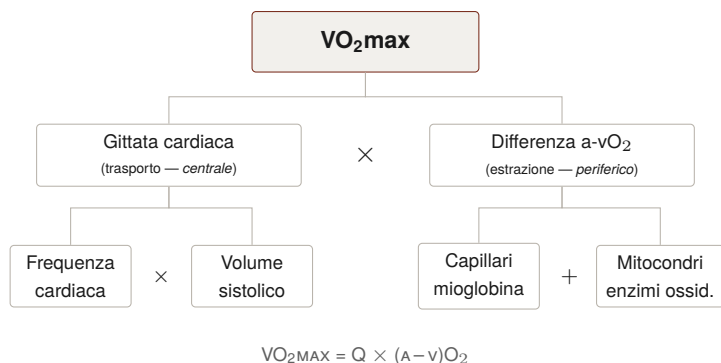
Se esistesse una sola formula capace di spiegare gran parte della fisiologia dell'endurance, sarebbe senza dubbio l'equazione di Fick. A distanza di oltre un secolo dalla sua formulazione, continua a rappresentare il modello di riferimento per comprendere come il corpo umano produce energia durante l'esercizio aerobico e, soprattutto, perché il VO<sub>2</sub>max aumenta in alcuni atleti mentre rimane invariato in altri.

Molti ciclisti conoscono il termine VO<sub>2</sub>max, ma pochi comprendono realmente da cosa dipenda. È frequente attribuire il merito esclusivamente al cuore, ai polmoni o ai mitocondri, quando in realtà nessuna di queste strutture, presa singolarmente, è sufficiente a spiegare la capacità aerobica di un individuo. L'equazione di Fick ci insegna che il VO<sub>2</sub>max è il risultato dell'interazione tra due grandi sistemi fisiologici: la capacità di trasportare ossigeno e la capacità di utilizzarlo a livello muscolare.

## L'equazione di Fick

Il consumo di ossigeno può essere descritto attraverso una relazione estremamente semplice:

**$\text{VO}_2 = \text{Gittata cardiaca} \times \text{Differenza artero-venosa di ossigeno}$**



**Figura 2.** L'equazione di Fick scomposta. Il  $\text{VO}_2\text{max}$  nasce dal prodotto fra quanto sangue il cuore riesce a spingere e quanto ossigeno il muscolo riesce a estrarne: intervenire sul lato sbagliato dell'equazione è la causa più frequente di adattamenti mancati.

Dietro questa formula apparentemente elementare si nasconde uno dei concetti più importanti della fisiologia dell'esercizio. Il  $\text{VO}_2$  dipende da due componenti fondamentali:

1. quanto sangue il cuore riesce a pompare ogni minuto;
2. quanto ossigeno i muscoli riescono a estrarre da quel sangue.

Questi due fattori lavorano sempre insieme. Se uno dei due non migliora, anche l'altro diventa meno efficace. Immaginiamo un'autostrada. La gittata cardiaca rappresenta il numero di camion che trasportano ossigeno. La differenza artero-venosa rappresenta invece la quantità di merce scaricata da ogni camion. Avere moltissimi camion serve a poco se arrivano a destinazione quasi pieni. Allo stesso modo, muscoli molto efficienti non possono lavorare al massimo se ricevono poco sangue.

Il VO<sub>2</sub>max nasce quindi dall'equilibrio tra trasporto e utilizzo dell'ossigeno.

## **Prima componente: la gittata cardiaca**

---

La gittata cardiaca indica il volume di sangue pompato dal cuore in un minuto. È determinata da due variabili:

- frequenza cardiaca;
- volume sistolico.

La relazione è semplice:

**Gittata cardiaca = Frequenza cardiaca × Volume sistolico**

Durante un esercizio intenso entrambe aumentano. La frequenza cardiaca cresce rapidamente fino a valori prossimi alla massima frequenza individuale, mentre il volume sistolico aumenta grazie a un miglior riempimento del ventricolo sinistro e a una contrazione più efficace del muscolo cardiaco. Nei soggetti sedentari la gittata cardiaca massima è spesso inferiore ai 20 L/min.

Nei ciclisti ben allenati può raggiungere 30-35 L/min. Negli atleti di livello mondiale sono stati misurati valori superiori a 40 L/min, un adattamento che rappresenta uno dei principali elementi distintivi dell'endurance d'élite. Questo spiega perché il cuore viene spesso definito il principale "collo di bottiglia" del VO<sub>2</sub>max.

## **Il cuore dell'endurance è il volume sistolico**

---

Un errore molto comune consiste nel pensare che gli atleti abbiano una frequenza cardiaca massima superiore. È vero esattamente il contrario. La frequenza cardiaca massima cambia poco con l'allenamento e tende addirittura a diminuire con l'età. Ciò che distingue realmente un atleta ben allenato è la capacità di espellere una quantità molto maggiore di sangue a ogni battito.

Questo adattamento deriva da:

- aumento delle dimensioni della cavità ventricolare sinistra;
- maggiore elasticità del ventricolo;
- miglior contrattilità del miocardio;
- incremento del volume plasmatico.

Il risultato è evidente. Ogni battito trasporta più ossigeno. Di conseguenza, anche senza aumentare ulteriormente la frequenza cardiaca, cresce la quantità complessiva di ossigeno disponibile per i muscoli.

## **Seconda componente: la differenza artero-venosa**

---

Se il cuore rappresenta il sistema di trasporto, i muscoli costituiscono il luogo in cui l'ossigeno viene realmente utilizzato. La differenza artero-venosa descrive proprio questo processo. Indica la quantità di ossigeno estratta dal sangue durante il passaggio attraverso il muscolo. Quando l'allenamento induce adattamenti periferici, aumenta la capacità del tessuto muscolare di utilizzare l'ossigeno disponibile.

Ciò avviene grazie a numerose modificazioni strutturali:

- aumento della densità capillare;
- incremento del numero di mitocondri;
- maggiore attività degli enzimi ossidativi;
- aumento della mioglobina;
- migliore distribuzione del flusso ematico;
- miglior reclutamento delle fibre di tipo I e IIa.

In pratica, il sangue che lascia il muscolo contiene molto meno ossigeno rispetto a quello in ingresso. Questo significa che il muscolo sta utilizzando in maniera più efficiente il carburante disponibile.

## **Perché i polmoni raramente rappresentano il limite**

---

Una convinzione molto diffusa è che allenare la respirazione aumenti direttamente il  $\text{VO}_2\text{max}$ . Nella maggior parte dei ciclisti sani questo non è vero. I polmoni possiedono una capacità di diffusione dell'ossigeno molto superiore alle richieste della maggior parte degli atleti. Il vero limite non è inspirare ossigeno. Il limite consiste nel trasportarlo rapidamente fino ai muscoli e riuscire a utilizzarlo.

Solo negli atleti d'élite, durante esercizi estremamente intensi, può comparire una riduzione della saturazione arteriosa dovuta alla straordinaria velocità del flusso ematico polmonare. Questo fenomeno, noto come exercise-induced arterial hypoxemia (EIAH), interessa una minoranza di soggetti altamente allenati e raramente rappresenta un problema per il ciclista amatore.

## **Il $\text{VO}_2\text{max}$ è una catena**

---

L'equazione di Fick può essere immaginata come una lunga catena composta da numerosi anelli.

1. Ventilazione.
2. Diffusione alveolare.
3. Emoglobina.
4. Gittata cardiaca.
5. Flusso ematico.
6. Capillarizzazione.
7. Diffusione nel muscolo.
8. Mitocondri.
9. Produzione aerobica di ATP.

La capacità aerobica complessiva sarà sempre limitata dall'anello più debole. È il motivo per cui due ciclisti con lo stesso  $\text{VO}_2\text{max}$  possono migliorare attraverso strategie completamente differenti.

Per uno sarà necessario aumentare il volume aerobico. Per un altro servirà sviluppare la potenza aerobica. Per un altro ancora il limite sarà rappresentato dal recupero, dalla nutrizione o da una distribuzione errata delle intensità.

Il lavoro del preparatore consiste proprio nell'identificare quale anello limita maggiormente la prestazione e costruire un programma che intervenga su quel punto specifico, evitando di aumentare indiscriminatamente il carico.

## Cosa significa questo per il ciclista

Comprendere l'equazione di Fick cambia completamente il modo di interpretare l'allenamento. Una seduta  $\text{VO}_2\text{max}$  non serve semplicemente a "far salire il cuore". Serve a stimolare adattamenti che coinvolgono contemporaneamente cuore, vasi sanguigni, muscoli e mitocondri. Questo spiega perché due atleti possono eseguire lo stesso protocollo e ottenere risultati molto diversi. La risposta dipende dallo stato iniziale del sistema, dalla qualità della programmazione e dalla capacità di recuperare tra uno stimolo e l'altro.

Inoltre, il miglioramento del  $\text{VO}_2\text{max}$  non avviene durante l'allenamento, ma nelle ore e nei giorni successivi, quando l'organismo ripara i tessuti, sintetizza nuove proteine, aumenta il volume plasmatico, migliora la funzione mitocondriale e consolida gli adattamenti cardiovascolari. L'allenamento rappresenta soltanto il segnale.

L'adattamento è la vera risposta biologica.

### TAKE HOME MESSAGE

L'equazione di Fick ci insegna che il  $\text{VO}_2\text{max}$  non dipende da un singolo organo, ma dall'integrazione tra trasporto e utilizzo dell'ossigeno. Il cuore deve pompare una grande quantità di sangue, ma i muscoli devono essere altrettanto capaci di estrarne e consumarne l'ossigeno. Per questo motivo non esiste un protocollo

universale per aumentare il  $\text{VO}_2\text{max}$ : la strategia migliore dipende sempre da quale anello della catena rappresenta il fattore limitante dell'atleta.

PERCHÉ IL TUO  $\text{VO}_2\text{MAX}$  NON MIGLIORA?

## *I fattori che determinano il $\text{VO}_2\text{max}$ : adattamenti centrali e periferici*

---

*“Il  $\text{VO}_2\text{max}$  non aumenta perché fai più HIIT. Aumenta perché il tuo organismo modifica la propria struttura e il proprio funzionamento per trasportare e utilizzare più ossigeno.”*

Per molti anni l'allenamento del  $\text{VO}_2\text{max}$  è stato interpretato in modo eccessivamente semplicistico. L'idea dominante era che bastasse svolgere intervalli ad alta intensità per osservare un incremento del consumo massimo di ossigeno. Oggi sappiamo che questa visione è incompleta. Ogni seduta di allenamento rappresenta uno stimolo biologico. Lo scopo dell'organismo non è migliorare la prestazione, ma adattarsi allo stress imposto per ridurre il costo fisiologico di uno stimolo futuro simile. Il miglioramento del  $\text{VO}_2\text{max}$  è quindi una conseguenza dell'adattamento, non l'adattamento stesso.

Per comprendere questo processo è necessario distinguere due grandi categorie di modificazioni:

1. adattamenti centrali, che riguardano il trasporto dell'ossigeno;
2. adattamenti periferici, che riguardano l'utilizzo dell'ossigeno all'interno del muscolo.

Questa distinzione rappresenta uno dei pilastri della fisiologia dell'esercizio moderno e spiega perché due atleti possano migliorare seguendo strategie di allenamento completamente differenti.

## Gli adattamenti centrali

---

Gli adattamenti centrali interessano principalmente il sistema cardiovascolare e hanno come obiettivo aumentare la quantità di ossigeno trasportata ai muscoli durante l'esercizio. Il protagonista assoluto è il cuore. Con il passare delle settimane di allenamento endurance il ventricolo sinistro va incontro a un rimodellamento fisiologico. Le sue cavità aumentano di volume, la parete miocardica diventa più efficiente e la capacità di riempimento durante la diastole migliora. Questo adattamento consente di espellere una maggiore quantità di sangue a ogni contrazione, incrementando il volume sistolico.

Di conseguenza cresce la gittata cardiaca massima, ovvero il principale determinante del trasporto di ossigeno. Contemporaneamente aumenta il volume plasmatico. Dopo poche settimane di allenamento regolare il sangue diventa più "abbondante", migliorando il ritorno venoso e il precarico cardiaco. Questo fenomeno permette al cuore di lavorare con maggiore efficienza anche a parità di frequenza cardiaca.

A questi adattamenti si aggiunge una migliore funzione dell'endotelio vascolare, che rende i vasi sanguigni più capaci di dilatarsi durante l'esercizio, facilitando la distribuzione del flusso ematico verso i muscoli attivi. Nel loro insieme, questi cambiamenti aumentano la quantità di ossigeno disponibile per il tessuto muscolare.

## Gli adattamenti periferici

---

Se il cuore rappresenta il motore del trasporto, il muscolo rappresenta il luogo in cui l'ossigeno viene realmente trasformato in energia. Gli adattamenti periferici sono quelli che permettono al muscolo di sfruttare in modo sempre più efficiente il sangue ricevuto. Uno dei primi cambiamenti riguarda la capillarizzazione.

Con l'allenamento aumenta il numero di capillari che circondano ogni fibra muscolare. Una rete capillare più estesa riduce la distanza che l'ossigeno deve percorrere per raggiungere il mitocondrio, facilitandone la diffusione. Il secondo grande adattamento interessa proprio i mitocondri, spesso definiti le centrali energetiche della cellula.

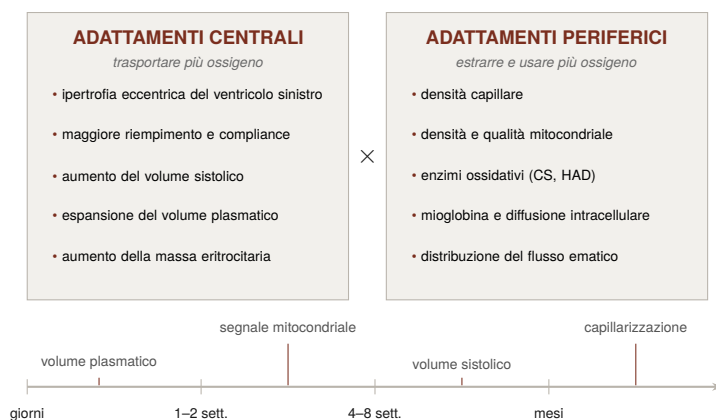
L'allenamento aerobico aumenta sia il numero sia il volume dei mitocondri, oltre all'attività degli enzimi coinvolti nella fosforilazione ossidativa. In pratica, il muscolo diventa capace di produrre una maggiore quantità di ATP utilizzando la stessa quantità di ossigeno. Parallelamente aumenta la concentrazione di mioglobina, una proteina che facilita il trasporto intracellulare dell'ossigeno verso i mitocondri, e migliora il reclutamento delle fibre di tipo I e IIa, che possiedono una maggiore capacità ossidativa rispetto alle fibre IIx.

Questi adattamenti spiegano perché un atleta allenato riesca a sostenere intensità elevate con un minor accumulo di lattato e una migliore efficienza metabolica.

## Quali adattamenti avvengono per primi?

Una delle domande più frequenti riguarda la tempistica degli adattamenti. Non tutti i cambiamenti fisiologici richiedono lo stesso tempo. Le prime modificazioni osservabili sono generalmente legate all'aumento del volume plasmatico, che può verificarsi già entro la prima settimana di allenamento. Gli adattamenti cardiovascolari più marcati, come l'incremento del volume sistolico, richiedono invece diverse settimane di stimolo continuo.

La biogenesi mitocondriale può essere attivata già dopo poche sedute, ma l'aumento stabile della densità mitocondriale necessita di settimane o mesi di allenamento regolare. La capillarizzazione è uno dei processi più lenti e può richiedere diversi mesi per produrre modificazioni strutturali significative. Questo significa che interrompere frequentemente il programma o cambiare continuamente metodologia impedisce il completamento di molti adattamenti.



**Figura 3.** Adattamenti centrali e periferici e loro decorso temporale. Le due famiglie di adattamenti si moltiplicano, non si sommano, e maturano su scale temporali diverse: è questo il motivo per cui cambiare metodo ogni tre settimane impedisce a metà del processo di completarsi.

## Il ruolo della genetica

---

Uno dei temi più dibattuti riguarda il peso della genetica sul  $\text{VO}_2\text{max}$ . La risposta corretta è che la genetica influenza sia il valore iniziale sia il margine di miglioramento, ma non determina da sola la prestazione. Le differenze individuali riguardano numerosi aspetti:

- dimensioni del cuore;
- volume ematico;
- concentrazione di emoglobina;
- distribuzione delle fibre muscolari;
- capacità di espansione del volume sistolico;
- risposta mitocondriale all'allenamento.

Alcuni soggetti mostrano incrementi molto rapidi del  $\text{VO}_2\text{max}$ , mentre altri migliorano soprattutto attraverso l'economia di movimento, la soglia del lattato o la durability. Questo ha portato per anni a parlare di "non responder". Oggi la letteratura tende a considerare questa definizione riduttiva: nella maggior parte dei casi, chi non migliora con un determinato protocollo può rispondere positivamente modificando volume, intensità, frequenza o recupero. È più corretto parlare di risposta individuale allo stimolo che di incapacità di adattamento.

## Perché il VO<sub>2</sub>max smette di crescere?

---

Nei primi mesi di allenamento gli adattamenti sono generalmente rapidi. Successivamente la velocità di miglioramento rallenta. Questo fenomeno è fisiologico. Man mano che il sistema cardiovascolare e muscolare si avvicinano al proprio potenziale, ogni ulteriore incremento richiede stimoli più precisi, tempi di recupero adeguati e una programmazione sempre più individualizzata.

È proprio in questa fase che molti ciclisti commettono l'errore più comune: aumentare indiscriminatamente l'intensità. In realtà, quando il plateau compare, il problema raramente è la mancanza di sofferenza durante gli allenamenti. Più spesso è la mancanza di uno stimolo diverso o di un recupero sufficiente per consentire nuovi adattamenti.

Il plateau non rappresenta quindi un fallimento dell'allenamento, ma il segnale che il sistema richiede un approccio differente.

## Il VO<sub>2</sub>max è il risultato di un equilibrio

---

Ogni miglioramento nasce dall'equilibrio tra tre elementi:

1. stimolo, cioè il carico allenante;
2. recupero, necessario per consolidare gli adattamenti;
3. tempo, indispensabile affinché le modificazioni strutturali diventino stabili.

Se uno di questi fattori viene meno, il miglioramento rallenta o si interrompe. È per questo motivo che l'allenamento non può essere valutato osservando una singola seduta. Conta la qualità dell'intero processo.

### *Cosa significa questo per il coach*

Come preparatore, la domanda più importante non dovrebbe essere:

*“Qual è il miglior allenamento per aumentare il VO<sub>2</sub>max?”*

La vera domanda è:

*“Quale sistema fisiologico limita oggi questo atleta?”*

Un ciclista con un'eccellente base aerobica potrebbe beneficiare di un blocco HIIT mirato. Un atleta poco allenato, invece, potrebbe ottenere miglioramenti maggiori aumentando il volume in Zona 2 e costruendo una solida capacità aerobica prima di inserire grandi quantità di lavoro ad alta intensità. L'errore più comune è prescrivere lo stesso protocollo a tutti. La fisiologia ci insegna che non esiste un protocollo universale: esistono adattamenti diversi per atleti diversi.

#### **TAKE HOME MESSAGE**

Il VO<sub>2</sub>max non aumenta grazie a un singolo allenamento, ma attraverso una serie di adattamenti coordinati che coinvolgono cuore, sangue, vasi, muscoli e mitocondri. Comprendere se il limite dell'atleta è prevalentemente centrale o periferico rappresenta il primo passo per costruire una programmazione realmente efficace. L'allenamento deve essere individualizzato, progressivo e accompagnato da un recupero adeguato: solo così lo stimolo si trasforma in adattamento e, infine, in prestazione.

Qui non ci limiteremo a dire “fai più HIIT” o “recupera meglio”. Analizzeremo perché il VO<sub>2</sub>max smette di migliorare utilizzando un approccio di Root Cause Analysis, cioè risalendo alla causa fisiologica del problema invece di limitarci al sintomo.

PERCHÉ IL TUO  $\text{VO}_2\text{MAX}$  NON MIGLIORA?

## *Perché il tuo VO<sub>2</sub>max non migliora?*

---

*La Root Cause Analysis applicata all'allenamento*

*“Il plateau del VO<sub>2</sub>max non è quasi mai il problema. È il sintomo di un sistema che ha smesso di adattarsi.”*

Ogni preparatore si è trovato almeno una volta davanti a questa situazione. Un atleta si allena con costanza, rispetta il programma, completa tutte le sedute e dedica molte energie agli allenamenti ad alta intensità. Eppure, dopo settimane o mesi, il VO<sub>2</sub>max rimane invariato. Anche la potenza alla soglia si stabilizza, la frequenza cardiaca durante gli intervalli non cambia e le prestazioni sembrano essersi fermate.

La reazione più comune è aumentare il carico: più ripetute, più intensità, meno recupero. Dal punto di vista fisiologico, questa è spesso la scelta meno efficace. Il VO<sub>2</sub>max non cresce in risposta alla fatica, ma in risposta all'adattamento. Quando il miglioramento si arresta, la domanda corretta non è “Come posso allenarmi più duramente?”, ma “Perché il mio organismo ha smesso di adattarsi?”

Questa è la logica della Root Cause Analysis: non correggere il sintomo, ma identificare il meccanismo che lo genera.

### **Errore n.1**

---

### ***Pensare che più intensità significhi più adattamenti***

È probabilmente l'errore più diffuso tra gli amatori. Quando il VO<sub>2</sub>max non aumenta, molti ciclisti aggiungono una seconda o terza seduta HIIT nella stessa settimana, convinti che il problema sia una quantità insufficiente di intensità. La fisiologia racconta una storia diversa. Gli adattamenti cardiovascolari e mitocondriali richiedono uno stimolo adeguato, ma anche il tempo necessario per essere consolidati. Oltre una certa soglia, aumentare ulteriormente il carico non accelera gli adattamenti: ne riduce la qualità.

Le revisioni sistematiche mostrano che la distribuzione ottimale delle intensità non coincide con la massima quantità di lavoro ad alta intensità. Negli atleti di endurance, la maggior parte del volume continua a essere svolta a bassa intensità, mentre il lavoro intenso rappresenta una quota relativamente limitata ma altamente mirata.

L'intensità è un potente stimolo. Non deve diventare rumore fisiologico.

## **Errore n.2**

---

### ***Confondere il carico esterno con il carico interno***

Molti ciclisti valutano il successo di una seduta osservando esclusivamente i watt prodotti. La potenza rappresenta il carico esterno, cioè ciò che il corpo è chiamato a eseguire. L'organismo, però, si adatta al carico interno: la risposta fisiologica che quello stimolo genera. Due sedute identiche sulla carta possono produrre risposte completamente differenti in base a:

- stato di recupero;
- temperatura ambientale;
- disponibilità di glicogeno;
- qualità del sonno;
- stress lavorativo;
- livello di allenamento.

Un protocollo 5 × 4 minuti al 110% della FTP può essere uno stimolo ideale per un atleta e uno stress eccessivo per un altro. Programmare guardando soltanto i watt significa ignorare metà della fisiologia.

### **Errore n.3**

---

#### ***Mancanza di una vera base aerobica***

L'errore più sottovalutato riguarda il volume. Negli ultimi anni l'enorme diffusione dell'HIIT ha portato molti ciclisti a trascurare il lavoro aerobico di bassa intensità. È comprensibile. Gli intervalli sono coinvolgenti, producono una sensazione immediata di fatica e sembrano offrire risultati rapidi. Il problema è che il VO<sub>2</sub>max si sviluppa su fondamenta costruite con il tempo.

La Zona 2 favorisce:

- aumento della densità mitocondriale;
- sviluppo della rete capillare;
- miglior utilizzo dei grassi;
- incremento del volume plasmatico;
- miglioramento dell'efficienza cardiovascolare.

Senza questi adattamenti, il lavoro ad alta intensità perde gran parte della propria efficacia. L'HIIT costruisce il tetto. La Zona 2 costruisce le fondamenta. Senza fondamenta solide, il tetto non può essere sostenuto.

### **Errore n.4**

---

#### ***Recuperare troppo poco***

Ogni allenamento rappresenta una perturbazione dell'omeostasi. L'organismo risponde attivando numerosi processi:

- sintesi proteica;

- biogenesi mitocondriale;
- espansione del volume plasmatico;
- adattamenti neurali;
- rimodellamento cardiovascolare.

Questi processi richiedono tempo. Quando il recupero è insufficiente, il nuovo stimolo arriva prima che il precedente sia stato assimilato. Il risultato è una progressiva accumulazione di fatica che riduce la qualità degli allenamenti successivi. Molti atleti interpretano questa situazione come una mancanza di forma. In realtà stanno semplicemente impedendo al proprio organismo di completare l'adattamento.

## **Errore n.5**

---

### *Cercare continuamente nuovi allenamenti*

Uno dei fenomeni più diffusi è la ricerca costante del “protocollo perfetto”. Ogni settimana un nuovo video propone:

- il miglior HIIT;
- il metodo definitivo;
- l'allenamento segreto;
- il protocollo dei professionisti.

Il problema è che il corpo non risponde alla novità. Risponde alla ripetizione di stimoli adeguatamente progressivi. Cambiare continuamente metodologia impedisce di accumulare il volume necessario affinché gli adattamenti diventino stabili. L'allenamento efficace è spesso meno spettacolare di quanto si immagini.

## **Errore n.6**

---

### ***Sottovalutare il ruolo della nutrizione***

Il miglior allenamento perde efficacia se il contesto metabolico non è favorevole. Una disponibilità cronica insufficiente di carboidrati può compromettere la qualità delle sedute ad alta intensità, ridurre il volume di lavoro sostenibile e limitare gli adattamenti legati alla capacità di trasporto e utilizzo dell'ossigeno.

Allo stesso tempo, un'alimentazione costantemente ipercalorica e ricca di alimenti ultraprocessati può ostacolare il recupero e favorire un incremento della massa grassa, peggiorando il VO<sub>2</sub>max espresso in ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>. L'obiettivo non è mangiare meno. È fornire il substrato giusto nel momento giusto.

### **Errore n.7**

---

#### ***Ignorare il sonno e lo stress***

Il recupero non termina quando si scende dalla bicicletta. La maggior parte degli adattamenti avviene durante il sonno. Privazione di sonno, stress lavorativo elevato e recupero psicologico insufficiente influenzano:

- risposta endocrina;
- equilibrio del sistema nervoso autonomo;
- sintesi proteica;
- funzione immunitaria;
- disponibilità energetica.

Il risultato è una minore capacità di adattamento anche in presenza di un programma teoricamente corretto.

### **Il vero motivo del plateau**

---

Nella maggior parte dei casi il plateau non deriva da un singolo errore. È la conseguenza di piccoli squilibri che, sommati nel tempo, riducono progressivamente la capacità dell'organismo di

adattarsi. Il compito del preparatore non consiste nell'aumentare automaticamente il carico. Consiste nell'individuare quale componente della catena si è interrotta.

La domanda da porsi non è:

*“Come posso far lavorare di più il mio atleta?”*

La domanda corretta è:

*“Quale adattamento sto cercando e cosa oggi lo sta impedendo?”*

Questa differenza di prospettiva cambia completamente il modo di programmare una stagione.

## Dal sintomo alla causa

---

Quando il VO<sub>2</sub>max non migliora, la tentazione è modificare immediatamente gli allenamenti. Un approccio più efficace consiste invece nel seguire una sequenza logica di domande:

1. Il volume aerobico è sufficiente?
2. Il carico intenso è realmente sostenibile?
3. L'atleta recupera adeguatamente?
4. Alimentazione e sonno supportano gli adattamenti?
5. Il plateau riguarda davvero il VO<sub>2</sub>max o altri determinanti della performance?

Spesso il problema emerge già rispondendo alle prime domande.

## Cosa significa questo per il coach

---

L'allenatore moderno non dovrebbe limitarsi a prescrivere intervalli. Dovrebbe interpretare la fisiologia dell'atleta. Due ciclisti con lo stesso VO<sub>2</sub>max possono richiedere strategie completamente diverse:

- uno ha bisogno di aumentare il volume aerobico;

- uno necessita di un blocco HIIT ben strutturato;
- uno deve semplicemente recuperare meglio;
- uno deve migliorare la disponibilità energetica;
- uno ha già raggiunto il proprio potenziale di VO<sub>2</sub>max e dovrebbe spostare il focus su soglia, economia di pedalata o durability.

La capacità di riconoscere queste differenze rappresenta probabilmente la competenza più importante di un preparatore.

#### TAKE HOME MESSAGE

Il VO<sub>2</sub>max non si blocca perché “il corpo si abitua” agli allenamenti. Si blocca quando lo stimolo non è più in grado di generare nuovi adattamenti o quando il recupero non permette di consolidarli. Il plateau è quindi un segnale da interpretare, non un ostacolo da superare aumentando indiscriminatamente l'intensità. La soluzione raramente consiste nel fare di più; molto più spesso consiste nel fare meglio.

PERCHÉ IL TUO  $\text{VO}_2\text{MAX}$  NON MIGLIORA?

## *HIIT e VO<sub>2</sub>max: cosa dice davvero la ricerca scientifica*

---

*“L’obiettivo di un allenamento VO<sub>2</sub>max non è produrre la massima potenza possibile. È trascorrere il maggior tempo possibile in condizioni fisiologiche favorevoli agli adattamenti.”*

Negli ultimi vent’anni l’High Intensity Interval Training (HIIT) è diventato il metodo di riferimento per migliorare il VO<sub>2</sub>max negli sport di endurance. Il motivo è semplice. L’alternanza tra intervalli ad alta intensità e recuperi permette di accumulare un tempo di lavoro vicino al massimo consumo di ossigeno superiore rispetto a quello ottenibile con uno sforzo continuo.

Questo concetto ha portato alla nascita di decine di protocolli:

- 4×4 minuti;
- 5×5 minuti;
- 4×8 minuti;
- 30”/30”;
- 30”/15”;
- 40”/20”;
- sprint interval training (SIT);
- repeated sprint training (RST);
- microburst;
- protocolli piramidali.

Molti vengono presentati come il “migliore”. La letteratura

scientifica racconta una realtà diversa. Il protocollo perfetto non esiste. Esiste il protocollo più adatto al contesto fisiologico dell'atleta.

## **Perché l'HIIT funziona?**

---

Per comprendere l'efficacia dell'HIIT dobbiamo abbandonare una convinzione molto diffusa. L'allenamento non produce adattamenti perché è estremamente intenso. Produce adattamenti perché costringe l'organismo a lavorare vicino ai propri limiti fisiologici per un tempo sufficiente. Il parametro realmente importante non è la potenza massima raggiunta.

È il tempo trascorso vicino al  $\text{VO}_2\text{max}$ . Negli ultimi anni questo concetto è stato identificato con il termine:

*Time at  $\text{VO}_2\text{max}$  ( $t\text{VO}_2\text{max}$ )*

## **Cos'è il $t\text{VO}_2\text{max}$ ?**

---

Quando inizia un intervallo intenso il consumo di ossigeno non aumenta immediatamente. Esiste un ritardo fisiologico. Nei primi secondi il lavoro viene sostenuto prevalentemente dai sistemi anaerobici. Successivamente il consumo di ossigeno cresce progressivamente fino a raggiungere valori prossimi al massimo. Questo significa che un intervallo molto breve può terminare prima ancora che il  $\text{VO}_2$  raggiunga il proprio valore massimo.

Ed è proprio questo il motivo per cui non tutti gli intervalli producono lo stesso stimolo.

## **Dentro un intervallo $\text{VO}_2\text{max}$**

---

Vediamo cosa accade realmente durante uno sforzo intenso.

***0-20 secondi***

L'energia proviene quasi esclusivamente dal sistema ATP-PCr. Il consumo di ossigeno aumenta lentamente. La frequenza cardiaca è ancora relativamente bassa. L'obiettivo dell'organismo è colmare rapidamente la richiesta energetica.

***20-60 secondi***

Inizia la rapida crescita del  $\text{VO}_2$ . La gittata cardiaca aumenta. La ventilazione accelera. Le fibre di tipo II iniziano a essere reclutate in misura crescente. Il lattato comincia ad accumularsi.

***60-120 secondi***

Il consumo di ossigeno continua ad aumentare. Il cuore lavora ormai vicino alla propria capacità massima. L'estrazione periferica di ossigeno aumenta. La frequenza cardiaca si avvicina ai valori massimali.

***Oltre 2 minuti***

Nei soggetti allenati il  $\text{VO}_2$  raggiunge generalmente valori superiori al 90-95% del massimo. È proprio questa la zona fisiologica che interessa al preparatore. Perché? Perché è qui che si osserva il maggiore stimolo sugli adattamenti cardiovascolari e mitocondriali.

**La scoperta che ha cambiato la programmazione**


---

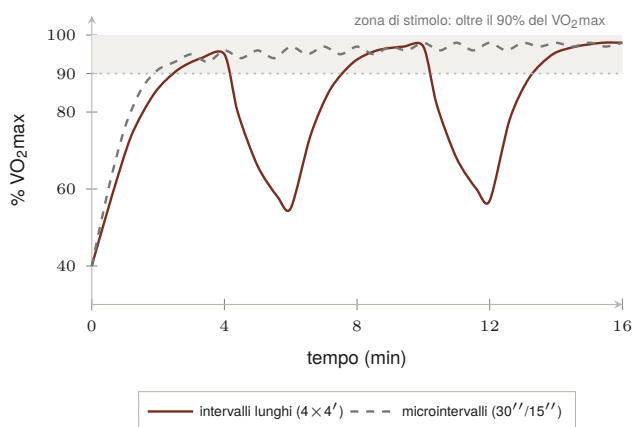
Per molti anni si è pensato che la variabile principale fosse:  
**quanto forte pedalare.**

Oggi sappiamo che spesso è più importante chiedersi:  
**per quanto tempo il sistema cardiovascolare rimane vicino al proprio massimo?**

Da questa intuizione nasce il concetto moderno di  $t\text{VO}_2\text{max}$ . Più tempo viene trascorso sopra il 90-95% del  $\text{VO}_2\text{max}$ , maggiore

tende a essere lo stimolo allenante, a condizione che il recupero sia adeguato e il carico sia inserito in una programmazione coerente. Questo non significa che “più è sempre meglio”. Esiste un punto oltre il quale la qualità dell'esecuzione diminuisce, la potenza cala e l'affaticamento supera il beneficio.

L'obiettivo del coach è trovare il miglior equilibrio tra intensità, durata e recupero.



**Figura 4.** Cinetica del  $\text{VO}_2$  in due formati a pari intensità media. Il protocollo lungo raggiunge valori massimali ma perde tempo utile a ogni riavvio; i microintervalli sfruttano il recupero incompleto per mantenere il consumo di ossigeno sopra il 90%, accumulando più  $\text{tVO}_2\text{max}$  a parità di fatica percepita.

## Perché esistono protocolli così diversi?

Una domanda ricorrente è: Se il tempo vicino al  $\text{VO}_2\text{max}$  è così importante, perché esistono protocolli tanto differenti? La risposta è semplice. Esistono diversi modi per raggiungere lo stesso obiettivo fisiologico. Un protocollo lungo mantiene il  $\text{VO}_2$  elevato grazie alla durata. Un protocollo breve lo mantiene elevato grazie a recuperi incompleti che impediscono al consumo di ossigeno di tornare ai valori basali.

Il risultato può essere sorprendentemente simile. Cambia però il tipo di fatica indotta.

## Intervalli lunghi

---

Protocolli come:

- 4×4'
- 5×5'
- 4×8'

inducono una marcata sollecitazione cardiovascolare. Sono particolarmente efficaci quando l'obiettivo è sviluppare:

- gittata cardiaca;
- volume sistolico;
- tolleranza allo sforzo prolungato.

Richiedono però una buona base aerobica.

## Microintervalli

---

Protocolli come:

- 30"/15"
- 40"/20"
- 30"/30"

consentono di accumulare un elevato tempo vicino al VO<sub>2</sub>max mantenendo una qualità di pedalata generalmente superiore. Il recupero incompleto impedisce al consumo di ossigeno di diminuire completamente. Di conseguenza il VO<sub>2</sub> rimane elevato per gran parte della seduta. Sono protocolli molto utilizzati nel ciclismo moderno, soprattutto quando si desidera coniugare stimolo aerobico e capacità di ripetere cambi di ritmo.

## Sprint Interval Training

---

Gli sprint all-out rappresentano un caso particolare. Non migliorano il VO<sub>2</sub>max perché mantengono il consumo di ossigeno elevato. Lo migliorano grazie al fortissimo stress metabolico e neuromuscolare che inducono. Per questo motivo non possono essere considerati un sostituto universale dell'HIIT tradizionale. Sono strumenti specifici.

Non soluzioni universali.

## La ricerca degli ultimi anni

---

Le meta-analisi più recenti mostrano un messaggio estremamente chiaro. Non esiste un protocollo che sia sistematicamente superiore a tutti gli altri. L'efficacia dipende da:

- livello dell'atleta;
- periodo della stagione;
- volume complessivo;
- recupero;
- obiettivo fisiologico.

Questo è un punto fondamentale. Molti studi confrontano protocolli diversi per poche settimane. La programmazione di una stagione dura mesi. Un buon preparatore non sceglie il protocollo "migliore". Sceglie quello più coerente con il momento dell'atleta.

## Cosa significa questo per il coach

---

Quando programmi una seduta VO<sub>2</sub>max non dovresti chiederti:

*"Qual è l'allenamento più duro?"*

La domanda corretta è:

*“Quale adattamento voglio ottenere?”*

Se il limite è cardiovascolare, probabilmente saranno più indicati intervalli relativamente lunghi. Se l'obiettivo è migliorare la capacità di sostenere continui cambi di ritmo, i microintervalli possono rappresentare una scelta migliore. Se il focus è neuromuscolare, gli sprint avranno un ruolo specifico. Il protocollo non è il punto di partenza.

È la conseguenza del ragionamento fisiologico.

**TAKE HOME MESSAGE**

L'HIIT rappresenta uno degli strumenti più efficaci per migliorare il VO<sub>2</sub>max, ma non esiste un protocollo universalmente superiore. L'adattamento dipende dal tempo trascorso vicino al massimo consumo di ossigeno, dalla qualità dell'esecuzione, dal recupero e dalla coerenza con la programmazione complessiva. La domanda che ogni coach dovrebbe porsi non è “quale protocollo scegliere”, ma “quale adattamento voglio ottenere da questo atleta in questo preciso momento della stagione”.

PERCHÉ IL TUO  $\text{VO}_2\text{MAX}$  NON MIGLIORA?

## *I protocolli HIIT nel ciclismo: quale scegliere e quando utilizzarlo*

---

*“Non esiste il miglior allenamento  $VO_2\max$ . Esiste il miglior allenamento per quel determinato atleta, in quel preciso momento della stagione.”*

Se chiedessimo a dieci preparatori quale sia il protocollo migliore per aumentare il  $VO_2\max$ , probabilmente otterremmo dieci risposte diverse. C'è chi sostiene il classico 4×4 minuti, chi preferisce il 4×8, chi utilizza prevalentemente i 30/15, chi costruisce blocchi con 40/20, chi programma sprint massimali e chi alterna periodi di lavoro continuo ad altri caratterizzati da microintervalli.

La domanda è inevitabile:

### **Chi ha ragione?**

La risposta della fisiologia è sorprendentemente semplice:  
**tutti e nessuno.**

Ogni protocollo rappresenta uno strumento progettato per stimolare adattamenti specifici. Nessuno è universalmente superiore. La scelta deve dipendere dall'obiettivo fisiologico, dal livello dell'atleta, dal periodo della stagione e dalla quantità complessiva di carico già presente nel programma. Il ruolo del preparatore non è trovare il protocollo perfetto, ma selezionare quello che offre il miglior rapporto tra stimolo, recupero e adattamento.

## **Il protocollo 4×4 minuti**

---

Probabilmente è il protocollo HIIT più conosciuto al mondo. Originariamente studiato nell'ambito della fisiologia cardiovascolare, è stato successivamente adottato anche negli sport di endurance grazie alla sua capacità di mantenere elevata la richiesta cardiaca per un tempo prolungato. Generalmente viene eseguito con intensità comprese tra il 90 e il 95% della frequenza cardiaca massima o, nel ciclismo, intorno al 105-115% della FTP, con recuperi attivi di tre minuti.

### ***Obiettivo fisiologico***

Il principale adattamento ricercato è l'aumento della gittata cardiaca e del volume sistolico. La durata relativamente lunga dell'intervallo consente al cuore di lavorare vicino alla propria capacità massima per diversi minuti consecutivi. Per questo motivo il 4×4 rappresenta una scelta particolarmente efficace nei periodi dedicati allo sviluppo della capacità aerobica massima.

### ***Vantaggi***

- Elevato stimolo cardiovascolare.
- Buona efficacia negli atleti già allenati.
- Facilità di programmazione e monitoraggio.

### ***Limiti***

- Elevato stress percepito.
- Richiede una base aerobica consolidata.
- La qualità dell'esecuzione può diminuire rapidamente negli atleti poco allenati.

## **Il protocollo 4×8 minuti**

---

Negli ultimi anni diversi studi hanno confrontato il classico 4×4 con intervalli più lunghi. I risultati hanno mostrato che estendere la durata degli intervalli può produrre adattamenti molto interessanti, soprattutto negli atleti con una buona esperienza di allenamento. La potenza relativa è inferiore rispetto al 4×4, ma il tempo complessivo trascorso a elevata richiesta aerobica aumenta considerevolmente.

### ***Obiettivo fisiologico***

- Incrementare il tempo vicino al  $\text{VO}_2\text{max}$ .
- Migliorare la tolleranza agli sforzi prolungati.
- Aumentare la capacità di sostenere elevate percentuali della potenza aerobica.

Questa tipologia di lavoro risulta particolarmente utile nel ciclismo su strada e nelle granfondo, dove la capacità di mantenere intensità elevate per diversi minuti rappresenta spesso un fattore determinante.

## **I microintervalli 30"/15"**

---

Negli ultimi anni i protocolli brevi hanno assunto un ruolo centrale nella programmazione dell'HIIT. Tra questi, il 30 secondi di lavoro alternati a 15 secondi di recupero rappresenta uno dei più studiati. L'idea è semplice. Il recupero è volutamente troppo breve per consentire al consumo di ossigeno di tornare ai valori iniziali.

Di conseguenza, ogni ripetizione parte da un livello di  $\text{VO}_2$  già elevato. Questo permette di accumulare molto tempo sopra il 90% del  $\text{VO}_2\text{max}$  senza dover sostenere un intervallo continuo di diversi minuti.

### ***Adattamenti principali***

- Elevata permanenza vicino al VO<sub>2</sub>max.
- Migliore tolleranza ai cambi di ritmo.
- Ottimo compromesso tra stimolo cardiovascolare e qualità tecnica della pedalata.

Per discipline come MTB, ciclocross, XC marathon e criterium, questo tipo di lavoro presenta un'elevata specificità.

### **Il protocollo 40"/20"**

---

Dal punto di vista fisiologico il principio è simile al 30/15. L'intervallo di lavoro leggermente più lungo aumenta la richiesta metabolica e determina un maggiore coinvolgimento del metabolismo aerobico. Il recupero rimane comunque sufficientemente breve da mantenere elevato il consumo di ossigeno. Molti preparatori lo utilizzano durante i periodi di costruzione del VO<sub>2</sub>max perché permette di lavorare a potenze elevate senza compromettere eccessivamente la qualità della seduta.

### **Sprint Interval Training (SIT)**

---

Lo Sprint Interval Training rappresenta una categoria completamente diversa. Qui non si parla di intervalli controllati. Si parla di sprint massimali. Generalmente vengono eseguiti sforzi di 20-30 secondi "all-out", seguiti da recuperi molto lunghi. L'obiettivo non è mantenere il VO<sub>2</sub> elevato, bensì generare uno stimolo neuromuscolare e metabolico estremamente intenso.

### ***Quando utilizzarlo***

- Atleti esperti.
- Discipline con ripetute accelerazioni.
- Periodi specifici della stagione.

### *Quando evitarlo*

- Base aerobica insufficiente.
- Elevato livello di affaticamento.
- Fasi di recupero o transizione.

## **Repeated Sprint Training (RST)**

---

Spesso viene confuso con il SIT. In realtà il repeated sprint training prevede sprint molto brevi eseguiti con recuperi incompleti. Lo scopo è migliorare la capacità di ripetere accelerazioni ad alta intensità, caratteristica fondamentale nelle gare XC, nel ciclocross e nei finali di gara su strada. Gli adattamenti coinvolgono sia il metabolismo anaerobico sia quello aerobico, migliorando la capacità di recuperare rapidamente tra uno sprint e l'altro.

## **Piramidali e intervalli misti**

---

Negli ultimi anni stanno trovando sempre più spazio protocolli che combinano durate e intensità differenti all'interno della stessa seduta. Un esempio è rappresentato dalle strutture:

- 4' → 2' → 30"
- 3' → 1' → sprint
- blocchi progressivi con variazioni di intensità.

Questi allenamenti permettono di coinvolgere contemporaneamente diversi sistemi energetici e risultano particolarmente utili durante il periodo competitivo. Tuttavia, richiedono una gestione molto attenta del carico, poiché aumentano notevolmente la complessità fisiologica della seduta.

## Come scegliere il protocollo giusto?

La scelta dovrebbe sempre partire dalla domanda:

### Quale adattamento sto cercando?

| Obiettivo                                        | Protocollo consigliato                          |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Incrementare il volume sistolico                 | 4×4 – 5×5                                       |
| Aumentare il tempo vicino al VO <sub>2</sub> max | 30/15 – 40/20                                   |
| Preparazione granfondo                           | 4×8                                             |
| MTB e XC                                         | 30/15 – Repeated Sprint                         |
| Ciclocross                                       | Microintervalli + Sprint                        |
| Criterium                                        | Microburst + Sprint                             |
| Atleti poco allenati                             | Intervalli progressivi prima dell'HIIT avanzato |

Questa tabella non deve essere interpretata come una regola assoluta, ma come una guida basata sulle principali evidenze scientifiche e sull'esperienza pratica.

### L'errore che vedo più spesso

Negli ultimi anni ho osservato un errore ricorrente. Molti atleti cambiano protocollo ogni settimana perché pensano che la variabilità sia sinonimo di efficacia. La fisiologia suggerisce il contrario. Gli adattamenti richiedono ripetizione, progressione e continuità. Cambiare continuamente tipo di intervallo impedisce di accumulare uno stimolo sufficiente per ottenere modificazioni strutturali stabili.

La varietà ha valore solo quando risponde a un obiettivo preciso della periodizzazione. Diversamente, rischia di diventare semplice casualità.

## Cosa significa questo per il coach

---

Un protocollo non è “buono” o “cattivo” in senso assoluto. È uno strumento. Così come un chirurgo sceglie strumenti diversi in base al tipo di intervento, un preparatore dovrebbe scegliere protocolli diversi in funzione del sistema fisiologico che desidera stimolare. L’obiettivo non è costruire allenamenti spettacolari. È costruire adattamenti.

Ed è proprio questa la differenza tra chi programma sedute e chi programma una stagione.

### TAKE HOME MESSAGE

I protocolli HIIT non sono in competizione tra loro. Ognuno produce adattamenti specifici e trova la propria collocazione all’interno della periodizzazione. Il successo non dipende dalla scelta del “miglior” intervallo, ma dalla capacità del preparatore di inserirlo nel momento giusto, con il giusto volume, la giusta intensità e il recupero adeguato. In altre parole, il protocollo è solo uno strumento: è la programmazione che determina il risultato finale.

PERCHÉ IL TUO  $\text{VO}_2\text{MAX}$  NON MIGLIORA?

## *La periodizzazione del VO<sub>2</sub>max: quando allenarlo e perché molti ciclisti sbagliano*

---

*“Non esiste un allenamento efficace fuori contesto. La stessa seduta può essere straordinaria a gennaio e completamente inutile ad agosto.”*

Uno degli errori più frequenti nel ciclismo moderno consiste nel considerare il VO<sub>2</sub>max come una qualità da allenare continuamente. Molti atleti inseriscono una o due sedute HIIT ogni settimana per mesi, spesso per tutta la stagione, convinti che mantenere uno stimolo costante sia la strategia migliore per continuare a migliorare.

La fisiologia suggerisce un approccio diverso. Gli adattamenti biologici seguono un principio fondamentale: ogni sistema possiede una capacità limitata di risposta allo stesso stimolo. Quando un determinato carico viene ripetuto troppo a lungo senza modifiche nella struttura della programmazione, l'organismo riduce progressivamente la propria risposta adattativa.

Questo fenomeno, noto come plateau dell'allenamento, non rappresenta un fallimento, ma una normale conseguenza del processo di adattamento. Per questo motivo il VO<sub>2</sub>max non dovrebbe essere allenato in modo continuo, bensì inserito all'interno di una periodizzazione che alterni stimoli differenti e complementari.

## Costruire prima le fondamenta

---

Una delle convinzioni più diffuse è che il VO<sub>2</sub>max debba essere sviluppato il prima possibile. In realtà, nella maggior parte dei ciclisti, il primo obiettivo della stagione dovrebbe essere la costruzione della capacità aerobica di base. Questa fase è spesso sottovalutata perché produce adattamenti poco visibili nel breve periodo. Non genera sensazioni di grande intensità, non porta a frequenze cardiache elevate e raramente viene percepita come “allenante”. Tuttavia, è proprio in questo periodo che si sviluppano molte delle strutture necessarie per sostenere successivamente il lavoro ad alta intensità.

L'allenamento a bassa intensità favorisce:

- l'aumento del volume plasmatico;
- la biogenesi mitocondriale;
- la crescita della rete capillare;
- il miglioramento del metabolismo ossidativo;
- una maggiore efficienza del sistema cardiovascolare.

Questi adattamenti rappresentano la base su cui costruire il lavoro VO<sub>2</sub>max. Allenare intensamente un atleta che non possiede ancora una solida capacità aerobica equivale a costruire il secondo piano di una casa senza aver completato le fondamenta.

## Il momento ideale per sviluppare il VO<sub>2</sub>max

---

Dopo il periodo dedicato alla base aerobica, la maggior parte degli atleti beneficia di una fase specifica orientata allo sviluppo della potenza aerobica. L'obiettivo non è soltanto aumentare il VO<sub>2</sub>max, ma migliorare la capacità di esprimere elevate potenze aerobiche e sostenere intensità vicine al massimo consumo di ossigeno.

Questa fase dura generalmente dalle quattro alle otto settimane, in funzione del livello dell'atleta e degli obiettivi agonistici.

Durante questo periodo il lavoro ad alta intensità aumenta progressivamente, mentre il volume complessivo viene mantenuto o leggermente ridotto per favorire il recupero. L'errore più frequente consiste nell'aggiungere sedute HIIT senza modificare il resto della settimana, generando un accumulo di fatica che riduce la qualità dello stimolo.

## **Il principio della specificità**

---

Con l'avvicinarsi delle competizioni il focus dell'allenamento cambia. Il  $\text{VO}_2\text{max}$  rimane importante, ma non rappresenta più la priorità. In questa fase assumono maggiore rilevanza:

- la capacità di sostenere elevate percentuali del  $\text{VO}_2\text{max}$ ;
- la soglia del lattato;
- l'economia di pedalata;
- la gestione del ritmo gara;
- la capacità di ripetere accelerazioni;
- la durability.

È per questo motivo che molti atleti d'élite riducono progressivamente il volume di lavoro specifico sul  $\text{VO}_2\text{max}$  durante il periodo competitivo, mantenendo uno stimolo sufficiente a preservare gli adattamenti già acquisiti. L'obiettivo non è continuare ad aumentare il  $\text{VO}_2\text{max}$ , ma trasformare quel potenziale fisiologico in prestazione.

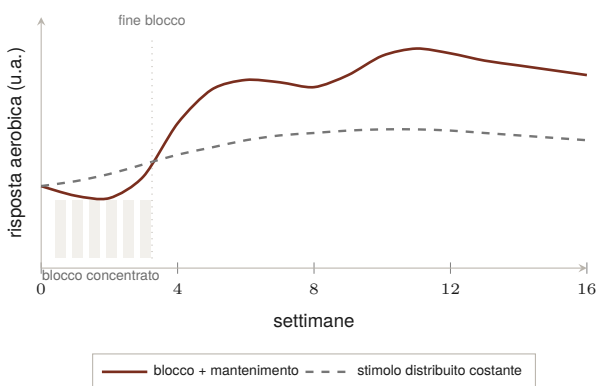
## Blocchi di sviluppo o stimolo distribuito?

Negli ultimi anni la letteratura ha dedicato grande attenzione al confronto tra due approcci:

- distribuzione uniforme del lavoro ad alta intensità;
- periodizzazione a blocchi.

Nel primo caso, una o due sedute HIIT vengono inserite ogni settimana per lunghi periodi. Nel secondo, il lavoro intenso viene concentrato in blocchi di pochi giorni o settimane, alternati a periodi caratterizzati da minore intensità. Le evidenze mostrano che entrambi gli approcci possono essere efficaci. Tuttavia, negli atleti ben allenati, la periodizzazione a blocchi sembra favorire adattamenti più marcati in alcuni contesti, probabilmente grazie a una maggiore concentrazione dello stimolo e a una successiva fase di consolidamento.

Questo non significa che la periodizzazione a blocchi sia sempre superiore. Significa che la scelta deve essere coerente con il calendario agonistico, il livello dell'atleta e la capacità di recupero.



**Figura 5.** Blocco concentrato contro stimolo distribuito. Il blocco produce un calo iniziale seguito da un rimbalzo più ampio; la ripetizione settimanale indefinita dello stesso stimolo porta invece a un plateau precoce e a una lenta erosione della risposta.

## Quanto dura l'effetto di un blocco VO<sub>2</sub>max?

---

Una domanda frequente riguarda la durata degli adattamenti. Gli incrementi del VO<sub>2</sub>max non sono permanenti. In assenza di uno stimolo adeguato, parte degli adattamenti tende progressivamente a ridursi. Fortunatamente il loro decadimento è molto più lento rispetto a quanto molti atleti immaginano. Dopo un blocco ben eseguito è generalmente sufficiente una seduta di richiamo ogni sette-dieci giorni per mantenere gran parte degli adattamenti cardiovascolari durante il periodo agonistico.

Questo consente di dedicare maggiore spazio ad altre qualità determinanti per la prestazione senza perdere il lavoro svolto nelle settimane precedenti.

## L'errore della "stagione sempre intensa"

---

Uno degli aspetti che osservo più frequentemente nella pratica riguarda la mancanza di variazione del carico. Molti ciclisti trascorrono l'intero anno allenandosi sempre con la stessa distribuzione delle intensità. Una settimana tipo può rimanere invariata per mesi:

- martedì HIIT;
- giovedì soglia;
- sabato gara o lavoro intenso;
- domenica lungo.

All'apparenza sembra una programmazione logica. Dal punto di vista fisiologico, però, riduce progressivamente la capacità dell'organismo di produrre nuovi adattamenti. Il corpo non risponde alla ripetizione infinita dello stesso stimolo. Risponde alla progressione. Per questo motivo la periodizzazione non rappresenta un dettaglio organizzativo, ma uno dei principali determinanti del miglioramento.

## Dal VO<sub>2</sub>max alla prestazione

---

Uno degli errori più comuni consiste nel considerare il VO<sub>2</sub>max come il punto di arrivo. In realtà rappresenta soltanto un passaggio. L'obiettivo finale non è aumentare un numero. È migliorare la capacità di trasformare quel potenziale in watt sostenibili durante una salita, una cronometro, una granfondo o una gara XC. Un incremento del VO<sub>2</sub>max privo di miglioramenti nella soglia del lattato, nell'economia di pedalata e nella gestione della fatica potrebbe avere un impatto molto limitato sulla prestazione reale.

Il preparatore deve quindi evitare di innamorarsi del parametro. Ciò che conta è il risultato complessivo.

## Cosa significa questo per il coach

---

Quando pianifichi una stagione non chiederti:

*“Quando inserisco il 4x4?”*

Chiediti piuttosto:

- Qual è la qualità fisiologica più limitante oggi?
- Cosa servirà tra sei settimane?
- Quale adattamento voglio mantenere?
- Quale posso temporaneamente lasciare in secondo piano?

La programmazione efficace nasce da queste domande, non dalla scelta del singolo allenamento. Il VO<sub>2</sub>max è una qualità fondamentale, ma deve convivere con tutte le altre componenti della prestazione.

### TAKE HOME MESSAGE

Allenare il VO<sub>2</sub>max non significa eseguire intervalli ad alta intensità tutto l'anno. Significa inserirli nel momento in cui l'organismo è in

grado di trarne il massimo beneficio, dopo aver costruito una solida base aerobica e prima della fase di specificità. La periodizzazione permette di alternare stimoli diversi, evitare il plateau e trasformare gli adattamenti fisiologici in prestazione reale. Il successo non dipende dalla singola seduta, ma dalla logica con cui le sedute vengono organizzate durante l'intera stagione.

PERCHÉ IL TUO  $\text{VO}_2\text{MAX}$  NON MIGLIORA?

## *Le controversie scientifiche sul VO<sub>2</sub>max*

---

*Cosa sappiamo oggi, cosa pensavamo ieri e cosa ancora non conosciamo*

*“La fisiologia dell’esercizio non è una raccolta di certezze assolute.  
È una disciplina in continua evoluzione, nella quale ogni nuova  
evidenza contribuisce a ridefinire ciò che riteniamo vero.”*

Una delle caratteristiche più affascinanti della scienza è la sua capacità di correggere sé stessa. Molte convinzioni considerate indiscutibili vent’anni fa sono state successivamente ridimensionate o addirittura superate da nuove evidenze sperimentali. Questo vale anche per il VO<sub>2</sub>max. Se oggi esiste un consenso su alcuni principi fondamentali — come il ruolo della gittata cardiaca, degli adattamenti mitocondriali o dell’importanza dell’allenamento ad alta intensità — rimangono ancora numerose aree di dibattito.

Comprendere queste controversie è fondamentale non solo per interpretare correttamente la letteratura, ma anche per evitare uno degli errori più comuni nella pratica dell’allenamento: trasformare risultati ottenuti in contesti sperimentali specifici in regole universali.

### **VO<sub>2</sub>max: limite centrale o limite periferico?**

---

Uno dei dibattiti più longevi della fisiologia riguarda l’origine del limite del VO<sub>2</sub>max. Secondo il modello classico proposto da Bassett e Howley, il principale fattore limitante sarebbe la capacità del sistema cardiovascolare di trasportare ossigeno ai muscoli.

In questa prospettiva, il cuore rappresenta il “collo di bottiglia” dell’intero sistema.

Le evidenze a favore di questa teoria sono numerose. L’aumento della gittata cardiaca, del volume sistolico e della massa eritrocitaria è fortemente associato agli incrementi del VO<sub>2</sub>max osservati negli atleti di endurance. Tuttavia, numerosi studi hanno mostrato che due individui con capacità cardiovascolari simili possono presentare differenze importanti nella capacità di estrarre e utilizzare l’ossigeno a livello muscolare.

Questa osservazione ha portato allo sviluppo di una visione più integrata, secondo cui il VO<sub>2</sub>max emerge dall’interazione tra trasporto centrale e utilizzazione periferica dell’ossigeno. Oggi la maggior parte degli autori considera questa interpretazione la più coerente con le evidenze disponibili.

## **Esiste davvero un protocollo HIIT migliore?**

---

La ricerca sull’HIIT ha prodotto centinaia di studi. Il risultato è paradossale. Ogni protocollo sembra essere stato definito, almeno una volta, “il migliore”. 4x4. 4x8. 30”/15”. 40”/20”. Sprint interval training. Repeated sprint training. La spiegazione è relativamente semplice. La maggior parte degli studi confronta protocolli in popolazioni differenti, con durate differenti, livelli di allenamento differenti e obiettivi differenti.

Confrontare direttamente questi risultati è spesso metodologicamente scorretto. Le meta-analisi più recenti suggeriscono che, quando il volume e il carico complessivo sono adeguatamente controllati, le differenze tra protocolli tendono a ridursi. Ciò che cambia è soprattutto la distribuzione dello stress fisiologico. Per il preparatore questo significa una cosa molto importante: la scelta del protocollo è meno importante della qualità con cui viene inserito nella programmazione.

## Quanto conta davvero la genetica?

---

Per molti anni il celebre HERITAGE Family Study è stato interpretato come la dimostrazione dell'esistenza dei cosiddetti "non responder". Secondo questa interpretazione alcune persone sarebbero geneticamente incapaci di migliorare il proprio VO<sub>2</sub>max. Negli ultimi anni questa conclusione è stata progressivamente rivista. Numerosi studi hanno dimostrato che modificando frequenza, volume, intensità o durata dell'intervento, molti dei presunti non responder mostrano adattamenti significativi.

La risposta all'allenamento appare quindi molto più continua e individuale di quanto inizialmente ipotizzato. La genetica rimane un fattore determinante, ma non rappresenta una condanna né una garanzia di successo.

## Il VO<sub>2</sub>max è davvero il miglior predittore della performance?

---

Questa è probabilmente la controversia più rilevante per il ciclismo. Storicamente il VO<sub>2</sub>max è stato considerato il principale indicatore della capacità aerobica. Oggi sappiamo che il suo potere predittivo diminuisce progressivamente all'aumentare del livello dell'atleta. Tra ciclisti élite con valori di VO<sub>2</sub>max molto simili, la prestazione viene spesso spiegata meglio da altri fattori:

- potenza alla soglia del lattato;
- economia di pedalata;
- fractional utilization del VO<sub>2</sub>max;
- durability;
- capacità tattica;
- gestione nutrizionale.

In altre parole, il VO<sub>2</sub>max rappresenta il potenziale del motore, ma non descrive completamente la capacità di trasformarlo in prestazione.

## **L'età rappresenta davvero un limite?**

---

Una convinzione ancora molto diffusa sostiene che oltre una certa età il  $\text{VO}_2\text{max}$  non possa più migliorare. La letteratura racconta una storia diversa. È vero che il  $\text{VO}_2\text{max}$  tende a diminuire fisiologicamente con l'invecchiamento, principalmente per la riduzione della frequenza cardiaca massima, della massa muscolare e della gittata cardiaca.

Tuttavia, numerosi studi dimostrano che programmi di allenamento ben strutturati sono in grado di produrre miglioramenti significativi anche in soggetti di oltre sessant'anni. Ciò che cambia non è tanto la possibilità di adattamento, quanto la velocità con cui esso avviene e la capacità di recuperare dagli stimoli più intensi.

## **Quanto sono affidabili le stime del $\text{VO}_2\text{max}$ ?**

---

Negli ultimi anni smartwatch, ciclocomputer e piattaforme software hanno reso il  $\text{VO}_2\text{max}$  un parametro accessibile praticamente a tutti. Queste stime hanno certamente aumentato l'interesse verso la fisiologia dell'esercizio. Tuttavia, è fondamentale comprenderne i limiti. Nella maggior parte dei casi il valore mostrato sul display non deriva da una misura diretta dello scambio gassoso, ma da modelli matematici che combinano dati di potenza, frequenza cardiaca, velocità e caratteristiche individuali.

Le stime possono essere utili per monitorare le tendenze nel tempo, ma non dovrebbero essere considerate equivalenti a una valutazione eseguita mediante analisi dei gas respiratori in laboratorio. Per il preparatore il dato assume valore solo quando viene interpretato insieme all'intero quadro prestativo dell'atleta.

## La vera lezione della ricerca

---

Analizzando l'evoluzione della letteratura emerge un messaggio sorprendentemente coerente. Ogni volta che la fisiologia sembra aver trovato una risposta definitiva, nuove evidenze mostrano una realtà più complessa. Il VO<sub>2</sub>max non dipende esclusivamente dal cuore. Non dipende esclusivamente dai muscoli. Non dipende esclusivamente dall'HIIT.

Non dipende esclusivamente dalla genetica. È il risultato dinamico dell'interazione tra sistemi biologici, programmazione dell'allenamento, recupero, nutrizione, esperienza sportiva e variabilità individuale. Questa complessità rappresenta il motivo per cui non esistono protocolli universali. Ed è anche il motivo per cui il ruolo del preparatore rimane insostituibile.

## Cosa significa questo per il coach

---

L'allenatore moderno deve imparare a convivere con l'incertezza scientifica. Non significa rinunciare alle evidenze. Significa utilizzarle in modo critico. La ricerca offre principi, non ricette. Fornisce probabilità, non certezze. Il compito del coach consiste nel tradurre questi principi nel contesto specifico di ogni atleta, adattandoli continuamente in funzione delle risposte individuali.

### TAKE HOME MESSAGE

La ricerca sul VO<sub>2</sub>max ha compiuto enormi progressi, ma molte domande rimangono aperte. Oggi sappiamo che il consumo massimo di ossigeno non è determinato da un singolo fattore né migliorabile attraverso un'unica strategia. Il valore della letteratura scientifica non risiede nell'offrire risposte assolute, ma nel fornire un quadro sempre più preciso dei meccanismi che regolano l'adattamento all'allenamento. Per il preparatore, questo significa abbandonare la ricerca del metodo perfetto e sviluppare la capacità di interpretare criticamente le evidenze alla luce delle caratteristiche

del singolo atleta.

## Oltre il $VO_2max$

---

*Perché avere un motore enorme non basta per andare più forte*

*“Il  $VO_2max$  determina il potenziale. La prestazione dipende da quanto di quel potenziale riesci realmente a utilizzare.”*

Per molti anni il consumo massimo di ossigeno è stato considerato il parametro definitivo della prestazione aerobica. Più alto era il  $VO_2max$ , migliore sarebbe dovuta essere la performance. Con il passare degli anni, tuttavia, questa convinzione ha iniziato a mostrare evidenti limiti. Numerosi studi hanno osservato che atleti con valori quasi identici di  $VO_2max$  ottenevano risultati completamente differenti nelle competizioni.

Ancora più sorprendente, in alcuni casi l'atleta con il  $VO_2max$  inferiore risultava sistematicamente più performante. Queste osservazioni hanno profondamente modificato il modo di interpretare la fisiologia dell'endurance. Oggi il  $VO_2max$  viene considerato una componente fondamentale della prestazione, ma non la sua unica determinante.

Per comprendere davvero perché un ciclista sia più veloce di un altro è necessario analizzare almeno altre tre caratteristiche: la fractional utilization, l'economia di pedalata e la durability.

## Il modello di Joyner

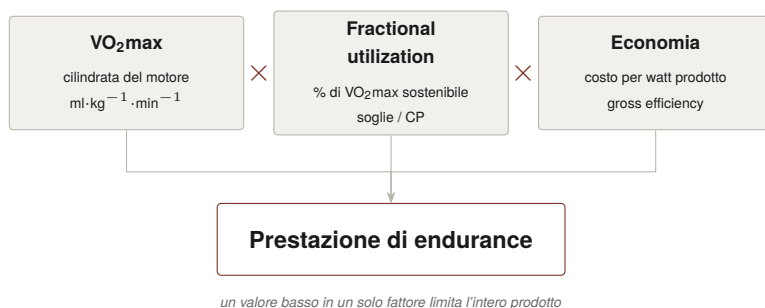
Michael Joyner ha proposto uno dei modelli più influenti della fisiologia moderna. Secondo questo approccio, la prestazione di endurance non dipende da un singolo parametro, ma dall'interazione di tre elementi:

- $\text{VO}_2\text{max}$ ;
- percentuale del  $\text{VO}_2\text{max}$  sostenibile;
- economia del movimento.

Nel ciclismo possiamo esprimerlo in modo ancora più pratico. La prestazione è il risultato dell'interazione tra:

- dimensione del motore;
- capacità di utilizzarlo;
- efficienza con cui viene trasformato in potenza meccanica.

Migliorare solo uno di questi elementi raramente è sufficiente per massimizzare la prestazione.



**Figura 6.** Il modello di Joyner. Prestazione come prodotto — non somma — di  $\text{VO}_2\text{max}$ , frazione utilizzabile ed economia: due atleti con lo stesso motore possono esprimere prestazioni molto diverse perché differiscono sugli altri due termini.

## Fractional Utilization

---

Uno degli aspetti meno conosciuti dagli amatori riguarda la fractional utilization, cioè la percentuale del VO<sub>2</sub>max che un atleta riesce a sostenere per periodi prolungati. Immaginiamo due ciclisti. Entrambi possiedono un VO<sub>2</sub>max di 70 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>. Il primo riesce a sostenere stabilmente l'80% del proprio VO<sub>2</sub>max. Il secondo mantiene il 90%.

A parità di motore, il secondo produrrà una potenza nettamente superiore durante una salita di quaranta minuti. Questo è il motivo per cui l'allenamento della soglia del lattato rimane determinante anche negli atleti con VO<sub>2</sub>max molto elevati.

## Economia di pedalata

---

L'economia rappresenta probabilmente la componente più sottovalutata della prestazione. In termini semplici descrive quanta energia è necessaria per produrre una determinata potenza. Due atleti possono sviluppare 300 watt. Uno potrebbe richiedere un consumo di ossigeno significativamente inferiore rispetto all'altro. Il risultato?

A parità di VO<sub>2</sub>max, l'atleta più economico dispone di un margine fisiologico maggiore. Nel ciclismo questo concetto viene spesso espresso attraverso la gross efficiency, cioè il rapporto tra lavoro meccanico prodotto ed energia metabolica consumata. Negli atleti d'élite piccole differenze nella gross efficiency possono tradursi in vantaggi prestativi enormi durante competizioni di lunga durata.

## Da cosa dipende l'economia?

---

L'economia non è una caratteristica fissa. Numerosi fattori contribuiscono a determinarla. Tra i principali troviamo:

- coordinazione neuromuscolare;
- tecnica di pedalata;
- distribuzione delle fibre muscolari;
- rigidità tendinea;
- adattamenti mitocondriali;
- posizione biomeccanica;
- efficienza meccanica del gesto.

Anche la scelta dell'attrezzatura può influenzare indirettamente il costo energetico della pedalata, soprattutto quando modifica la biomeccanica o la posizione aerodinamica. Per questo motivo migliorare l'economia non significa semplicemente "pedalare meglio", ma ottimizzare l'intero sistema atleta-bicicletta.

## Durability

---

Negli ultimi anni è emerso un nuovo concetto destinato a modificare profondamente la fisiologia dell'endurance.

### La durability.

Tradizionalmente la prestazione veniva valutata osservando l'atleta in condizioni di freschezza. La realtà delle competizioni è completamente diversa. Una granfondo, una marathon MTB o una tappa su strada si decidono quasi sempre dopo diverse ore di gara. La domanda diventa quindi: Quanto riesci a mantenere le tue qualità fisiologiche quando sei già affaticato?

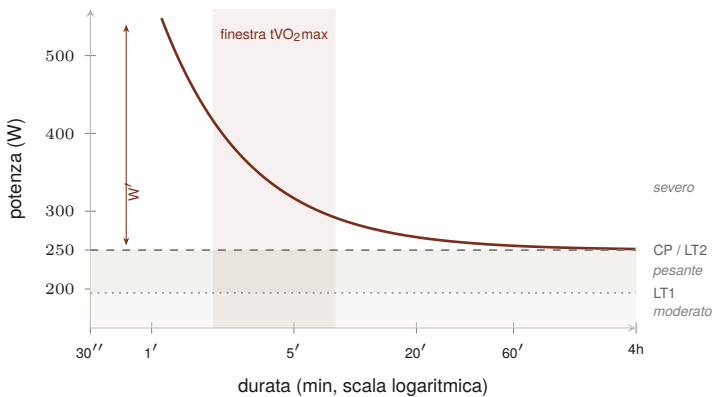
Un atleta con un VO<sub>2</sub>max elevato ma una scarsa durability potrebbe perdere rapidamente capacità di produrre potenza, efficienza metabolica e coordinazione neuromuscolare. Al contrario, un atleta con un VO<sub>2</sub>max leggermente inferiore ma una

migliore resistenza alla fatica potrà mantenere livelli prestativi superiori nella parte decisiva della gara.

## Critical Power

Un altro concetto che ha trasformato la programmazione dell'allenamento è la Critical Power (CP). La CP rappresenta la massima potenza teoricamente sostenibile senza un progressivo esaurimento della capacità di lavoro anaerobico ( $W'$ ). Pur non essendo equivalente alla soglia del lattato, mostra una forte relazione con essa e costituisce uno degli indicatori più utili per descrivere la transizione tra esercizio pesante e severo.

La CP non sostituisce il VO<sub>2</sub>max. Lo completa. Mentre il VO<sub>2</sub>max descrive la capacità massima del sistema aerobico, la CP indica quanta potenza può essere sostenuta prima che il contributo anaerobico diventi progressivamente predominante.



**Figura 7.** Curva potenza-durata e domini d'intensità. La CP separa il dominio pesante da quello severo; solo sopra la CP il VO<sub>2</sub> sale fino al massimo, e la finestra utile per accumulare tempo vicino al VO<sub>2</sub>max si colloca in un intervallo di durate sorprendentemente stretto.

## Il vero significato del VO<sub>2</sub>max

---

Alla luce delle conoscenze attuali, il VO<sub>2</sub>max dovrebbe essere interpretato come il tetto fisiologico entro cui si sviluppano tutte le altre componenti della prestazione. Un tetto molto alto offre un potenziale enorme. Ma se:

- la soglia è bassa;
- l'economia è scarsa;
- la durability è limitata;
- la Critical Power è poco sviluppata,

quel potenziale rimarrà in larga parte inutilizzato. Per questo motivo l'obiettivo del preparatore non consiste semplicemente nell'aumentare il VO<sub>2</sub>max. Consiste nel trasformare il più possibile quel potenziale in prestazione reale.

## Cosa significa questo per il coach

---

Quando analizzi un atleta, evita di fermarti al valore del VO<sub>2</sub>max. Chiediti piuttosto:

- Qual è la sua fractional utilization?
- Quanto è economico il gesto di pedalata?
- Come cambia la sua prestazione dopo tre ore di gara?
- Dove si colloca la sua Critical Power rispetto al VO<sub>2</sub>max?

Solo integrando queste informazioni è possibile costruire una programmazione realmente individualizzata. Il VO<sub>2</sub>max rimane una qualità fondamentale, ma rappresenta solo una parte dell'equazione.

### TAKE HOME MESSAGE

Il consumo massimo di ossigeno descrive la capacità potenziale del sistema aerobico, ma non determina da solo la prestazione.

Fractional utilization, economia di pedalata, Critical Power e durability spiegano perché atleti con valori simili di VO<sub>2</sub>max possano ottenere risultati profondamente diversi. La fisiologia moderna invita quindi a superare una visione riduzionista: il vero obiettivo del preparatore non è costruire il motore più grande possibile, ma insegnare all'atleta a sfruttarlo nel modo più efficiente e duraturo.

PERCHÉ IL TUO  $\text{VO}_2\text{MAX}$  NON MIGLIORA?

## *Valutare il $VO_2\text{max}$ : dalla misura all'interpretazione*

---

*Perché misurare non significa comprendere*

*“Un test produce numeri. La fisiologia trasforma quei numeri in decisioni.”*

Nel ciclismo moderno la disponibilità di dati è cresciuta in maniera esponenziale. Misuratori di potenza, cardiofrequenzimetri, analizzatori di lattato, software di analisi e algoritmi predittivi forniscono quotidianamente una quantità di informazioni impensabile fino a pochi decenni fa. Questa abbondanza di dati ha però generato un equivoco pericoloso: la convinzione che misurare equivalga automaticamente a conoscere.

In realtà, nessun valore numerico possiede un significato intrinseco. Un  $VO_2\text{max}$  di  $68 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ , una FTP di 320 watt o una frequenza cardiaca massima di 186 bpm non descrivono la prestazione se vengono osservati isolatamente. Acquistano significato soltanto quando vengono interpretati nel contesto fisiologico dell'atleta, della sua storia di allenamento, del periodo della stagione e degli obiettivi agonistici.

Il compito del preparatore moderno non consiste nell'accumulare dati, ma nel selezionare quelli realmente utili per guidare le decisioni.

## La misura diretta del $\text{VO}_2\text{max}$

---

Il metodo di riferimento rimane la valutazione mediante analisi dei gas respiratori durante un test incrementale. Attraverso un metabolimetro vengono misurati in tempo reale il consumo di ossigeno ( $\text{VO}_2$ ), la produzione di anidride carbonica ( $\text{VCO}_2$ ), la ventilazione e numerosi altri parametri respiratori. Questo approccio consente di descrivere direttamente la risposta fisiologica dell'organismo all'aumento progressivo dell'intensità.

Per questo motivo viene considerato il gold standard per la determinazione del  $\text{VO}_2\text{max}$ . Tuttavia, anche il test di laboratorio presenta limiti importanti. Il  $\text{VO}_2\text{max}$  misurato rappresenta la risposta dell'atleta in uno specifico giorno, in uno specifico ambiente e in condizioni controllate. Fattori come affaticamento residuo, stato nutrizionale, temperatura, motivazione e familiarità con il protocollo possono influenzare il risultato.

Di conseguenza, anche il dato più accurato richiede sempre un'interpretazione critica.

## $\text{VO}_2\text{max}$ o $\text{VO}_2\text{peak}$ ?

---

Una delle questioni metodologiche più discusse riguarda la distinzione tra  $\text{VO}_2\text{max}$  e  $\text{VO}_2\text{peak}$ . Il  $\text{VO}_2\text{max}$  implica il raggiungimento di un plateau del consumo di ossigeno nonostante l'aumento del carico esterno. Storicamente questo plateau è stato considerato il criterio principale per confermare il raggiungimento del massimo consumo di ossigeno.

Nella pratica, però, molti soggetti non mostrano un plateau evidente. Per questo motivo diversi laboratori utilizzano criteri complementari, come:

- quoziente respiratorio elevato;
- frequenza cardiaca prossima al massimo;
- concentrazione di lattato post-esercizio;
- esaurimento volontario.

Negli ultimi anni Poole e Jones hanno sottolineato l'importanza di utilizzare il termine  $\text{VO}_2\text{max}$  soltanto quando i criteri fisiologici sono realmente soddisfatti, scoraggiando l'uso indiscriminato di " $\text{VO}_2\text{peak}$ " come sinonimo. Questa distinzione non è puramente terminologica: riflette il rigore con cui vengono interpretati i risultati.

## I test da campo

---

Non tutti gli atleti hanno accesso a un laboratorio. Per questo motivo sono stati sviluppati numerosi protocolli da campo che stimano indirettamente il VO<sub>2</sub>max o le qualità fisiologiche ad esso correlate. Nel ciclismo, i più utilizzati sono:

- test incrementali con misuratore di potenza;
- prove a esaurimento;
- test Critical Power;
- prove massimali di durata definita;
- test basati sulla relazione potenza–frequenza cardiaca.

Questi protocolli non misurano direttamente il consumo di ossigeno, ma permettono di valutare variabili strettamente associate alla prestazione aerobica. In molti contesti applicativi risultano più utili di un singolo valore di laboratorio, poiché possono essere ripetuti con maggiore frequenza e nelle reali condizioni di allenamento.

## Il ruolo del misuratore di potenza

---

L'introduzione dei power meter ha modificato profondamente la fisiologia applicata al ciclismo. Per la prima volta è stato possibile quantificare con precisione il lavoro meccanico prodotto durante ogni seduta. La potenza, tuttavia, non misura ciò che accade all'interno dell'organismo. Misura il risultato esterno della risposta fisiologica.

Due atleti possono produrre la stessa potenza con costi metabolici molto differenti. Per questo motivo il misuratore di potenza dovrebbe sempre essere interpretato insieme ad altri indicatori, come la frequenza cardiaca, la percezione dello sforzo e, quando possibile, i dati metabolici.

## La frequenza cardiaca: ancora utile?

---

Con la diffusione dei misuratori di potenza molti hanno considerato la frequenza cardiaca uno strumento superato. In realtà rimane una delle variabili più informative per valutare il carico interno. La frequenza cardiaca risponde con un certo ritardo ai cambi di intensità e può essere influenzata da temperatura, disidratazione, stress e affaticamento.

Proprio per questo rappresenta un indicatore prezioso dello stato fisiologico dell'atleta. Un incremento della frequenza cardiaca a parità di potenza può suggerire condizioni ambientali più gravose o un maggiore stress interno. Al contrario, una risposta insolitamente bassa può indicare affaticamento residuo o ridotta disponibilità del sistema nervoso autonomo.

Interpretata correttamente, la frequenza cardiaca continua a offrire informazioni che il misuratore di potenza, da solo, non può fornire.

## Gli algoritmi di stima

---

Negli ultimi anni dispositivi indossabili e piattaforme software hanno iniziato a stimare automaticamente il VO<sub>2</sub>max. Questi algoritmi utilizzano combinazioni di dati relativi a potenza, frequenza cardiaca, velocità, età, sesso e peso corporeo. La loro utilità principale non consiste nella precisione assoluta del valore stimato, ma nella possibilità di monitorare l'andamento nel tempo.

Una variazione stabile dell'indice può riflettere un cambiamento reale della capacità aerobica, purché le condizioni di raccolta dei dati rimangano comparabili. L'errore nasce quando il valore stimato viene interpretato come equivalente a una misura diretta. Gli algoritmi descrivono una probabilità, non una misura fisiologica.

## Dal dato alla decisione

---

L'interpretazione dei test dovrebbe sempre rispondere a tre domande fondamentali:

1. Cosa sto realmente misurando?
2. Quali fattori possono aver influenzato il risultato?
3. Quale decisione di allenamento deriva da questa informazione?

Se un dato non modifica in alcun modo la programmazione, il suo valore pratico è limitato. La raccolta indiscriminata di informazioni rischia di aumentare la complessità senza migliorare la qualità delle decisioni.

## Cosa significa questo per il coach

---

Un buon preparatore non è colui che possiede il maggior numero di strumenti di valutazione. È colui che sa interpretare i dati essenziali. Nella pratica quotidiana, pochi indicatori raccolti con metodo e continuità risultano spesso più utili di decine di variabili osservate in modo occasionale. La qualità dell'interpretazione rimane il vero elemento distintivo della competenza professionale.

### TAKE HOME MESSAGE

La valutazione del VO<sub>2</sub>max non termina con l'esecuzione di un test. Ogni misura rappresenta una fotografia parziale della fisiologia dell'atleta e deve essere interpretata alla luce del contesto, della storia di allenamento e degli obiettivi della stagione. Il valore di un test non risiede nella precisione del numero ottenuto, ma nella capacità di guidare decisioni efficaci. In questo senso, la competenza del coach consiste non tanto nel misurare di più, quanto nel comprendere meglio.

## *Dalla fisiologia alla programmazione*

---

*Come trasformare le evidenze scientifiche in decisioni di allenamento*

*“La conoscenza della fisiologia non serve a scegliere l’allenamento perfetto. Serve a prendere decisioni migliori.”*

Uno degli errori più frequenti nella divulgazione scientifica consiste nel presentare la fisiologia come un insieme di regole rigide. L’atleta ha un  $\text{VO}_2\text{max}$  basso? Più HIIT. La soglia è limitata? Più lavoro a tempo. La gara è vicina? Riduci il volume. Questo modo di ragionare è rassicurante perché offre risposte semplici. Tuttavia, la pratica dell’allenamento mostra una realtà molto diversa.

Ogni decisione nasce dall’integrazione di informazioni fisiologiche, tecniche, psicologiche, ambientali e organizzative. Nessun parametro, osservato isolatamente, è sufficiente per stabilire quale sia il miglior intervento. Il ruolo del preparatore non consiste nell’applicare protocolli, ma nel formulare ipotesi, verificarle e modificarle alla luce delle risposte dell’atleta.

### **Il ragionamento clinico applicato all’allenamento**

---

In medicina il processo decisionale segue un percorso preciso. Si raccolgono dati. Si formula un’ipotesi. Si sceglie un intervento. Si osserva la risposta. Se necessario, si modifica il piano terapeutico. L’allenamento dovrebbe seguire la stessa logica. Ogni programma rappresenta un’ipotesi fisiologica. Il compito del coach consiste nel verificare se quella scelta produce realmente gli adattamenti attesi.

Quando ciò non accade, la soluzione non è perseverare ostinatamente, ma comprendere perché il sistema abbia risposto in modo diverso dal previsto.

## La valutazione iniziale

---

Prima di programmare qualsiasi blocco dedicato al VO<sub>2</sub>max è necessario comprendere quale fattore stia realmente limitando la prestazione. Le domande fondamentali sono:

- Il problema è centrale o periferico?
- La base aerobica è adeguata?
- La soglia del lattato è coerente con il VO<sub>2</sub>max?
- L'economia di pedalata rappresenta un limite?
- L'atleta perde rapidamente prestazione dopo molte ore?
- Esistono fattori esterni che condizionano il recupero?

Queste domande valgono molto più della scelta del protocollo HIIT.

## Definire l'obiettivo fisiologico

---

Ogni blocco di allenamento dovrebbe avere un obiettivo predominante. Tra i più comuni troviamo:

- aumento del volume sistolico;
- incremento della densità mitocondriale;
- miglioramento della capacità di sostenere elevate percentuali del VO<sub>2</sub>max;
- aumento della Critical Power;
- miglioramento della durability;
- ottimizzazione dell'economia di pedalata.

L'errore più frequente consiste nel tentare di migliorare contemporaneamente tutte queste qualità. La fisiologia insegna che gli adattamenti competono tra loro per le risorse biologiche

disponibili. Per questo motivo una programmazione efficace seleziona una priorità senza perdere di vista il quadro generale.

## Scegliere lo stimolo

---

Solo dopo aver definito il problema fisiologico diventa sensato scegliere il tipo di allenamento. La domanda non è:

*“Quale protocollo funziona meglio?”*

La domanda è:

*“Quale stimolo è più coerente con l’adattamento che voglio ottenere?”*

È questo passaggio logico che distingue la programmazione dall’improvvisazione.

## Monitorare la risposta

---

Una delle competenze più importanti del coach consiste nell’osservare come l’organismo reagisce allo stimolo. La risposta può essere valutata attraverso molteplici indicatori:

- andamento della potenza;
- risposta della frequenza cardiaca;
- percezione dello sforzo;
- recupero tra le sedute;
- qualità del sonno;
- sensazioni riferite dall’atleta;
- andamento delle prestazioni.

Nessuno di questi elementi è sufficiente da solo. Insieme, però, descrivono il processo di adattamento.

## **Quando cambiare programma?**

---

Una convinzione molto diffusa sostiene che ogni programma debba essere modificato frequentemente. In realtà, modificare troppo presto impedisce di osservare gli effetti dello stimolo. Al contrario, mantenerlo invariato troppo a lungo può favorire il plateau. Il momento corretto per intervenire non dipende dal calendario, ma dall'evoluzione della risposta fisiologica.

Quando gli adattamenti rallentano o il rapporto tra beneficio e fatica peggiora, è il momento di introdurre un nuovo stimolo.

## **L'importanza del contesto**

---

Una delle principali differenze tra ricerca scientifica e pratica quotidiana riguarda il contesto. Gli studi cercano di controllare tutte le variabili. Il preparatore lavora in un ambiente in cui le variabili cambiano continuamente. Lavoro. Famiglia. Turni. Viaggi. Stress. Condizioni climatiche. Malattie. Disponibilità di tempo.

La stessa seduta che produce un eccellente adattamento in un periodo della stagione può risultare inefficace poche settimane dopo, semplicemente perché il contesto dell'atleta è cambiato. Per questo motivo la programmazione non dovrebbe mai essere rigida. Deve essere sufficientemente strutturata da mantenere una direzione e sufficientemente flessibile da adattarsi alla realtà.

## **Pensare per sistemi**

---

Uno degli insegnamenti più importanti della fisiologia moderna è che il corpo umano funziona come un sistema complesso. Intervenire su una componente modifica inevitabilmente anche le altre. Aumentare il volume influenza il recupero. Incrementare l'intensità modifica il metabolismo. Ridurre il peso corporeo altera la disponibilità energetica.

Migliorare la soglia modifica la capacità di utilizzare il  $\text{VO}_2\text{max}$ . Per questo motivo ogni decisione dovrebbe essere valutata considerando l'intero sistema e non il singolo parametro.

## **La differenza tra un protocollo e un metodo**

---

I protocolli sono strumenti. Il metodo è il processo con cui decidiamo quando utilizzarli. Un protocollo può essere copiato. Un metodo deve essere compreso. Ed è proprio il metodo che rende possibile adattare la programmazione a ogni atleta, evitando l'errore di applicare la stessa soluzione a problemi fisiologici differenti.

## **Cosa significa questo per il coach**

---

Quando osservi un atleta, evita di cercare immediatamente la seduta da prescrivere. Cerca invece di rispondere a quattro domande fondamentali:

1. Qual è il limite fisiologico predominante?
2. Quale adattamento desidero ottenere?
3. Quale stimolo può generarlo?
4. Come verificherò che l'adattamento sia realmente avvenuto?

Questa sequenza rappresenta il cuore della programmazione moderna. Il protocollo viene dopo. Sempre.

**TAKE HOME MESSAGE**

La fisiologia non fornisce ricette universali, ma strumenti per interpretare la complessità dell'allenamento. Programmare significa formulare ipotesi, scegliere lo stimolo più coerente, osservare la risposta e modificare il percorso quando necessario. Il preparatore non costruisce semplicemente sedute: costruisce un processo decisionale capace di adattarsi continuamente alle caratteristiche dell'atleta. È questa capacità, più della conoscenza di un singolo protocollo, a determinare la qualità della programmazione.

## *Ripensare il VO<sub>2</sub>max*

---

*Dalla ricerca del numero alla comprensione della performance*

*“Per anni abbiamo cercato di costruire motori più grandi. Oggi sappiamo che la vera sfida è imparare a utilizzare al meglio il motore che possediamo.”*

Quando si parla di allenamento della resistenza, poche variabili hanno esercitato un’influenza paragonabile a quella del VO<sub>2</sub>max. Per oltre mezzo secolo il consumo massimo di ossigeno è stato considerato il principale indicatore della capacità aerobica e, di conseguenza, uno degli obiettivi prioritari della programmazione dell’allenamento.

Questa visione ha avuto il merito di spingere la fisiologia dell’esercizio verso progressi straordinari. Ha permesso di comprendere il ruolo del cuore, della ventilazione, della massa eritrocitaria, della capillarizzazione, dei mitocondri e dell’allenamento ad alta intensità nello sviluppo della prestazione. Tuttavia, proprio la crescita delle conoscenze scientifiche ha progressivamente mostrato i limiti di un approccio eccessivamente centrato su un singolo parametro.

Il VO<sub>2</sub>max non è la prestazione. È una delle condizioni che rendono possibile la prestazione.

## **Il limite del riduzionismo**

---

Uno degli insegnamenti più importanti della fisiologia contemporanea riguarda il superamento del riduzionismo. Per molto tempo abbiamo cercato di spiegare la complessità dell'organismo isolando singole variabili. La frequenza cardiaca. La FTP. La soglia del lattato. Il VO<sub>2</sub>max. La Critical Power. Ognuna di queste grandezze descrive un aspetto reale della fisiologia.

Nessuna, da sola, descrive l'atleta. La prestazione emerge dall'interazione continua tra sistemi cardiovascolari, respiratori, neuromuscolari, metabolici, endocrini e cognitivi, influenzati a loro volta dall'ambiente, dal recupero, dalla nutrizione e dall'esperienza. Comprendere questa rete di relazioni rappresenta probabilmente il più grande cambiamento culturale che la fisiologia dell'endurance abbia vissuto negli ultimi decenni.

## **La centralità dell'adattamento**

---

Nel corso di questo libro abbiamo analizzato protocolli, adattamenti, periodizzazione, valutazione e monitoraggio. Dietro tutti questi argomenti esiste un principio comune. L'allenamento non modifica direttamente la prestazione. Modifica l'organismo. La prestazione cambia soltanto come conseguenza di questi adattamenti.

Questa distinzione, apparentemente semplice, ha implicazioni enormi. Significa che l'obiettivo del coach non è costruire allenamenti duri. È costruire allenamenti che inducano gli adattamenti desiderati. Lo stimolo rappresenta soltanto l'inizio del processo. Il risultato finale dipende dalla capacità dell'organismo di interpretarlo, recuperare e trasformarlo in una nuova condizione fisiologica.

## L'individualizzazione come principio scientifico

---

Uno dei messaggi ricorrenti della letteratura più recente riguarda la straordinaria variabilità della risposta all'allenamento. Due atleti possono seguire lo stesso programma e ottenere adattamenti profondamente differenti. Questo fenomeno non rappresenta un'anomalia. Rappresenta la normalità della fisiologia umana. Genetica, età, storia sportiva, disponibilità energetica, qualità del sonno, stato psicologico, ambiente e calendario agonistico interagiscono continuamente, modificando la risposta biologica allo stesso stimolo.

Per questo motivo parlare del "miglior allenamento per il VO<sub>2</sub>max" è, dal punto di vista scientifico, una semplificazione eccessiva. La domanda corretta è un'altra:

**Qual è il miglior stimolo per questo atleta, in questo momento, per ottenere questo adattamento?**

Questa semplice differenza di prospettiva rappresenta il cuore dell'allenamento moderno.

## **Il ruolo del preparatore**

---

L'evoluzione tecnologica ha reso disponibili strumenti sempre più sofisticati. Power meter. Analisi dei gas. Monitoraggio continuo della frequenza cardiaca. Variabilità cardiaca. Sensori di movimento. Algoritmi predittivi. Intelligenza artificiale. Tutti questi strumenti hanno aumentato enormemente la quantità di informazioni disponibili.

Non hanno però sostituito il ruolo del preparatore. Anzi. Più aumentano i dati, maggiore diventa il valore della capacità di interpretarli. Il coach moderno non è colui che raccoglie il maggior numero di informazioni. È colui che sa distinguere i dati rilevanti da quelli accessori, trasformando la fisiologia in decisioni coerenti.

La competenza non consiste nel possedere strumenti migliori. Consiste nel porre domande migliori.

## **Il futuro della ricerca**

---

Nonostante gli enormi progressi degli ultimi decenni, molte domande rimangono aperte. Comprendiamo sempre meglio i meccanismi dell'adattamento, ma continuiamo a conoscere solo in parte le ragioni delle differenze individuali nella risposta all'allenamento. L'integrazione tra fisiologia, genomica, metabolomica, monitoraggio continuo e modelli computazionali probabilmente rappresenterà uno dei principali ambiti di sviluppo della ricerca nei prossimi anni.

È plausibile che il futuro della preparazione atletica sarà caratterizzato da una crescente personalizzazione degli stimoli, costruiti non più soltanto sulla base della prestazione osservata, ma anche delle caratteristiche biologiche individuali. Qualunque sarà l'evoluzione tecnologica, un principio difficilmente cambierà: l'organismo continuerà ad adattarsi secondo le stesse leggi biologiche che regolano oggi il miglioramento della prestazione.

## La domanda iniziale

---

All'inizio di questo libro abbiamo posto una domanda semplice.

### **Perché il tuo VO<sub>2</sub>max non migliora?**

Dopo aver attraversato la fisiologia del trasporto dell'ossigeno, gli adattamenti cardiovascolari e muscolari, i protocolli HIIT, la periodizzazione, la Critical Power, la durability, l'economia di pedalata e la valutazione funzionale, la risposta appare molto diversa da quella che avremmo probabilmente immaginato. Il VO<sub>2</sub>max non migliora perché manca un allenamento particolare.

Non migliora perché il sistema non riceve, non interpreta o non consolida lo stimolo necessario per produrre un nuovo adattamento. A volte il limite è il cuore. Altre volte il muscolo. Talvolta il recupero. Talvolta la nutrizione. In molti casi è la programmazione. Molto più spesso è l'interazione tra tutti questi fattori. Ed è proprio questa complessità a rendere la fisiologia dell'endurance una disciplina così affascinante.

## Una riflessione finale

---

Ogni preparatore, prima o poi, comprende una lezione fondamentale. Gli atleti non migliorano perché eseguono un determinato protocollo. Migliorano perché qualcuno è stato capace di osservare il loro stato iniziale, interpretarne i limiti, scegliere lo stimolo più appropriato, attendere il tempo necessario affinché l'adattamento maturasse e modificare il percorso quando la fisiologia lo richiedeva.

In altre parole, migliorano perché dietro il programma esiste un metodo. Ed è proprio il metodo, molto più dei singoli allenamenti, il vero oggetto di questo libro.

PERCHÉ IL TUO  $\text{VO}_2\text{MAX}$  NON MIGLIORA?

## *Conclusione*

---

Il  $\text{VO}_2\text{max}$  continuerà a rappresentare uno dei pilastri della fisiologia dell'esercizio e della preparazione atletica. Ma il suo valore non risiede soltanto nella possibilità di misurarlo. Risiede nella capacità di utilizzarlo come strumento per comprendere l'organismo, guidare la programmazione e interpretare la prestazione.

Allenare un atleta significa molto più che aumentare un numero. Significa comprendere un sistema biologico complesso, rispettarne i tempi di adattamento e costruire, giorno dopo giorno, le condizioni affinché il suo potenziale possa esprimersi. Forse è proprio questa la lezione più importante che la fisiologia dell'endurance possa offrirci.



## *Messaggio finale al lettore*

---

Se, terminata questa lettura, il tuo primo pensiero sarà:

*“Qual è il miglior allenamento per aumentare il  $VO_2max$ ?”*

allora probabilmente avrò fallito. Se invece la domanda diventerà:

*“Quale adattamento sto cercando di ottenere e quale stimolo è realmente necessario per questo atleta?”*

allora lo scopo di questo libro sarà stato raggiunto.



## Abbreviazioni e simboli

---

**(a-v)O<sub>2</sub>**

differenza artero-venosa di ossigeno

**ATP**

adenosina trifosfato

**CP**

*critical power*, potenza critica

**CS**

citrato sintasi

**EIAH**

*exercise-induced arterial hypoxemia*

**FC**

frequenza cardiaca

**FC<sub>max</sub>**

frequenza cardiaca massima

**FTP**

*functional threshold power*

**GE**

*gross efficiency*, efficienza lorda

**HAD**

3-idrossiacil-CoA deidrogenasi

**Hb<sub>mass</sub>**

massa emoglobinica totale

**HIIT**

*high-intensity interval training*

**HRV**

variabilità della frequenza cardiaca

**IF**

*intensity factor*

**LT1**

prima soglia del lattato (soglia aerobica)

**LT2**

seconda soglia del lattato (soglia anaerobica)

**MAP**

*maximal aerobic power*

**MLSS**

*maximal lactate steady state*

**NP**

*normalized power*

**PGC-1 $\alpha$**

coattivatore della biogenesi mitocondriale

**PO<sub>2</sub>**

pressione parziale di ossigeno

**PPO**

*peak power output*

**Q**

gittata cardiaca

**RER**

quoziente respiratorio

**RPE**

percezione soggettiva dello sforzo

**RST**

*repeated sprint training*

**SIT**

*sprint interval training*

**sRPE**

RPE di seduta ( $\times$  durata)

**SV**

volume sistolico

**TID**

distribuzione delle intensità di allenamento

**TRIMP**

*training impulse*

**TSS**

*training stress score*

**tVO<sub>2</sub>max**

tempo trascorso vicino al VO<sub>2</sub>max

**VO<sub>2</sub>**

consumo di ossigeno

**VO<sub>2</sub>max**

massimo consumo di ossigeno

**VO<sub>2</sub>peak**

valore di picco del VO<sub>2</sub>

**W'**

capacità di lavoro sopra la CP

## Glossario

---

*Le voci sono ordinate alfabeticamente e definite nel significato che assumono in questo volume: dove la letteratura usa definizioni concorrenti, la voce lo segnala.*

**Biogenesi mitocondriale** Insieme dei processi che portano alla sintesi di nuove proteine mitocondriali e all'espansione della rete mitocondriale. Il segnale può attivarsi dopo poche sedute, ma l'incremento stabile della densità mitocondriale richiede settimane o mesi di stimolo regolare.

**Capillarizzazione** Aumento del numero di capillari per fibra muscolare. Riduce la distanza di diffusione dell'ossigeno e allunga il tempo di transito del globulo rosso: è uno degli adattamenti periferici più lenti a maturare.

**Carico esterno** Ciò che l'atleta esegue in termini oggettivi e misurabili: watt, chilometri, dislivello, durata. Descrive il lavoro, non la risposta biologica al lavoro.

**Carico interno** Risposta psicofisiologica al carico esterno: frequenza cardiaca, lattato, percezione dello sforzo, alterazioni della HRV. La stessa seduta produce carichi interni diversi in condizioni diverse.

**Critical Power (CP)** Asintoto della relazione iperbolica fra potenza e tempo di esaurimento. Rappresenta la massima intensità metabolicamente sostenibile in stato stazionario e segna il confine fra dominio pesante e dominio severo. Non coincide con la FTP, che è una stima pratica derivata da un test di durata fissa.

**Differenza artero-venosa di ossigeno** Differenza fra il contenuto di ossigeno del sangue arterioso e quello del sangue venoso misto. Esprime quanto ossigeno il muscolo estrae effettivamente dal sangue che riceve; è il secondo termine dell'equazione di Fick.

**Domini d'intensità** Suddivisione fisiologica dell'esercizio in moderato (sotto LT1), pesante (fra LT1 e CP), severo (sopra CP, con  $\text{VO}_2$  che raggiunge il massimo) ed estremo. La logica dei domini precede quella delle zone percentuali, che ne sono un'approssimazione operativa.

**Durability** Capacità di conservare le proprie caratteristiche fisiologiche — soglie, economia, potenza sostenibile — dopo un accumulo prolungato di lavoro. Distingue atleti con profili di laboratorio simili ma comportamenti molto diversi nelle ore finali di gara.

**Economia (gross efficiency)** Rapporto fra lavoro meccanico prodotto e energia metabolica spesa. Nel ciclismo si esprime tipicamente come percentuale: piccole differenze di efficienza producono grandi differenze di prestazione a parità di  $\text{VO}_{2\text{max}}$ .

**Equazione di Fick**  $\text{VO}_2 = \text{gittata cardiaca} \times \text{differenza artero-venosa di ossigeno}$ . Descrive il consumo di ossigeno come prodotto fra un termine di trasporto e un termine di utilizzo.

**Fractional utilization** Percentuale del  $\text{VO}_{2\text{max}}$  che l'atleta riesce a sostenere per una durata data. Dipende dalla collocazione delle soglie e spiega perché atleti con lo stesso  $\text{VO}_{2\text{max}}$  possono esprimere prestazioni molto diverse.

**Gittata cardiaca** Volume di sangue espulso dal cuore in un minuto, prodotto di frequenza cardiaca e volume sistolico. Nei ciclisti allenati può superare i  $30\text{--}35 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$  contro i circa 20 dei sedentari.

**HIIT** Allenamento intervallato ad alta intensità, con ripetute condotte in genere sopra la CP e recuperi incompleti. Comprende formati molto diversi fra loro per durata, densità e adattamenti

bersaglio.

**Overreaching funzionale** Calo temporaneo della prestazione indotto da un sovraccarico programmato, seguito da un rimbalzo positivo dopo un adeguato scarico. Diventa non funzionale quando il recupero non ripristina la prestazione nei tempi attesi.

**Periodizzazione a blocchi** Concentrazione di uno stimolo specifico in un periodo breve, seguita da una fase di mantenimento a bassa densità. Sfrutta l'effetto residuo dell'adattamento invece di distribuire lo stesso stimolo per tutta la stagione.

**Plateau del  $\text{VO}_2$**  Mancato incremento del consumo di ossigeno a fronte di un ulteriore aumento del carico durante un test incrementale. È il criterio classico — e oggi non sempre riscontrabile — per affermare che il  $\text{VO}_{2\text{max}}$  sia stato raggiunto.

**Slow component** Deriva verso l'alto del  $\text{VO}_2$  durante esercizio costante nel dominio pesante e severo, che allontana il consumo di ossigeno dal valore atteso per quella potenza. È uno dei meccanismi che porta il  $\text{VO}_2$  fino al massimo nelle ripetute lunghe.

**Soglia LT1** Prima soglia del lattato: intensità oltre la quale la lattatemia inizia a salire stabilmente sopra i valori di riposo. Delimita il tetto del dominio moderato e la cosiddetta Zona 2.

**Soglia LT2 / MLSS** Massima intensità alla quale produzione e rimozione del lattato restano in equilibrio. Concettualmente vicina alla CP, benché determinata con protocolli differenti e non numericamente coincidente.

**$t\text{VO}_{2\text{max}}$**  Tempo cumulativo trascorso a un consumo di ossigeno pari o superiore al 90–95% del massimo. È il parametro che meglio descrive lo stimolo effettivo di una seduta ad alta intensità, più della potenza media della ripetuta.

**Volume plasmatico** Componente liquida del sangue. Si espande già nella prima settimana di allenamento aumentando il precarico

ventricolare: è la via più rapida per incrementare il volume sistolico e, con esso, il  $\text{VO}_2\text{max}$ .

**Volume sistolico** Quantità di sangue espulsa dal ventricolo sinistro a ogni battito. È la variabile cardiaca realmente allenabile: la frequenza cardiaca massima, al contrario, non aumenta con l'allenamento.

**$\text{VO}_2\text{max}$**  Massima quantità di ossigeno che l'organismo può captare, trasportare e utilizzare per unità di tempo. Esprime l'integrazione fra sistema cardiovascolare, ematico e muscolare, non la capacità di un singolo organo.

**$\text{VO}_2\text{peak}$**  Valore più alto di consumo di ossigeno osservato in un test in cui non siano soddisfatti i criteri di massimalità. In assenza di verifica, molti valori riportati come  $\text{VO}_2\text{max}$  sono in realtà  $\text{VO}_2\text{peak}$ .

**$W'$**  Quantità finita di lavoro eseguibile sopra la CP, espressa in kilojoule. Si esaurisce tanto più rapidamente quanto maggiore è l'eccedenza di potenza rispetto alla CP e si ricostituisce nei recuperi sotto CP.

**Zona 2** Intensità collocata appena sotto LT1, sostenibile per ore. Bersaglio elettivo per volume plasmatico, densità mitocondriale, capillarizzazione e ossidazione dei grassi.

# Bibliografia

---

*I riferimenti sono raggruppati per area tematica e ordinati alfabeticamente all'interno di ciascuna sezione. Ogni voce è stata verificata su fonte primaria; dove disponibile è riportato il DOI.*

## **VO<sub>2</sub>MAX: DEFINIZIONE, MISURA E FATTORI LIMITANTI**

---

- Bassett, D. R., Jr., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(1), 70–84.  
<https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00012>
- Bergh, U., Ekblom, B., & Åstrand, P.-O. (2000). Maximal oxygen uptake: “Classical” versus “contemporary” viewpoints. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(1), 85–88.
- Bouchard, C., An, P., Rice, T., Skinner, J. S., Wilmore, J. H., Gagnon, J., Pérusse, L., Leon, A. S., & Rao, D. C. (1999). Familial aggregation of VO<sub>2</sub>max response to exercise training: Results from the HERITAGE Family Study. *Journal of Applied Physiology*, 87(3), 1003–1008. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.87.3.1003>
- Levine, B. D. (2008). VO<sub>2</sub>max: What do we know, and what do we still need to know? *The Journal of Physiology*, 586(1), 25–34.  
<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.147629>
- Lundby, C., Montero, D., & Joyner, M. (2017). Biology of VO<sub>2</sub>max: Looking under the physiology lamp. *Acta Physiologica*, 220(2), 218–228.  
<https://doi.org/10.1111/apha.12827>
- Midgley, A. W., McNaughton, L. R., Polman, R., & Marchant, D. (2007). Criteria for determination of maximal oxygen uptake: A brief critique and recommendations for future research. *Sports Medicine*, 37(12), 1019–1028.  
<https://doi.org/10.2165/00007256-200737120-00002>
- Poole, D. C., & Jones, A. M. (2017). Measurement of the maximum oxygen

- uptake  $\text{VO}_2\text{max}$ :  $\text{VO}_2\text{peak}$  is no longer acceptable. *Journal of Applied Physiology*, 122(4), 997–1002. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01063.2016>
- Poole, D. C., Wilkerson, D. P., & Jones, A. M. (2008). Validity of criteria for establishing maximal  $\text{O}_2$  uptake during ramp exercise tests. *European Journal of Applied Physiology*, 102(4), 403–410. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0596-3>
- Saltin, B., & Calbet, J. A. L. (2006). Point: In health and in a normoxic environment,  $\text{VO}_2\text{max}$  is limited primarily by cardiac output and locomotor muscle blood flow. *Journal of Applied Physiology*, 100(2), 744–745. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01395.2005>

### ADATTAMENTI CARDIOVASCOLARI, EMATOLOGICI E MUSCOLARI

---

- Arbab-Zadeh, A., Perhonen, M., Howden, E., Peshock, R. M., Zhang, R., Adams-Huet, B., Haykowsky, M. J., & Levine, B. D. (2014). Cardiac remodeling in response to 1 year of intensive endurance training. *Circulation*, 130(24), 2152–2161. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.114.010775>
- Convertino, V. A. (1991). Blood volume: Its adaptation to endurance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 23(12), 1338–1348.
- Granata, C., Jamnick, N. A., & Bishop, D. J. (2018). Training-induced changes in mitochondrial content and respiratory function in human skeletal muscle. *Sports Medicine*, 48(8), 1809–1828. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0936-y>
- Holloszy, J. O., & Coyle, E. F. (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *Journal of Applied Physiology*, 56(4), 831–838. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.1984.56.4.831>
- Lundby, C., & Jacobs, R. A. (2016). Adaptations of skeletal muscle mitochondria to exercise training. *Experimental Physiology*, 101(1), 17–22. <https://doi.org/10.1113/EP085319>
- Montero, D., Cathomen, A., Jacobs, R. A., Flück, D., de Leur, J., Keiser, S., Bonne, T., Kirk, N., Lundby, A.-K., & Lundby, C. (2015). Haematological rather than skeletal muscle adaptations contribute to the increase in peak oxygen uptake induced by moderate endurance training. *The Journal of Physiology*, 593(20), 4677–4688. <https://doi.org/10.1113/JP270250>

## ALLENAMENTO AD ALTA INTENSITÀ: PROTOCOLLI E MECCANISMI

- Bacon, A. P., Carter, R. E., Ogle, E. A., & Joyner, M. J. (2013). VO<sub>2</sub>max trainability and high intensity interval training in humans: A meta-analysis. *PLOS ONE*, 8(9), e73182. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073182>
- Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. Part I: Cardiopulmonary emphasis. *Sports Medicine*, 43(5), 313–338. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x>
- Gibala, M. J., Little, J. P., van Essen, M., Wilkin, G. P., Burgomaster, K. A., Safdar, A., Raha, S., & Tarnopolsky, M. A. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: Similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *The Journal of Physiology*, 575(3), 901–911. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2006.112094>
- Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C., Hjorth, N., Bach, R., & Hoff, J. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO<sub>2</sub>max more than moderate training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(4), 665–671. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180304570>
- Laursen, P. B., & Jenkins, D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: Optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Medicine*, 32(1), 53–73. <https://doi.org/10.2165/00007256-200232010-00003>
- MacInnis, M. J., & Gibala, M. J. (2017). Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *The Journal of Physiology*, 595(9), 2915–2930. <https://doi.org/10.1113/JP273196>
- Midgley, A. W., & McNaughton, L. R. (2006). Time at or near VO<sub>2</sub>max during continuous and intermittent running: A review with special reference to considerations for the optimisation of training protocols to elicit the longest time at or near VO<sub>2</sub>max. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 46(1), 1–14.
- Midgley, A. W., McNaughton, L. R., & Jones, A. M. (2007). Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance: Can valid recommendations be given to runners and coaches based on current scientific knowledge? *Sports Medicine*, 37(10), 857–880. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737100-00003>
- Milanović, Z., Sporiš, G., & Weston, M. (2015). Effectiveness of high-intensity interval training (HIT) and continuous endurance training for VO<sub>2</sub>max improvements: A systematic review and meta-analysis of controlled trials.

*Sports Medicine*, 45(10), 1469–1481.  
<https://doi.org/10.1007/s40279-015-0365-0>

Rønnestad, B. R., Hansen, J., Nygaard, H., & Lundby, C. (2020). Superior performance improvements in elite cyclists following short-interval vs effort-matched long-interval training. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 30(5), 849–857. <https://doi.org/10.1111/sms.13627>

## DISTRIBUZIONE DELLE INTENSITÀ E PERIODIZZAZIONE

---

Issurin, V. (2008). Block periodization versus traditional training theory: A review. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 48(1), 65–75.

Rønnestad, B. R., Hansen, J., & Ellefsen, S. (2014). Block periodization of high-intensity aerobic intervals provides superior training effects in trained cyclists. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(1), 34–42.  
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2012.01485.x>

Rønnestad, B. R., & Mujika, I. (2014). Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(4), 603–612. <https://doi.org/10.1111/sms.12104>

Rosenblat, M. A., Perrotta, A. S., & Vicenzino, B. (2019). Polarized vs. threshold training intensity distribution on endurance sport performance: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(12), 3491–3500.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002618>

Seiler, S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(3), 276–291. <https://doi.org/10.1123/ijssp.5.3.276>

Seiler, K. S., & Kjerland, G. Ø. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: Is there evidence for an “optimal” distribution? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 16(1), 49–56.  
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2004.00418.x>

Stöggl, T., & Sperlich, B. (2014). Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training. *Frontiers in Physiology*, 5, 33. <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00033>

## CRITICAL POWER, DOMINI D'INTENSITÀ E TOLLERANZA ALLO SFORZO

---

- Jones, A. M., Burnley, M., Black, M. I., Poole, D. C., & Vanhatalo, A. (2019). The maximal metabolic steady state: Redefining the “gold standard”. *Physiological Reports*, 7(10), e14098. <https://doi.org/10.14814/phy2.14098>
- Jones, A. M., Vanhatalo, A., Burnley, M., Morton, R. H., & Poole, D. C. (2010). Critical power: Implications for determination of  $\text{VO}_2\text{max}$  and exercise tolerance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(10), 1876–1890. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181d9cf7f>
- Poole, D. C., Burnley, M., Vanhatalo, A., Rossiter, H. B., & Jones, A. M. (2016). Critical power: An important fatigue threshold in exercise physiology. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(11), 2320–2334. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000939>
- Skiba, P. F., Chidnok, W., Vanhatalo, A., & Jones, A. M. (2012). Modeling the expenditure and reconstitution of work capacity above critical power. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44(8), 1526–1532. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182517a80>
- Vanhatalo, A., Jones, A. M., & Burnley, M. (2011). Application of critical power in sport. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(1), 128–136. <https://doi.org/10.1123/ijspp.6.1.128>

## ECONOMIA, DURABILITY E DETERMINANTI DELLA PRESTAZIONE

---

- Barnes, K. R., & Kilding, A. E. (2015). Running economy: Measurement, norms, and determining factors. *Sports Medicine – Open*, 1, 8. <https://doi.org/10.1186/s40798-015-0007-y>
- Coyle, E. F. (1995). Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 23, 25–63. <https://doi.org/10.1249/00003677-199500230-00004>
- Joyner, M. J. (1991). Modeling: Optimal marathon performance on the basis of physiological factors. *Journal of Applied Physiology*, 70(2), 683–687. <https://doi.org/10.1152/jappl.1991.70.2.683>
- Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance: The physiology of champions. *The Journal of Physiology*, 586(1), 35–44. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.143834>
- Lucía, A., Hoyos, J., & Chicharro, J. L. (2001). Physiology of professional road cycling. *Sports Medicine*, 31(5), 325–337.

<https://doi.org/10.2165/00007256-200131050-00004>

Lucía, A., Hoyos, J., Pérez, M., Santalla, A., & Chicharro, J. L. (2002). Inverse relationship between  $\text{VO}_2\text{max}$  and economy/efficiency in world-class cyclists. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(12), 2079–2084.

<https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000039306.92778.DF>

Maunder, E., Seiler, S., Mildenhall, M. J., Kilding, A. E., & Plews, D. J. (2021). The importance of “durability” in the physiological profiling of endurance athletes. *Sports Medicine*, 51(8), 1619–1628.

<https://doi.org/10.1007/s40279-021-01459-0>

Spragg, J., Leo, P., & Swart, J. (2023). The relationship between physiological characteristics and durability in male professional cyclists. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 55(1), 133–140.

<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003024>

## MONITORAGGIO DEL CARICO E DELLA RISPOSTA ALL'ALLENAMENTO

---

Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., Doleshal, P., & Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1), 109–115.

Halsen, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Medicine*, 44(Suppl. 2), 139–147.

<https://doi.org/10.1007/s40279-014-0253-z>

Passfield, L., Hopker, J. G., Jobson, S., Friel, D., & Zabala, M. (2017). Knowledge is power: Issues of measuring training and performance in cycling. *Journal of Sports Sciences*, 35(14), 1426–1434.

<https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1215504>

Plews, D. J., Laursen, P. B., Stanley, J., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2013). Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: Opening the door to effective monitoring. *Sports Medicine*, 43(9), 773–781.

<https://doi.org/10.1007/s40279-013-0071-8>